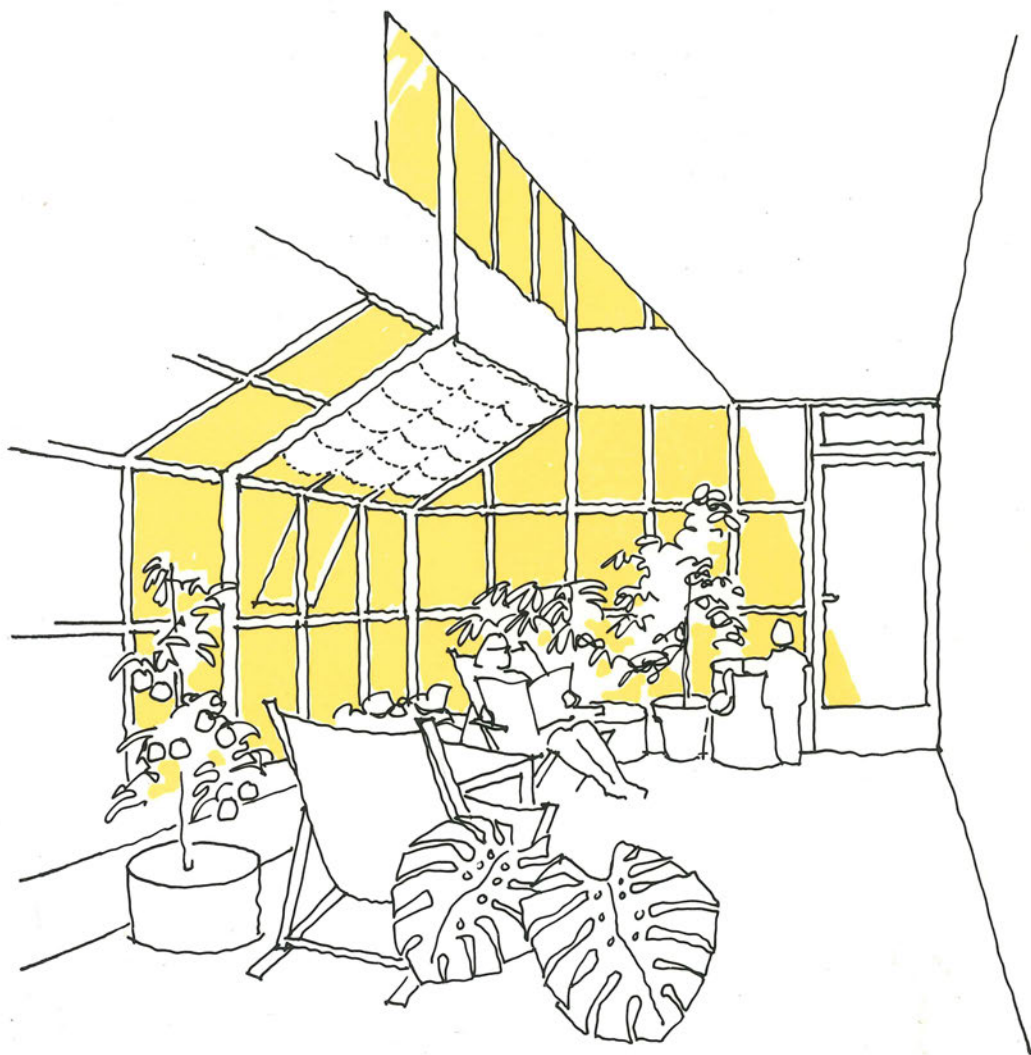


sol · energi · form

utformning av lågenergihus



bo adamson bengt hidemark mfl

Byggforskningsrådet

sol • energi • form

sol · energi · form

utformning av lågenergihus

bo adamson bengt hidemark mfl

Byggforskningsrådet

TACK

Ett stort tack till arkitekt Anna Hidemark som gjort alla illustrationer till denna bok. Hon har tolkat våra skisser och diagram till lättlästa och instruktiva figurer.

Ett tack till våra medförfattare Eva och Bruno Erat, Mauritz Glaumann, Ulla Westerberg och David P Wyon.

Ett tack till våra sekreterare, Britt Silvander, KTH och Marianne Abrahamsson, LTH samt till Margareta Nilsson vid Byggforskningsrådets informationsavdelning.

Ett tack också till Byggforskningsrådet, som bekostat den forskning som ligger bakom denna bok.

Bo Adamson

Bengt Hidemark

Omslag och layout: Bengt Hidemark

Illustrationer: Anna Hidemark

T2:1986

ISBN 91-540-4471-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Tryck: Spångbergs Tryckerier AB, Stockholm 1986

Innehåll

1.	LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET?	
1.1	ENERGI- OCH RESURSHUSHÅLLNING – ett moraliskt ansvar	16
1.2	LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET?	
	Energien har blivit en dyr resurs	17
	Energietik	18
	Värmeförluster och värmeförlust	19
	Energihushållning	20
	Från SBN 67 till SUPER 84	21
	SBN 67 jämfört med SUPER 84	22
2.	PRINCIPER FÖR BYGGNADSUTFORMNING	
2.1	ORIENTERING	24
2.2	SKÄRMNING	25
2.3	REFLEKTION	27
2.4	BYGGNADENS FORM	28
2.5	PLANDIFFERENTIERING	29
2.6	UPPDELNING I 1–2 PLAN	30
2.7	FÖNSTER SOM SOLFÅNGARE	31
2.8	GLASADE RUM	33
2.9	SOLAVSKÄRMNING	34
2.10	VÄRMELAGRING I BYGGNADSDELAR	35
2.11	SOUTERRÄNGHUS	37
2.12	ALTERNATIVA VÄRMEKÄLLOR	38
2.13	SÄSONGSANPASSNING	
	Om hus och årstid	40
	Årstidsrelaterade förändringar av klimathöljet	41
	Årstidsanpassat rumsutnyttjande	43
2.14	ARKITEKTONISK UTFORMNING – ett uttryck för effektiv energihushållning	44
3.	ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS	
3.1	ETT EKOLOGISKT HUS Vad menar man med ett ekologiskt hus?	46
3.2	ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS	
	Vi och vårt hus	47
	Något om huset	48
	En solig vardag i mars	49

	En vacker sommardag	51
	En ogemytlig dag i oktober	53
	En kall och mörk dag i december	54
3.3	VAD HÄNDER MED Huset EFTER OSS?	55
4.	OM KLIMAT OCH NÄRKLIMAT	
4.1	KLIMATSKALOR	
	Makroklimat	58
	Lokal- och närklimat	59
4.2	KLIMATETS BETYDELSE	
	Utomhuskomfort	60
	Byggnaders värmeförluster Närklimat	61
4.3	KLIMATPROCESSER	
	Energiutbyte med atmosfären	62
	Konvektivt värmeutbyte	63
	Värmeförflyttning	64
	Temperaturer vid markytan	65
	Strålningens inverkan på temperaturen	66
	Markytan som temperaturutjämnare	67
	Inverkan av snö och sjöar på temperaturen	68
4.4	OMRÅDESKLIMAT	
	Klimatet i Sverige	69
	Stadsområden	70
	Kustområden	71
	Kallluft och nederbörd i kuperade områden	72
	Vindar i kuperade områden	73
4.5	VIND	
	Vindkaraktärer	74
	Vindobservationer	76
	Vind i naturlig terräng	77
	Strömning kring byggnader	78
	Planering med hänsyn till vind	80
4.6	SOLE OCH SKUGGA	
	Direkt och diffus solstrålning	83
	Solens läge	84
	Skuggor	85
	Solstudier i modell	87
5.	OM KRAV PÅ RUMSKLIMAT	
5.1	BESTÄMMELSER	
	SBN 80 – ROT, LUT, vistelsezon	90
	SBN 80 – Assymmetri, golvtemperaturer m m	91
	Hälsovårdsstadgan	92

5.2	MÄNNISKAN OCH OMGIVNINGEN	
	Människans värmeproduktion och värmeförluster	92
	Beklädnad, lufttemperatur, lufthastighet, fukt m m	93
	Strålning	93
	Globtermometer	94
	Lämplig temperatur	94
5.3	NÅGRA VANLIGA MISSFÖRHÅLLANDEN	
	"För kallt", drag	95
	Kalla golv, torr luft	95
6.	ATT SKAPA RUMSKLIMAT	
6.1	TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR	
	Om behovet av skydd	98
	Ökad komfort	99
	En tillbakablick – vindskyddet, hyddan och kåtan	100
	En tillbakablick – jordkulan, backstugan och eldhuset	101
	Timmerhuset – stenhuset	102
	Glasverandan	103
	Bostäder i ökenklimat	104
	Bostäder i extremt kallt klimat	106
	Uppvärmning – härden, ugnen och kakelugnen	107
	Uppvärmning – spisen och kaminen	108
	Bondgården – materialhushållning	109
	Bondgården – utrymmeshushållning	110
6.2	NATURENS LAGAR	
	Energins oförstörbarhet och kvalitet	111
	Energi och effekt	112
	Temperatur och värmetransport	113
	Termisk jämvikt	114
	Värmeledning	115
	Konvektion	116
	Självcirkulation och skiktning	117
	Strålning	118
	Emission, absorption och reflektion	119
	Mer om emission	120
	Reflektion och absorption vid glasskivor	121
	Transmission	122
	Selektiv reflektion, absorption och transmission	123
	Selektiv absorption/emission	124
	Värmekapacitivet	125
	Förångning, relativ mättnad och kondensation	126
	"Kalla väggens princip"	127
	Smältvärme och värme bundet i vissa salter	128

6.3	SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA	
	Ett hett klot	129
	Solens läge och sann soltid	130
	Spektral fördelning av sol- och himmelsstrålning	132
	Utstrålning till himlavalvet	133
	Instrålning på ytor under klara dagar	134
	Direkt och diffus strålning	135
	Dygnssummor av instrålning	136
	Månadssummor av instrålning	137
6.4	HUSET SOM DYNAMISKT, TERMISKT SYSTEM	
	Statiska förhållanden – medeltemperaturer	138
	Styrning av rumsmedeltemperaturen	139
	Ett hus utan värmekapacitet	140
	Inre byggnadsdelars temperatur	141
	Värmeflöden i ett rum under ett soligt sommar dygn	142
	Nattsänkning	144
	Rumslufttemperatur under soliga dagar	146
6.5	VÄRMEISOLERING	
	Isoleringsmaterial	147
	Isolerförmåga	148
	Värmeövergång vid ytor	149
	k-värde och årliga värmeförluster	150
	Värmeförluster under uppvärmningssäsong	151
	Extrem isolering	152
	Yttemperatur och medelstrålningstemperatur	153
	Riktad operativ temperatur	154
6.6	VÄXTHUSPRINCIPEN	
	Glaset, en strålningsfälla	155
	Plaster i "glasade" rum	156
	Primär och sekundär solvärmeförluster	157
6.7	VENTILATION	
	Tryckskillnader på grund av vindkrafter	158
	Tryckskillnader på grund av termiska krafter	159
	Täthetskrav	160
	Självdraagsventilation	161
	Mekanisk ventilation	162
	Oavsiktlig ventilation	163
6.8	BOENDEVÄRME	
	Personvärme	164
	Hushållsenergi	165
	Tillgodogjord värme	166
	Värmebalans för kall- och varmvatten	167

6.9	ENERGIOMVANDLING	
	I rum, byggnad eller värmecentral	168
	Förbränning av bränsle	169
	Val av energislag	170
6.10	VÄRMNING	
	Distribution	171
	Några olika uppvärmningssystem	172
	Komfort	173
6.11	KYLNING	
	Extra ventilation	174
	Nattventilation	175
	Mekanisk kylning	176
6.12	HUSETS KÄNSLIGHET FÖR ENERGIBORTFALL	
	Olika problem vid energibortfall	177
	Fuktskador	178
	Skador på grundläggning	179
6.13	DAGSLJUS – TILLSATSLJUS	
	– ett balanseringsproblem	180
7.	OM LÖNSAMHET	
7.1	NUVÄRDE	
	Framtida inkomster eller utgifter	182
	Årliga inkomster eller utgifter	183
	Realt nuvärde av framtida kostnader	184
	Realt nuvärde av årliga besparingar eller kostnader	185
7.2	INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING	
	Kostnadsutveckling	186
	Nuvärde av energibesparing	187
	Lönsamhet av energibesparing	188
	Exempel på lönsamhetsbedömning	189
	Isolering av yttervägg (marginell och genomsnittlig lönsamhet)	190
7.3	ENERGISPARKOSTNAD	
	Optimering av komponent	191
7.4	BESPARINGSKOSTNAD	192
7.5	KAPITAL BEHÖVS!	
	Lånat kapital	193
	Bidrag	194
	Subventionerad ränta	195
7.6	EN STRATEGI FÖR EN OSÄKER FRAMTID	
	Litet energibehov = ökad säkerhet	196
	En osäker framtid	197

8.	OM KOMPONENTER OCH DELSYSTEM	
8.1	FÖNSTER	
	Värmetransport utan ljusstrålning	200
	Mörker-k-värde	201
	Verkligt mörker-k-värde	202
	k-värde vid ljusstrålning	203
	Radhus – ett beräkningsexempel	204
	k-värdets variation under dygnet	206
	k-värdets variation under året	207
	Årsvärmebehov vid oskärnade södervända fönster	208
	Marginell värmevinst vid ökad glasarea åt söder	209
	Höga fönstertemperaturer vid oskärnade södervända fönster	210
	Olika fönsterorientering – värmebehov och rumstemperatur	211
	Värmevinst vid ökat antal glas	212
	Rummet, en solfångande yta	213
	Tillgodogjord solvärme	214
	Praktiskt tillgodogjord solvärme	215
	Solfångande fönster	216
	Gasfyllda isolerrutor	217
	Fönster med lågemissionsskikt	218
	Kopplade fönster med lågemissionsskikt	219
	Gasfyllda isolerrutor med lågemissionsskikt	220
	Nyare rön om lågemissionsskikt	221
	Några tumregler för solvärmeutnyttjande	222
8.2	NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER	
	Värmebesparing med nattisolering	223
	Vertikalställda persienner	224
	Konstruktiva synpunkter på nattisolering	225
	Säsongsisolering av fönster	226
	Temperaturer på grund av solinstrålning	227
	Värmevinst med säsongsisolering	228
	Lönsamhet vid säsongsisolering	229
8.3	GLASADE RUM	
	Instrålning	230
	Datasimulering av några rumstyper	231
	Temperaturer under soligt sommardygnet	232
	Utnyttjande av glasade rum	234
	Energibesparing	235
8.4	SOLSKYDD	
	Behovet av solskydd	236
	Fasta, horisontella skärmar	237
	Fasta, vertikala skärmar	238

	Rörliga skärmar	239
	Solskyddsglas	240
	Markiser och utvändiga persienner	241
	Persienner mellan glas	242
	Invändiga persienner	243
	Invändiga gardiner	244
8.5	YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG	
	Årliga värmeförluster vid solinstrålning på ytterytan	245
	Ekonomiskt k-värde	247
	Det ekonomiska k-värdets känslighet	249
	Regelväggar	251
	Specialregelväggar	252
	Tak- och vindsbjälklag	253
8.6	JORDISOLERADE KONSTRUKTIONER	
	Jordtemperaturer vid fri mark	254
	Bjälklag på jord	255
	Motfyllda väggar och källargolv	256
8.7	RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION	
	Principer	257
	Vägg- och taktyper utan värmelagringsförmåga	258
	Typ I, enkelglasad med svart yta	259
	Typ I, enkelglasad med selektiv yta	260
	Typ I, dubbelglasad med svart yta	261
	Typ I, dubbelglasad med selektiv yta	263
	Typ II, enkelglasad med selektiv yta	264
	Typ II, dubbelglasad med selektiv yta	265
	"Verkningsgradskurvor"	266
	Genomsnittlig verkningsgrad under månad	267
	Utnyttjningsbar solvärme under månad	268
	Konstruktiva synpunkter på typ I, dubbelglas med selektiv yta	269
	Konstruktiva synpunkter på typ II, enkelglasad med selektiv yta	270
	Solväggar och soltak med värmelagring	271
8.8	RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION	
	Självdragskrafter	272
	Bakdragsspjäll	273
	Solvägg, typ I, dubbelglasad med selektiv yta	274
	Solvägg, typ II, enkelglasad med selektiv yta	275
	Konstruktiva synpunkter på solväggen av typ II	276
	Soltak, typ I, dubbelglasat med selektiv yta	277

8.9	TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK	
	Vägg- och taktyper utan värmelagring	278
	Plåtvägg	279
	Enkelglasad med svart yta	280
	Enkelglasad med selektiv yta	281
	Utnyttjningsbar solvärme under månad	282
8.10	BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER	
	Olika byggnadsdelars värmelagrande förmåga	283
	Rumstemperatursvängning under soliga sommardagar	284
	Medeltemperatur, dygns svängning och maximitemperatur	285
	Temperaturhöjning under soliga dygn	286
	Inverkan av betongarea	288
	Inverkan av betongtjocklek och ytisolering	289
	Vit eller svart betongyta?	290
	Värmelagringens inverkan på årsvärmebehovet	291
	Natt- och veckoslutssänkning av rumstemperaturen	292
	Några tumregler	294
8.11	SEPARAT VÄRMELAGRING	
	Vattenmagasin	295
	Korttids- och långtidslagring	297
	Vattentuber i rum	298
	Vattentuber – temperaturer under soliga dygn	299
	Jämförelse mellan betongmassa och vattentuber	301
	Stenmagasin	302
	Stenmagasin – inverkan av volym och luftflöde	304
	Värmelagring i salhydrater	305
	Saltlager i tak	306
	Saltlager i tak – olika faktorerers inverkan	307
	Jämförande försök i tvillingrum	309
8.12	VÄRMEVÄXLARE	
	Principer för värmeväxling	310
	Plattvärmeväxlare	311
	Plattvärmeväxlare, drift	312
	Plattvärmeväxlare, totalverkningsgrad	313
	Indirekt rekuperativ värmeväxlare	314
	Regenerativa värmeväxlare	315
8.13	FÖRBRÄNNINGSENHETER	
	Oljeeldning i äldre hus	316
	Förbränningsenheter i nya småhus	317
	Braskaminer	318
	Braskaminer – data	319

8.14	SOLVÄRMT VARMVATTEN	
	Principer	320
	Frys- och kokskydd	321
	En amerikansk jämförelse mellan sex olika system	322
	De sex systemen	323
	Uppmätt solandel	325
	Vattenvärmande solfångare	326
	En känslighetsanalys	327
	Basfallet	328
	Solfångaretyp och isolering	329
	Ort och orientering	330
	Area och lutning	331
	Tankvolym m m	332
8.15	VÄRMEPUMP	
	Teori	333
	Värmekällor	334
	Hur mycket värme kan man få?	335
	Lönsamhet	336
	Några frågor att ställa	337
9.	OM PROJEKTERINGSHJÄLPMEDEL	
9.1	ATT SKAPA ETT SOLVÄRMT LÅGENERGIHUS	
	Brukningsmönster	340
	Ett nytt sätt att leva	340
	Tekniska system m m	341
	Tomtens förutsättningar	341
	Om givna och valda förutsättningar	342
9.2	PROJEKTERINGSHJÄLPMEDEL	
	Skuggstudier	342
9.3	OM STRATEGIER	343
9.4	VAL AV DELSYSTEM	
	Delsystem	343
	Alternativ inom delsystemen	344
	Tabell med sammanställning av delsystem	347
9.5	BYGGNADENS TERMISKA EGENSKAPER	
	Specifika transmissionsförluster	348
	Specifika ventilationsförluster vid självdragsventilation	348
	Specifika ventilationsförluster vid mekanisk ventilation	349
	Specifika värmeförluster: Exempel	350

9.6	BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV	
	Stora datorer	351
	Mikrodatorer	351
	Handräkning med BKL-metoden	352
	BKL-metoden, instrålning	353
	BKL-metoden, värmebehov	354
	BKL-metoden, exempel	355
	Solrum, temperaturer	356
	Solrum, värmebesparing	357
	Solrum, exempel	358
10.	EGNA EXEMPEL	
10.1	MÖJA	
	Fritidshus Möja 1957–58	362
10.2	VETLANDA	
	Friliggande enfamiljshus Vetlanda 1974–76	366
10.3	NYCKELHUS	
	Typhus 1976	371
10.4	SMÅLANDS TABERG	
	Flerfamiljshus Smålands Taberg 1976–81	373
10.5	LIMHAMN	
	Friliggande enfamiljshus Limhamn 1980–82	380
10.6	STRÅLSJÖHUSET	
	Strålsjöhuset Älta 1980–83	385
10.7	SÖDERTUNA	
	Solvärmestadsdel Södertuna 1980–85	389
10.8	ÄLVKARLEBY	
	Vattenfalls experimenthusprojekt i Älvkarleby 1982–	395
10.9	GUDÖ	
	Terrasshusområde Gudö, Tyresö 1983–86	398
	REFERENSLITTERATUR	401

1. LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET?

- 1.1 ENERGI- OCH RESURSHUSHÅLLNING**
- 1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET?**

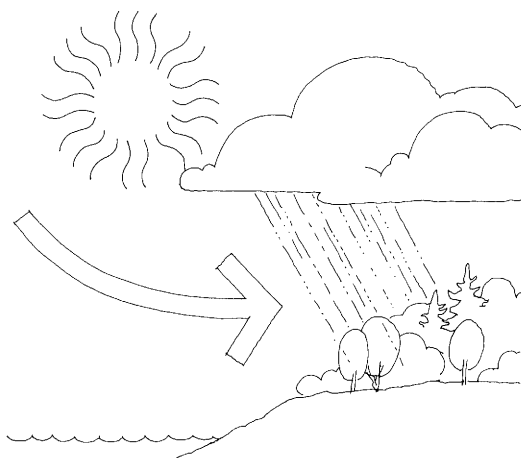
1.1 ENERGI- OCH RESURSHUSHÅLLNING – ett moraliskt ansvar

God arkitektur speglar sin samtids värderingar och behov. Utöver tillgodoseendet av sociala, ekonomiska, tekniska och estetiska krav och önskemål måste arkitekten också ansvara för hushållning med naturresurserna vid all planering och byggnadsutformning. I konsekvensanalysen måste den ekologiska aspekten av vårt handlande beaktas med avseende på kommande generationers möjligheter att överleva. Så långt möjligt bör vi vid byggande och drift ta till vara energin i sol, vind- och vattenkraft, i växande skog och gröda samt hushålla med icke förnyelsebara energi- och naturresurser.

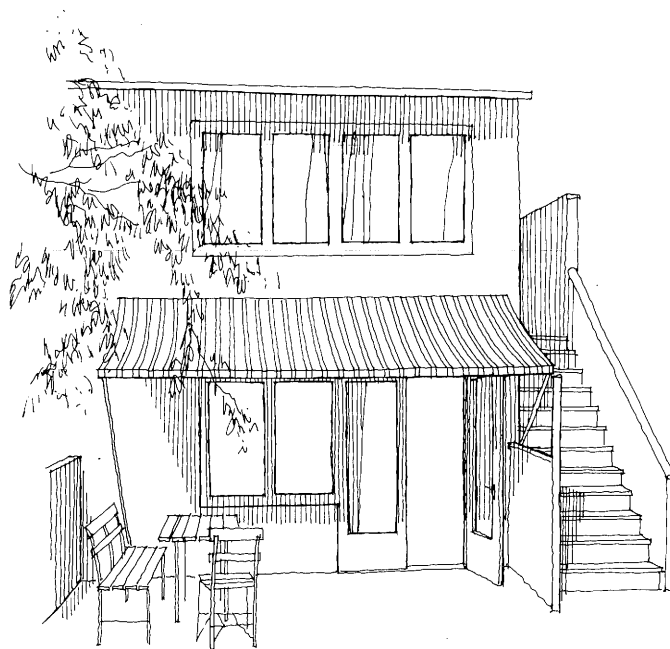
Vi, Bo Adamson och Bengt Hidemark, har bland annat reagerat för att hus i modern tid fått en alltför statisk plan- och byggnadsutformning utan att speciell hänsyn tagits till årstidernas klimatväxlingar. För att bättre tillvarata solvärmen borde husen anpassas till årstidsvariationer, tex med avseende på fönsterytors dimensioner och placering vid utformningen av fasta alternativt rörliga solskydd eller genom att tillämpa en zonindelning i grupperingen av rum.

I vårt forsknings- och utvecklingsarbete har vi behövt ta fram ny kunskap för att lösa de uppgifter vi ställts inför. Vi har samlat denna vår kunskap i handboksform för att göra den tillgänglig i första hand för projektörer.

Denna handbok innebär inte någon revolutionerande förändring av plan- och projekteringsprocessen. Till den traditionella projekteringen avser vi enbart att foga ett vidgat kunnande så att energi- och resurshushållning beaktas i samma grad som andra faktorer som styr och påverkar vår byggnadsutformning.

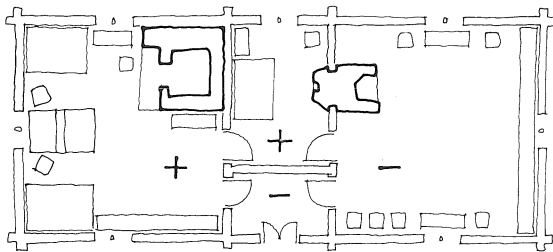
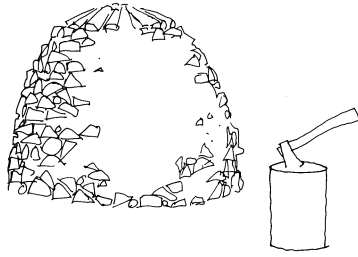


Sol-vind-regn-växtlighet-kraft.

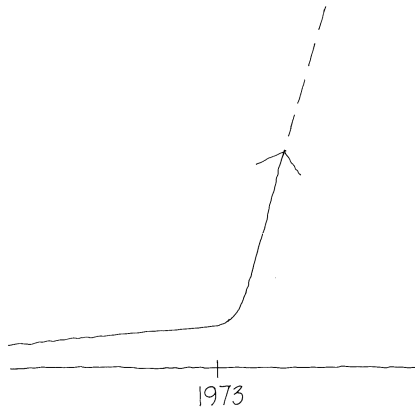


Under 30-talet ritade man för att leva med sol och vind, skugga och lä.

1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? Energin har blivit en dyr resurs



Vintertid levde man huvudsakligen i köket – storstugan var mestadels ouppvärmd.



Oljekrisen – prisutvecklingen.

Energi i form av mekaniskt arbete och värme har i vårt klimat sedan äldre tider varit en dyr resurs. Människokraft och hästkraft har varit kostsamma i förhållande till levnadskostnaderna och det är först på de senaste hundra åren som maskiner kunnat ersätta sådan kraft. Värme har också varit dyrbar med ved som huvudsakligaste energikälla. Vid husuppvärmningen förbrändes förr ved och vedavfall, vilket emellertid ofta krävde mycket arbete att samla ihop. Man var därför tvungen att hushålla med bränslet. Man höll låga temperaturer i de rum som utnyttjades, en del rum hölls avstängda och kalla under större delen av vintern. När städerna efter industrialismens genombrott kraftigt ökade sin befolkning fick man det svårare att själv skaffa fram sitt bränsle. Man blev tvungen att köpa bränsle, som ofta var mycket dyrt i förhållande till lönerna.

Även om kokseldade kaminer underlättade uppvärmningen i lägenheterna i städerna så var koksen också ett dyrbart bränsle som i början var förbehållet de bättre situerade. Centralvärmen innebar det stora genombrottet vad gäller bekvämlighet. Oftast eldades pannorna med ved, senare med kol. Uppvärmningskostnaderna var dock höga och bekvämligheten blev till en början förbehållen de rika.

Det var först efter andra världskriget som den billiga oljan kunde sänka uppvärmningskostnaderna. I varje fall gällde detta intill 1973, före vilket år produktionskostnaderna i huvudsak bestämde priset. Suezkrisen 1956 gav oss dock en föraning om oljetillförselns och oljeprisets känslighet. Det kan vara intressant att notera att efter Suezkrisen kunde man få extra statliga lån för treglasfönster och extra isolering i nya hus. Detta upphörde senare under 1960-talet. Efter 1973 har priset på eldningsolja stigit från ca 150–200 kr/m³ till 2 500 kr/m³ (1984). Priset är nu totalt frikopplat från produktionskostnaderna.

Energin har åter blivit en dyr resurs som vi måste hushålla med.

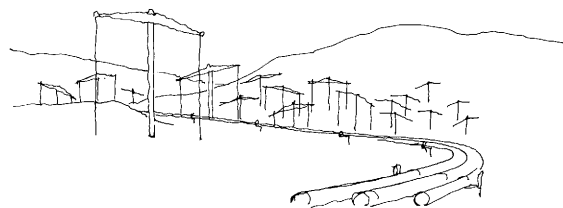
1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? Energietik

Den billiga energi som blev tillgänglig efter kriget för uppvärmning av byggnader kom från jordens oljereserver. Dessa är naturligtvis begränsade och man har diskuterat hur länge de kan räcka. Visserligen har man hittat nya oljetillgångar men den tidrymd som man hela tiden har diskuterat är 30–50 år. Redan vid 1960-talets slut varnades i Sverige för en energipriskris, som då bedömdes skulle kunna komma på 1980-talet. Slutsatsen var att man borde satsa på kolteknologi, vilken då bedömdes kräva ett utvecklingsarbete under minst tio år. Kolet bedömdes kunna räcka ca 400 år. Kärnenergin var för många den slutliga lösningen på energiproblemet.

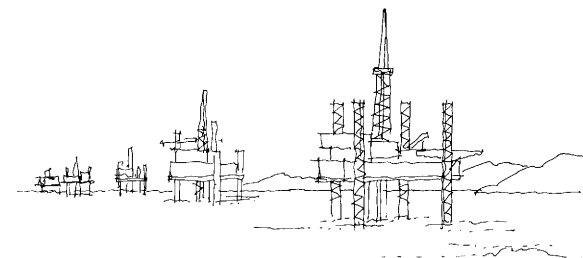
Man kan fastslå att utnyttjandet av begränsade naturresurser innebär att kommande generationer berövas dessa resurser. Det kan naturligtvis hävdas att kommande generationer kommer att hitta eller utnyttja nya resurser som gör dem oberoende av att vi redan utnyttjat "våra" resurser. Kvar står emellertid att en stor del av vår nuvarande levnadsstandard har åstadkommit genom ett kraftigt och kortsiktigt utnyttjande av begränsade naturresurser. I vilken mån detta skett på bekostnad av kommande generationers levnadsstandard kan diskuteras, men författarna har den uppfattningen att så skett.

Energietik är därför att i första hand utnyttja förnyelsebara energikällor som biomassa, sol, vind, vattenkraft osv. Om man utnyttjar begränsade energikällor måste detta ske med yttersta sparsamhet och betraktas som en övergångsform.

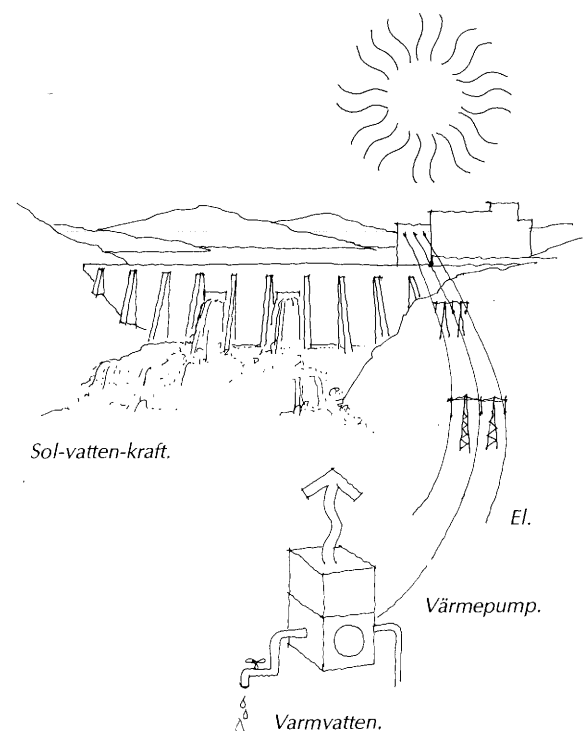
Energietik är också att utnyttja energikällorna på det bästa, mest energihushållande, sättet. Elkraft kan naturligtvis användas för att värma vatten till tex 50°C i en elpanna. Det är emellertid också möjligt att genom en eldriven värmepump använda en lågvärdig energikälla, tex den utgående ventilationsluften, för att värma vatten till 50°C. Då behöver man ej tillföra mer än en tredjedel så mycket elkraft till värmepumpen som det behövdes för att direkt värma vattnet i en elpanna.



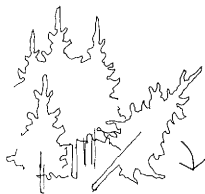
Oljefält till lands.



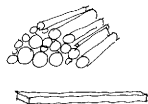
Oljefält till sjöss.



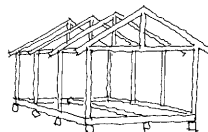
Sol-vatten-kraft.



Skog.



Timmer.

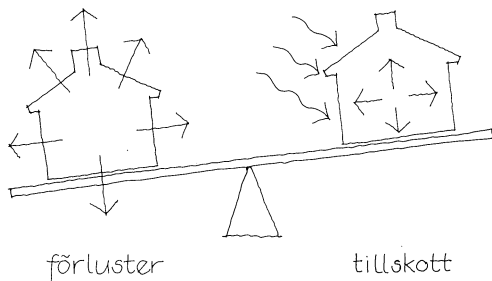
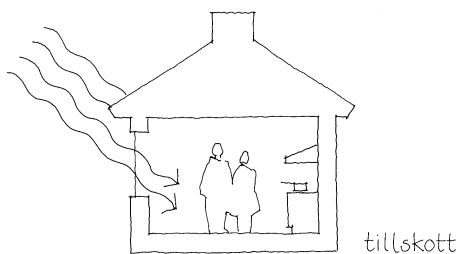
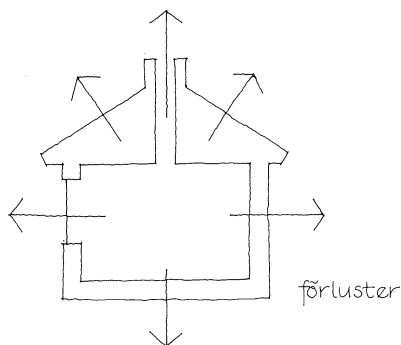


Trästommar.



Trähus.

1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? Värmeförluster och värmertilförsel



En uppvärmd byggnad i vårt klimat har under större delen av året högre temperatur inomhus än utomhus. Man får då värmeförluster dels genom byggnadens "skal" och dels genom att ventilationsluften släpps ut med högre temperatur än den tillförda uteluften har. Dessa värmeförluster måste kompenseras genom värmertilförsel till byggnaden.

Värmeförlusterna genom byggnadens skal utgörs av värmetransmission genom ytterväggar, fönster, tak och grund samt av ventilationsförluster genom att frånluften släpps ut med rumstemperatur. Genom värmeväxling mellan från- och tilluft kan man släppa ut ventilationsluft med lägre temperatur än rumsluften. Vidare har man avloppsförluster genom att avloppsvatten släpps ut från byggnaden med högre temperatur än det tillförda kallvattnet har. Avloppsförlusterna beror dels på uppvärmningen av varmvatten dels på den oavsiktliga uppvärmningen som sker i huset av ingående kallvatten. Ett visst värmertilskott till huset sker också från varmvattensystemet.

Värmertilförsel sker också genom personer, elektriska apparater och solvärmertilskott. Denna värmertilförsel har längre fram kallats boendevärme, eftersom den härrör från boendet. Boendevärmen tillförs huset i dess helhet. Om denna värme kan utnyttjas för husets uppvärmning beror på hur värmertilförseln i övrigt regleras. Samma gäller för den sol- och himmelstrålning som transmitteras in genom glaspartier i byggnaden. Ibland kallas boende- och solvärme för "gratisvärme".

För husets uppvärmning under uppvärmningssäsongen samt för värmning av varmvatten behövs tillsatsvärme från någon energikälla.

Genom energihushållning i form av mycket god värmeisolering, värmeåtervinning på ventilationsluften och liten kall- och varmvattenförbrukning kan värmeförlusterna sänkas. Gratisvärmens är emellertid oförändrad och uppvärmningsbehovet utöver gratisvärmens minskas procentuellt mer än värmeförlusterna.

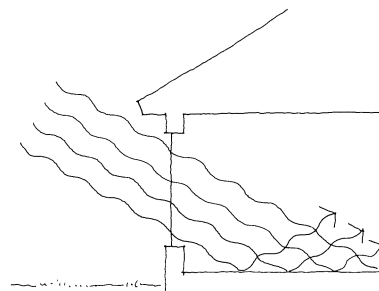
1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? Energihushållning

Lågenergihus innebär att en byggnad kräver liten tillsatsenergi. Detta sker genom att man minskar på värmeförlusterna samt att man utnyttjar boende- och solvärme i så stor utsträckning som möjligt. Utformningen av lågenergihus innebär således både hushållning med tillskottsvärme och utnyttjande av "gratisvärme". Detta återspeglas av denna boks titel: "Sol Energi Form".

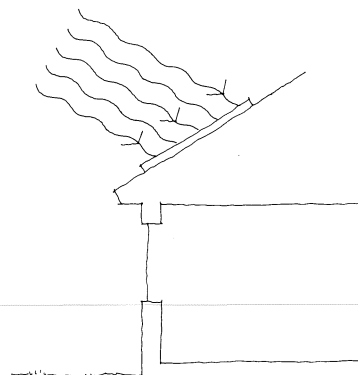
Minskning av värmeförluster genom värmeisolerings och värmeåtervinning kräver uppoffring av pengar eftersom värmeisolering och apparater ökar byggnadskostnaderna. Man ställs således inför ett lönsamhetsproblem: Hur mycket lönar det sig att värmeisolera? Lönar sig värmeåtervinning? Detta i sin tur kräver uppskattning av framtida energipris, utnyttjningstid för åtgärden, ränta osv. Klart är dock att ökade energikostnader medger ökad värmeisolering och förbättrar lönsamheten för värmeåtervinning.

Solvärmetillskott genom glaspartier kan under uppvärmningssäsongen utnyttjas för uppvärmning av byggnaden, under förutsättning att tillskottsvärmen regleras efter rumstemperaturen. Söderfönster är särskilt lämpade för solvärmetillskott eftersom de har sin största instrålning under vår och höst – större än under sommaren. Det är således frestande att utforma byggnader med mycket stora söderfönster. Detta kan emellertid medföra att man får övertemperaturer under sommarhalvåret. Utnyttjande av solvärme innefattar således också lämpliga anordningar för att förhindra alltför höga temperaturer inomhus under sommarhalvåret, t ex solskydd, värmelagrande massa inomhus och ökad ventilation.

Solenergin kan också utnyttjas genom särskilda solfångaresystem, som omvandlar solenergin till varmt vatten eller till varm luft. Sådana system kallas "aktiva" till skillnad mot solvärmeutnyttjande genom byggnadsutformningen, vilket brukar betecknas som "passivt". Aktivt solvärmeutnyttjande kräver investeringar medan det passiva solvärmeutnyttjandet i regel kan ske genom en klok byggnadsutformning.



passiv



aktiv

Passiv energiteknik resp aktiv.

1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? Från SBN 67 till SUPER 84

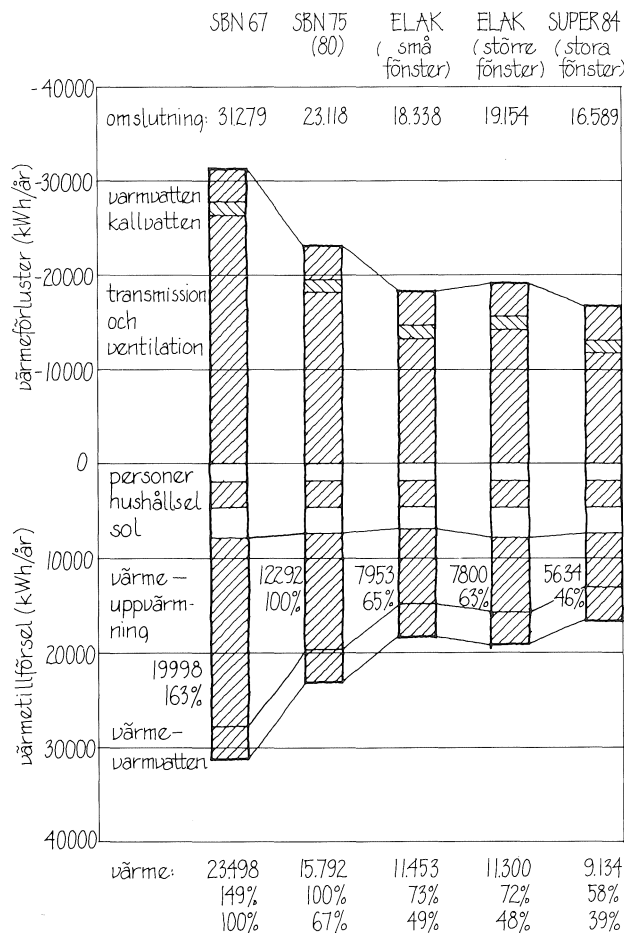


Diagram visande normutvecklingen där SBN 75 = 100 %.

Svensk Byggnorm 1967 (SBN 67) var gällande när oljekrisen kom 1973. Denna norm krävde att ytterväggar skulle ha ett värmegenomgångstal som motsvarar ca 60 mm högvärdig värmeisolering. För tak eller vindsbjälklag krävdes ca 100 mm värmeisolering och för fönster två glas. Många hus, särskilt trähus, var dock bättre värmeisolerade än normen. Värmeförlusterna för ett 105 m² enplans småhus var, som figuren visar, ca 31 000 kWh/år. Om husets värmeförlust reglerades genom rumstermostater, vilket var vanligt vid elradiatorer, kunde man utnyttja gratisvärmerna, ca 8 000 kWh, och behöva inte tillföra mer än ca 23 000 kWh per år.

SBN 75 var den byggnorm som skulle återspegla oljekrisens ökade energikostnader. Den krävde ungefär dubbelt så mycket värmeisolering i ytterväggar och tak som SBN 67. Vidare krävdes treglasfönster, en begränsad fönsteryta på 15 %, men ej värmeåtervinning på ventilationsluften för småhus – för större hus krävdes dock återvinning. För det nämnda småhuset minskade värmeförlusterna till 23 000 kWh/år och värmeförlustskottet till ca 16 000 kWh/år, 67 % av SBN 67. Genom den något kortare uppvärmningssäsongen, som blev en följd av de mindre värmeförlusterna, så minskas talvärdena för gratisvärmeutnyttjandet något.

Elanvändningskommittén, ELAK, som hade att ta ställning till när direktverkande elvärme skulle få utnyttjas, fann att mycket energisnåla småhus borde kunna få utnyttja elvärme. Två exempel, som uppfyller ELAK-bestämmelserna, visas i figuren, ett hus med små och ett med stora fönster åt söder. Man ser att värmeförlusterna blir ca 19 000 kWh/år och tillskottsvärmen ca 11 400 kWh/år. I båda fallen utnyttjas värmeväxling på ventilationsluften.

Ett småhus som optimeras efter dagens energipris (1984) och förväntad energiprisökning får en värmeisolering i ytterväggar motsvarande 260 mm högvärdig isolering och i tak ca 350 mm. Fönstren utförs med fyra glas eller likvärdigt och frånluften förses med värmeåtervinning. Tillskottsvärmen blir endast ca 9 000 kWh/år, vilket endast är ca 39 % av tillskottsvärmen i SBN 67-huset. Gratisvärmerna svarar för hela 45 % av värmeförlusterna.

1.2 LÅGENERGIHUS – VARFÖR DET? SBN 67 jämfört med SUPER 84

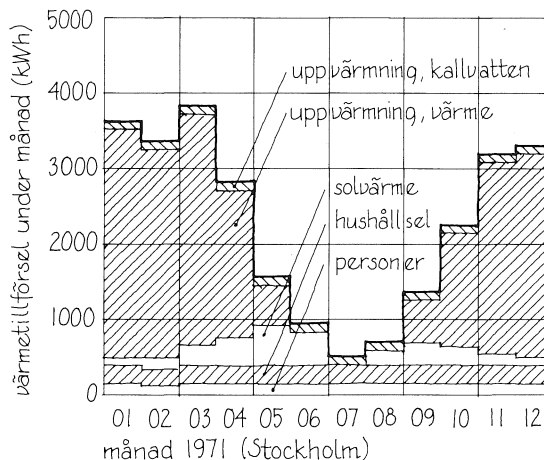
Vi skall närmare analysera värmebalansen för det aktuella småhuset, utformat enligt SBN 67 och SUPER 84. Nedan visas värmebalansen under uppvärmningssäsongen för resp hus:

	SBN 67		SUPER 84	
	kWh/år	(%)	kWh/år	(%)
<i>Värmeförluster (exkl varmvatten)</i>				
Transmission och ventilation	26 460	(95)	11 770	(90)
Uppvärmning av kallvatten	1 310	(5)	1 310	(10)
Summa:	27 770	(100)	13 080	(100)
<i>Värmetillförsel (exkl varmvatten)</i>				
Boendevärme	4 630	(17)	4 500	(34)
Solvärme	3 140	(11)	2 940	(23)
Tillskottsvärme	20 000	(72)	5 640	(43)
Summa:	27 770	(100)	13 080	(100)

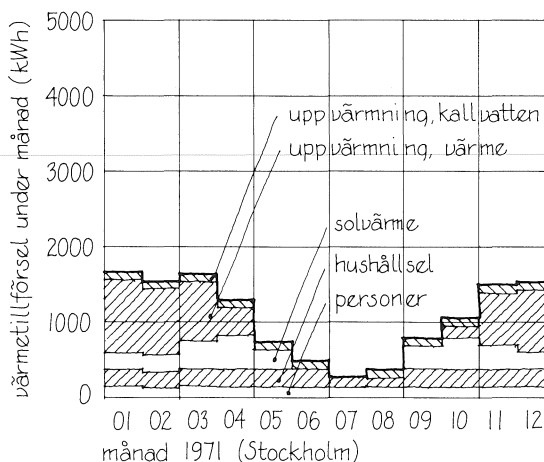
Av värmebalanserna ovan ser man att värmeförlusterna sjunker från 27 770 kWh/år (SBN 67) till 13 080 kWh/år (SUPER 84), dvs med 53 %. Den erforderliga tillskottsvärmen för uppvärmning exkl varmvatten har emellertid sjunkit från 20 000 kWh/år till 5 640 kWh/år, dvs med 72 %. Erforderlig tillskottsvärme för uppvärmning är således mindre än en tredjedel i jämförelse med SBN 67. Det är också intressant att notera att gratisvärme svarar vid SBN 67 för 28 % av värmetillförseln medan vid SUPER 84 gratisvärme svarar för hela 57 % av värmetillförseln. Vid lågenergihus är det alltså viktigt att reglersystemet för värmetillförseln är så känsligt att gratisvärmen verkligen kan utnyttjas.

Det kan också vara lärolikt att jämföra värmetillförseln månad för månad under det år, 1971, som beräkningarna avser. I figuren visas en sådan jämförelse. Man ser att uppvärmningsbehovet i SUPER 84 är mycket mindre än i SBN 67. I det senare fallet måste man under vintermånaderna tillföra ca 3 500 kWh/mån medan man för SUPER 84 inte behöver tillföra mer än ca 1 500 kWh/mån. Om SUPER 84 är elvärt så kommer effektbelastningen på elnätet att ha minskat i ungefär samma grad som energibehovet under vintermånaderna.

SBN 67



SUPER 84



Månadsvis värmebehov. En jämförelse mellan SBN 67 och SUPER 84.

2. PRINCIPER FÖR BYGGNADS- UTFORMNING

- 2.1 ORIENTERING
- 2.2 SKÄRMNING
- 2.3 REFLEKTION
- 2.4 BYGGNADENS FORM
- 2.5 PLANDIFFERENTIERING
- 2.6 UPPDELNING I 1–2 PLAN
- 2.7 FÖNSTER SOM SOLFÅNGARE
- 2.8 GLASADE RUM
- 2.9 SOLAVSKÄRMNING
- 2.10 VÄRMELAGRING I BYGGNADSDELAR
- 2.11 SOUTERRÄNGHUS
- 2.12 ALTERNATIVA VÄRMEKÄLLOR
- 2.13 SÄSONGSANPASSNING
- 2.14 ARKITEKTONISK UTFORMNING

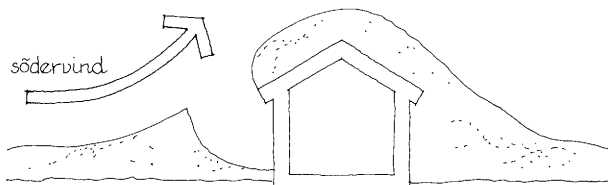
2.1 ORIENTERING

Ett hus, som i sin utformning baseras på goda solmottagningsförhållanden, måste självklart vara orienterat mot soligt väderstreck med prioritering söder. Terrängförhållanden, tomform, gatusträckningar, orienteringar på närliggande hus, planrestriktioner, värdefull vegetation, utsikt m m är ibland tvingande faktorer som omöjliggör en placering av hus rätt med hänsyn till ett maximalt solmottagande, varför en strikt orientering mot söder inte alltid kan medges. Som framgår av figuren utgör instrålningen i sydost och sydväst 85 % av den vid en rent sydlig orientering och en orientering mot öster resp väster ger i stort inte mer än hälften så mycket solvärme som en orientering mot söder. En orientering mot SO-S-SV bör alltså eftersträvas.

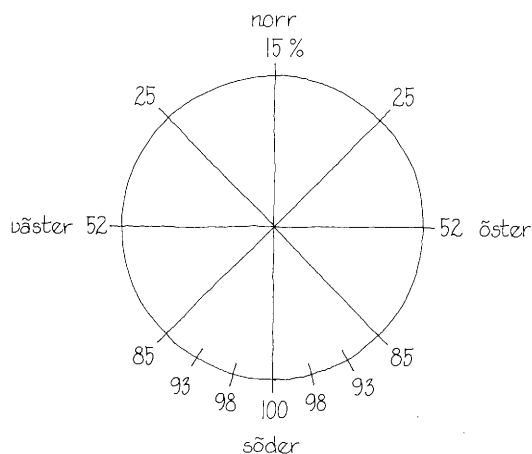
För verksamheter med önskvärt norrljus, t ex ateljéer, eller där värmestillskott i form av direkt solinstrålning genom fönster inte är önskvärt, t ex i rum med hög inre värmeproduktion, ömtåliga textilier, tavlor etc, är givetvis en söderorientering av fönsterfasader ej aktuell men jämväl kan t ex en fönsterlös murskiva orienteras mot söder för att på ett eller annat sätt laddas med solvärme att senare användas för nattuppvärmning av innanföriggande rum eller för förvärmning av friskluft.

Orienteringen spelar också stor roll vid val av väggars k-värden, minimering av otätheter, införande av vindfång, luftintag, fönsters värmebalanser i negativ respektive positiv riktning m m.

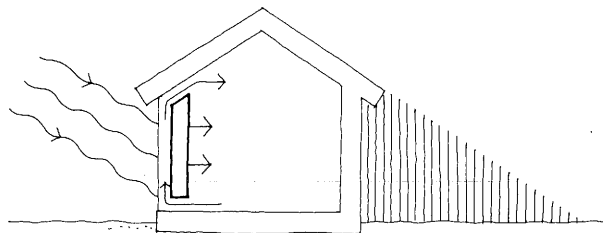
I norra Sverige, där snötillgången är god, kan man utöver snöns reflekterande egenskaper också tillvarata dess värmeisoleringsförmåga. Lokalt förhärskande vintervindar bör beaktas samtidigt med orienteringen mot solen. Reflexer vid vit snö, se kapitel 2.3 och 4.3.



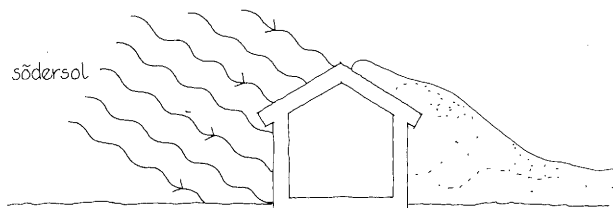
Snöfri vägg mot söder vid förhärskande sydliga vindar och värmeisolerande snöfickor i lä mot norr.



Källa: E Isfält, 1970.

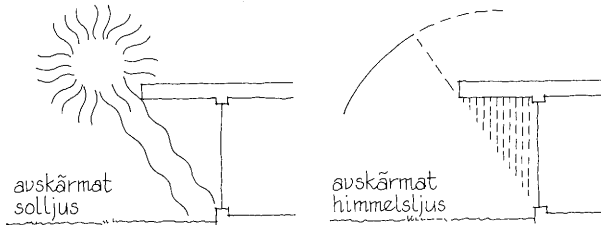
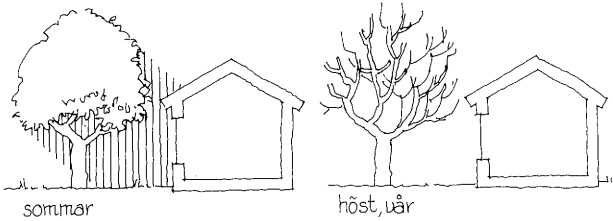
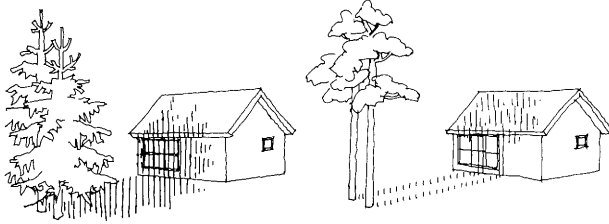
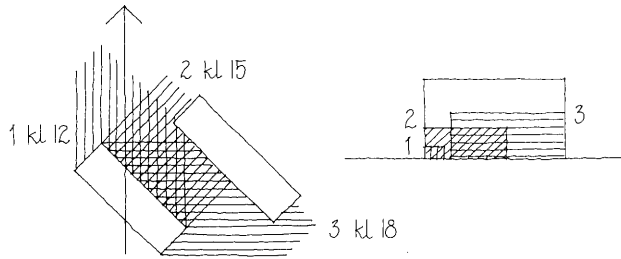
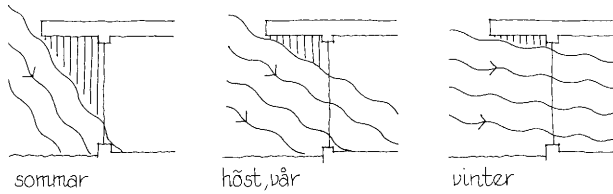


En värmeackumulerande södervänd vägg.



Snön på marken mot söder smälter snabbt, väggar och tak värms upp av solen under vårvintern.

2.2 SKÄRMNING



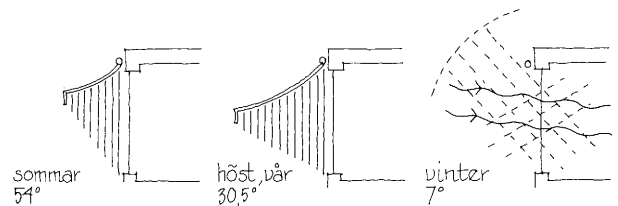
Några exempel på solavskärmning med fasta, rörliga och årstidsbundna skärmningar.

En annan viktig faktor vid placering och utformning av solvärmda hus är hänsynen till en ev horisontavskärmning av himmelsljus och direkt sol samt skuggningen av fasta föremål, som hus och vegeta-tion, i form av skogsriddar eller stora fristående träd-volymer eldyl. Vid noggranna beräkningar av värmeinflödet bör man ta hänsyn till dels denna maskning av solinfallet dels diffusstrålningen. Observera att en maskning i tät stadsbebyggelse kan bli olika våning för våning. Om man skall vara riktigt noggrann bör man ta hänsyn till detta vid energibehovsberäkningarna.

Träd har olika skuggande egenskaper. Barrträd behåller sin skuggande effekt över hela året jämfört med lövträd, som enbart är effektivt skuggande sommartid. Gran och tall är båda barrträd men de skiljer sig så tillvida att tallar maskar mindre det lågt infallande solljuset genom att solen strålar in under kronorna. Den maskning de skuggande tallstam-marna ger är oftast försumbar.

Perioden från ett lövträds lövsättning till dess löv-fällning sammanfaller i stort med sommaren, dvs den period då man normalt har behov av en svalkande avskärmning – eller en "passiv kylning". Lövvolymer tilltar eller avtar i täthet i fas med av-skuggningsbehovet – en ekologiskt sett utsökt met-od för skuggning–kylning.

En fast, utskjutande takfot, balkong el dyl avskär-mar på ett effektivt sätt icke önskvärd värme-strålning sommartid. Man bör observera att vid stora överhäng avskärmas också sol- och himmelsljuset kraftigt under uppvärmningssäsongen, vilket är ne-gativt, samtidigt som överhänget bidrar till minskad avkylning av fasader och fönsterytor framförallt nat-tetid vid högtryck, vilket är positivt.

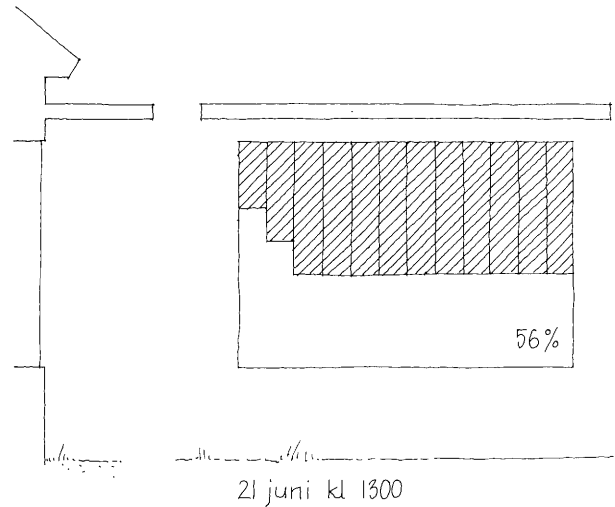


2.2 SKÄRMNING (forts)

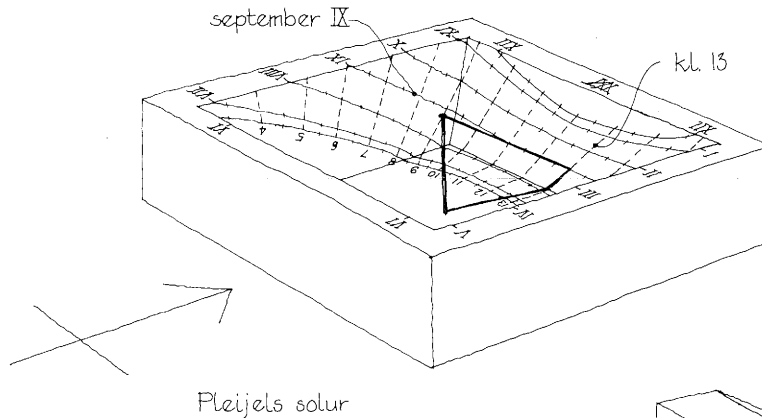
Rörliga solavskärmningar i form av markiser är därvidlag bättre än fasta, då de endast avskärmar de dagar under korta perioder som har icke önskvärda soltillskott och för övrigt ger möjlighet till både solljus och himmelsljus.

Med hjälp av solavskärmningsdiagram och/eller modellstudier med Pleijels solur kan man få en god uppfattning av solinfallet över dygn och år. Viktigast med tanke på solvärmets tillskott är studier av Ö-S-V-situationer och under tiden februari t o m oktober.

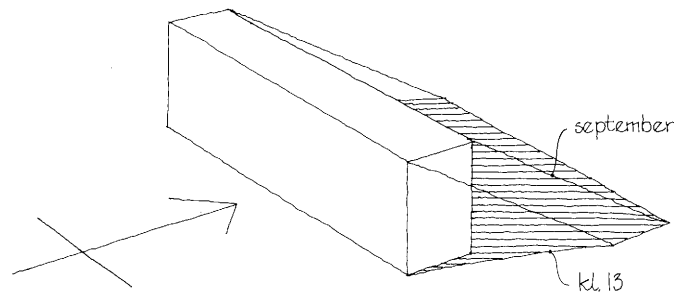
Med hjälp av MEPAs programelement "sol-skugga" kan man för varierande avskärmning räkna ut och i bild beskriva skuggans läge och omfattning uttryckt i procent av fönsterytan. Värmeinstrålningen genom fönster kan vid noggranna beräkningar med hjälp av sol-skugga-studierna korrigeras i berörd omfattning dag för dag över hela året.



"Sol-skugga" enl MEPA:s grafik. (MEPA = Micro Computer Energy Program for Architects, B Andersson, B Hidemark).



G Pleijels solur placeras på modellens markplan, parallellt med nord-sydlinjen och riktas mot norr. Genom att luta och vrida modellen i förhållande till en riktad ljusstråle kan skuggbilden motläsas mot soluret för varje soltillfälle över hela året.



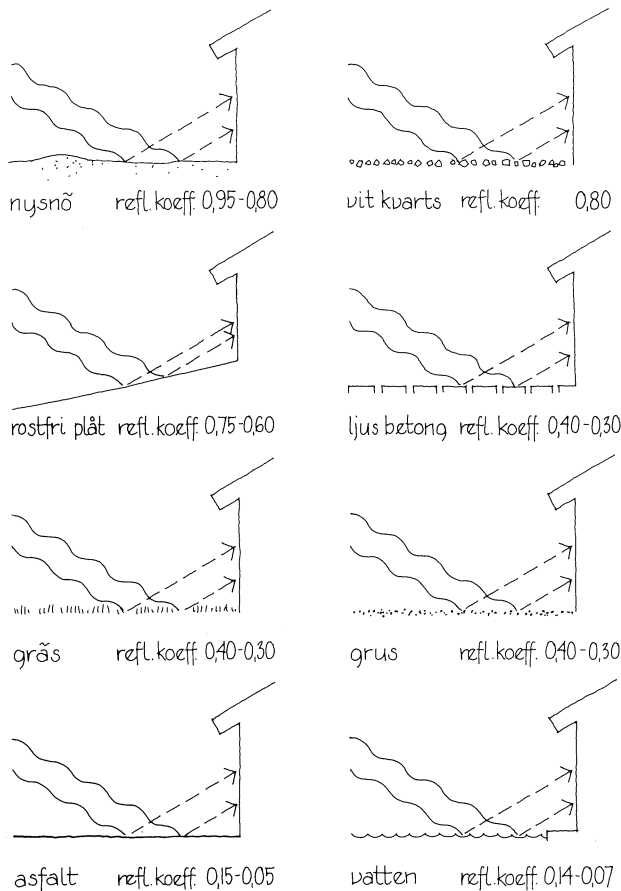
2.3 REFLEKTION

Vill man maximalt utnyttja solmottagningsmöjligheterna bör man också ta vara på det reflekterade ljuset från husets näromgivning. Observeras bör att olika markskikt ger olika reflektion vid lågt infallande ljus. Ljusa närliggande fasader och reflekterande tak kan ge relativt bra tillslag vintertid då solen står lågt och strålningsintensiteten inte är så stor.

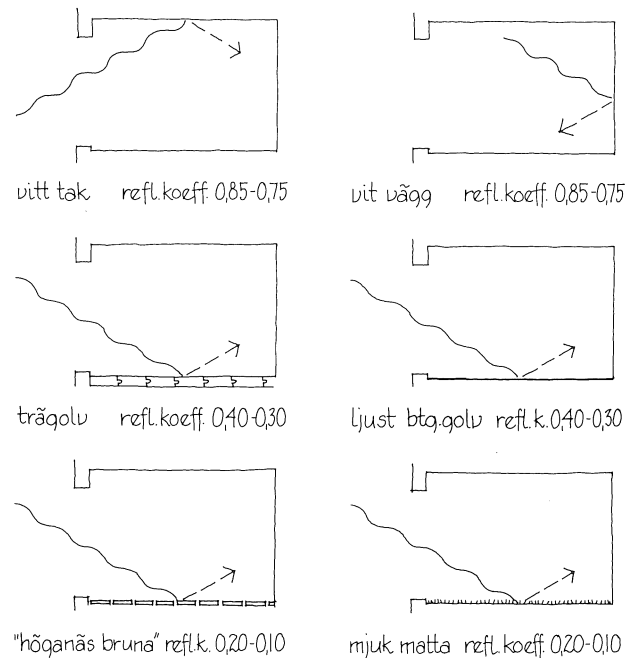
Spegling från stora fria vattenytor eller från spegeldammar nära inpå huset kan ge sin effekt. Att välja starkt reflekterande ytskikt på mark i form av vitt kvartsgrus eller på närliggande tak i form av rostfri plåt har ibland prövats för att öka instrålningen mot väggmonterade vertikala solfångare. Effekten blir givetvis densamma mot ett fönster men risken för besvärande bländning inomhus måste beaktas vid förstärkt reflektering.

Reflektion från ytor inomhus som golv, väggar och tak bidrar till den inkommande värmeinstrålningens spridning och därmed till uppvärmningen.

Nyfallen, orörd, vit snö har en icke oväsentlig reflekterande förmåga under uppvärmningssäsongen, särskilt i norr och vid låga solvinklar.



Några exempel på reflektion för olika mark- och ytskikt.



2.4 BYGGNADENS FORM

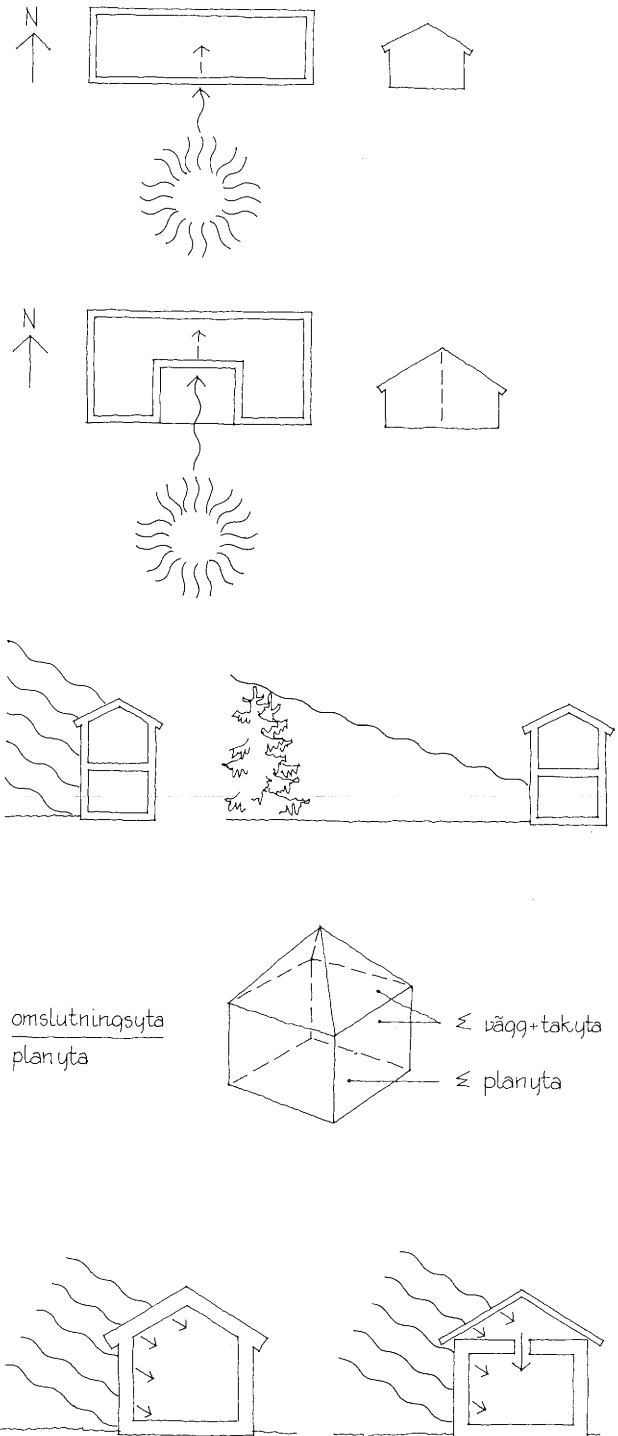
Om en av egenskaperna hos solhus skall vara att motta solvärmen på bästa sätt räcker det inte med att enbart orientera huset mot soligt väderstreck. Man måste också fundera på hur huset skall utformas för att så effektivt som möjligt ta emot och dra nytta av solvärmen. Den första idé som infinner sig är att pröva ett långsmalt hus med en långsida mot sydligt väderstreck. Därmed skapar man största möjliga mottagningsyta mot söder – en mottagningsyta som på ett eller annat sätt förmedlar tillskottsvärmen till innanförliggande rumsvolym.

En annan intressant lösning är ett mot söder riktat glasat rum som på tre sidor är motbyggt med rum, som mer eller mindre står i kontakt med det glasade rummet.

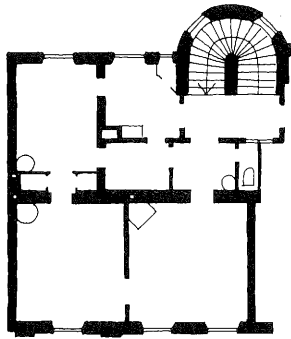
Utgår man från en tvåvåningslösning ökar den sydligt vända fasadens yta relativt tillgänglig rumsvolym. Därmed ökar också soltillskottet relativt uppvärmd rumsvolym. Horisontavskärmningen bör logiskt sett minska för den övre våningen vilket bör ge ännu bättre solmottagningsförhållanden.

Byggnadens omslutningsyta relativt dess nyttoyta kan ses som en annan dimensioneringsfaktor av betydelse när det gäller värmeförluster mot omgivningen. Ett gott relationstal kan leda till en bättre energibalans. Ur värmeförlustsynpunkt vill man ha så liten omslutningsyta som möjligt samtidigt som man vill uppnå bästa möjliga solmottagningsyta. Det kan som synes lätt uppstå ett motsatsförhållande.

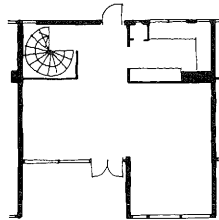
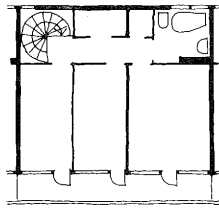
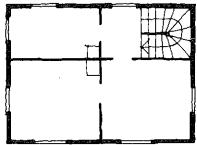
Inte enbart solvända fasader kan utgöra en naturlig solmottagningsyta utan tak kan också utnyttjas för en ökning av värmetillskottet. Om man kan och vill ta vara på detta effekttillskott bör byggnadens disposition i plan och sektion rumsligt samordnas med takformen eller också kan takyta och vind utnyttjas som solvärmemottagare för förvärmning av ventilationsluften.



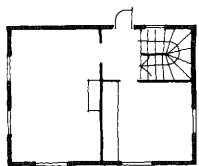
2.5 PLANDIFFERENTIERING



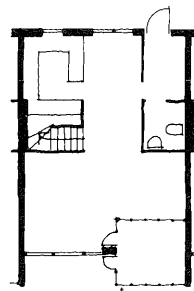
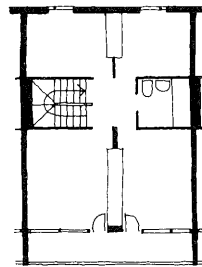
1800-tal



1930-tal



1940-tal



Radhus i två våningar med koncentrerad planyta och volym ger liten avkylningsyta samtidigt som uppvärmd och ventilerad volym är liten. Södervänd fasad ger solvärmestillskott.

Varje gång de yttre förutsättningarna i form av lagar och normer, krav och behov förändras, förändras också helt eller delvis byggnadens disposition och utseende. Nya konstruktionsprinciper, nya material och metoder leder också till nya husutformningar. Trettioalets sociala krav ledde till ljusa, luftiga och soliga bostäder som stod i stark kontrast till 1800-talsbebyggelsens rumsgestaltning och yttre arkitektur.

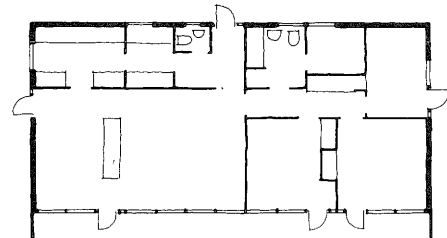
Energikris, beroende av oljeimport samt energiprisutveckling ställer nya krav på utformningen av våra bostäder och lokaler.

Dessa nya krav leder naturligt till nya plankoncept tillgodoseende byggandets övriga krav i förening med de nya energikraven.

I denna situation uppstår önskemålet om att fler-talet rum i så stor utsträckning som möjligt skall värmas av solen, i synnerhet rum med höga komfortkrav i förening med dagligt nyttjande.

Man kan även tänka sig en temperaturzonindelning om något är att vinna därmed ur energisynpunkt. Ju mindre planenheten är, desto svårare är det att genomföra och leva med flera temperaturzoner. Först när enheten kan organiseras funktionellt och tidsmässigt i avskiljbara zoner kan indelningen ge energivinster och kanske också upplevbara kvaliteter. Detta plankrav utöver tidigare leder direkt till helt nya plankoncept. Önskemålet om låga transmissionsförluster genom norrväggen talar för en planorganisation med en buffertzon av sekundärutrymmen mot norr vilket ytterligare ändrar förutsättningarna för planeringen.

Den nya synen på god relation mellan omslutningsyta/planyta i förening med en minimering av rumsytor, kommunikationsytor och uppvärmd-ventilerad volym ställer ytterligare krav på plandispositionen och plandifferentieringen.



Enplanshus med långsträckt uppglasad söderfasad.

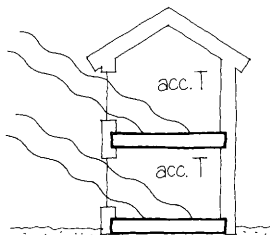
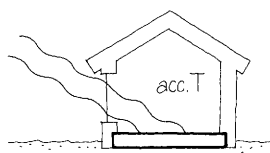
2.6 UPPDELNING I 1-2 PLAN

I avsnitt 2.4 om byggnadens form berördes en- och tvåplansbyggnader utifrån möjligheten att få en maximal solmottagningsyta mot sydligt väderstreck. Man kan lätt inse att en koncentrerad tvåplanslösning ger större möjlighet till att direkt värma varje rum med solens hjälp än en enplansbyggnad som måste få en oekonomisk utsträckning för att man skall kunna gruppera alla eller flertalet rum mot söder.

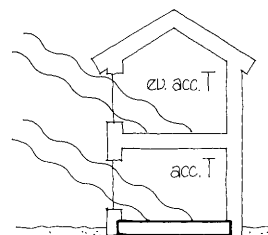
Tvåplanslösningen ger dessutom ett gott relationstal mellan planyta och omslutningsyta vilket reducerar transmissionsförlusterna.

Ett enplanshus med värmelagrande bjälklagsplatta kan relativt enkelt absorbera värmemetillskottet via fönstren. I den mån en tvåplanslösning även har ett mellanbjälklag med god värmeupptagningskapacitet kan temperaturen hållas inom acceptabla gränser trots stora fönster mot söder. Men om mellanbjälklaget är av lätt konstruktion måste fönsterytornas värmeförmedling reduceras i den övre våningen om inte önskade övertemperaturer skall uppstå. Eftersom vi oftast har sovrummen placerade på den övre våningen och värmen från bottenvåningen därtill stiger uppåt kan de lätt bli för varma till kvällen och natten. Den övre våningens övertemperatur kan antingen kylas bort genom vädring eller med hjälp av ökad ventilation eller också måste fönstren avskärmas under den soligaste delen av dagen.

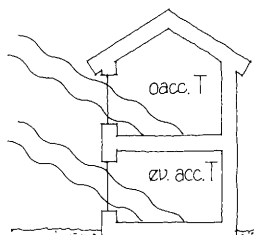
Om man är medveten om att man sover bättre i svala, väl ventilerade rum kan man tänka sig att i stället placera sovrummen i den undre våningen och ha dagligrum i den övre. I Norge har man prövat den principen för slutningshus. Detta verkar bestickande enkelt. De rum man önskar lite högre temperatur i ligger därmed i den varmaste zonen med stödvärme av stigande varmluft från den undre våningen.



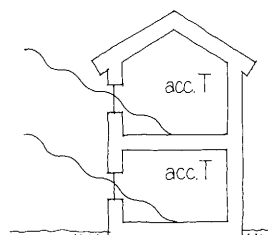
Tunga bjälklag av betong.



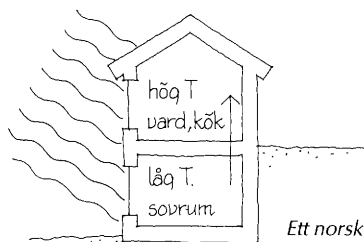
Enbart betong-bjälklag i bottenvåning.



lätt konstr., stora fönster



lätt konstr., små fönster

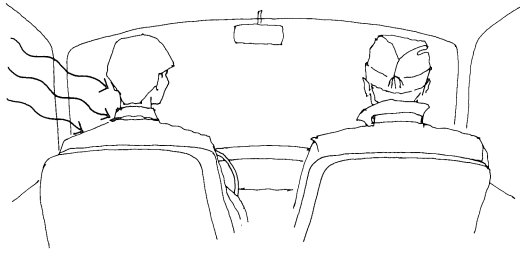


Ett norskt suterränghus.

	stora fönster	stora fönster	små fönster
yttervägg	tung	lätt	lätt
bärande konstruktion	tung	tung	lätt

Val av fönsterstorlekar i relation till stomme och omslutande väggar.

2.7 FÖNSTER SOM SOLFÅNGARE

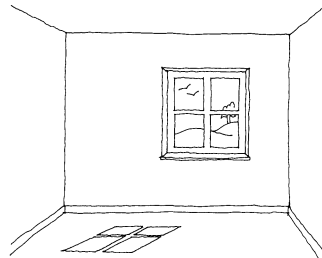
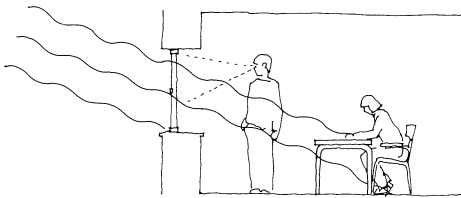
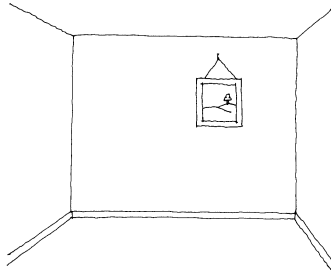
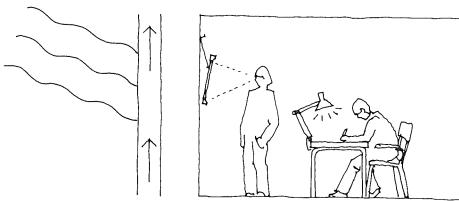


Vi har alla erfarenhet av hur varmt det kan bli innanför en fönsterruta eller bilruta omedelbart efter det att solen kommit fram ur molnen. Temperaturen kan snabbt bli för hög, vi söker oss till skuggan, skärmar av solen eller öppnar fönsterrutan för att kyla med hjälp av luften utanför. Effekten upplever vi starkast när det är kyligt ute.

Fönstret är med andra ord en effektiv och snabb solfångare. Till skillnad mot de aktiva solfångarna med någon form av inbyggda absorbenter och system för att distribuera mottagen värme kan man dubbelutnyttja fönster. Man kan i samma situation såväl förmedla värme utifrån och in som utnyttja fönstret för utsikt, insyn och dagsljusförmedling till rummet.

På detta sätt kan vi förena två viktiga funktioner i en. I den mån inte effekten av solvärmemottagning är tillräcklig kan fönstrets storlek ökas i denna fas av positiv värmetransport. En ökning av fönsterytan inom rimliga gränser i förhållande till normal fönstersättning och dimensionering kan vidtas utan större men för rumsgestaltning, fasadutformning eller inomhustemperatur.

Ökar man fönsterytan extremt får dessa värderingar omprövas. Med ökad fönsteryta kan följa ökat antal glasskikt för att på så sätt förbättra k-värdet under icke soltid. Men ökat antal skikt ger samtidigt mindre värmeinflöde och något sämre genomsiktighet. Upp till 4 glasskikt upplever man dock inte någon påtaglig försämring av genomsiktligheten vid glas av god kvalitet.



Två rum med helt olika kvaliteter, upplevelse- och energimässigt sätt.

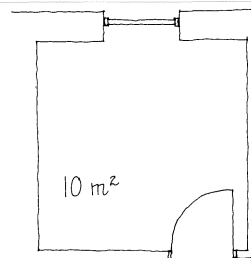
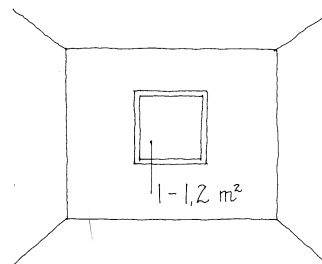
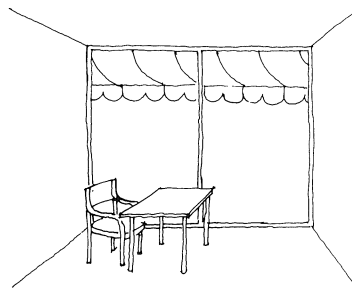
2.7 FÖNSTER SOM SOLFÅNGARE (forts)

Vid en påtaglig ökning av fönsterytan utöver den normala rekommenderas fasta glas för att därmed komma ifrån tunga rörliga konstruktioner. Samtidigt erhålls en god täthet.

Stora fönsterytor i små rum kan också ställa krav på rummets disposition i det att möblering in på fönstret av olika skäl kan omöjliggöras, vilket bör beaktas i arbetet med planlösning och rumsdimensionering.

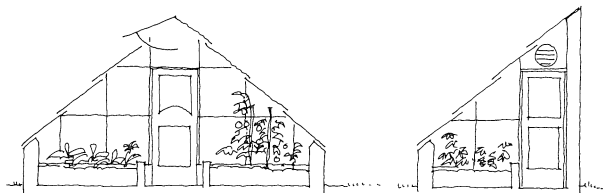
Stora fönster som ger övermått på sol- och dagsljus kan som tidigare nämnts också ge blekning och bländning, varför man bör se upp med detta vid val av textilier och inredning liksom vid färgsättning. För att avgöra vad som är stora fönster kan man säga att normala fönster för bostadsrum med hänsyn till dagsljussättning motsvarar 10–12 % av rumsytan. För klassrum med rumsdjup upp mot sju meter blir fönsterytan 15–20 % av klassrumsytan.

I rum med stor egen produktion av värme, tex i klassrum eller i kontor, får man vara försiktig med att öka fönsterytan utan att samtidigt kunna ta hand om värmetillskottet från solen på ett eller annat sätt.

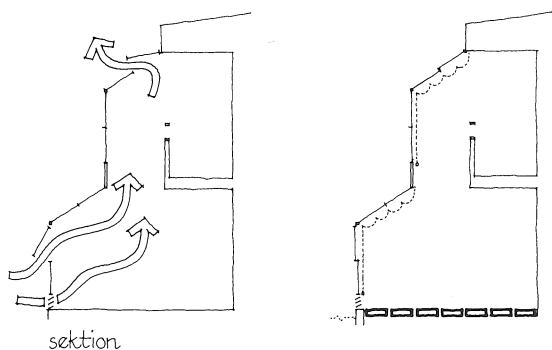
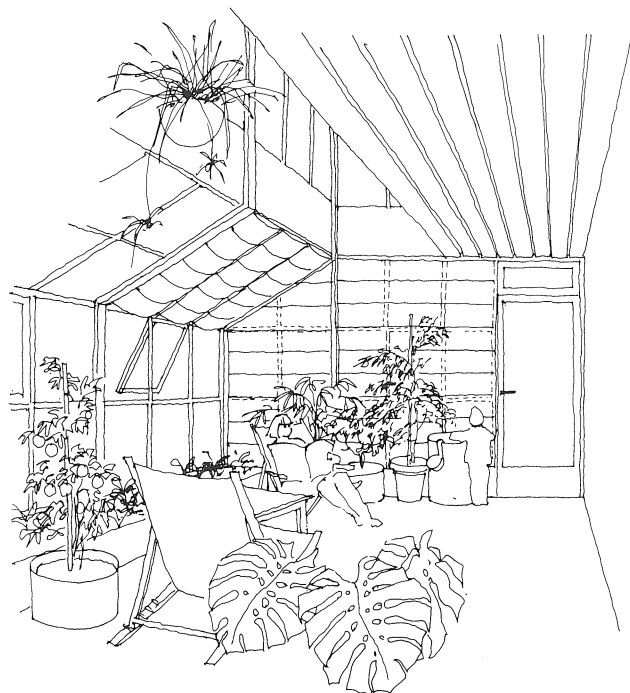


överst En extremt uppglasad yttervägg.
nederst Yttervägg med normalfönster som ger god dagsljusbelysning vid rumsdjup på 3–4 m.

2.8 GLASADE RUM



Traditionella växthus.



sektion

Glasat rum från experimenthus i Smålands-Taberg.

I trädgårdsmästerier och orangerier utnyttjades tidigt glasets drivhuseffekt för att enkelt och med små medel åstadkomma goda växtbetingelser – ljus och värme.

Sekelskiftets glasverandor utgör som redan visats intressanta exempel på utnyttjande av samma fenomen. På dessa verandor, oisolerade och enkelglasade samt utan annan värmekälla än solvärmens, kunde man få ett behagligt inomhusklimat för korta stunder mitt på dagen redan under senvinterns högttrycksdagar med kallt men soligt väder. Längre fram mot vår och sommar förlängdes utnyttjandetiden, och under soliga somrardagar fick man en icke acceptabel inomhustemperatur. Avskärmning och/eller vädring kunde snabbt göra inomhusklimatet dragligt igen.

Dessa verandor var oftast lätta konstruktioner med ytskikt av trä. De hade ingen värmeupptagande massa och blev därför snabbt uppvärmda men lika snabbt kalla när solen försvann.

Glasade rum blir allt vanligare i lågenergihus för att man skall kunna utnyttja dels drivhuseffekten för rummets egen uppvärmning, dels den varma luften i det glasade rummet för innanförhängande rums uppvärmning. Men också för att temperaturdifferensen mellan inne och ute minskas genom att det glasade rummet används som en buffertzona med högre lufttemperatur än utomhus. Resultatet blir en viss reducering av värmeförlusterna.

Glasade rums planmått bör studeras utifrån tänkt användning så att de verkligen kan utnyttjas effektivt och ofta den del av året då det glasade rummet är attraktivt.

Glasade rum bör alltid förses med en överdimensionerad ventilation som stegvis kan ökas beroende på årstid och mängd solvärme. I annat fall löper man lätt risken att oönskade övertemperaturer uppstår till nackdel för både människor och växter.

Avskärmade gardiner eller persienner är ett annat nödvändigt komplement liksom införandet av en dämpande massa i form av tex betongplattor, tunnor med vatten el dyl.

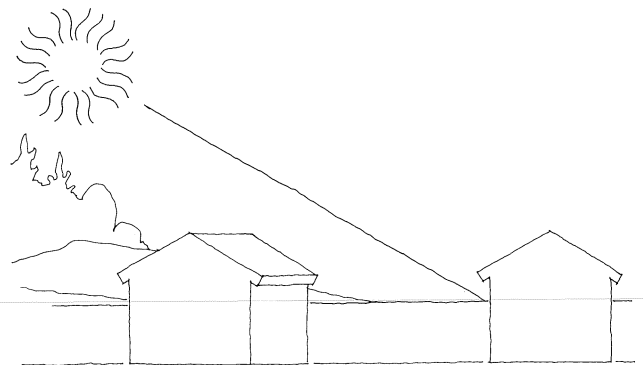
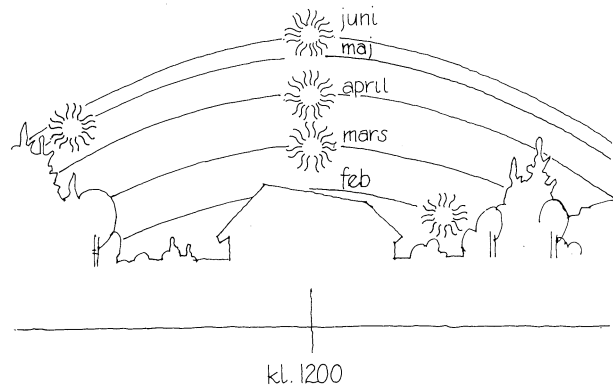
2.9 SOLAVSKÄRMNING

De yttre förutsättningarna för solmottagning och därmed också en byggnads solvärmestillskott bestäms till stor del vid val av tomt, av husets orientering med hänsyn till avskärmningen från fasta föremål i omgivningen samt av husets form och vald fönstersättning. För kortare eller längre perioder under året erfordras därtill en viss avskärmning av infallande sol för att antingen minska temperaturstegringen inomhus eller skugga av ett alltför skarpt solljus. Detta sker enklast med hjälp av fasta eller rörliga avskärmningar.

De fasta avskärmningarnas läge, utkragning och detaljutformning bestämmer när skugga erhålls och hur mycket. Dessa avskärmningar görs oftast säsongsberoende och ingår då som element i den passiva kylningen av husets inomhusklimat, gärna i kombination med korsdragsvädring. Det är viktigt att skärmande taksprång, balkonger eller skärmar ges rätta dimensioner avpassade för tilltänkt effekt under avsedd tid vid aktuell breddgrad, se 8.4. Som tidigare framhållits reducerar den fasta skärmen instrålningen av diffust ljus från himlen över hela året vilket återverkar negativt dels på värmestillskottet dels på dagsljusnivån inomhus.

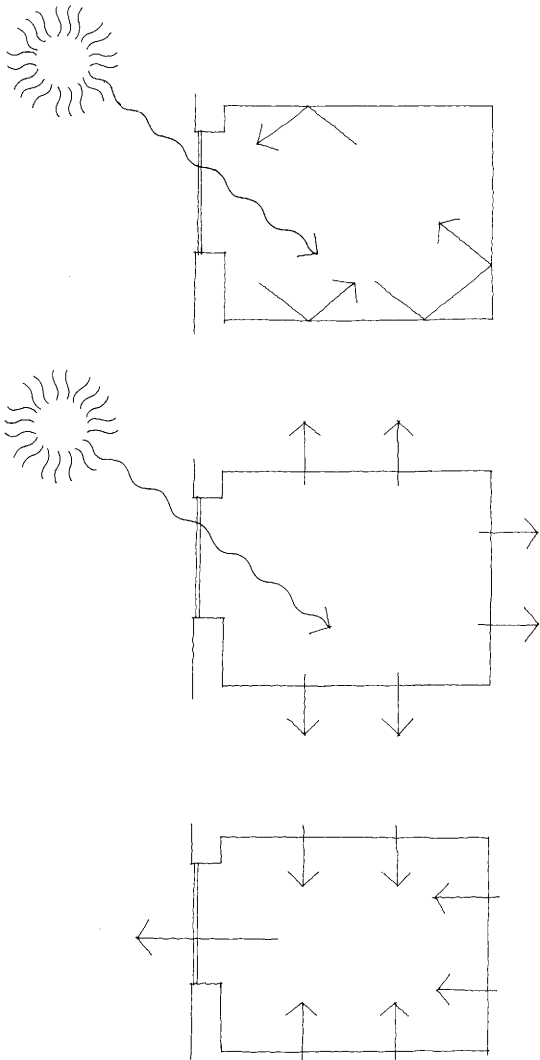
Med rörliga solavskärmningsanordningar av typ markiser, persienner, jalousier eller liknande kan såväl tillskottsvärme som dagsljus regleras momentant eller periodvis. Inomhusklimatet blir därmed jämnare. Den rörliga solavskärmningen ger byggnaden en årstidsanpassning som oftast inte bara berikar arkitekturen utan också ger nyttjarna kvaliteter i boendet eller arbetet.

Vad som väljs får avgöras från fall till fall med hänsyn till bl a yttre förutsättningar, anläggnings-, drifts- och underhållskostnader.



överst Solavskärmningens variation med årstid, solstånd och skärmande omgivning.

2.10 VÄRMELAGRING I BYGGNADSEDELAR



- överst Solen strålar in genom fönstret och ger långvågig värmestrålning.
mellan Värmen ackumuleras i väggar, golv och tak.
nederst När soltillskottet vänder i värmeförlust till omgivningen värmer rumsytorna rummet.

Vi har i tidigare avsnitt sett hur man på olika sätt kan påverka solvärmestillskottet inomhus. Mängden tillskott måste stå i relation till hur man tillgodogör sig värmen vid vald inomhuskomfort. Om rumstemperaturen överstiger den acceptabla nivån kommer man troligen att vädra bort överskottsvärmen snabbast möjligt och då har ju den ökade solmottagningen tappat sin centrala mening.

Om man däremot kan dämpa temperaturstegringen med hjälp av rumsomslutande värmeupptagande byggnadsdelar eller andra tillgängliga kylkapaciteter i samma takt som temperaturen tenderar att öka, vinner man två saker, nämligen dels en enkel temperaturreglering, dels en enkel form för värmeackumulering.

När värmebalansen vänder från solvärmestillskott i rummet till värmeförlust mot omgivningen och rummet därmed kyls bidrar golv, väggar och tak till rummets uppvärmning allt efter deras förmåga att ackumulera värme. Detta sker så länge den lagrade värmen har högre temperatur än rummet. När den önskade inomhustemperaturen inte kan hållas måste värme tillföras rummet på annat sätt.

Den värmeupptagande och värmelagrande massan i golv, väggar och tak samt i inredning bidrar med sin färförskjutna temperatursvängning till en jämn värmebalansering av rumsklimatet.

Vid utformningen av en byggnad bör man alltså så långt möjligt anpassa och tillvarata tillgängliga byggnadsdelars värmelagringskapacitet. Värmelagrets egenskaper, storlek och belägenhet bör i varje fall avpassas efter storleken på värmestillskottet.

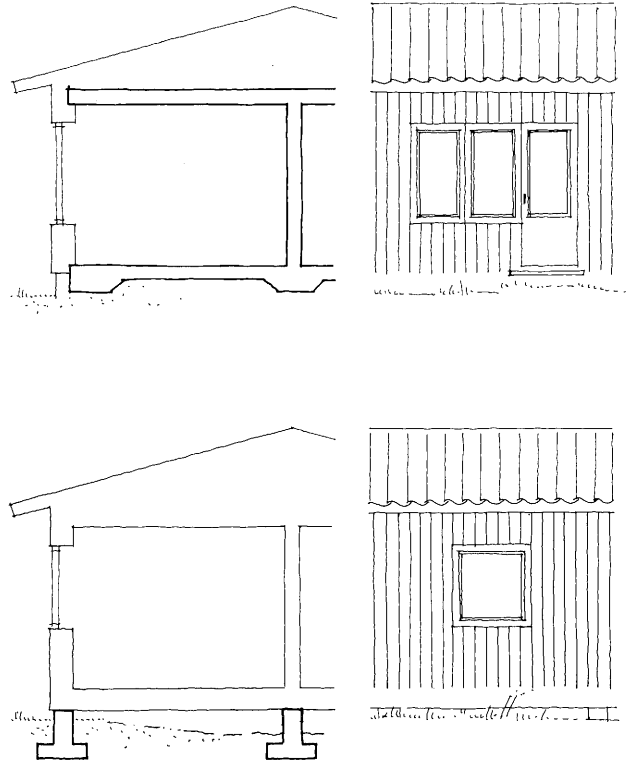
2.10 VÄRMELAGRING I BYGGNADSEDELAR (forts)

Äldre byggnaders stora värmelagrande kapacitet gav dessa byggnader karakteristiska säsongsegenskaper med speciell återverkan på temperatursvängningen inomhus, så att man tex kunde utnyttja kvarvarande sommarvärme långt in på hösten eller omvänt besväras av väggkyla från vinterperioden under våren resp dagsvärmens genomslag nattetid.

Moderna hus med tunga betongstommar och bjälklag har en utmärkt värmelagringskapacitet. I förening med lätta högisolerande väggar och stora fönsterytor i soliga väderstreck ges goda möjligheter till ett tillvaratagande av värmetillskotten.

Hus med lätta, högisolerande väggar och bjälklag har ringa värmelagringsförmåga och bör därför förses med små fönster eller med stora fönsterytor mot söder om man har goda solavskärningsanordningar som håller rumstemperaturen inom acceptabla gränser soliga vår-, sommar- och höstdagar.

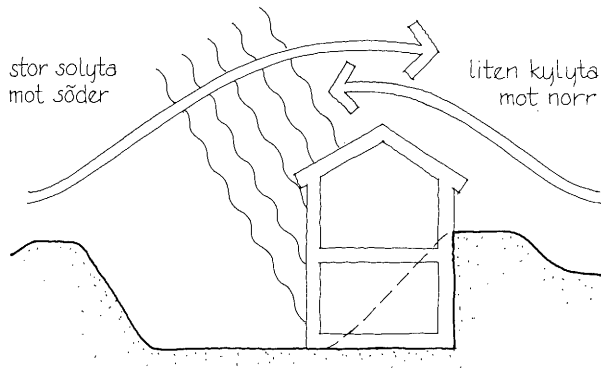
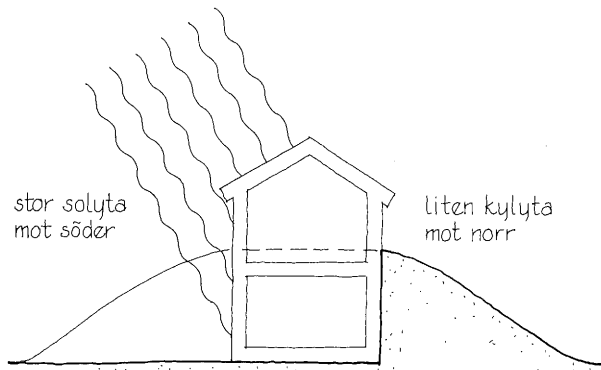
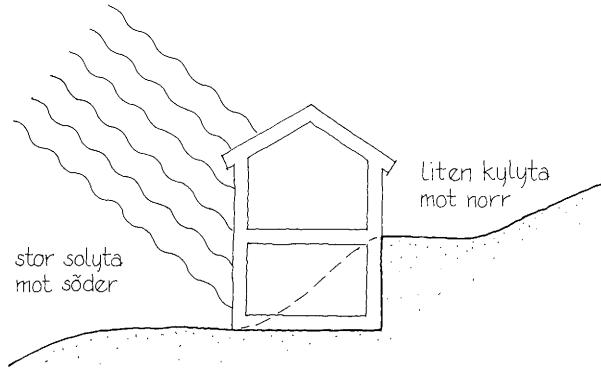
Med värmelagringsegenskaperna följer också som bekant en tröghet vid uppvärmning resp ned-sättning av värmen vilket kan vara till nackdel när man önskar att snabbt reglera inomhustemperaturen av ett eller annat skäl.



överst Hus med tung stomme kan ha stora fönsterytor mot soligt väderstreck.

nederst Hus med lätt stomme ackumulerar inte värmetillskottet i samma utsträckning varför fönstret bör dimensioneras med hänsyn till dagsljusbehovet.

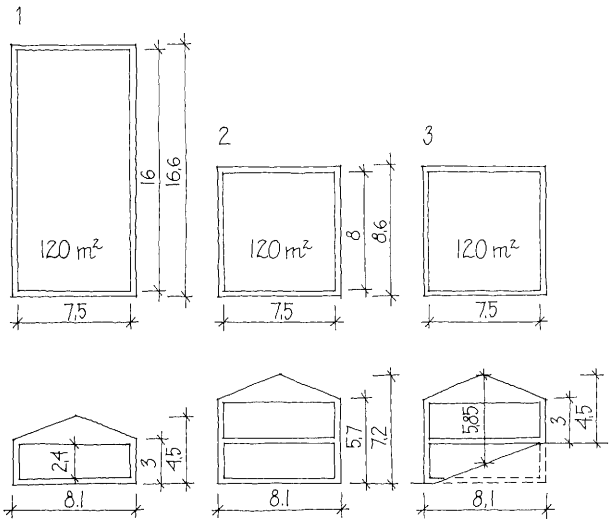
2.11 SOUTERRÄNGHUS



Vid en jämförelse planyta/omslutningsyta där 1-planshus = 100 erhålls för 2-planshuset 107 eller 7 % bättre och för suterränghuset 129 eller 29 % bättre än för 1-planshuset.

I avsnitt 2.6 om byggnadens uppdelning i ett eller två plan nämndes en norsk princip med sovrum i bottenvåningen. Eftersom slutningshus är mycket vanliga i Norge är denna princip lämplig för souterränghus. Man får ett tvåvåningshus mot soligt väderstreck samtidigt som motbyggd mark ger huset en minimerad omslutningsyta över mark. Souterränghus kan energimässigt jämföras med de nordamerikanska lågenergihusen som har en nedgrävd eller motfylld nordsida. Slutningshuset känns vid jämförelse med dessa hus enklare och naturligare. Se avsnitt 8.6.

invändig planyta



omslutande yta ovan mark

295 273 227

relationstal planyta/omslutande yta

0,41 0,44 0,53

Ser man till värmeförlusterna vid jämnlika k-värden förstärks relationerna ytterligare till 2-planshuset och souterränghusets fördel där då det senare är det mest gynnsamma.

2.12 ALTERNATIVA VÄRMEKÄLLOR

Utöver solvärmestillskott som alternativ värmekälla kan också personvärme och värmeförluster från hushållsutrustning, belysning, diverse elapparater, rörledningar till vattenburen värme, tappvarmvatten och cirkulationsvarmvatten utnyttjas för att minska uppvärmningsbehovet.

Genom att man tillgodogör sig värme ur frånluft och/eller avloppsvatten genom värmeväxling alternativt med hjälp av värmepump kan ytterligare reduktion av uppvärmningsenergin uppnås.

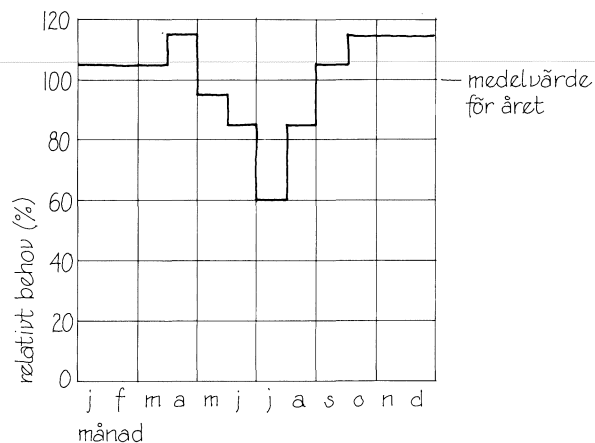
Vedeldade bastuugnar och braskaminer, kaminer, kökspisar och öppna spisar eller kakelugnar kan periodvis medvetet utnyttjas som alternativa värmekällor samtidigt som de bidrar till trevningen i en eller annan form.

I en del hushåll eldar man med tidningar och pappersavfall eller annat brännbart material, som briketter, pellets etc, som ersättning för olja eller el.

Personvärmedelen varierar givetvis med antalet personer, den tid de uppehåller sig inomhus samt deras ålder och aktivitet. Överslagsmässigt brukar man räkna med 100 Wh/person och timme.

"Gratisvärmerna" från hushållsapparater varierar från familj till familj med utrustningens omfattning, art och användningstid.

Tabellen i avsnitt 6.8 utgör en sammanställning av hushållsapparaters ungefärliga energibehov. Observera att ansluten effekt inte är lika med uttagen medeleffekt, beroende på apparaternas olika brukstid, då vissa drivs kontinuerligt året runt, andra drivs intermittent men regelbundet dag för dag och andra åter under korta moment mera sällan och oregelbundet. Vanor eller ovanor kan ge stor variation. Samma gäller omfattningen av frivärme från inomhusbelysning, TV, radio, grammfoner, bandspelare, förstärkare etc. Som underlag för överslagsmässig beräkning av gratisvärme av detta slag kan man utgå ifrån elförbrukningens medelvärden för olika stora hushåll, i de fall årsförbrukningen för viss brukare inte är känd.



Exempel på variation i varmvattenförbrukning över året.

2.12 ALTERNATIVA VÄRMEKÄLLOR (forts)

Om variationen kan vara stor vid utnyttjandet av elektriska apparater gäller detsamma för förbrukningen av tappvarmvatten i våra hushåll. Likstora barnfamiljer visar på en variation i uttag av storleksordningen 2:1 beroende på olika beteenden när det gäller disk, tvätt, bad och duschning.

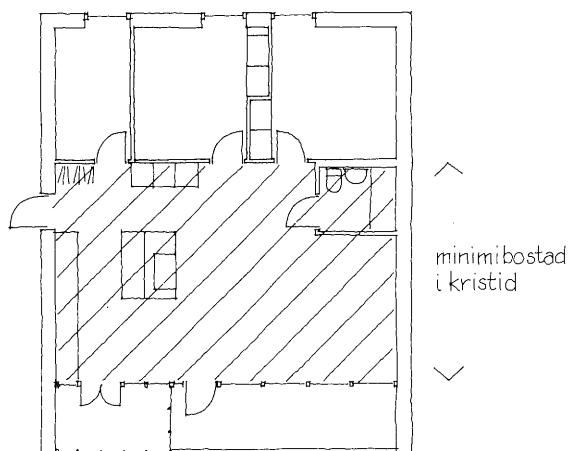
Genomströmningen av varmvatten har tidigare antagits ge byggnaden ett värmetillskott. Nyare studier, se avsnitt 6.8, har emellertid visat att allt värmetillskott till varmvattnet går förlorat i avloppsvattnet, såvida man inte har någon form av värmeåtervinning på detsamma. Kall- och varmvattenflödet genom ett bostadshus kommer att öka uppvärmningsbehovet med 0–200W per lägenhet. Om varmvattenberedaren står i uppvärmt utrymme kan värmeförlusterna från densamma tillgodogöras som uppvärmningsenergi.

Med ökande energikostnader förväntar man sig att bättre apparatkonstruktioner snart kommer ut på marknaden. Därmed bör gratisvärmeandelen reduceras. Ett mer energimedvetet utnyttjande bör i framtiden leda till att gratisvärmeandelen reduceras ytterligare. Dessa förhållanden bör övervägas vid beräkningen av energibalanser i framtiden.

Värmeåtervinning ur ventilationsluft eller avloppsvatten för att reducera värmeåtgången behandlas i avsnitten 8.12 och 8.15.

Utnyttjande av olika alternativa värmekällor påverkar mer eller mindre påtagligt byggnadens planering och uppbyggnad. En väl tillvaratagen tillskottsvärme från sol och himmel, annan gratisvärme och kompletterande värmekällor i förening med isolering, tätning och vettig ventilation kan nästan eliminera behovet av traditionella radiatorsystem baserade på varmvatten som värmemedium eller på direktvärmande elradiatorer.

Alternativa värmekällor som spisar, kaminer och ugnar bör med tanke på ev framtida kriser placeras i den zon av bostaden som kan avskiljas som en välisolerad minibostad, så att överlevnad med minimal energiåtgång säkerställs. Detta synsätt kan i sig utgöra en planfaktor vid utformning av hus.



2.13 SÄSONGSANPASSNING

Om hus och årstid

De senaste decenniernas byggnadsutformning har i stort baserats på en värmeförlust/värmeförsörjningsteori där isolering i kombination med värme- och ventilationsteknik i huvudsak klarar allt. Husen har blivit säsongslösa i sin utformning. Halvdant isolerade väggar kompenseras med ett värme- och ventilationssystem som med stor effekt under en 9–10 månaders driftinsats givit önskat inomhusklimat också under den kallaste perioden.

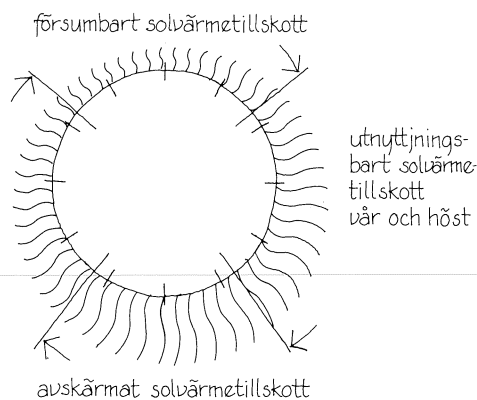
Utgående från vår kunskap om årstidernas klimatsituation och solvärmestillskottets storlek över året och särskilt då det gynnsamma förhållande som råder under uppvärmningens tidiga resp senare del, dvs höst och vår, borde vi kunna utforma våra hus mer energimedvetet.

Vi upplever fyra årstider och anpassar oss därefter när det gäller klädsel, matvanor och beteenden. Denna känsla för anpassning fysiskt såväl som psykiskt är nedärvt hos oss här uppe i Norden.

Varför inte årstidsanpassa våra hus? Om husen blev årstidsanpassbara skulle livet i och kring dem bli så mycket rikare. Vår livsmiljö skulle förmodligen kännas mer meningsfull om vi engagerade oss i en årstidsrytmisk förändring av bostaden. Kanske kan detta i viss utsträckning även gälla arbetsplatser.

Vad innebär i så fall årstidsanpassning av våra hus? Vilka möjligheter står till buds? Vad kan förändras utan större motstånd?

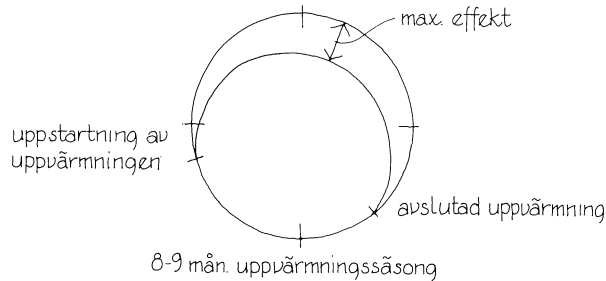
Vad man i första hand tänker på är hur man skall förändra det omslutande skalet – klimathöljet – och hur man kan disponera det rumsliga över året.



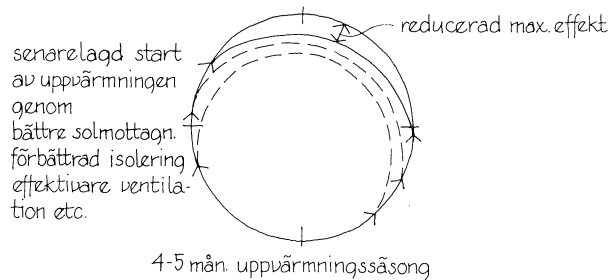
Soltillskottets fördelning över året.

2.13 SÄSONGSANPASSNING

Årstidsrelaterade förändringar av klimathöljet



Värmebehovet i ett normalhus.



Värmebehovet i ett energihushållande hus.

Under vintern är solintensiteten låg, utomhustemperaturen likaså. För att minimera värmeförlusterna bör vi se om "skalet" samtidigt som vi upplever det inre ombonat. Förändringsmässigt sett bör vi reducera värmeavgången genom att minska förlusten över fönstren, jfr principen med innanfönster, avsnitt 8.2. Natt- och säsongsisolering kan ske genom att fönsterytor mot norr, öst och väst minimeras. Eftersom solvärmestillskottet är relativt litet kan vi utan större nackdel också reducera solvärmemottagande fönsterytor mot söder.

Hur mycket, var och när man väljer att med luckor, innanfönster, tättslutande gardiner eller annan anordning ge fönstren ett bättre mörker-k-värde beror på vald planlösning, dagsljusbehov, värderingar och vanor, kontakten med omgivningen, utsikt etc. Det gäller att som arkitekt ge nyttjarna ett flertal möjligheter att välja på.

Det andra sättet att anpassa sig till vinterns stränga klimat innebär att man lever förnuftigt med sin ventilation så att man inte misshåller med sin energi, dvs att man ventilerar klokt eller genom värmväxling eller med hjälp av värmepump bättre tillvaratar värmen i frånluften. I ett årstidsanpassat hus bör man ha möjlighet att reglera eller ekonomisera ventilationen efter temperaturförhållanden och behov.

De två säsongerna höst och vår är varandra rätt lika, dvs solhöjd och solintensitet överensstämmer, men de har trots det lite olika karaktär ur uppvärmningssynpunkt. Under våren har vi fortfarande, som en följd av vintern, en relativt låg dygnsmedeltemperatur. Varje soltimme ger under goda mottagningsförhållanden ett bra värmestillskott och därmed ett icke oväsentligt bidrag till värmeförsörjningen.

2.13 SÄSONGSANPASSNING

Årstidsrelaterade förändringar av klimathöljet (forts)

Effekten av solvärmen inomhus är oftast störst i mars–april då solen har en middagshöjd kring 30° och luften är klar. Solvärmestillskottet kan denna tid bli så stort att viss skärmning med markis, persienn eller gardin kan erfordras kortare moment.

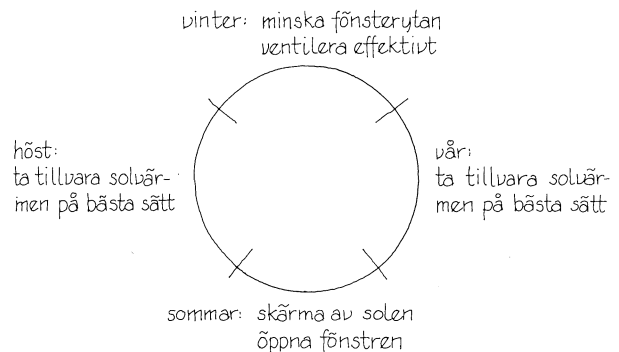
Under hösten har vi en förhöjd utomhustemperatur och därmed i förhållande till våren ett mindre uppvärmningsbehov.

September månads soldagar kan vid goda soltillskottsförhållanden ge problem med inomhustemperaturen. En avskärmning kan bli nödvändig sådana dagar.

Under sommaren har vi normalt ett värmeöverskott ute i förhållande till inne och problemet är att skyla sig mot värmen genom att skugga av sydfasaden och dess närliggande markytor och/eller ventiler rummen med hjälp av ett effektivt kylande korsdrag.

Klimathöljet bör utformas utifrån höst- och vårperioderna med en mot husets värmekapacitet svarande solmottagande fönsteryta.

En utformning av fasaderna efter dessa principer ger brukaren möjlighet att från period till period med enkla medel anpassa huset till årstiderna och därmed tillföra huset årstidsreglerade uttrycksmedel som ger det olika karaktär över året och rikare upplevelser inomhus.



Ett sätt att rita och leva med hus.

2.13 SÄSONGSANPASSNING

Årstidsanpassat rumsutnyttjande

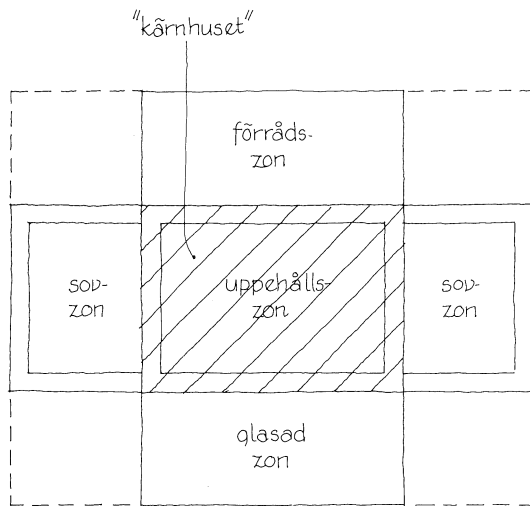
På sätt som med klimathöljets anpassning till årstid kan också planen utformas så att den är elastisk med sättet för dess utnyttjande, årstid för årstid.

Vintertid drar man sig samman till en minsta men välfungerande rumsyta och rumsdisposition. Inom denna minimi-enhet som är välisolerad lever man tätt inpå varandra i vardagslivet.

I anslutning till denna "kärna" ligger sedan rum grupperade som antingen utgör kompletterande funktionsutrymmen till primärytan, och då med några grader lägre rumstemperatur, eller utgör komplement till primärytan i form av utökningar vårsommar–höst. Genom denna zonindelning avpassad till klimathållning och till årstid kan livet i huset anpassa sig till de möjligheter årstiderna bjuder. Den glasade verandan är ett exempel härpå. Varje byggnadsuppgift ger sina möjligheter eller begränsningar vad avser genomförandet av en zonindelning.

De kompletterande utrymmena kring "kärnan" fungerar oftast som en buffertzona mellan rådande utomhusklimat vintertid och inneklimatet inne i "kärnhuset". Detta sätt att bygga upp en fungerande plan bidrar till ett minskat uppvärmningsbehov.

En plandisposition efter dessa principer bör ge förutsättningar för en rikare arkitektur och ett rikare liv.



Exempel på zon-indelat hus.

2.14 ARKITEKTONISK UTFORMNING – ett uttryck för effektiv energihushållning

I konsten att överleva har det i alla tider gällt att skydda sig mot rådande klimat med de resurser som stått till buds. Våra byggnader, små som stora, har formats utifrån dessa primära förutsättningar. Tillgängligt material har givit oss metoder och tekniker att bygga för våra timliga behov och funktioner. I konsten att bygga och leva med hus har det intill modern tid rått ett ekologiskt förhållningssätt. Tillgången på billig energi gjorde att vi fjärmade oss allt mer från det förnuftiga och naturnära i byggandet.

När vi nu åter måste planera för ett effektivare energiutnyttjande med bibehållande av dagens standard och sociala målsättningar, gäller det att utnyttja vårt planeringskunnande samt kunskapen om material och teknik på ett bättre sätt i utformandet av hus och samhälle.

Med ett positivt förhållningssätt till resurshushållandet har arkitekten rika möjligheter att utforma byggnader där en effektiv energihushållning kommer till uttryck t ex i byggnadens form- och plangestaltning, i dess placering och orientering liksom i dess samgruppering med andra byggnader.

Val av material med tanke på spridning av ljus och lagring av värme, utformning och placering av fönster i relation till soltillgänglighet och grad av solfångande ger nya arkitektoniska uttrycksmöjligheter. En utformning av rum och studium av rumsläge relativt solinfall samt utformning av fasader med avseende på årstidsanpassning ger rätt genomfört en levande arkitektur som förändras säsong för säsong, dag för dag, timme för timme, vad avser ljus och skugga.

Arkitekten kan med små medel och väl valda insatser med hjälp av byggnadsutformning ge förutsättningar för en bättre livskvalitet utan nämnvärda extra byggkostnader och till lägre driftskostnader jämfört med traditionellt byggda hus. En utmanande och resurshushållande arkitekturteori.

3. ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS

Eva och Bruno Erat

- 3.1 ETT EKOLOGISKT HUS
- 3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS
- 3.3 VAD HÄNDER MED HUSET EFTER OSS?

3.1 ETT EKOLOGISKT HUS

Vad menar man med ett ekologiskt hus?

Ett ekologiskt hus kan betyda många saker beroende på var huset står, i norr eller söder, på landet eller i stan, allena eller som en del av ett samhälle.

Husets karaktär och utrustning avspeglar också användarens vilja, motivation och möjligheter att med kunskap och arbete bidra till en ekologisk helhet, där huset, dess omedelbara omgivning och hela området kompletterar varandra. Det är inte nödvändigt och kanske inte ens möjligt att definiera var gränsen går mellan ett ekologiskt och ett "vanligt" hus.

Ett ekologiskt planerat, byggt och använt hus strävar dock alltid till jämvikt med naturen. Det försöker vara en del i en sluten krets enligt naturens lagar: det använder inte alls eller så lite som möjligt oförnybara resurser och det belastar inte omgivningen med skadligt avfall i någon form. Om huset uppfyller dessa krav väl, så är det ett bra ekologiskt hus.

Klart är, att kostnaderna för huset bör vara rimliga. Det måste också vara enkelt att förstå hur huset fungerar, så att man kan använda det rätt och bidra till attraktiva prestationer, dock utan att offra för mycket av fritid, arbetstid, utbildning, familjeliv m m. Tvärtom, ett väl planerat ekologiskt hus ger invånarna möjligheter att leva ett naturligt liv, som ger både kroppsligt och andligt välbehag. Huset bör genom sitt praktiska funktionssätt och sin okomplicerade, vackra arkitektur ge trivsel och motivation till ekologiskt tänkande och sätt att leva.

När behovet och ideérna för ett liv mera i balans med naturen blev allt starkare, började vi planera och fundera på att bygga ett eget hus.

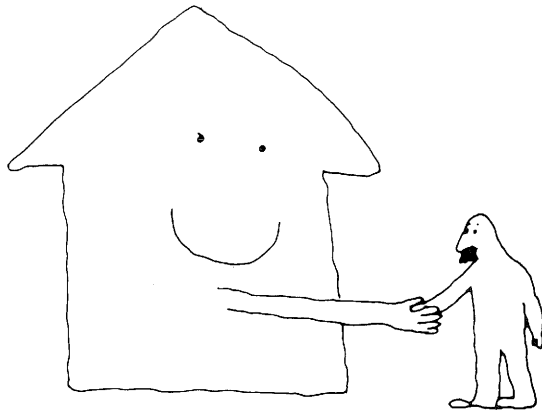
3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS Vi och vårt hus

Eva, våra två barn Anna 5 år och Pablo 11 år samt jag, Bruno, lever och frodas i ett hus planerat enligt ovannämnda principer.

Anna börjar på hösten i förskola och Pablo kommer till grundskolans femte klass. Eva är inredningsarkitekt och arbetar i vår gemensamma firma där vi sysslar med byggnadsplanering, byggnaders värmehushållning m m.

Vårt hus ligger nära Helsingfors i en gammal vilabebyggelse med stora tomter och relativt orört skogsområde. Huset är en produkt av samarbete mellan Eva, mig själv, grannen (en VVS-ingenjör) samt några ledande experter på området i Norden.

Vi började fundera och planera någon gång 1977 och bygga 1978—79. Alltså har vi bott några år i vårt Ekohus och vi börjar bli Du med det.



Låt oss berätta litet om själva huset.

Det är ett kombinerat aktivt och passivt solhus:

- aktivt, eftersom vi har teknisk utrustning såsom solfångare, värmeväxlare och i centrum av huset en stor vertikal vattentank, som värmelager,
- passivt, eftersom huset är placerat och utformat så, att solenergin kan utnyttjas utan mekanisk hjälp. Värmen lagras i själva huskroppen för att vid behov (kalla nätter, molniga dagar) kunna avnjutas.

De flesta fönsterna är placerade mot söder, där vi också har vårt växthus. Under ca nio månader av året fungerar växthuset som naturlig solfångare, vi öppnar endast dörren mellan huset och det något lägre liggande växthuset och varm luft strömmar in. Växthuset är också vårt skyddade uterum samt trädgårdsland, där sallad, tomater, brysselkål, bär och frukt m m odlas.

3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS

Något om huset

Huset är i två våningar och består av en varm och en halvvarm zon (de kallas också temperaturzoner). Utrymmen, som behöver uppvärmas, har placerats mot söder och närmast husets hjärta (eldstäderna och värmelagret). Mot norr har vi de utrymmen som inte behöver uppvärmas, de hålls halvvarma genom värmeförlusterna från den uppvärmda delen. Kök, vardags-, sov- och badrum är uppvärmda, medan t ex förrådsutrymmen, sekundäringången, källarutrymmen, bastun och tvättrummet tillhör den halvvarma zonen.

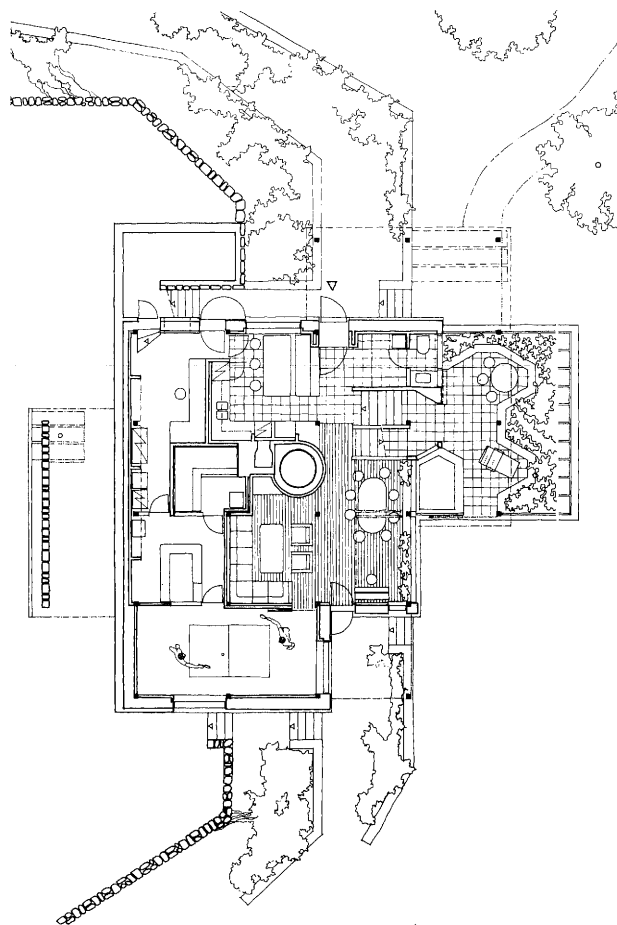
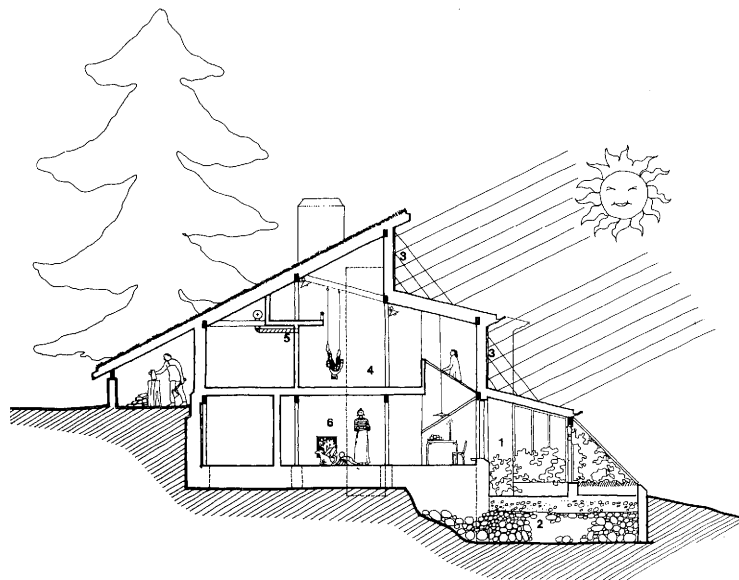
Familjen använder oftast sekundäringången. Den leder till ett utrymme bakom köket som är både förråd, verkstad och tambur. Härifrån kommer man sedan behändigt till både kök och matkällare. Eftersom matkällaren är nära köket och fungerar bra, behöver vi inget kylskåp.

Vårt hus är vårt hem, men samtidigt har det också speciellt under de två första åren fungerat som provhus för både finska Statens Tekniska Forskningscentral och oss själva. Mätningar och observationer görs fortfarande.

Då jag 10/7 1982 adderade ihop vår totala elkonsumtion under drygt tre år, kom jag till 30 000 kWh. Detta motsvarar ett "vanligt" välbyggt egnehemshus årsbehov. I praktiken betyder det att vårt elbehov är ca 9 000 kWh/år. Här ingår el för hus håll och uppvärmning av hus och tappvatten.

Husuppvärmningen fungerar på följande sätt: Först tar vi tillvara solvärmerna från solpanelerna, från växthuset eller direkt genom fönsterna. Sedan kompletterar vi med vedeldning. När detta inte räcker fås tilläggsvarme automatiskt genom elektriska motståndsvärmare.

Den överlägset populäraste värmekällan har visat sig vara vedspisen i köket, som vi på hösten, vintern, vårvintern och ruskiga sommardagar flitigt använder. Ved har vi hittills fått från de granar, som vi var tvungna att fälla då vi byggde, samt från det "skräpvirke", som blev över vid byggnadsprocessen. I framtiden skaffar vi vår ved från byggen, rivna hus m m, tills en bra, organiserad veddistribution kommer i gång i detta land.



3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS En solig vårdag i mars

Väckarklockan ringer med hårt, skrälligt ljud, oangenämt som vanligt.

Man öppnar ögonen och skulle vilja sova längre men märker genast, att det är ljus ute – solen skinner. Det är en av de vackra, klara och soliga dagar vi väntat länge på. Det ligger massvis med snö på marken, på träden och buskarna.

Klockan är 7. Jag stiger upp först idag, för den som kommer sist upp måste bädda. Barnen väcks och jag går ner till köket. Termometern utanför österfönstret visar -18°C och källden känns tom genom fönstret.

Rakt i öster mellan träden syns en röd boll – solen. Det känns skönt att se och veta att det lider mot vår. Idag kommer det säkert mycket värme in i huset.

Först skall jag tända brasan och sätta på tevattnet. Jag går till rummet bakom köket (källaren–verkstaden) där vi har vår ved "under bastubänken". Det finns inte mycket kvar. Man märker att lördagen är nära, ty då sågar jag vanligtvis ved för veckan. Under taket på nordsidan av huset ligger meterlånga stockar uppstaplade mot ytterväggen. På så sätt skyddar de huset mot de kalla nordanvindarna. Där har jag också min huggkubbe och sågbock.

Jag går ut efter tidningen. Det känns kallt om händerna när jag springer i mjuk snö nerför backen till brevlådan. Postiljonens moped har lämnat spår i snön när han vände med en elegant sväng ty vårt hus är det sista huset vid Banbrinken. Med "Hufvudstadsbladet" under armen kommer jag genom bakdörren tillbaka till köket. Eva har också kommit ner och sysslar med frukosten. Brasan sprakar i ugnen och strålningsvärmens känns tydligt, i synnerhet då man kommer in från den kalla vinterluften.

På fönsterbänken i vardagsrummet har vi grunda avskurna papplådor, där det finns nysådda frön och plantor i torvkrukor och yoghurtburkar. Om det är lika vackert i morgon, på lördag, kan vi bära ut papplådorna för att solbada i växthuset.



3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS En solig vårdag i mars (forts)

Eva berättar om sina planer, hur hon tänker så och plantera för växthuset i år. Majs skall vi inte ha mera då den misslyckades i fjol. Den fick bladlöss och skörden blev mycket liten. Vi skall inte heller ha rosenbönor, då vi märkte att de behöver insekts-pollination. Vi skall också tömma kompostbehållaren som finns under WC-golvet. Först får den "förvärmas" i växthuset för att få en tidig start. På sommaren kan den sedan blandas i utekomposten. Behållaren under WC-golvet har vi för att kompostera köksavfallet. Tyvärr har den inte fungerat bra. Den har tydligen haft för kallt och bakterierna och mikroorganismerna har inte kunnat utveckla sig. Nästa höst skall vi prova med att starta en kompost i växthuset i stället. Man måste bara ha gödsel och okalkad torv tillhands där. Få se hur det lyckas.

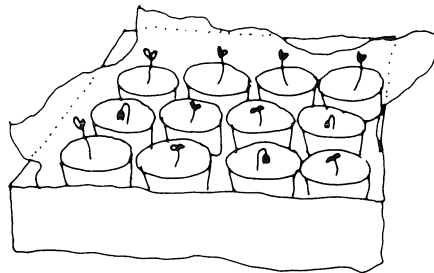
Anna kommer sist ner. Hon är sömndrucken och litet sur – hon är sådan på morgnarna. Jag föreslår att hon tar med dockan i pulkan till barnträdgården. Det verkar vara en bra idé.

Litet före ett far Eva iväg från byrån för att hämta Anna från barnträdgården. Hon drar hem henne och dockan i pulkan. Det är inte lång väg. Värmen från vedspisen dröjer ännu kvar i köket. Eva tänder ny eld för att laga mellanmål åt sig och barnen, ty Pablo kommer också strax hem från skolan. Han har en lustig skolväg: Först en naturstig, sedan nedför ett brant berg (rutschbana på vintern), sedan stig igen, sedan ett litet stycke längs en sandväg för att komma till cykel- och gångbanan, som leder till skolan. En av orsakerna varför vi köpte den här tomten var att det fanns en svenskspråkig skola så nära.

Eva och barnen njuter av kaffet respektive mellanmålet i växthuset, eftersom solen redan har värmt det till över 20 grader. Skjutsdörren till huset står helt öppen och den varma luften strömmar in.

Efter kvällsmaten kontrollerar jag temperaturen både i huset och i växthuset. Det är lätt för vi har ett elektroniskt mätsystem, som gör det möjligt att följa med temperaturerna vid olika punkter.

Solen har varit vänlig idag. Temperaturen i den stora vattenbehållaren har stigit med 3 till 4 grader, vilket betyder ca 35 kWh. Jag räknar ut, att 35 × 30 penni gör ungefär 10 mark (12 SEK).



3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS En vacker sommardag

När vi vaknar står solen redan högt. På träden utanför vårt stora sovrumsfönster ser vi hur den lyser. Vi hoppas att det skall vara vackert hela dagen, för hittills har det bara regnat och regnat. Nu kunde sommaren komma på riktigt!

Pablo har redan stigit upp och leker med katten när vi kommer ner till köket. Anna vaknar. "Det är en vacker dag i dag", hörs det genom huset.

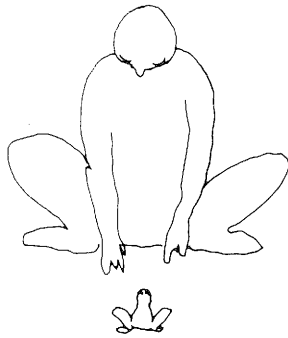
Det är min tur att laga frukost. Eva är i växthuset (eller "grönhuset", som det kallas på finska) och vattnar. Under golvet i växthuset har vi en brunn som samlar regnvatten från taken. Med vattenslangen sprutar Eva speciellt på de ställen, som alltid torkar snabbast.

Hon är lite bekymrad över bladlöss på några av plantorna. Nästa veckoslut skall vi spruta "Pyretrin", ett naturgift, som skall hålla bladlössen i schack. Tydligt har nyckelpigorna, som barnen hämtat till växthuset, inte klarat saken.

Vid frukostbordet är Pablo orolig, för han har bråttom till sin groddamm, som han byggt i växthuset. Den är full med hans egenhändigt insamlade grodyngel.

"Glöm inte att lämna växthusets fönster och dörrar på vid gavel", säger Eva åt mig. "Det blir varmt idag. Men stäng skjutdörren till huset, annars kommer det för mycket fukt in!"

Trädgårdslandet bakom huset har vi själva byggt upp. Vi har varit tvungna att transportera massor av mull dit. Där finns också sommarkomposten under några stora rännor. Dit blandar vi in allt vårt organiska avfall från köket, gräs och blad från tomten, sågspån som vi får rikligt av vid vedsågningen samt hästgödsel, som Eva hämtar från ett närbeläget stall. Det är viktigt att sköta bra om komposten, ty därifrån kommer all näring (förutom askan) för våra odlingar.



3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS

En vacker sommardag (forts)

Trots att det har varit en solig dag kan jag konstatera att temperaturen i stora behållaren stigit med bara 2,5 grader, dvs tillskottet är 24 kWh. Det är mindre än på vårvintern och beror på björkarnas skuggning samt på panelernas lutning (90°) som på sommaren, då solen står högt, endast tillåter att ungefär hälften av solstrålarna faller på de lodräta panelerna.

I växthuset har det varit mycket varmt idag. Maxi—minitermometern visar att temperaturen har stigit till 30°C på eftermiddagen. Vid 28°C satte fläkten igång och den heta luften pressades ner till det svalare stenlagret under golvet. På så sätt lagras också värme i golvet för att stiga uppåt under svala nätter.

Vårt hus har faktiskt behaglig temperatur på sommaren tack vare stenmassorna inomhus samt de skuggande björkarna på sydsidan.

”Vad skall vi göra med växthuset i år när vi reser bort?” Det får inte gå som för två år sedan, då en vänlig själ skulle sköta om plantorna medan vi var borta. Troligen hade vi inte instruerat flickan tillräckligt bra, ty hon vattnade häftigt även mulna dagar, samt höll dörrar och fönster stängda. När vi kom hem var växthuset så fuktigt att vattnet rann längs väggarna, luften var unken, allting var möjligt och löss och kålmaskar hade gjort slut på plantorna.

3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS

En ogemytlig dag i oktober

Det är ännu mörkt ute när vi måste stiga upp. Man skulle faktiskt vilja sova lite längre idag – men barnen måste till skola och barnträdgård.

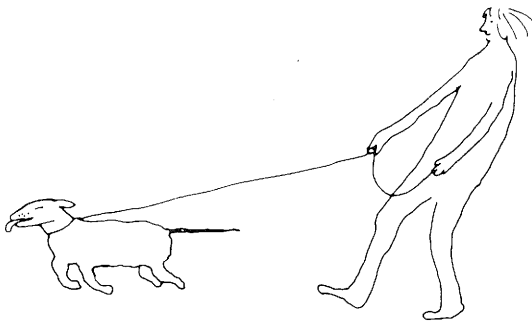
Eva vaknar före mig, väcker barnen, går ut med hunden och hämtar tidningen. Nere i köket sätter jag genast igång med att tända brasan. Skorstenen drar mycket bättre än på sommaren, eftersom den nu är i flitig användning. Det känns genast bättre när man hör veden spraka och känner värmen utbreda sig i köket. Det tar inte många minuter så kokar tevattnet.

Termometern visar $+2^{\circ}\text{C}$ och det regnar och blåser. Nästan alla löv har fallit.

Växthuset är i höstskick, tomatplantorna är borttagna, jorden är luckrad och Eva har hämtat in grönkålsplantor från trädgårdslandet. Brysselkålen, vinrankan och kronärtskockorna finns kvar från förut. Vi fick ganska mycket tomater i år, fastän de sista hann inte mogna. Jag kontrollerar temperaturen i växthuset. Den är $+7^{\circ}\text{C}$, 5 grader varmare än ute. Om solen skulle visa sig, hade vi 20°C , men den kommer nog inte fram idag. Man behöver åtminstone inte vattna ofta.

”Sätt inte mera ved i spisen”, säger Eva, ”det hinner annars inte brinna ned. Jag måste stänga spjället innan jag går till arbetet.”

”I kväll, Pablo, skall du tända eld i bastun”, säger vi. Det har varit så uselt väder att man längtar efter värme och avspänning. Tvättmaskinen är i gång medan jag hugger bastuveden. Eva skall hänga upp byket i tvättrummet efter att vi har badat bastu, så att den kan torka i eftervärmen. Barnen sitter längst i bastun. De fyllde det stora karet med kallt vatten och badskum, som de fick av farfar i Schweiz när de var där senaste sommaren.



3.2 ATT LEVA I ETT EKOLOGISKT HUS

En ogemytlig dag i oktober (forts)

Jag hämtar juice från matkällaren, som ligger strax bakom förrådsrummet. Hu, vad det känns kallt när man stiger dit ner utan kläder. Där är bara 4°C.

Bastun värmer underbart igen. Det doftar kåda och ved. Vi badar nästan en hel timme, kyler bara av oss emellanåt.

Barnen går till sängs i andra våningen. Där är alltid lite varmare än nere. I första våningen måste vi, för att kunna hålla 18°C, tilläggseldas med ved då det är kallt, ty vårt luftvärmefördelningssystem fungerar inte som det borde.

Katten krafsar på köksfönstret – den vill in.

En kall och mörk dag i december

Det känns oangenämt kyligt då jag kommer ner till köket denna decembermorgon. Det är så mörkt att man knappast kan tro att det inte är natt mera.

Termometern utanför visar -10°C och det blåser. Snabbt tänder jag i vedspisen så att det skall bli lite gemytligare. I morgonrock och filtstövlar går jag efter tidningen. Man ser knappast stigen, men då snön kommer blir det ljusare.

Doften av te når mig när jag kommer tillbaka. Eva, Pablo och Anna har också stigit upp. Jimmy kommer svansande emot mig. Jag hämtar smör och ost från jordkällaren. Temperaturen där är nu +2°C. Hoppas den håller sig över nollstrecket, så vi inte behöver täcka potatisen.

Växthuset kräver ingenting numera. Där syns bara kålen. Vinrankan och kronärtskockorna är övertäckta. Vinrankan har redan klarat två vintrar, nedlagd på marken och täckt med granris.

Eva säger att veden i källaren håller på att ta slut. Tydligt var jag lat senaste lördag eftersom jag inte sågade ved då. Jag får väl gå ut och såga genast efter frukosten. Jag gör det motvilligt först, men när jag väl är ute i den kalla, rena vinterluften med varma kläder, känns det bra igen. "Idag behöver jag inte springa min motionsrunda", tänker jag och hugger ved av alla krafter.



EVA ERAT

3.3 VAD HÄNDER MED HUSET EFTER OSS?

Vad händer om huset måste säljas? Vem kunde vara köpare, vem skulle vilja bo där? Åt vem som helst passar huset inte, därför att det ändå är ganska ovanligt. *Det är klart att huset också måste fungera i andra händer än våra.*

Många är inte motiverade att hugga ved, vattna växthus, sköta kompost eller öppna och stänga växthusdörrar allt efter behov. Invånarna kan vara sjuka, eller på resa, kanske i flera veckor. Också då skall huset fungera. Här är enda problemet egentligen grönhuset, under växtsäsongen. (Såvida det inte är automatiserat, i synnerhet beträffande bevattningen.) Grönhuset sköts kanske av hjälpsamma vänner, men då är det synnerligen viktigt att systemen är enkla och möjligheterna att göra fel är minimala.

Huset skall vara driftsäkert och lätt att förstå!

Det är mycket viktigt och också roligt att med eget arbete och egen aktivitet kunna göra en insats för husets ekonomi och trivsel, men invånarnas ständiga närvaro får inte vara en förutsättning för att huset skall fungera. Det här betyder inte, att huset måste utrustas med all möjlig teknisk apparatur, tvärtom, helst skall det, så gott det är möjligt, fungera av sig själv, tex genom solvärme, genom att lagra överskottsvärme, genom självbeskuggning vid behov mm, men också tekniken behövs! Med den skall husets funktion garanteras i alla (vanliga) situationer. Viktigt är dock att tekniken är uppbyggd på ett enkelt, logiskt sätt, som också lekmannen kan begripa. Kanske han då har möjligheter att själv reparera eventuella fel.

Det är inte någonting märkligt att leva i ett naturligt hus. Det ger invånarna många möjligheter att inverka på husets funktion och det ger dem en mycket intensivare kontakt med naturen. Det skapar förutsättningar för ett naturligare sätt att leva.

4. OM KLIMAT OCH NÄRKLIMAT

Mauritz Glaumann och Ulla Westerberg

- 4.1 KLIMATSKALOR
- 4.2 KLIMATETS BETYDELSE
- 4.3 KLIMATPROCESSER
- 4.4 OMRÅDESKLIMAT
- 4.5 VIND
- 4.6 SOL OCH SKUGGA

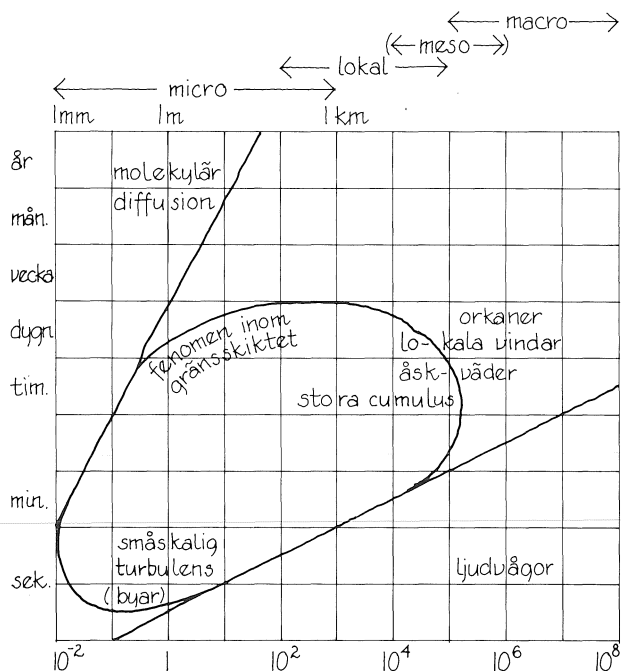
4.1 KLIMATSKALOR

Makroklimat

Vädret är det påtagliga resultatet av energiutbytet mellan marken och luften. Från solen tillförs energi i form av kortvågig strålning. I atmosfären omvandlas den till värme i olika former, t ex bundet i vattenånga genom avdunstningen – värme som kan återfås när vattenångan i luften kondenserar – eller som rörelseenergi i vindar eller som lägesenergi som ger vattenkraft. Under årets lopp tillförs lika mycket energi från solen som avges till rymden genom in- och utstrålning, som är den enda energitransport som kan ske i rymden. Eftersom strålningsbalansen i regel är positiv bara för orter på lägre breddgrader än 35° omfördelas strålningsöverskottet mot polerna genom olika klimatprocesser.

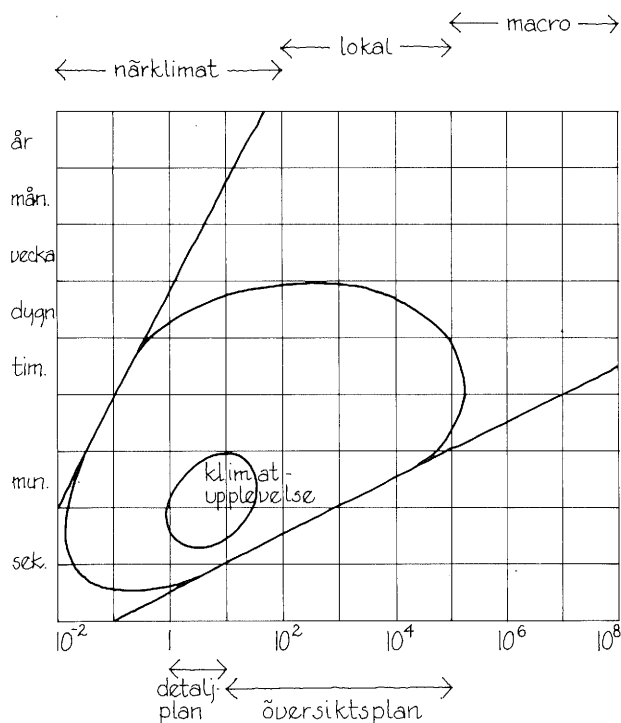
Energiutbytet mellan mark och atmosfär sker genom en rad processer som är mer eller mindre påverkade av varandra och av solstrålningens periodicitet. Uppvärmning och avkylning sker i huvudsak vid markytan. Ju högre upp i luften eller längre ner i marken/vattnet man kommer desto mindre är de dygnsliga och årliga variationerna i klimatet. Markytans oregelbundenheter ger lokala temperaturgradienter och indirekt tryckgradienter vilka överlagrade ger snabba och slumpartade klimatvariationer. Klimatet beskrivs därför med statistiska mått.

— Oke, 1978, har konstruerat en illustrativ beskrivning av sambandet mellan tids- och rumsskalor för olika atmosfäriska fenomen. I vidstående figur har vi ringat in vad som kan vara intressant inom byggnadsplaneringen. Makroklimatet är en given förutsättning i planeringen, likaså lokalklimatet, vilket visserligen kan påverkas genom stora ingrepp, t ex en större stadsutbyggnad eller kalhuggning. I praktiken är det emellertid svårt att åstadkomma medvetna förändringar av lokalklimatet.



Klimatskalor i tid och rum för olika atmosfäriska fenomen.
(Efter Oke, 1978.)

4.1 KLIMATSKALOR Lokal- och närklimat



Klimatskalor i tid och rum för lokal- och närklimat.

Makroklimatets variationer är väl kända och dokumenterade under långa tidsperioder. Lokala variationer har inte kunnat kvantifieras och kartläggas på samma sätt. Planering med hänsyn till klimat på den översiktliga nivån får förlita sig på data från enskilda observationspunkter, vilka i regel inte ligger i planområdenas närhet. Med ledning av topografin kan man ofta urskilja speciella klimatförutsättningar inom ett markområde, men några noggrannare bedömningar är omöjligt att göra utan mätningar på plats. Det kan t ex vara så att det bästa läget inom ett område som på den översiktliga nivån bedöms som ogynnsamt faktiskt kan vara mycket lämpligare för bebyggelse ur både energihushållningssynpunkt och miljösynpunkt än det sämsta läget inom ett område med i genomsnitt goda klimatförutsättningar.

Det är först på detaljplanenivån som klimatet kan påverkas i större utsträckning. Det klimat som utvecklas på vistelseytor utomhus och intill byggnader kallar vi närklimat. Detta påverkas alltid mycket av markplanering och byggnadsutformning. De mest styrande och samtidigt mest påverkbara närklimatvariablerna är solinstrålningen, värmeutstrålningen från mark och byggnader samt vinden. Instrålningen påverkas främst av byggnadernas läge och form genom skuggbildningen. Utstrålning och vind påverkas främst av lokalisering, bebyggelse-sätt, hushöjd och vegetation.

4.2 KLIMATETS BETYDELSE

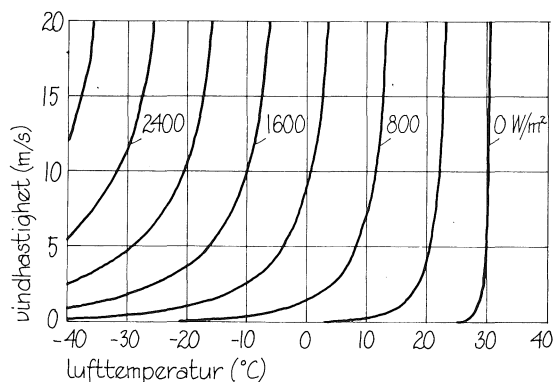
Utomhuskomfort

Utomhus kan direktstrålningen från solen väga upp ganska låga temperaturer. Skillnaden mellan att befinna sig i sol och i skugga motsvarar ofta en temperaturskillnad på 5–10°C. Vind kan å andra sidan göra att det känns betydligt kallare genom att luft-rörelserna påskyndar det konvektiva värmeutbytet. Kläderna hindrar visserligen de konvektiva värmeförlusterna, men de hindrar också solvärmerna, som stannar i klädernas ytskikt varifrån den snabbt blåser bort.

Under 5 m/s utgör vinden enbart ett komfortproblem. Eftersom vindavkyllningen ökar mycket snabbt redan i intervallet 1–5 m/s betyder även ganska svaga vindar att man fryser i vårt klimat. Under i genomsnitt 60 dagar om året blir det varmare än 20°C mitt på dagen i södra Sverige. Då kan det bli för varmt att sitta stilla i solen. Svalka utomhus bör finnas för dessa tillfällen, men då i form av skugga och inte vind.

Den totala vindkraften på en människa vid 5 m/s motsvaras av drygt 1,5 kg och vid 15 m/s av ca 12 kg. Vinden är emellertid alltid mer eller mindre byig, dvs hastigheten ändras snabbt. En momentan hastighetsökning från 5 till 10 m/s innebär en vindstöt motsvarande 4 kg och från 5 till 15 m/s mer än 10 kg. Vid 15 m/s är det svårt att hålla balansen – därutöver är vinden en säkerhetsrisk.

Att gå snabbt mot en vind på i genomsnitt 10 m/s kräver en ca 50 % större kroppsansträngning, ämnesomsättning, jämfört med att gå snabbt när det inte blåser alls. 10 m/s motsvarar ungefär att gå uppför en lutning på 1:10. En motvind på 15 m/s kräver en fördubblad kroppsansträngning.

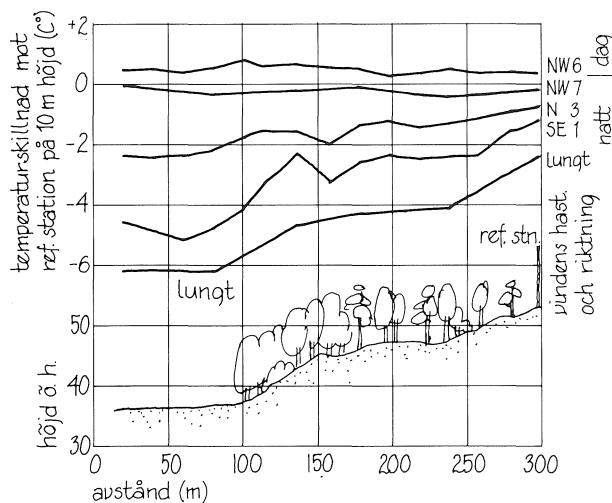


Vindavkyllning på bar hud. (Efter Siple och Passel, 1945.)

4.2 KLIMATETS BETYDELSE

Byggnaders värmeförluster

Närklimat



Lokala temperaturskillnader uppstår bara vid svaga vindar. Temperaturer 2 m över mark i en södersluttning vid olika vindhastigheter och vindriktningar. (Efter Glaumann.)

Vindavkylningens storlek beror på värmeutflödet genom väggar och tak och inflödet av uteluft. Ventilationsflödet kan regleras, men otätheterna i byggnadsskalet leder till en okontrollerbar avkylning, vars storlek är svår att uppskatta. Värmeförluster både genom ytavkylning och kallluftsinflöde beror på vindhastigheten. Ytavkylningen avspeglas i det konvektiva värmeövergångstalet, vilket kan öka flera gånger vid ökad vindhastighet. I stort sett har glatta ytor lägre värmeövergångstal än råa ytor. Är isoleringen god så att temperaturskillnaden mellan ytteryta och uteluft blir liten, blir motsvarande värmeförluster små. Vid ytor som har sämre isolering, tex fönster, ökar således avkylningen mer än för andra ytor vid ökande vindhastigheter. Detsamma gäller tex solfångare och växthus.

Luftsomsättningens storlek till följd av ofrivillig ventilation beror på otätheternas storlek och läge samt tryckskillnaderna över väggarna, som uppstår till följd av vind- och temperaturgradienter. Tryckskillnaderna pga vind ökar mycket snabbt med ökad vindhastighet – trycket är proportionellt mot kvadraten på vindhastigheten. I verkligheten följer tryckfördelningen över ett byggnadsskal ett komplicerat mönster som varierar med vindriktning och vindhastighet. Det är bl a därför mycket svårt att beräkna de ofrivilliga ventilationsförlusterna för en viss byggnad utan ingående mätningar i vindtunnel eller full skala. Är byggnadsskalet mycket tätt kommer emellertid även dessa värmeförluster att bli små, sannolikt inte större än 10% av de totala värmeförlusterna.

Svackor i terrängen kan leda till undertemperaturer på 5–10°C under klara och stilla nätter. De genomsnittliga skillnaderna blir emellertid inte särskilt stora – ett antal tiondels grader under uppvärmningssäsongen. Det skulle kunna öka uppvärmningsbehovet med 5%.

Inverkan av lokala skillnader i vind och temperatur pekar ofta åt olika håll. Lokalt låga temperaturförhållanden uppträder tex ofta i lokalt vindsvaga områden. För att kunna göra en sammantagen bedömning av närklimatets betydelse från energisynpunkt krävs därför i de flesta fall noggranna mätningar och beräkningar.

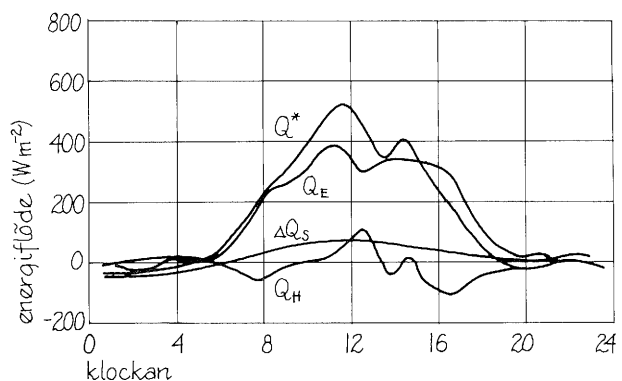
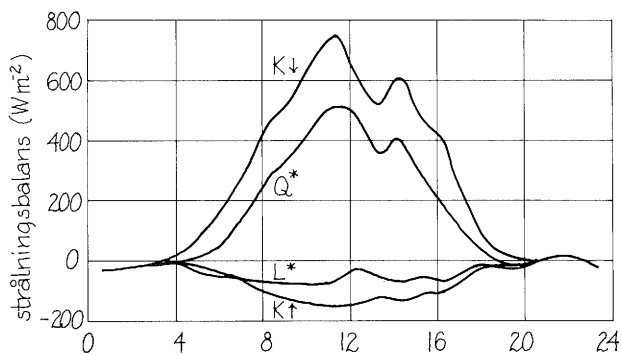
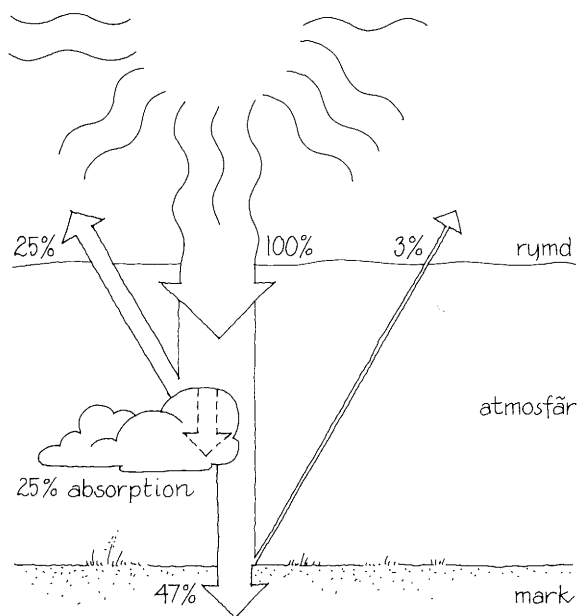
4.3 KLIMATPROCESSER

Energiutbyte med atmosfären

Klimatvariationerna uppstår när solstrålningen når markytan, där den reflekteras, transmitteras eller absorberas. Totalt under året och över hela jorden reflekteras och absorberas ca en fjärdedel vardera av moln och fasta partiklar i luften. Hälften av solstrålningen når således marken, och bara en liten del därav reflekteras och går förlorad ut i rymden.

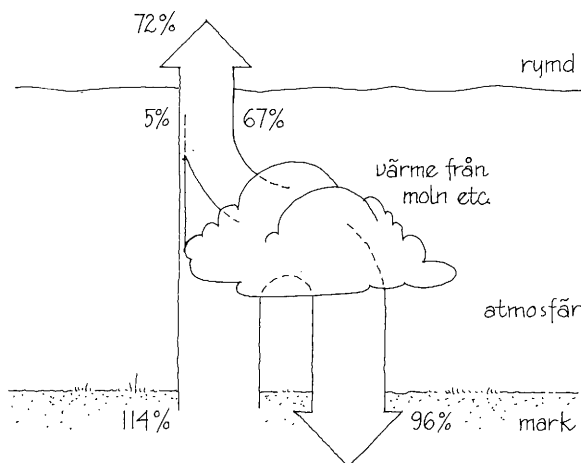
Den absorberade solstrålningen omvandlas till värme, som avges från markytan på olika sätt. En mycket stor del emitteras, dvs strålar ut, men en ansevärd del därav återfås i samma form från atmosfären. Atmosfären är inte lika transparent för den långvågiga strålningen från marken som för den kortvågiga solstrålningen. Bara en liten del av den långvågiga strålningen från marken försvinner direkt ut i rymden genom det sk atmosfäriska fönstret, som transmitterar strålning inom ett begränsat våglängdsområde (8–13 μm). Genom upprepad absorption och emission i atmosfären är det dock genom det atmosfäriska fönstret som den största delen av den instrålade solenergin försvinner från jorden. 28 % av den infallande solstrålningen reflekteras och resterande 72 % bortförs från mark och atmosfär i form av långvågig strålning till rymden. (Oke, 1978.)

Atmosfären fungerar således som en strålningsfälla precis som en glasruta eller ett lövverk, vilket vi återkommer till.



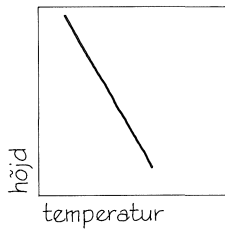
- K_{\downarrow} = solinstrålning
- K_{\uparrow} = markreflekterad solstrålning
- L^* = netto av långvågig utstrålning från mark och instrålning
- Q^* = netto av kort och långvågig strålning från himmel
- Q_E = värmeflöde genom avdunstning och kondensation
- Q_H = konvektivt värmeflöde
- ΔQ_s = tillskott eller förlust av värme från marken

Exempel på lokala variationer i energiflödet vid en yta under ett förhållandevis klart dygn. Överst: strålningsbalansen, underst: energibalansen.

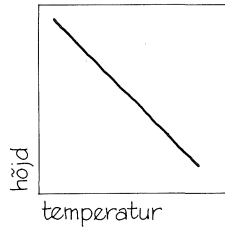


4.3 KLIMATPROCESSER

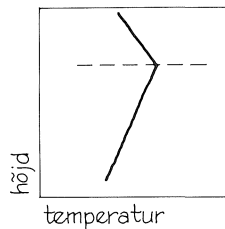
Konvektivt värmeutbyte



neutral skiktning
jämvikt, temperaturen avtar
med $1^{\circ}/100\text{ m}$



instabil skiktning
gynnar vertikal omblandning,
temperaturen avtar med mer
än $1^{\circ}/100\text{ m}$



stabil skiktning
vertikal omblandning motver-
kas därför att temperaturen
ökar med höjden

Luftens temperaturskiktning har stor betydelse för närlimtet. Klara och stilla nätter får man stabil skiktning, klara dagar instabil skiktning och vid molnigt väder eller blåst neutral skiktning.

Värme avges också genom konvektion, vilket inbegriper en luftomblandning eller en omblandning i en vätska. Fri konvektion kallas det när varm luft stiger därför att den är varmare än sin omgivning till skillnad från påtvingad konvektion, som inträffar när luften blandas om p g a vind. Horisontell värmeöverföring till följd av luftrörelser brukar kallas advektion. Det konvektiva värmeutbytet är ofta en blandning av dessa former.

Det konvektiva värmeutbytet omfattar både sensibelt och latent värme. Sensibelt värme är det energiinnehåll som mäts genom lufttemperaturen och känns som värme. Latent värme är bundet i vattenånga. Det värme som gått åt vid avdunstning frigörs när varm luft stiger och avkyls, varvid vattenångan kondenserar till moln, eller när det bildas dimma, dagg och rimfrost.

På dagen när marken uppvärms påskyndas det konvektiva värmeutbytet. Särskilt vid stark instrålning blir den vertikala omblandningen stor. Temperaturskiktningen kallas därför instabil. Neutral kallas skiktningen när atmosfären är i jämvikt. Då avtar temperaturen med ungefär 1°C per 100 m stigning. På natten då markytan avkyls, i synnerhet vid klart väder, blir det kallare vid markytan än högre upp. Denna sk inversion motverkar det konvektiva värmeutbytet och luften på högre höjd kan behålla sitt värmeinnehåll.

Figuren sid 62 nederst tv: Kortvågig strålning som når atmosfären. 72 % omvandlas till värme, 28 % reflekteras ut i rymden, globalt under året.

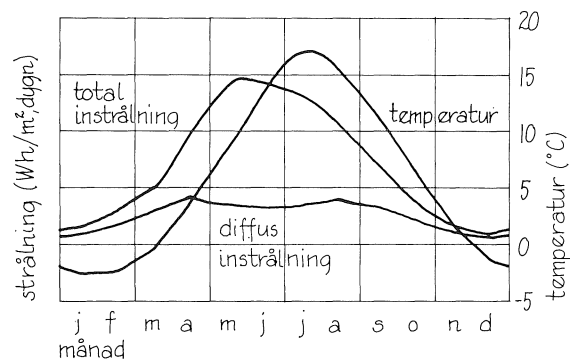
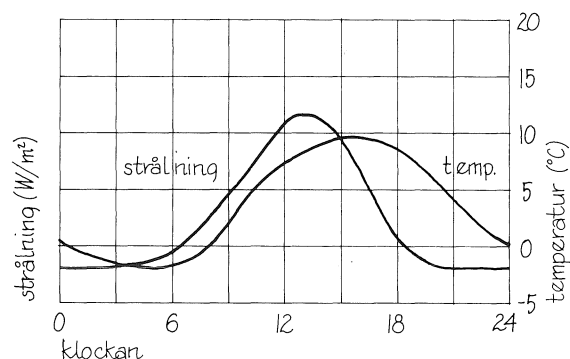
Figuren sid 62 nederst th: Långvågigt strålningsutbyte. Dessutom avges 29 % genom konvektion. Tillfört till markytan 47 % + 96 %. Bortfört från markytan 114 % + 29 %.

4.3 KLIMATPROCESSER

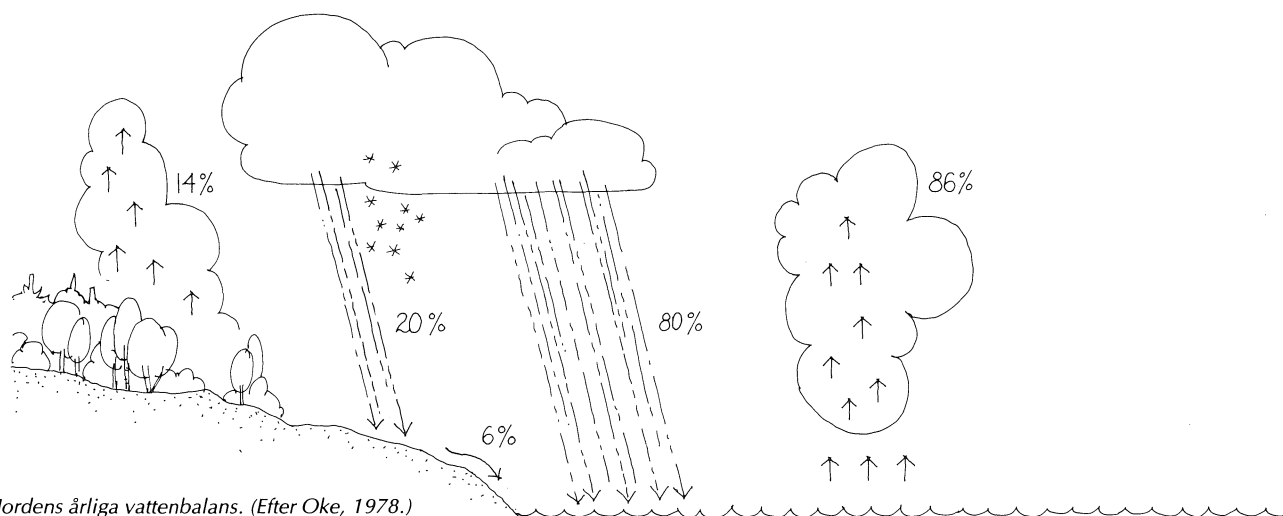
Värmeförflyttning

En del av den värme som absorberas i marken under dagen leds vidare neråt och lagras. När ytan avkyls under natten kan den lagrade värmen ledas upp till ytan och ersätta en del av den värme som strålat ut. Värmelagringen i marken har således stor betydelse för temperaturutjämningen under dygnet, men också under året. Hela systemet för energibalansen får en tröghet som gör att lufttemperaturens maximum förskjuts ca tre timmar respektive en och en halv månad i förhållande till den maximala solinstrålningen under dygnet och året.

Den instrålade energin varierar över jordklotet med breddgraden och med de cykliska dygns- och årsförloppen. Innan strålningen nått marken har den i olika utsträckning reducerats av moln och fasta partiklar. Genom sin topografi och sina termiska egenskaper mm blir markytan ojämnt uppvärmd. Det gör att luften ovanför blir ojämnt uppvärmd, vilket i sin tur leder till lufttrycksskillnader. Luftrörelser uppstår för att jämna ut tryckskillnaderna. Genom jordrotationen och friktionen mot jordytan böjs luftströmmarna av och det bildas virvlar. På ungefär motsvarande sätt uppstår havsströmmarna. Med vindar och havsströmmar förflyttas stora energimängder, och därför har vi i Sverige exempelvis fått ett varmare klimat än vad den instrålade solenergin ensam skulle kunna åstadkomma.



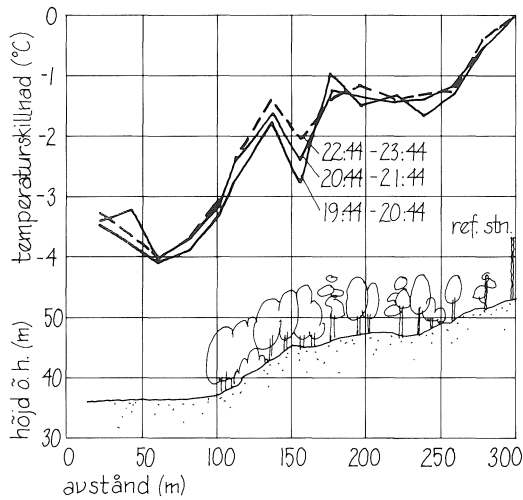
Exempel på dygns- och årsförlopp för temperatur och nettostrålning vid markytan i Sverige. (Källa: SIB.)



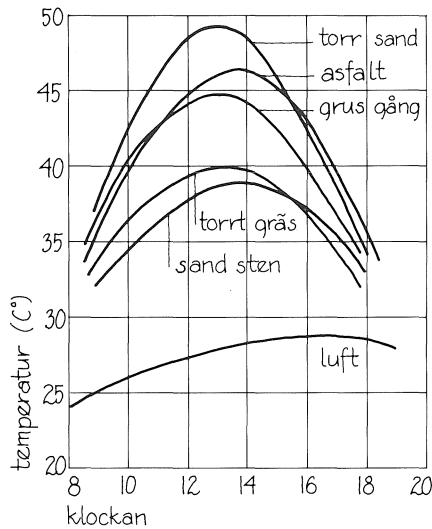
Jordens årliga vattenbalans. (Efter Oke, 1978.)

4.3 KLIMATPROCESSER

Temperaturer vid markytan



Exempel på lokala temperaturskillnader en klar och vindsvag kväll. (Glaumann, 1984.)



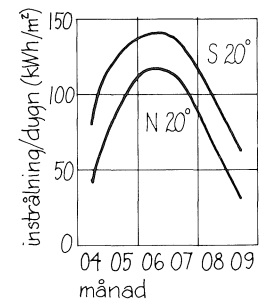
Exempel på skillnader i temperaturer nära markytan en klar dag som följd av olika underlag. (Efter Gajzagó.)

Markytors lutning och orientering har stor betydelse för mängden solstrålning som når dem. Den genomsnittliga instrålningen mot en yta som lutar 20° mot söder är 30 % större än instrålningen mot en yta som lutar 20° mot norr på Stockholms breddgrad och under sommarhalvåret. Under vinterhalvåret är skillnaderna väsentligt större.

Lokala skillnader i strålningsutbytet mellan markyta och atmosfär leder till lokala skillnader i lufttemperatur. Molnighet eller skärmande föremål i omgivningen kan leda till att ut- och återstrålning tar ut varandra. Vind påskyndar det konvektiva värmeutbytet och har en utjämnande effekt på lokala temperaturvariationer.

Särskilt vid klar och vindsvag väderlek kan markytans skiftande termiska egenskaper leda till lokala temperaturskillnader. Ett isolerande ytskikt, tex tät vegetation eller ett snötäcke, medför att strålningsförlusterna snabbt sänker temperaturen vid ytan. Under klara nätter kan det leda till temperaturskillnader på 10°C inom 2 m över marken i terrängsvackor. Även under dagtid uppstår stora variationer i yttemperaturer genom den olika mängd solvärme som absorberas och lagras under olika ytor. Yttemperaturskillnader på tiotals grader leder emellertid bara till någon grads skillnad i lufttemperaturen 2 m över marken då markytan värms. Övertemperaturerna vid ytan gör att den varma luften stiger varvid det sker en effektiv omblandning genom egenkonvektion. Ju högre upp i luften man kommer desto mindre betydelse får markytans temperaturvariationer i tid och rum.

Medelinstrålning per dygn mot lutande ytor mot norr och söder. (Efter Goltsberg.)



4.3 KLIMATPROCESSER

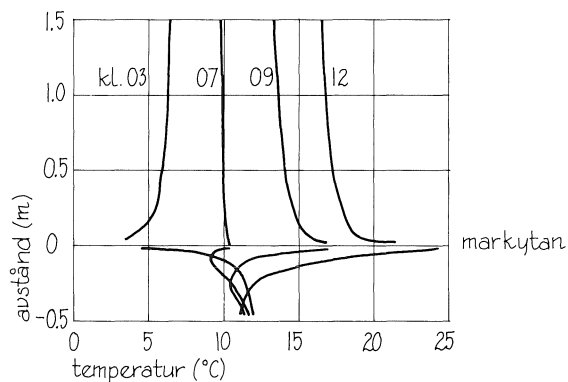
Strålningens inverkan på temperaturen

Förmågan att återspegla solstrålning, det s.k. albedot, avspeglas i en ytas färg, eftersom drygt hälften av solstrålningen ligger inom det synliga våglängdsområdet. Albedot varierar mycket mellan de ytor som förekommer i natur och i bebyggelse och den förändras bl.a. med vattenhalten. Jämför exempelvis skillnaden mellan gammal och ny snö i tabellen.

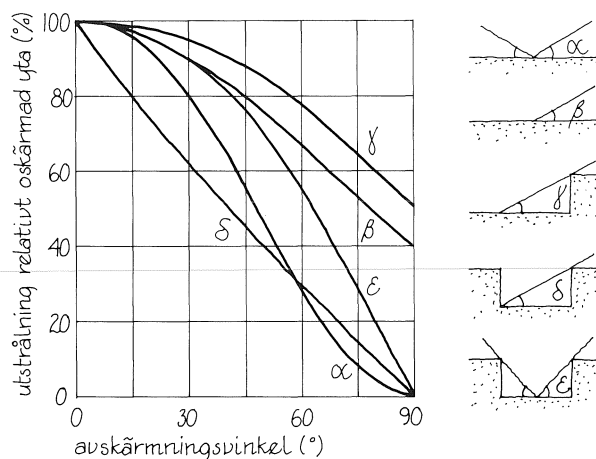
Den långvågiga strålningen absorberas däremot nästan helt av markytor av olika slag liksom av de flesta byggnadsmaterial med undantag för blanka metallitor. Emissionsförmågan är proportionell mot absorptionsförmågan inom varje våglängdsområde. Dålig reflektionsförmåga inom det långvågiga området kan således vägas upp genom att den absorberade värmen emitteras från ytan.

Utstrålningen är i stort sett lika stor mot hela det oskärmade himlavalvet. I avskärningsberäkningar kan det betraktas som en yta som är ungefär 20°C kallare än luften vid marken, vilket leder till en nettoförlust på drygt 100 W/m² vid fri horisont och klar himmel. Värmeförlusten blir därför proportionell mot den rymdvinkel som den fria himlen upptar. Skärmande föremål, t.ex. träd och hus, har i regel samma temperatur som markytan eller är varmare, varför inga nämnvärda förluster sker till den närmaste omgivningen.

Ytors absorption av kort- och långvågig strålning har stor betydelse i naturen och kan utnyttjas medvetet vid bebyggelseplanering. Genom upprepad reflektion släpper ett glest lövverk igenom rätt mycket av solstrålningen till markytan, medan det absorberar den långvågiga strålningen från marken. På samma sätt fungerar snö och vattenytor liksom fönster.



Temperaturfördelning kring markytan vid olika klockslag en solig förmiddag. (Efter Geiger, 1971.)



Horisontavskärningens betydelse för nettoutstrålningen. (Efter Geiger, 1971.)

4.3 KLIMATPROCESSER

Markytan som temperaturutjämnare

Skillnader i värmeupptagningsförmåga hos olika markytor orsakar skillnader i lufttemperatur främst vid klart väder och svag vind, dvs stor netto in- eller utstrålning och liten luftomblandning. För klara nätter finns ett empiriskt samband mellan temperatursänkningen efter solnedgången, tiden efter solnedgången, nettostrålningen och värmeupptagningsförmågan hos marken. Sambandet gäller temperaturen vid ytan men kan utsträckas till att gälla upp till två meter när den vertikala omblandningen är obetydlig. Sambandet visar att det under klara och stilla nätter kan bli 6–7°C kallare ovanför en gräsyta jämfört med en stenyta vid nettoutstrålningen 100 W/m².

Bortsett från att värmeupptagningsförmågan hos marken ökar med vattenhalten har fuktigheten stor betydelse för ytuppvärmningen genom den stora mängd värme som åtgår vid avdunstning. För att förångna 1 kg vatten krävs lika mycket värme som för att höja temperaturen på 6 kg vatten från 0 till 100°C, dvs 2 500 kJ. Över en vegetationsyta går det ofta åt mer än dubbelt så mycket värme i genomsnitt till avdunstning jämfört med uppvärmning. Genom avdunstningen från växtligheten hålls ytemperaturen och därmed också lufttemperaturen intill marken nere även vid stark solinstrålning. I bebyggelse med hårdgjorda och dränerade ytor går solvärmen i mycket högre grad åt till uppvärmning av mark och byggnadsytor.

Vattnet i naturen spelar överhuvudtaget en mycket stor roll som klimatutjämnare. Det beror dels på vattnets höga värmekapacitet och dels på de stora värmemängder som binds eller frigörs när vattnet övergår mellan fast, flytande och gasform.

4.3 KLIMATPROCESSER

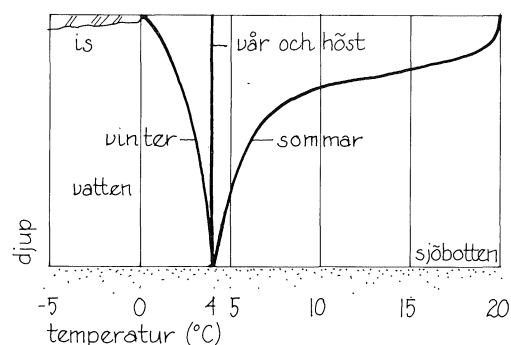
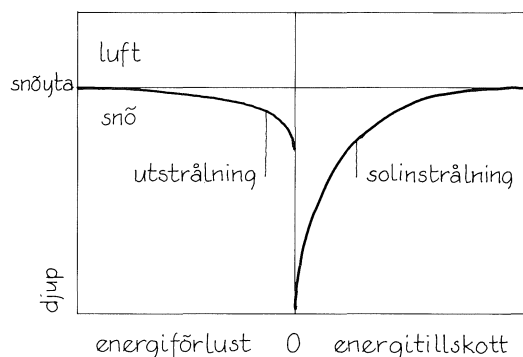
Inverkan av snö och sjöar på temperaturen

Ett snötäcke ökar markens albedo upp till 90 %, samtidigt som det isolerar marken mycket effektivt, beroende på en mycket låg värmeledningsförmåga. Det innebär också att snöytan avkyls mycket kraftigt vid klart och stilla väder nattetid. Temperaturskillnader på 20 °C inom små avstånd vid marknivå är inte ovanliga i sådana situationer. Med tiden eller vid tö minskar snöytans albedo medan dess värmeupptagningsförmåga ökar. Solstrålning kan tränga ner till markytan genom ett inte alltför tjockt snötäcke. Eftersom ytskiktet kyls av genom utstrålning får snölagret sitt största värmetillskott ett par centimeter under ytan vid solinstrålning. Snön töar inifrån och sjunker ihop – blommor står i knopp under snön.

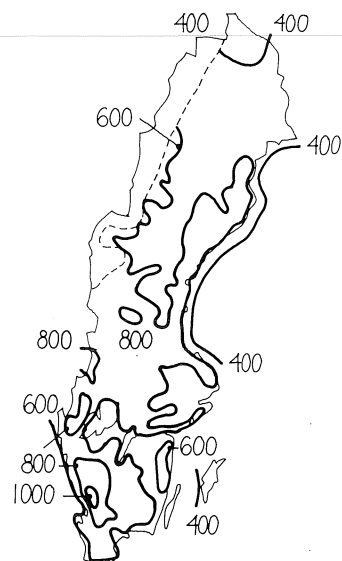
Vatten lagrar stora mängder solvärme genom att transmitta och successivt absorbera det mesta av solstrålningen, som mest 95 % under sommaren då solen står som högst. Solstrålningen tränger ner och värmer vattnet under ytan.

När en vattenyta avkyls sjunker det kalla vattnet tills hela volymen antagit 4 °C då densiteten är som störst. Först därefter kan ytan kylas av ytterligare så att det bildas is. Det tar lång tid att kyla och värma hav och sjöar, vilka därigenom får en temperaturfördröjande och utjämnande inverkan på omgivande land.

Den höga relativa fuktigheten över vattenytan gör att frekvensen dimma och rimfrost vid närliggande landtytor kan öka. Särskilt när kall luft från en avkyld omgivning strömmar ut över vatten kan kraftig dimma bildas inom de närmsta metrarna över vattnet.



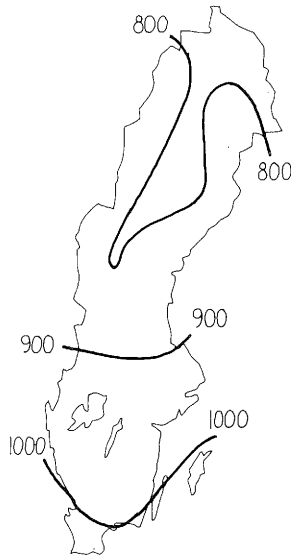
- överst Strålningsbalans för ett snötäcke under ett klart dygn. (Efter Oke, 1978.)
mellan Vertikal temperaturfördelning i vatten under olika årstider. (Efter Mattsson, 1979.)
nederst Årlig nederbördsmängd. (Efter Taesler, 1972.)



Årlig nederbörd (mm)

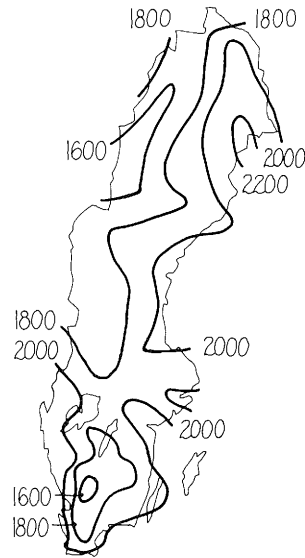
4.4 OMRÅDESKLIMAT

Klimatet i Sverige



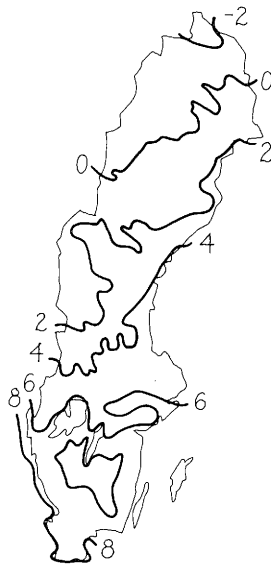
årlig solinstrålning
(kWh/m²)

(Efter Ångström, 1974.)



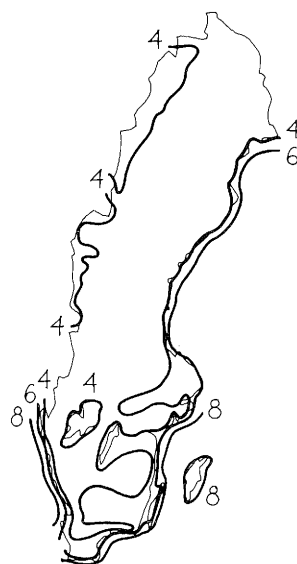
årligt antal soltimmar

(Efter Lindholm, 1955.)



årlig medeltemperatur
(normaltemperatur) (°C)

(Efter Taesler, 1972.)



vindens årliga median-
hastighet (på 10 m höjd)
(m/s)

(Efter NE, 1977.)

Sverige är ovanligt varmt för att ligga så långt norrut. Det årliga energitillskottet från solen räcker inte helt för att upprätthålla Sveriges temperaturnivå. Det sker i stället med hjälp av värmestillskott från sydligare breddgrader via Golfströmmen och lågtrycken från Atlanten som vandrar upp över Sverige från sydväst till nordost.

Vidstående figur visar globalstrålningens (direkt och diffus solstrålning) fördelning över Sverige. Den förhållandevis större molnigheten i fjälltrakterna och på västsidan av småländska höglandet ger en lägre instrålning och de klarare kusterna får en högre instrålning. De årliga skillnaderna styrs av molnigheten snarare än breddgraden, men andelen instrålad energi under vintern blir naturligtvis mindre ju längre norrut man kommer.

Under sommaren är skillnaderna i månadstemperatur inte så stora, utan det är i första hand kylan vid ökad höjd över havet som gör sig gällande. Skillnader i medeltemperaturen under året betingas av en kombination av nordligt läge och höjd över havet.

Eftersom vindhastigheterna vid marken bromsas upp av hinder är blåsigheten på en plats i huvudsak beroende av råheten hos omgivande landskap. Ju flackare och öppnare landskap desto blåsigare. Områden där årsmedianhastigheten är över 4 m/s kan betraktas som blåsiga. Detta gäller främst kustbanden och de stora inlandsslätterna. Mycket blåsiga är de ställen där årsmedianhastigheten är över 6 m/s, vilket gäller för sydligaste Skåne och västkustens kustband.

Nederbördsmängden följer i stort molnigheten. Årsnederbörden 500 mm är vanlig i Sverige men i Sydvästsverige, framför allt på västsidan om småländska höglandet, har man nästan dubbelt så stor nederbörd.

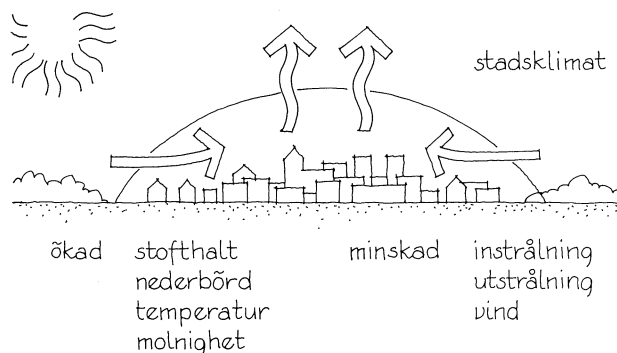
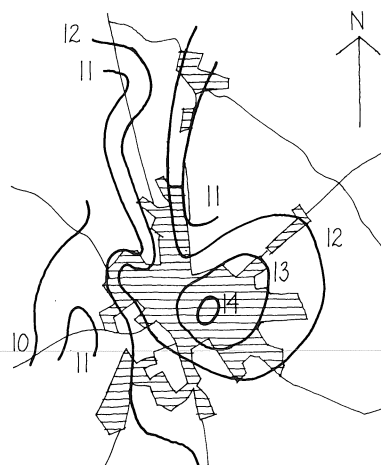
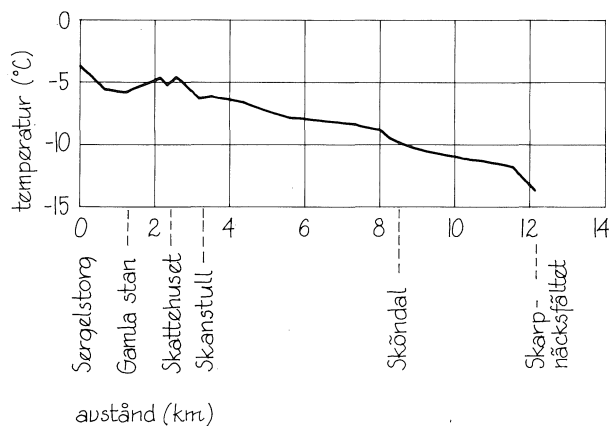
4.4 OMRÅDESKLIMAT

Stadsområden

Årsmedeltemperaturen i medelstora och stora städer är ofta 0,5–1,0°C högre än för omgivande landsbygd. Det beror på att lufttemperaturen vid klart väder och lite vind nattetid ofta är 5–10°C högre än utanför staden. Detta gäller också dagar under vintern. Detta fenomen, som brukar kallas stadens värmeö, beror på många faktorer, tex den bättre upplagringen av solvärme i stadens tunga material, minskad ytavdunstning genom dräneringen och produktion av värme vid processer, uppvärmning och kommunikationer. Temperaturförhöjningen leder till hävning av luften över staden vilket i sin tur kan ge upphov till en svag vind in mot centrum.

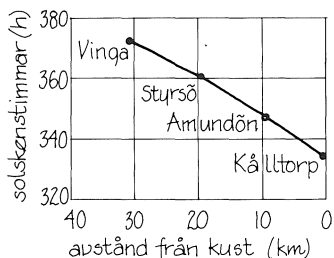
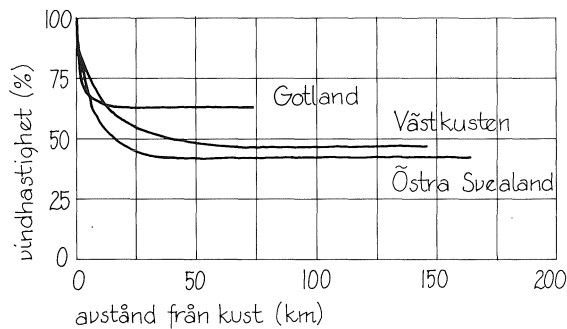
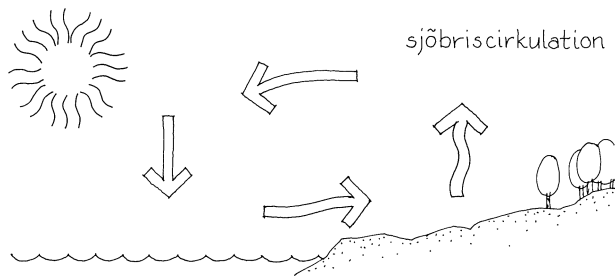
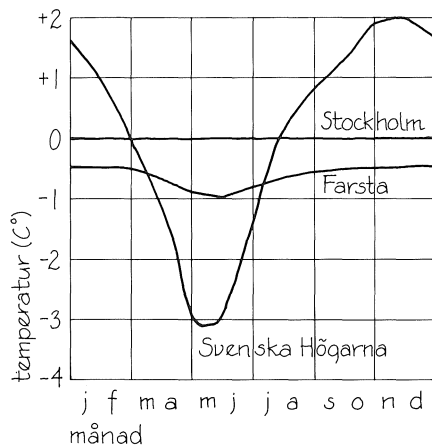
Värmeöeffekten är starkt avgränsad till bebyggelseområden. Den högre temperaturen leder också till minskad frekvens strålningsdimma, dvs dimma som bildas på låg nivå vid klart väder p g a att marken avkyls kraftigt genom utstrålning.

Städer har i genomsnitt en större molnighet och nederbörd samt lägre instrålning och vindhastighet jämfört med omgivande landsbygd. Hävning av luft över stadsområdet och den ökande förekomsten av kondensationskärnor (föroreningar) gynnar molnbildning och nederbörd. Hävningen kan alltså bero på värmeöeffekten vid svag vind men också på ökad omblandning p g a den stora markskrovligheten vid starkare vind. Ökningen av nederbörds-mängden brukar ligga i storleksordningen 5–10% för storstäder. Den ökade stofthalten och molnigheten minskar både in- och utstrålningen, medan den ökade markfriktionen minskar medelvindhastighe-ten vid marken.



överst *Temperaturskillnad en klar decemberkväll mellan Stockholms city och södra förorter. (Efter Glaumann.)*
 mellan *Värmeö i Uppsala. (Fritt efter Sundborg.)*
 nederst *Karaktäristiska drag i stadsklimatet.*

4.4 OMRÅDESKLIMAT Kustområden



Vattnets stora värmelagringsförmåga leder till en temperaturutjämning vid hav och större sjöar. Det innebär att våren kommer senare och hösten stannar längre i kustbandet. Under november är det genomsnittligt ca 2°C varmare i Stockholms yttre skärgård (Svenska Högarna) än inne i Stockholm och i maj är det ca 3°C kallare i kustbandet.

Vattnets termiska tröghet gör också att vattnet i regel är kallare än landet på dagen och varmare än landet på natten under förhållandevis klara sommaridag. Över den varmare ytan får man en hävning som leder till sug från den kallare ytan. Hävningen förorsakar ofta också molnbildning.

På detta sätt uppstår under somrardagar en sjöbris som i allmänhet sträcker sig 40–50 km in från kustbandet. Sjöbrisen kulminerar under eftermiddagen då landet är som varmast. På grund av jordrotationen och friktionsskillnader över land och vatten blir sjöbrisens riktning ofta mer eller mindre parallell med kusten. På ostkusten är dess riktning ofta mellan ost och syd medan den på västkusten ligger mellan sydväst och syd. Sjöbrisen brukar vrida medsols under dagen. Under klara nätter sommartid då vattnet är förhållandevis varmare kan en vind från land till vatten uppstå, landbrisen. Denna är emellertid betydligt svagare än sjöbrisen.

Vattnets relativa kyla under sommarhalvåret leder till ett ökat antal solskenstimmor i kustbandet. Ofta rör det sig om storleksordningen 10% fler solskenstimmor vid havet jämfört med några mil inåt i landet. Den mindre molnigheten leder också till minskad mängd nederbörd i havsbandet. Slutligen leder den relativa kylan i vattnet, särskilt under våren, till att kustremsan är mer utsatt för dimmor. Bara någon mil in från havsbandet är frekvensen dimma ofta väsentligt lägre.

överst Exempel på temperaturskillnad mellan stad, land och kust. (Efter Ångström.)

mellan Sjöbriscirkulation.

mellan Vindhastighetens avtagande med avståndet från kusten. (Efter Nord, 1975.)

nedre: Skillnad i soltid vid kusten. (Efter Ångström.)

4.4 OMRÅDESKLIMAT

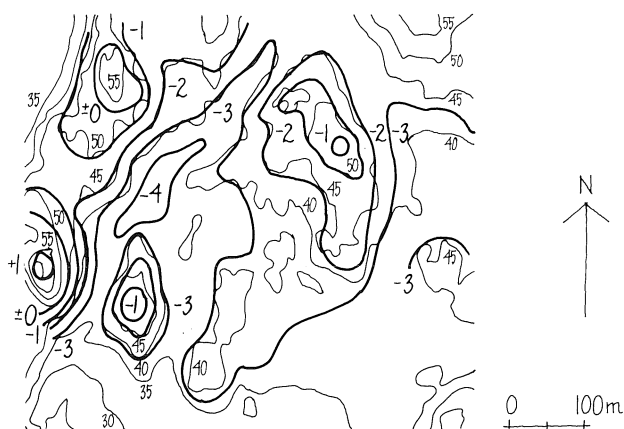
Kallluft och nederbörd i kuperade områden

Kuperad terräng påverkar klimatet på många olika sätt.

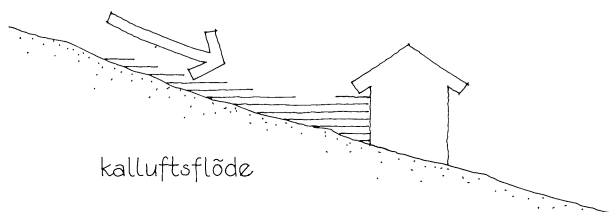
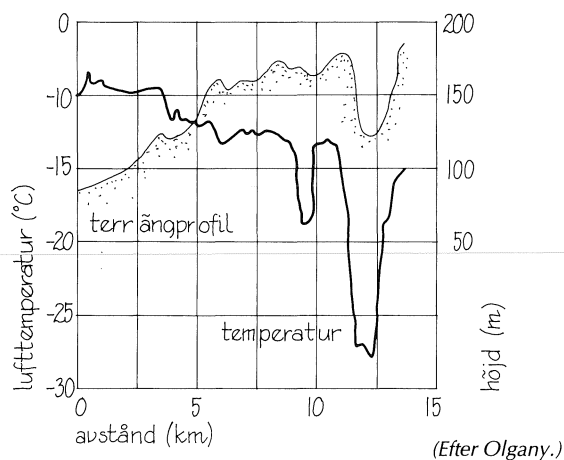
Den kallluft som bildas på sluttningar vid klart och vindsvagt väder under nätter sjunker genom sin relativt större tyngd ner i sänkor och dalgångar. Man får kallluftsjöar med undertemperaturer på ett antal grader i ett småkuperat landskap som t.ex. det kring Stockholm och Göteborg. I mer storskaliga dalgångar kan temperaturunderskottet bli 10°C eller mer.

Där den kalla luften rinner undan i en sluttningens övre parti får man en förhållandevis varm zon, termalbältet. Den kalla luften rinner trögt längs sluttningar och däms därför lätt upp av hinder längs nivåkurvorna. Den kan därigenom svepa in större hinder, såsom träd och mindre hus, i kallluft. De tröga kallluftflödena kan i princip styras genom lämpligt placerade hinder. De låga temperaturerna i sänkor ger kondensation tidigare här än på andra ställen. Frekvensen av dimma, rimfrost och dagg ökar därmed.

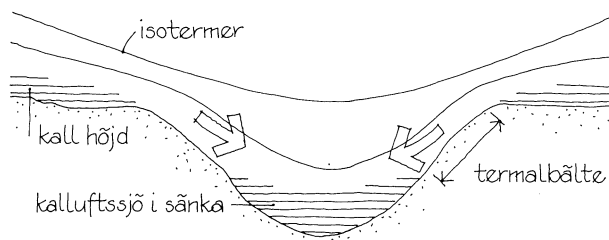
Högre terrängpartier får genomsnittligt mer nederbörd än öppen flack terräng. Orsaken anses bl.a. vara att det bildas mer låga moln genom den påtvingade hävningen över toppar. Dessa kan i sin tur förstärka nederbörd som faller genom dem från högre liggande molnsystem. Även skogsområden får mer nederbörd än öppen åkermark, men i det här fallet beror den ökade molnbildningen på den större avdunstningen från områden med mer växtlighet.



Exempel från Södertuna visande samstämmighet mellan topografi och temperaturzonering. (Efter Glaumann.)



Klara, lugna nätter bildas lätt kallluftsansamlingar på ovensidan om hinder.

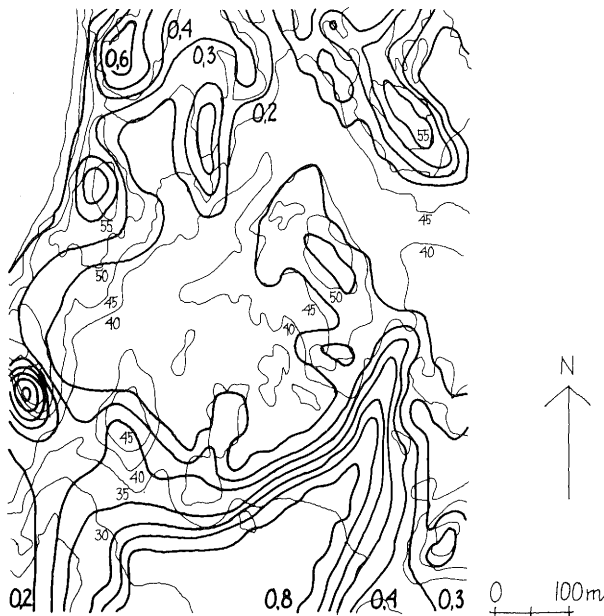


genomsnittligt: minskad temperatur
ökad fuktighet
dimma
dagg

Typisk kallluftsamling i en sänka under klar stilla natt.

4.4 OMRÅDESKLIMAT

Vindar i kuperade områden



Exempel på ett sömländskt landskap redovisande blåsiga områden vid en förhärskande vindriktning. (Efter Glaumann.)

Höjdparter och öppna fält får naturligtvis också högre vindhastigheter än skogsområden och städer. De högsta vindhastigheterna när det blåser mot en kulle har man i lovert strax nedanför toppen. Också kullens sidor blir förhållandevis blåsiga. Även glesa trädbestånd på en kulle reducerar emellertid vindhastigheterna vid marken mycket. I småkuperad skogsterräng minskar också hastigheterna på höjderna genom att träden i sänkorna är högre och därigenom jämnar ut nivåskillnaderna på trädtoppsnivå. Sparas högre vegetation vid exploatering får byggnader lägre än trädtoppsnivå ett avsevärt vindskydd från dessa (jfr avsnitt 4.5).

Dalgångar och åsar kan vrida och styra vindriktningen parallellt med hindret. I pass och vid foten av höjder kan man få ökade vindhastigheter genom sammanträngningen av luft. Bakom branta berg kan dödluftområden med nedslag och återcirkulation bildas. Vid sådana tillfällen ventileras inte föroreningar bort utan koncentreras i stället.

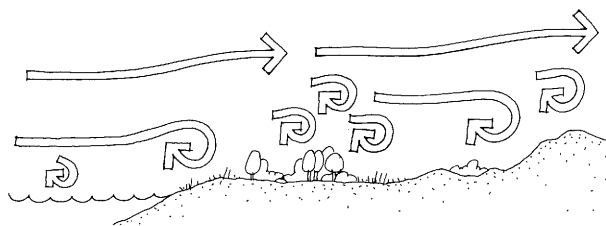
4.5 VIND

Vindkaraktäristik

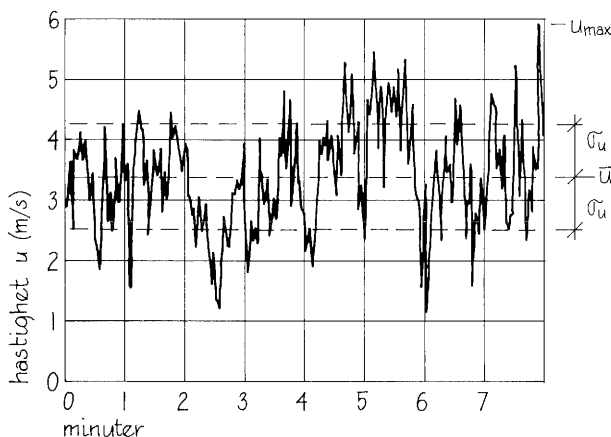
Vinden vid marken varierar ständigt till riktning och hastighet beroende på den virvelbildning som friktionen mot markytan åstadkommer. Under någon sekund kan hastigheten öka eller minska med flera m/s. På en öppen yta uppträder hastighetsvariationerna slumpmässigt men tenderar att ha toppar med ett par minuters mellanrum. Nära hinder blir vinden oroligare – antalet mindre virvlar ökar och topparna kommer oftare.

Variationerna i hastighet och riktning beskrivs enklast i form av medelvärde, standardavvikelse och maxvärde, se figuren. Maxhastigheten under några sekunder på en öppen yta är i regel ca 1,7 ggr större än medelhastigheten under en timme. I bebyggelse blir medelvindhastigheten lägre än på ett fält, men maxhastigheten i enstaka byar kan to m bli större i förträngningar. Det innebär att topphastigheterna kring hinder av olika slag ofta är 3–4 ggr så stora som medelvindhastigheten under motsvarande period. Bygheten anges som standardavvikelse, σ_u , i förhållande till medelvindhastigheten, \bar{u} , vilket kallas turbulensintensitet, I . På ett öppet fält är turbulensintensiteten ca 0,2. I bebyggelse kan den gå upp till ca 0,6, men variationerna blir stora beroende på vindriktning och mätpunkt. När vindens riktning kan betecknas som stadig är riktningens standardavvikelse i regel ändå över 10° . Bakom hus, där virvelbildningen är stor, vrider vinden ofta varvet runt.

Data över vind uppmäts enligt internationell standard på 10 m höjd över marken på en öppen yta. Medelvärden för 10-minutersperioder samlas. Ofta är det svårt att hitta idealiska mätplatser, varför hastigheterna inom vissa väderstreck kan underskattas. För varje mätplats finns emellertid en omgivningsbeskrivning. Vindmätningar förekommer främst på flyg- och fyrplatser.



En ojämn markyta skapar kraftig turbulens-byighet.



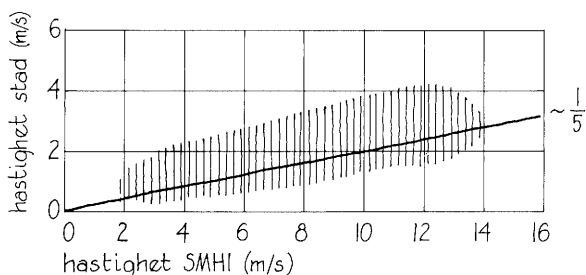
Uppmätta variationer i vindhastighet. Vinden varierar ständigt i hastighet och riktning.

$$I = \frac{\sigma_u}{\bar{u}}$$

I = turbulensintensitet

σ_u = hastighetens standardavvikelse

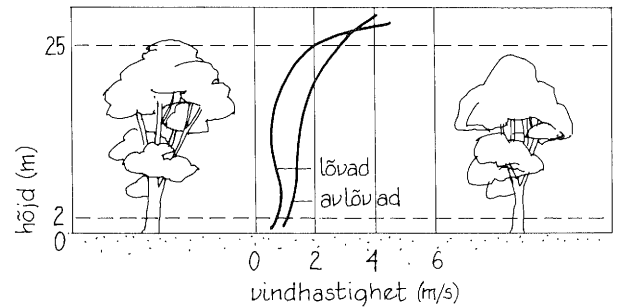
\bar{u} = medelvindhastighet



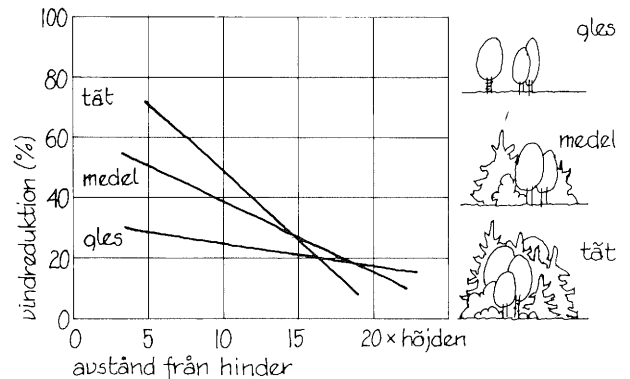
Skillnader mellan vindhastigheter på flygfält och i stad.
(Fritt efter Holmer, 1978.)

4.5 VIND Vindkaraktistik (forts)

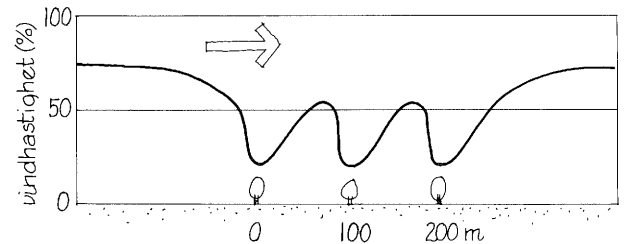
Beaufort	m/s	vindens verkningar på en öppen yta
		Lungt, ingen märkbar vind
1		Vinden känns i ansiktet
2	2	Vinden lyfter en lätt vimpel
3	3	Vinden sträcker en vimpel Kläderna fladdrar
4	4	Kvistar och tunnare grenar sätts i rörelse Papper och damm blåser upp från marken
5	5	Mindre lövträd svajar, snön yr upp Kläder fladdrar häftigt
6	6	Gånghastigheten i motvind sjunker något
7	7	Stora brädgrönar sätts i rörelse Svårt att gå stadigt
8	8	Tydligt nedsatt gånghastighet mot vinden Vindljudet störande
9	9	Hela träd svajar Man går inte obehindrat
10	10	Kvistar bryts
11	11	Allmänt besvärligt att ta sig fram
12	12	Svårt att hålla balansen i byarna
13	13	Skador på byggnader Stor risk för att folk blåser omkull i byarna
14	14	
15	15	
16	16	
17	17	
18	18	
19	19	
20	20	
21	21	
22	22	
23	23	
24	24	



Vindhastigheten reduceras mycket kraftigt i skog. (Efter Geiger, 1971.)



läbildning vid vegetation
(Fritt efter Jensen, 1959.)



vindreduktion på 2m höjd i förhållande till den fria vindhastigheten på 10m höjd vid upprepade hinder

(Fritt efter Jensen, 1959.)

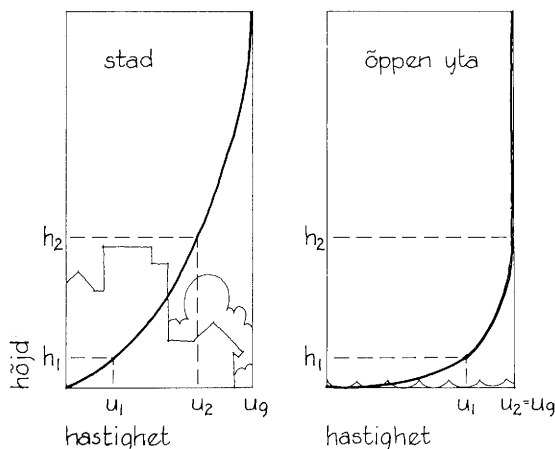
4.5 VIND

Vindobservationer

De flesta vinddata grundar sig emellertid inte på mätningar utan på observationer. Dessa sorteras efter vindens synbarliga effekter i naturen, t ex krusningen på en vattenyta och lövens rörelser. Vinduppskattningens tillförlitlighet blir beroende av observatörens erfarenhet och skicklighet. Måttenheten kallas Beaufort efter den person som på 1800-talet utvecklade denna bedömningskala, som var avsedd att användas till sjöss, och som sedan modifierats till att också gälla landförhållanden.

Vindhastigheten på 2 m höjd är ofta bara ca 75 % av genomsnittliga hastigheten på 10 m. Inne i bebyggelsen är den kanske bara 1/4 eller 1/5 av den hastighet som rapporteras från närmsta observationsstation. Människor överskattar därför i allmänhet blåsigheten uttryckt i m/s. Inte heller vindriktningarna på en flygplats eller kuststation behöver överensstämma med vindriktningarna inom bebyggelse.

Ett bra sätt att få en överblick över vindstatistiken är att rita upp en vindros. Frekvensen av vind med olika riktning kan med fördel delas upp i olika hastighetsklasser. Staplarna bör helst inte sammanbindas eftersom man inte kan interpolera mellan olika vindriktningar. Vindrosor kan också göras t ex för vindriktning/vindhastighet i kombination med regn eller snö.



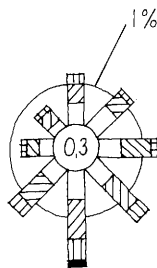
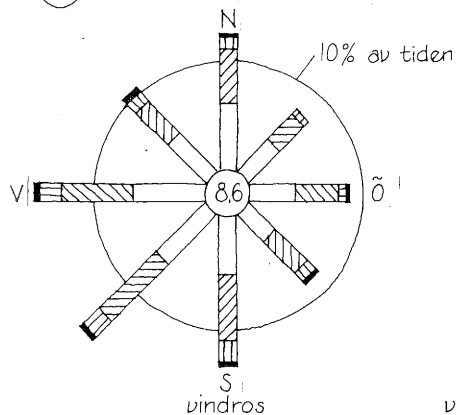
$$\left(\frac{h_1}{h_2}\right)^\alpha \approx \frac{u_1}{u_2}$$

u_g = gradienthastigheten, dvs den hastighet som är oberoende av markytan

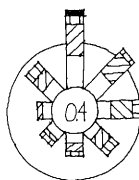
α = konstant beroende av markytan

Vindens hastighetsökning med höjden vid olika ojämnheter hos markytan.

86 = frekvens lugna dagar i %

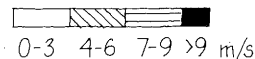


vind när det regnar

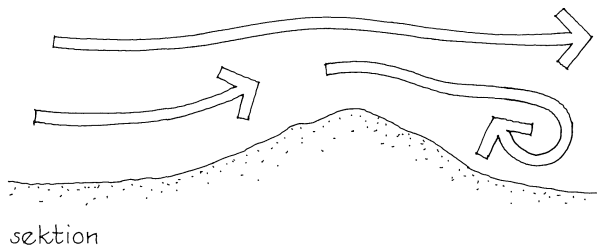


vind när det snöar

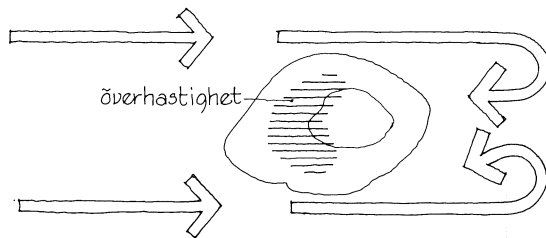
Exempel på vindrosor vid olika väderlek. (Klimatdataboken, Taesler, 1972.)



4.5 VIND Vind i naturlig terräng

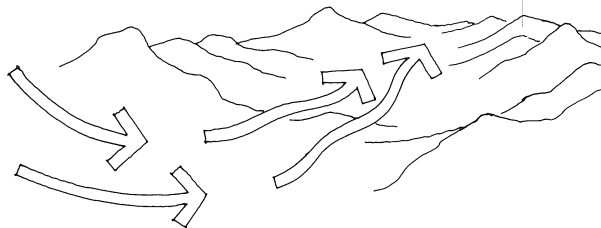


sektion



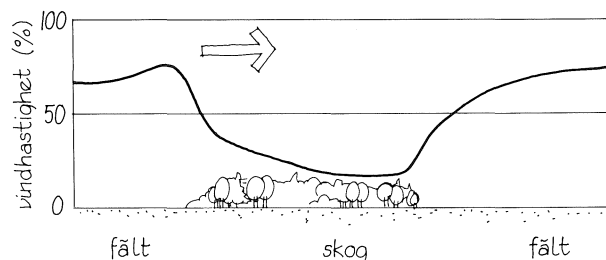
plan

Luftrörelser kring en kulle.



kanalisering

Vinden tenderar att blåsa parallellt med dalgången.



vindreduktion på 2 m höjd i förhållande till den fria vindhastigheten på 10 m höjd vid skog och växtridåer

(Efter Glaumann, 1985.)

Kullar och höjder är blåsigare än lägre terrängpartier. Störst är vindhastigheten på lovartsidan strax nedanför krönet. På sidorna blåser det i regel mer än vid samma nivå i lovart. Bakom en brant kulle eller ett berg utbildas ett sk vakområde med återcirkulation. I dalgångar kanaliseras vinden ofta så att vindriktningar längs dalgången blir vanliga. Samtidigt kan vinden förstärkas.

Vegetationen utgör i regel ett mycket effektivt vindskydd. I en skog är vindhastigheten i regel mindre än en femtedel av vad den skulle vara om skogen inte fanns där. Hastigheten avtar skarpt uppe vid trädkronorna och är sedan relativt jämnsvag ner till marken.

Vid övergång från skog till öppen yta ökar vinden snabbt och har praktiskt taget återhämtat sin fulla styrka efter ett par hundra meter. När vinden blåser från fältet mot ett skogsbryn uppstår en mindre hastighetsökning strax före brynet, där vinden tvingas upp. Vinden kan tränga in något hundratals meter och håller sig därefter på konstant låg nivå. I lövskog kan vindhastigheten öka till det dubbla när löven fällt. Trädart och täthet ger förstås stora variationer i vindinträngning.

Läeffekten av enstaka trädbestånd kan sträcka sig ca 15–20 hinderhöjder bort. I princip ger en tät växtridå större läeffekt över en mindre yta medan det glesare beståndet ger en svagare effekt men över en större yta. Samma förhållande gäller för täta respektive genomsläppliga skärmar. Genom upprepade hinder, t ex träd eller buskar, med 100–150 m intervall kan man reducera vindhastigheterna väsentligt över en stor yta, vilket länge utnyttjats av jordbrukarna i ett öppet landskap. *Det bästa vindskyddet för en avgränsad yta åstadkoms genom upprepade glesa hinder i omgivningen, som reducerar den allmänna hastighetsnivån, samt ett tätt skydd intill den yta som skall skyddas.*

4.5 VIND

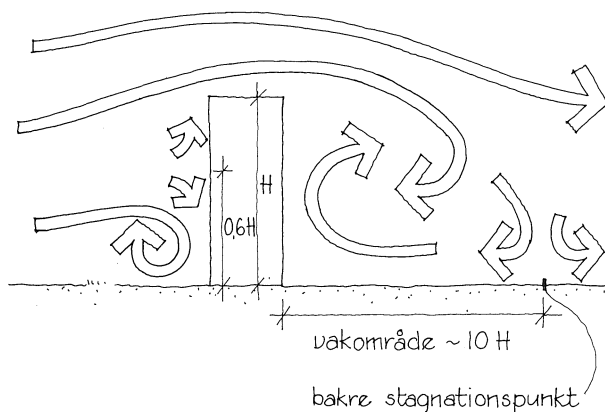
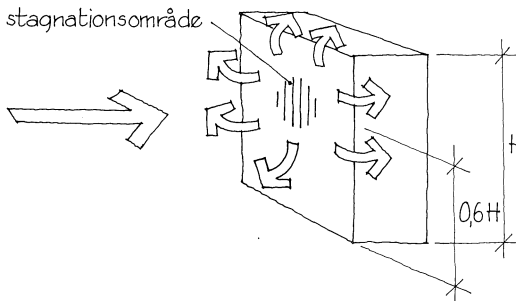
Strömning kring byggnader

När det blåser mot en byggnad delas luftströmmen vid lovertfasaden så att en viss del leds upp över byggnaden medan resten leds nedåt och runt kanterna. Höga hus leder på så vis den starkare vinden på högre höjd till marknivå. Vid delningspunkten – stagnationspunkten – som när vinden haft fritt spelrum ligger på knappt två tredjedelar av hushöjden, blir vindhastigheten låg och trycket högt. På den övre delen av huset förs tex snö och regn underifrån mot fasaden och upp mot takfoten.

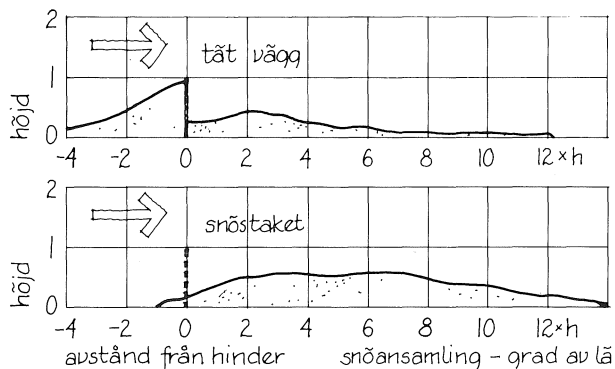
När vinden passerar över taket bildas virvlar längs takfoten som sveper in över taket. Genom tryckfördelningen fås en återströmning i bakkant av takytan. Området med återcirkulation är betydligt mer stort, dvs har en högre turbulensintensitet än ovanför där strömningen är stadigare. Gränsen mellan dessa två områden kan vara skarp. Sedd i sektion kallas den separationslinje.

På läsidan bildas också ett slutet läområde, en s k vak, med återcirkulation från den bakre stagnationspunkten belägen mindre än 10 hushöjder nedströms. Ju smalare huset är i förhållande till höjden, desto närmre kommer den bakre separationspunkten.

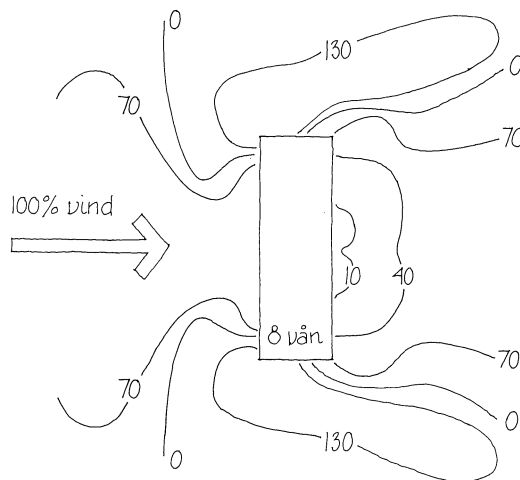
Byggnadens hörn genererar virvlar med vertikal axel. I mittfältet bakom huset har man en tydlig återströmning som rullas upp i två kringlor på läsidan. Hastigheterna vid marken i förhållande till en ostörd punkt visas i vidstående figur för ett åttavåningshus. Hastigheten blir som störst strax utanför lovertshörnen. Överhastighetsområdet ligger som ett öra mot lä. När byggnadshöjden minskar, minskar också örats storlek samtidigt som det kommer närmare lovertshörnet.



Luftrörelser vid en enstaka byggnad vid vinkelrät anblåsning.

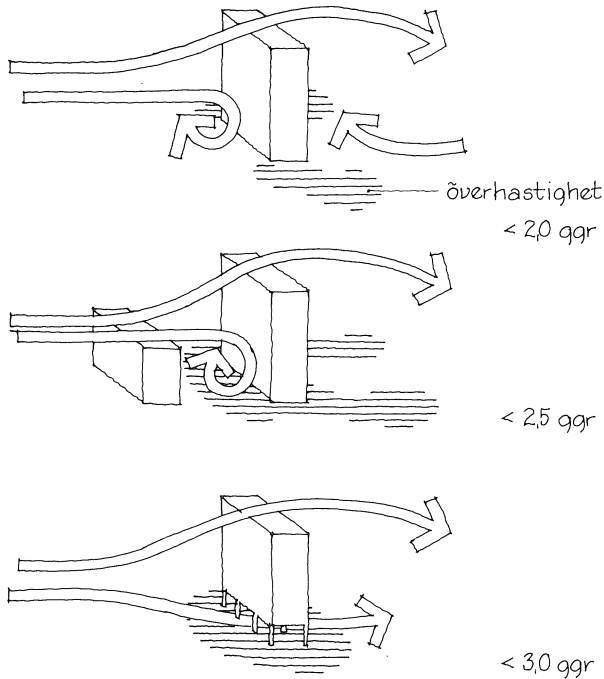


(Efter WMO, 1964.)

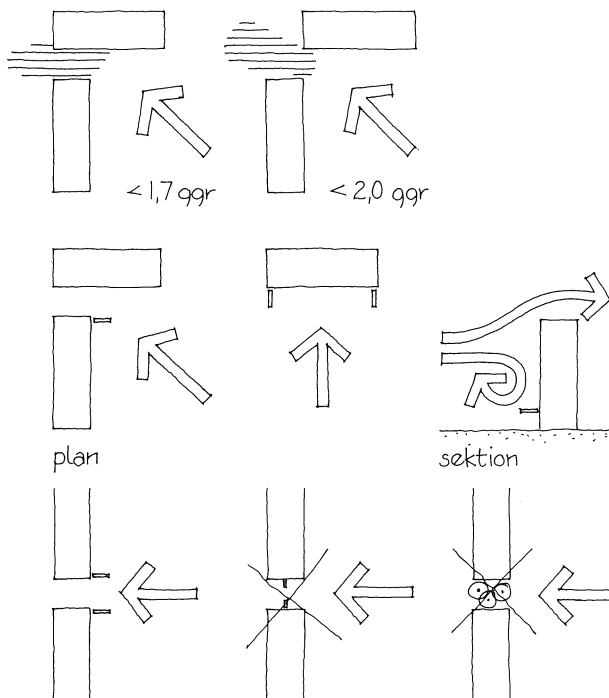


Typiska hastighetsvariationer kring en 8-våningsbyggnad. (Efter Hellers/Lundgren.)

4.5 VIND Strömning kring byggnader (forts)



Överhastighetsområden vid olika byggnadsgruppering (hastighetsförstärkning).



Åtgärder som minskar vindens överhastighet något.

Graden av lä är inte störst på läsidans mitt utan närmare hörnen vid de stora lävirvlarna. Vid sned anblåsning förskjuts läområdet och blir mindre, men de högsta och lägsta hastigheterna är ungefär desamma. Högsta medelhastigheten vid hörnet blir ungefär 2 ggr så hög som den skulle varit utan hus.

När en lägre byggnad placeras framför en högre kan lovartsvirveln förstärkas och man får en blåsig yta även framför huset. Högsta hastigheten vid marken kan bli ungefär 2,5 ggr så hög som utan hus. Detta inträffar ofta vid torgbildningar med ett högre hus vid en sida. Den största förstärkningen erhålls när avståndet mellan byggnaderna är 0,8 ggr det högre husets höjd.

De allra blåsigaste förhållandena vid marken inträffar när stora och höga hus lyfts upp på pelare eller förses med en öppen passage på mitten. Medelhastigheter på ca 3 ggr den ostörda vinden vid marknivå kan då förekomma.

När byggnader placeras intill varandra i vinkel kan också lokala överhastigheter uppstå. Ju högre byggnader och ju trängre passager desto större blir överhastigheterna. När byggnaderna placeras hörn mot hörn blir överhastigheterna större än när de förskjuts omlott.

Hinder såsom skärmar och träd inom överhastighetsområdena ger sällan någon nämnvärd förbättring utan kan snarare försämrare förhållandena eftersom man får ytterligare förträngningar där luften drivs förbi. Den drivande tryckskillnaden mellan lovart- och läfasad har inte påverkats. Hinder som börjar utanför överhastighetsområdet och motverkar att luften rör sig mot de utsatta ställena kan ha viss effekt. För att vara effektiva måste dessa emellertid vara stora. Överbyggnader eller en förstörd sockelvåning kan förhindra att överhastighetsområdet sammanfaller med vistelseytor.

4.5 VIND

Planering med hänsyn till vind

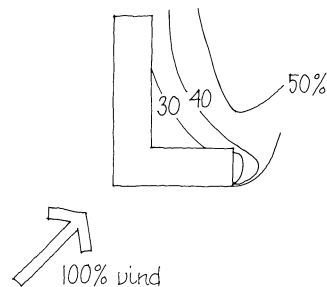
Lämbildningen bakom ett rektangulärt hus blir vid sned anblåsning liten. Ett betydligt större läområde får man kring ett vinkelhus vid så gott som alla vindriktningar. Detta gäller generellt och således också för mindre hinder som skärmar, trädbestånd osv. Alla hinder blir effektivare i vinkelform än som raka skivor, eftersom vindriktningarna alltid växlar.

Att stora, höga hus och smala passager i ett blåsigt landskap ger problem är väl känt. Det är erfarenheter som dragits från 60- och 70-talens stora bostadsområden. Att rätta till problemen i efterhand är svårt eftersom de medel som finns att arbeta med – vegetation, hägnader, skärmtak – har en helt annan skala. Det gäller därför att planera med hänsyn till de speciella vindförhållanden som råder på varje plats.

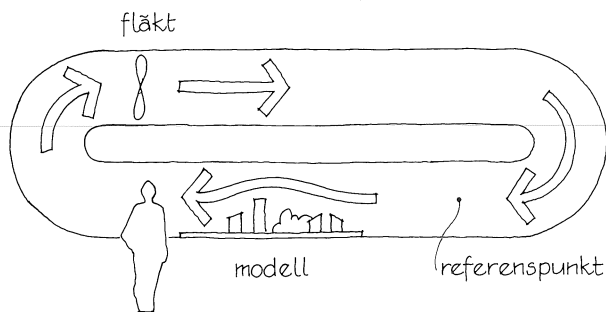
För en översiktlig bedömning av vindförhållandena inom ett område kan man i regel klara sig med statistik från närmsta observationsstation samt kännedom om terrängförhållandena.

För en noggrannare planering med hänsyn till vind kan man behöva både mätningar på plats och i vindtunnel. Lokala mätningar ger relationstal till samtida mätningar vid en eller flera SMHI-stationer, vilket ger möjlighet att räkna fram en lokal vindstatistik, liksom hastighetsvariationer inom ett visst område.

När det blåser 15 m/s vid marknivå mister man lätt balansen i byarna som kan vara 5–10 m/s starkare än genomsnittsvinden. Redan vid 5 m/s börjar det bli obehagligt blåsigt. Då rufas håret, papper blåser upp från marken och det är svårt att läsa tidningen. Blåsigare än så bör det alltså inte vara på vistelseytor kring entreér eller på småbarnslekplatser om sanden skall ligga kvar i sandlådan. Vid en badmintonplan eller uteservering tolereras bara mycket svaga vindar, men på en gångväg eller fotbollsplan är det inte lika känsligt.



Lä bakom vinklade byggnader.
(Efter Jensen, 1959.)



Vindtunnel för modellstudier.

4.5 VIND Planering med hänsyn till vind (forts)

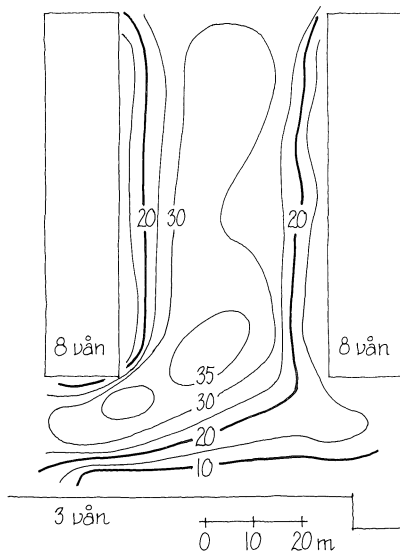
blåsighet	lunigt	lite vind	blåsig	mycket blåsig	färligt blåsig
aktivitetsgrad/utomhusyta					
hög aktivitet, t ex gång- och cykelvägar	önskvärt		acceptabelt	tabelt	
där man rör sig måttligt, t ex kvartersplatser, torg	önskvärt		accept		
där man sitter stilla, t ex uteplatser och småbarnslekplatser.	önskv	accept			
procent av tiden då den "upplevda vindhastigheten" 5 m/s överskrids	1	10	20	45%	

Vindkriterier för utemiljön. (Efter Glaumann, 1982.)

$$U_{\max} = \bar{u} (0,5 + 5 I)$$

I = turbulensintensitet

Samband mellan max- och medelvindhastighet.



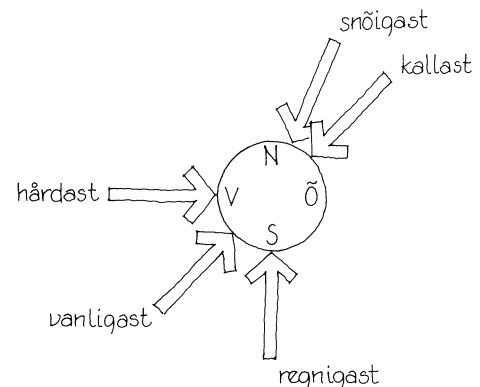
Blåsigheten i ett bostadsområde i Malmö. (Efter Glaumann, 1982.) Siffrorna anger % av tiden under året då "den upplevda" vindhastigheten 5 m/s överskrids enl fullskalemätningar.

Olika aktiviteter och olika situationer ställer olika krav på vindmiljön. Kriterierna kan antingen graderas med olika vindstyrkor som inte får överskridas mer än en viss frekvens av tiden (t ex året) eller genom en viss vindstyrka, vanligen 5 m/s, som bara får överskridas under viss tid. Eftersom det är de högsta hastigheterna som ger mest störningar måste man också ta hänsyn till turbulensintensiteten då man utgår från medelvindhastigheter. Förhållandet mellan maxhastighet och medelhastighet i bebyggelse kan approximeras med vidstående uttryck.

En yttäckande beskrivning av vindförhållandena inom ett område kan göras t ex i form av nivåkurvor över hur ofta 5 m/s överskrids. På så vis lokaliserar zoner med förhöjda vindstyrkor och man kan bedöma behovet av åtgärder.

Vilken hänsyn som skall tas till speciella vindriktningar när man utformar bebyggelse eller kompletterande vindskydd är en avvägningsfråga.

Vissa vindriktningar är i regel något vanligare än andra, vissa innehåller de högsta hastigheterna, vissa är kalla och vissa är mer nederbördsrika. Konflikter kan uppstå. Där man skapar lä får man i regel också den största snöansamlingen. Skydd mot sydliga vindar kan minska solinstrålningen genom skugga. Olika höjd och täthet på vindskydd kan därför vara önskvärda i olika riktningar. Samvariationen mellan olika klimatelement är ofta viktigt att beakta.



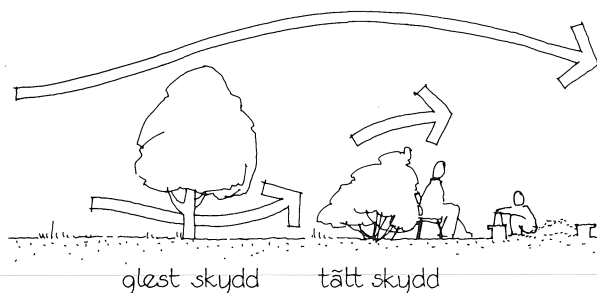
Exempel på förhållanden vid olika vindriktningar.

4.5 VIND

Planering med hänsyn till vind (forts)

I svenskt klimat är fördelningen på olika vindriktningar i regel ganska jämn, även om man ofta har en svag dominans av syd- till västvindar. Eftersom vinden hos oss så gott som alltid är en negativ faktor bör ett allmänt mål vara att hålla nere vindhastigheter kring byggnader oberoende av vilket håll det blåser ifrån. Det innebär i regel upprepade hinder som ger lä för olika vindriktningar samt en viss tätthet på bebyggelse och träd tillsammans. För en särskild tomt kan krävas extra vindsydd för exponerade riktningar, t ex mot öppna fält eller vattenytor.

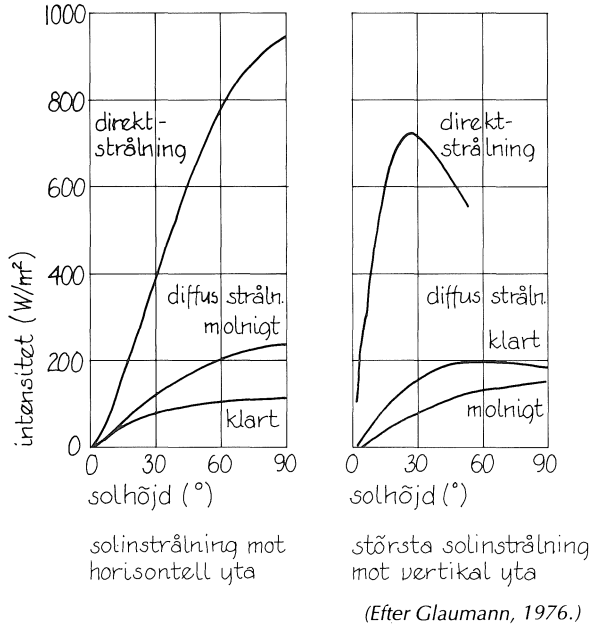
Även utan sofistikerade vindstudier kan man se till att sittbänkar och sandlådor, entreér får någon form av vindsydd. Alldeles bakom, och faktiskt även framför, ett vindsydd blir läeffekten alltid ganska stor. Ett tätt vindsydd, t ex en mur eller en slät husvägg, ger emellertid starka virvelbildningar strax efter skärmen, vilket delvis förtar läeffekten. För att skapa lä över ett något större område bör ett vindsydd ha en viss genomsläpplighet. Buskage och gles skog har sådana egenskaper. Glesare uppstammade träd kan dock göra det extra blåsigt på marken. Bänkar i en allé kan t ex förses med ett skyddande buskage i sitt höjd. Eventuella misstag vid placeringen av vindsydd av den här storleksordningen får inga katastrofala följder och de är nästan alltid positiva tillskott i miljön även ur andra synvinklar.



Hur man skapar lä.

4.6 SOL OCH SKUGGA

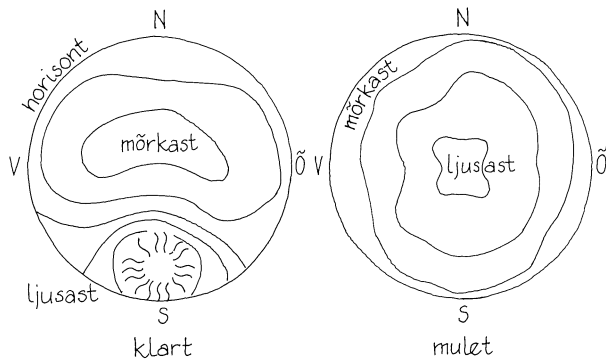
Direkt och diffus solstrålning



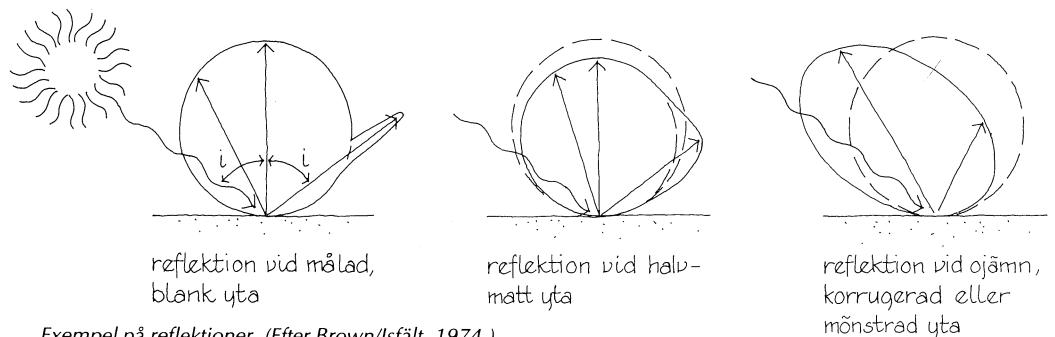
Solinstrålningens intensitet beror primärt av solhöjden, dvs hur lång väg strålarna passerar genom atmosfären, varvid de delvis absorberas. Variationer i luftens renhet, halt av vattenånga och molnighet gör att intensiteten varierar kraftigt vid samma solhöjd. Därför brukar man skilja på klara, medelmolniga och mulna dagar vid beräkningar av solinstrålningen. Vid klar himmel och höga solstånd är spridningen i instrålning inte så stor (5–10 %) men nedåt 15–20° solhöjd är den större. Vid medelmolniga och mulna dagar är den betydligt större. Molnigheten varierar också högst avsevärt mellan olika år vilket gör beräkningar av instrålad solvärme relativt osäkra.

Vid beräkningar måste man också skilja på riktad och diffus, dvs spridd, solstrålning. Den diffusa strålningen brukar i beräkningar betraktas som lika stark från hela himlen och reflektion i markytor antas lika spridd i alla riktningar. Detta utgör också approximationer eftersom den diffusa himmelsstrålningen liksom markreflektionen oftast är asymmetrisk.

Den direkta – riktade – solstrålningen utgör i genomsnitt 50–60 % av dygnsinstrålningen (något lägre under nov–jan). Den är relativt enkel att räkna med eftersom riktningen är bestämd för varje tidpunkt och intensiteten kan uppskattas med god noggrannhet. Det handlar om att bestämma solens läge och projektionen av skuggade föremål.



Himlens ljushet vid klart och mulet väder. (Efter Pleijel, 1954.)



Exempel på reflektioner. (Efter Brown/Isfält, 1974.)

4.6 SOL OCH SKUGGA

Solens läge

Från varje plats på jorden uppfattas solens "gång" under en dag som en rörelse utefter en cirkel på "himlavalvet". Cirkelns lutning mot horisontplanet bestäms av ortens latitud och dess läge av deklinationen (d), som varierar under årets gång. Var på cirkeln solen befinner sig en viss tid uttrycks i timvinkel (t), vilken är vinkeln som solen rör sig efter räknat från söder. Baringen till solen i horisontplanet kallas azimuten (a) och räknas från norr. Solens höjd och azimut kan beräknas genom

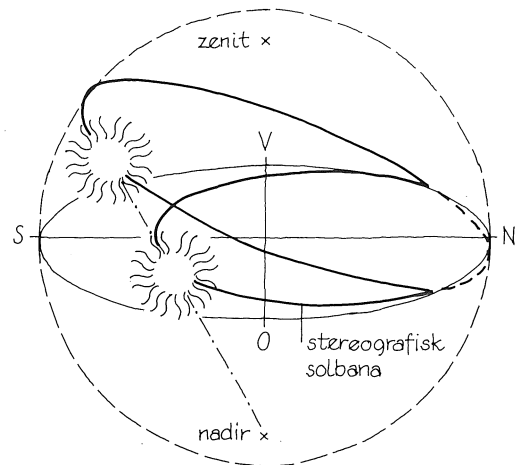
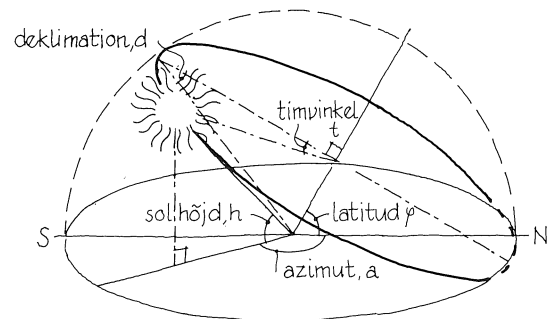
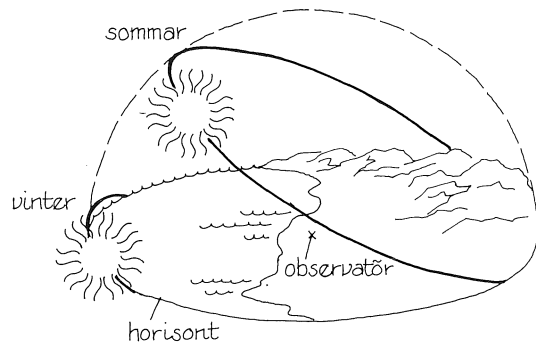
$$\sin h = \sin d \sin \varphi - \cos d \cos \varphi \cos t$$

$$\sin a = (\cos d \sin t) / \cos h$$

Detta ger en sann soltid, vilken emellertid skiljer sig mer eller mindre från den svenska normaltiden beroende på ortens breddgrad och årstiden (jordens avstånd till solen varierar under året). Normaltiden skiljer sig som mest från den sanna soltiden i Haparanda under november då normaltiden ligger 53 minuter efter den sanna soltiden. Vid breddgraden 15° ost, dit vår normaltids hänför sig (medeleuropeisk tid), som ungefär går genom Karlshamn, Örebro och Östersund, är tidsskillnaden mellan standardtid och sann soltid högst 15 min. Tidsskillnaden saknar normalt betydelse i planerings-sammanhang.

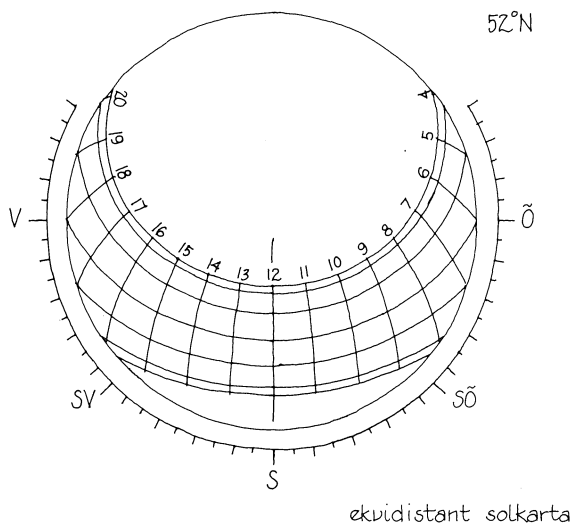
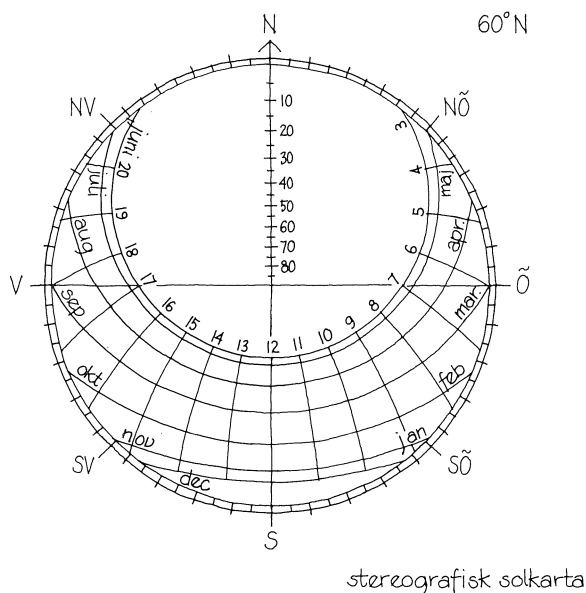
Tabeller över sollägen finns i Brown & Isfält, 1969.

Solens läge kan också visas grafiskt på olika sätt. Bl a kan man projicera en bild av solbanorna i markplanet för att få en typ av fisheye-bild av himlen med solbanorna under året inlagda. Man kan också göra vanliga rätvinkliga diagram med solhöjd på y-axeln och azimut på x-axeln. Fördelen med projektiionsmetoder är att skuggade föremål kan ritas in på ett överskådligt sätt.



Grafisk redovisning av solbanor.
(Efter Glaumann, 1976.)

4.6 SOL OCH SKUGGA Skuggor



Exempel på olika solkartor. Den stereografiska används i Sverige.

Två olika projektioner används, stereografisk och ekvidistant projektion. Den förra innebär att man projicerar solbanorna mot nadir, zenits motpol. Höjdskalan, som löper radiellt, ger då en något större noggrannhet intill periferin, dvs vid låga solhöjder. Denna metod har föredragits i Sverige eftersom avskärmningar normalt utgår från horisonten. Resultatet brukar kallas solkarta, se vidare Glaumann, 1976.

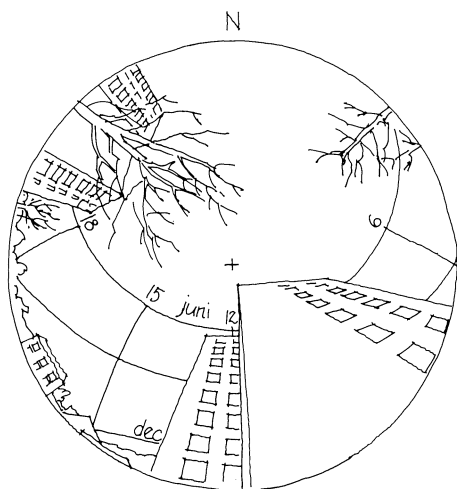
I den ekvidistanta projektionen har man helt enkelt gjort den radiella höjdskalan linjär så att noggrannheten inom hela projektionen blir densamma. Denna projektion används företrädesvis i USA.

Med hjälp av solkartan kan man lätt konstatera när under dagen och året en viss punkt kan nås av direkt solstrålning. Det sker genom att konturerna av omgivningens himmelsavskärmning ritas in på solkartan med hjälp av ett stöddiagram, skuggmallen. Denna sammanfattar den stereografiska avbildningen av horisontella och vertikala linjer och är därför lätt att använda för att t ex rita ut skärmande byggnader. Vid en mycket oregelbunden horisontavskärmning är egentligen bara solstudier med en belyst modell enkla (se sidan 87). Solkartan är bra för att den ger en överblick över hur förhållandena skiftar under året. Begränsningen är att man endast kan studera en punkt i taget.

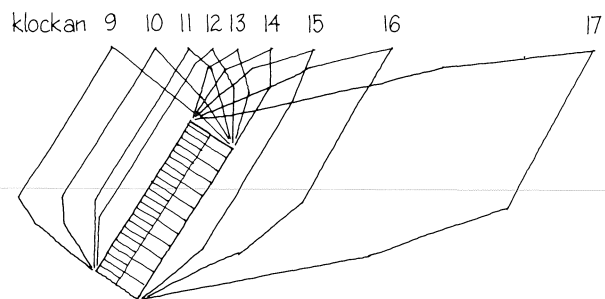
På fasader och planer går det naturligtvis också att konstruera skuggor för olika klockslag med ledning av solhöjder och azimuter. Skuggorna för enstaka timmar är emellertid av begränsat värde varför man brukar överlagra skuggorna för olika tidpunkter under ett dygn på planen. Skuggorna för varje tidpunkt kan enkelt konstrueras med hjälp av skugglägesdiagram. Dessa anger helt enkelt bara skuggan för en vertikal stav och gäller för sann soltid ett visst dygn på en viss breddgrad. Skugglängdsdiagrammet för höst/vårdagjämning består av räta linjer och är därför särskilt lätt att konstruera och använda. För andra datum består det av kurvor. Färdiga skugglängdsdiagram för var fjärde breddgrad i Sverige finns i Glaumann, 1976.

4.6 SOL OCH SKUGGA

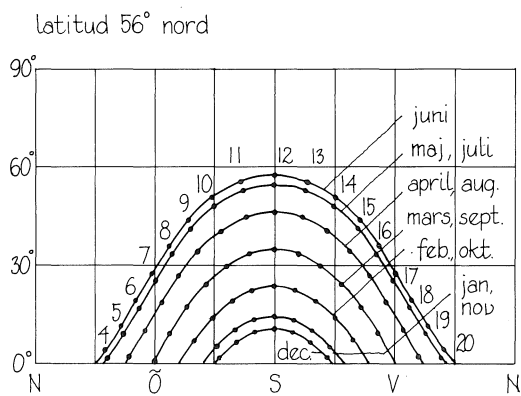
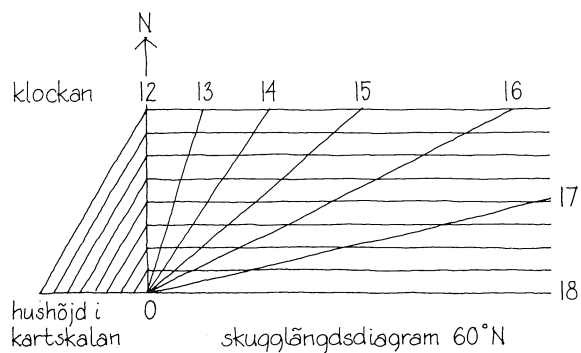
Skuggor (forts)



Skärmande vegetation och byggnader inlagda på en solkarta.

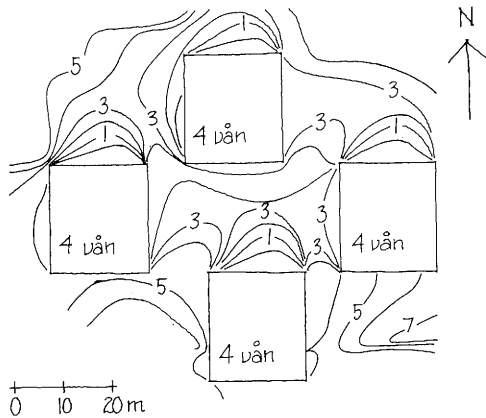


Skuggor vid vår- och höstdagjämning.

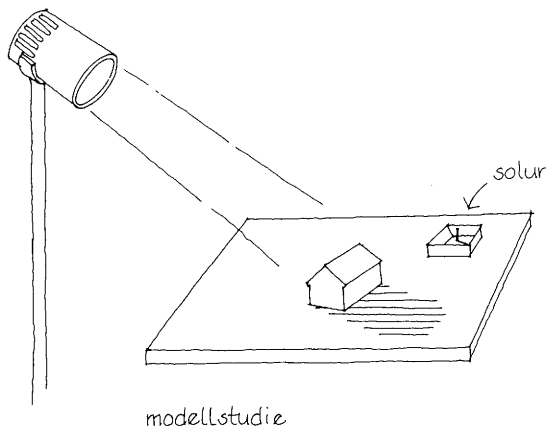


Sollägesdiagram för den 21–23 varje månad.

4.6 SOL OCH SKUGGA Solstudier i modell



Plankarta av bostadsområde med soltidskurvor, d v s antalet möjliga soltimmar mellan 9–17 vår-/höst-dagjämning. (Efter Glaumann, 1976.)

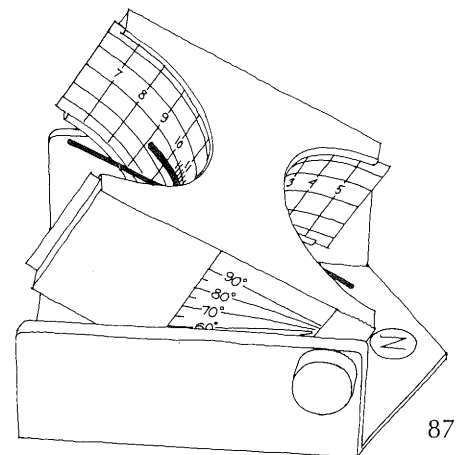


Om man sammanbinder punkter med samma soltider på en plankarta får man soltidskurvor som mycket tydligt visar skillnader i solighet mellan olika ytor tex inom ett bostadsområde. Detta illustrerar soligheten som miljöfaktor väl, men säger inget om instrålad solenergi. Förfaringssättet lämpar sig bäst för geometriskt enkla omgivningar och ger den bästa överblicken över solförhållandena inom ett område.

Det enklaste sättet att studera sol- och skuggförhållanden är att belysa en skalmodell. Riktningen på solstrålarna för en viss tidpunkt ställer man då in med hjälp av ett litet solur som placeras på modellen och orienteras mot norr. Antingen flyttas ljuskällan eller så lutar och vrider man modellen. Ljuset bör vara så parallellt som möjligt för att ge distinkta skuggor.

Solförhållandena studeras lämpligen för en sekvens av tidpunkter under dygn som infaller under olika årstider. För varje tid dokumenteras de lättast genom fotografering. Foton med skuggor för olika tidpunkter överlagrade beskriver de relativa solförhållandena under olika dygn på samma sätt som soltidskurvorna ovan.

Det finns flera olika typer av solur för modellstudier. I slutet av 40-talet konstruerade docent G Pleijel en liten öppen låda (för en viss breddgrad) med en nål som kastade en skugga på en tidsskala. Vid Statens institut för byggnadsforskning, SIB, har konstruerats ett solur som kan användas för alla latituder.



SIB solur

5. OM KRAV PÅ RUMSKLIMAT

David P Wyon

- 5.1 BESTÄMMELSER
- 5.2 MÄNNISKAN OCH OMGIVNINGEN
- 5.3 NÅGRA VANLIGA MISSFÖRHÅLLANDEN

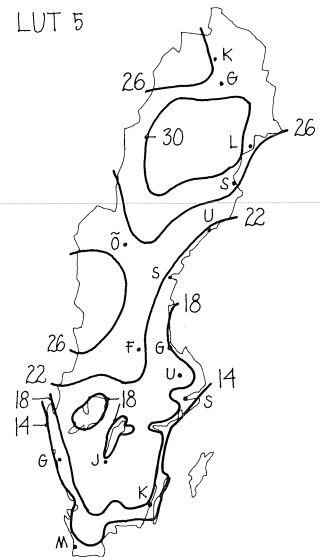
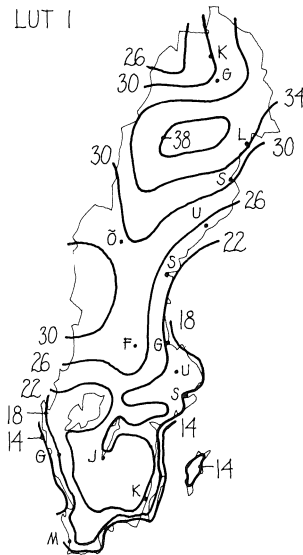
5.1 BESTÄMMELSER

SBN 80-ROT, LUT, vistelsezon

SBN 80 Kapitel 35 föreskriver hur termiskt inomhusklimat skall vara i nybyggda hus. Kraven är avsedda för kontroll genom beräkning och inte för kontroll genom temperaturmätning, men de ger en mycket bra och detaljerad beskrivning av hur man kan undvika de flesta hygieniska olägenheterna på grund av brister i det termiska klimatet. Hänsyn tas till yttemperaturer och risk för strålningsdrag genom att kraven är uttryckta i *Riktad Operativ Temperatur, ROT*. Varken lufttemperatur eller yttemperatur för sig är begränsade, utan deras resulterande effekt på värmebalansen hos ett plant element (representerande en hudbit på den boende) uttrycks i begreppet ROT (se avsnitt 6.5). Enda undantag är att golvtemperatur föreskrivs ligga mellan min- och maxvärden vid LUT °C, dvs när byggnaden utsätts för *lägsta dimensionerande utetemperatur*. LUT anges i SBN 80. Den varierar kraftigt från -12°C i södra till -38°C i norra Sverige, och är lägre för hus av trä eller annat lätt material än för hus av sten o.d. Alla som har att i tjänsten ta ställning till hygieniska förhållanden i bostäder bör informera sig om gällande LUT för husets belägenhet, därför att kalla förhållanden inomhus uppmätta vid ett besök kan bero på att LUT tillfälligt och undantagsvis underskridits.

Vid LUT måste ett bostadshus kunna vara uppvärmt så att ROT inte underskrider 18°C inom vistelsezonen. "Vistelsezon" för denna kontroll begränsas av plan som går parallellt med rummets begränsningsytor (se figur nästa sida).

Begreppet vistelsezon är nödvändigt för att slå fast att det är orimligt att kräva att det skall vara komfortabelt ända in till fönstret eller invid yttervägg när det är maximalt kallt ute, eller att man skall kunna sitta vintertid intill ett värmeelement utan att det är för varmt eller sova på golvet utan att ha det för kallt. Det skulle vara för dyrt att bygga hus vars vistelsezon var lika stor som rummens volym. Detta är viktigt, därför att många klagomål beror på felanvändning av bostadsrum, bl a felmöblering, som förutsätter att hela rummet är en komfortabel vistelsezon.

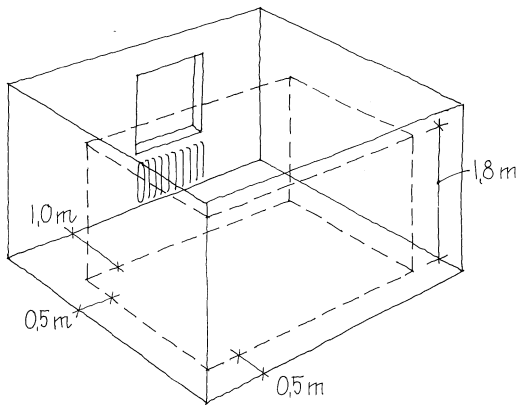


LUT 1 Isotermkarta, visande dimensionerande lägsta utetemperatur för hus av trä eller annan lätt byggnad. (Efter SBN.)

LUT 5 Isotermkarta, visande dimensionerande lägsta utetemperatur för hus av sten eller annan tung konstruktion. (Efter SBN.)

5.1 BESTÄMMELSER SBN 80 – Asymmetri, golvtemperaturer m m

- 1,0 m från yttervägg med fönster el. värmeyta (radiatorad)
- 1,0 m från tak vid takvärme
- 1,5 m från ytterdörr
- 0,5 m från ytter- och innervägg utan fönster eller värmeyta
- 0,1 m ovan golv
- 1,8 m ovan golv, dock 1,0 m från tak vid takvärme



Rumslig beskrivning av vistelsezon.

Ett annat mindre viktigt och mindre välunderbyggt krav ställs också på ROT vid LUT inom vistelsezonen: *skillnaden mellan två ROT-värden inom vistelsezonen får inte vara större än 5°C*. Normalt får man högsta ROT 1 m framför mitten av elementet och lägsta 1 m framför mitten av fönstret. En människa som står i denna punkt i rummet skulle på sin kropp känna båda ROT-värdena och föreskriften är därför ett försök att begränsa ojämnheten i termiskt klimat, eftersom kroppen har en begränsad förmåga att transportera värme från en varm kroppsdel till en kall. Detta gäller också för motsatta riktningar vid samma punkt – det är obehagligt att sitta mellan kalla och varma rumsytor – om skillnaden är för stor. Av den orsaken placeras värmeelement vanligen nära fönstret. De kroppsytor som förlorar värme till fönsterytan bör då kunna ta emot värme från elementet. En annan orsak till placeringen är givetvis också att man vill motverka kallraset från fönstret.

Golvtemperatur skall beräknas för golvet fram till 0,5 m från ytterväggs insida, och *får inte underskrida 16°C* vid LUT eller *överskrida 27°C* vid LUT. Den övre gränsen är tillämpbar vid golvvärme.

Emellertid bor även barn och äldre människor i bostäder och SBN 80 föreskriver andra värden för förskolor och fritidshem samt ålderdomshem. Dessa är inte juridiskt bindande för bostäder men bör rimligtvis vara vägledande för bostadsrum som används för barn eller äldre. Lägsta godtagbara ROT vid LUT är då 20°C, lägsta golvtemperatur 20°C för småbarn som ofta är i kontakt med golvet. Äldre människor förutsätts kunna skydda sina fötter mot kalla golv.

I bad- och duschrum får inte ROT vid LUT underskrida 20°C, och golvtemperatur under 18°C godtas ej. Begreppet ROT och innebörden av dessa föreskrifter i SBN 80 för lufttemperatur m m behandlas mer i detalj längre fram i detta kapitel.

5.1 BESTÄMMELSER

Hälsovårdsstadgan

Hälsovårdsstadgan 16§ där betydligt mindre specifik i sina krav på uppvärmning av bostäder. Kraven uttrycks som lufttemperatur, som bör ligga "mellan 18°C och 22°C under dagen". Under natten godtas 16°C. Kalla ytors inverkan på människans värmebalans omnämns endast i allmänna ordalag. SBNs krav på värmegenomgångstal (k-värden) för olika temperaturzoner i Sverige utgör en begränsning. Dessa värden är av betydligt mindre värde för ställningstagande vid husbesök föranledda av klagomål än SBN 80s föreskrifter om ROT. Genom en relativt enkel mätning av yttemperaturen kan ROT beräknas, men för att mäta k-värden krävs ingående och tidskrävande mätningar med speciell utrustning.

Fristående fotogenkamin godtas inte som *tjänlig eldstad*, ej heller fristående plåtkamin på grund av den ojämna rumstemperatur som uppstår. Kakelugn rosas, med rätta, för sin förmåga att tillhandahålla "en jämn temperatur", både i tid och rum. På grund av dess värmelagringskapacitet orsakas inte för kraftiga svängningar av rumstemperaturen vid normalt bruk. På grund av kakelugnens stora yta värms rummets andra ytor så att ROT blir acceptabel (detta nämns inte specifikt i hälsovårdsstadgan). Det har hänt att föreläggande om viss temperatur har upphävts då kakelugn fanns i bostaden (RÅ 1948 not I221).

Drag nämns som en vanlig orsak till klagomål, men inga värden för högsta godtagbara lufthastighet anges. Möjligheten att dragförmimmelsen kan bero på strålningsdrag eller termisk gradient över kroppen nämns inte alls.

Inga övre gränser för *hög värme* i bostäder anges i hälsovårdsstadgan. Hög värme om 24°C ansågs ej medföra sanitär olägenhet i ett rättsfall (RÅ 1966 not S144). Det hänvisas till Hygienisk Revy, nr 4, 1973, rörande normer för temperaturer i bostad.

5.2 MÄNNISKAN OCH OMGIVNINGEN

Människans värmeproduktion och värmeförluster

Människan producerar ständigt egen värme via sin ämnesomsättning. Ju mer vi rör på oss desto mer värme bildas. Stora människor producerar mer värme än små, men de har också en större kroppsytta. Värmeproduktionen per m² kroppsytta brukar vara karakteristisk för en given aktivitet för människor av alla storlekar. Den är 40 W/m² vid sömn, 50–60 W/m² när man sitter, beroende på hur avslappnad man är, 60–80 W/m² när man står eller utför stående arbete i bostaden, och kan uppgå till 110 W/m² vid rörligt hushållsarbete, 150 W/m² vid tungt manuellt arbete; sådana aktiviteter förekommer dock endast undantagsvis och då under korta perioder i bostaden. Bidragen till rummets värmebalans bör ej negligeras – människor har en kroppsytta som är 1,7 m² i genomsnitt. Ett modernt välisolerat bostadsrum kan mycket snabbt bli för varmt när några människor är samlade där, även om värmeelementen har fungerande termostatventiler, som reglerar värmeförlusten.

All värme som människan producerar måste avgå från kroppen. Värmeförlusten från kroppen måste vara exakt lika med värmeproduktionen, annars skulle den centrala kroppstemperaturen ändra sig, och det gör den inte med mer än ±0,5°C när man mår bra. Värme avgår från kroppen på i huvudsak tre sätt:

Värme strålar ut från kroppen till kalla ytor i omgivningen (strålningsutväxling).

Värme transporteras bort av rumsluften som sakta sveper förbi kroppsytan (konvektion).

Värme avgår genom svettning och andning.

I normala rumstemperaturer avgår värmen från en människa i vila i följande proportioner: 40 % via strålning, 40 % via konvektion och 20 % via andning och avdunstning genom huden.

5.2 MÄNNISKAN OCH OMGIVNINGEN

Beklädnad, lufttemperatur, lufthastighet, fukt m m

Strålning

Värmeförlustmekanismen påverkas av fem faktorer i omgivningen: *beklädnaden*, som isolerar och förhindrar värmeflödet från kroppen till omgivningen, *lufttemperatur* och *lufthastighet*, som påverkar de konvektiva värmeförlusterna, *fukt*, som påverkar svettens avdunstningstakt och därmed den evaporativa värmeförlusten, och *strålningstemperaturen*, en funktion av de omgivande ytornas temperatur, som påverkar strålningsförlusterna.

Allt ställningstagande i fråga om termiskt inomhusklimat måste börja med en uppskattning av *människans värmeproduktion* under den aktuella aktiviteten. Den bör vara så noggrann som möjligt. I bostäder måste den uppskattas med en noggrannhet bättre än $\pm 5 \text{ W/m}^2$ om man sedan skall kunna beräkna människans temperaturbehov på några grader när. Sedan måste man känna till *beklädnadens isoleringsvärde* (clo) och möjlighet till anpassning (helst också till hur isoleringen fördelas över kroppsytan, men här saknar vi pålitliga kriterier för närvarande). Först sedan man bestämt clo-värdet och det med en noggrannhet bättre än $\pm 0,1$ clo kan man utnyttja fysikaliska *mätningar av lufttemperatur, lufthastighet och strålningsförhållanden* med deras ofta onödigt höga grad av precision – $\pm 0,2^\circ\text{C}$, $\pm 0,02$ m/s. *Fukt* mäts ofta med dålig precision, $\pm 10\%$ RF, men för beräkningar av människans värmebalans är detta acceptabelt, ty en ändring av RF från 20% till 70% motsvaras för en person i termisk komfort av en sänkning av lufttemperatur med 1°C . Fukt under 20% blir ett problem i sig själv. Det upplevs av nästan alla människor som torrt i ögonen, i näsan, på läpparna om temperaturen överstiger 22°C (vid $23\text{--}24^\circ\text{C}$ konstateras problem men ej vid $20\text{--}21^\circ\text{C}$). Det blir också ett problem vid över 70% RF, då det känns för fuktigt, bl a i kläderna, även om man är i termisk neutralitet. För människor som är för varma och måste svettas känns det för fuktigt redan vid 50% RF. *Fukt har en mycket stor betydelse för värmebalansen hos svettande människor, men kan försummas i detta avseende för de flesta aktiviteter som förekommer i bostäder.*

Man förlorar värme strålningsvägen till alla ytor som har lägre temperatur. Hudtemperaturen varierar över kroppen mellan 30 och 34°C vid komfort, med i genomsnitt 32°C vid vila. Värme strålar till alla ytor som är kallare, tex till fönsterrutor vintertid, men även till 20-gradiga innerväggar. I välisolerade hus blir även värmeelementens ytemperatur genomsnittligen lägre än 32°C under stor del av uppvärmningssäsongen – dessa känns kalla vid beröring trots att de har högre temperatur än luften och därmed ständigt avger värme till rummet. Detta förklarar många klagomål – folk är vana vid de mycket varma element som skall till för att hålla värmen i dåligt isolerade hus! Det är viktigt att påminna om att vi ständigt måste förlora värme. Det är alltså helt i sin ordning om alla ytor omkring oss har lägre temperatur än vi själva har. Ingen yta i vår omgivning behöver således kännas varm vid beröring för att vi skall känna oss varma. Beklädnadsytan har en lägre temperatur, beroende på isoleringsförmågan, men ligger några grader över lufttemperaturen och strålar därmed värme till alla ytor utom till element, lampor och andra människor. Det skulle vara mycket svårt att beräkna strålningsutbytet mellan alla kroppsdelar och alla olika rumsytor och ännu svårare att summera strålningsutbytet över hela kroppen. Det kan bara mätas med hjälp av en termisk mannekäng som SIBMAN, vars "hudtemperatur" styrs till samma värme som människans. SIBMAN används vid Statens institut för byggnadsforskning, SIB, för ingående studier av människans värmebalans, bl a av hur den påverkas av drag, asymmetrisk strålning och beklädnad samt hur människan kan påverka sin egen värmebalans genom ändring av kroppsställning, beklädnad och möblernas kontaktytor.

Globtermometer

I de flesta platsundersökningar och vid bestämning av den termiska strålningen kan vi inte använda dyr och komplex utrustning. Om vi inriktar oss på förhållanden i en punkt i rummet kan vi mäta den termiska strålningen med en globtermometer, placerad i den punkten. *Globtermometern*, som utgörs av en svartmålad plåtglob (150 mm diameter) får då ett strålningsutbyte med rummets alla ytor. Begreppet "operativ temperatur" definieras som den rumstemperatur som med alla yttemperaturer lika med luftens skulle ge upphov till ungefär samma värmebalans hos människor som i det aktuella rummet. Globtermometern kyls dock mer av luftrörelser än människokroppen. Men om lufthastigheten är mindre än 0,2 m/s får man en rimlig approximation. Globen tar emot strålning lika från alla riktningar. Det gör däremot inte människokroppen. Globen ger samma värde vid 20°C runt om som när det är 30°C till vänster och 10°C till höger, men det känns inte så. Den kroppsdel som förlorar för mycket värme till en kall yta åt ett håll har ingen fördel av att en annan kroppsdel tar emot för mycket värme från andra hållet. De förenklade mätningar och beräkningar vi gör för att beskriva det termiska klimatet måste reflektera detta. Globtermometern kan bytas ut mot den så kallade "*kubtermometern*". På varje sida av en 150 mm polystyren-kubs 6 sidor finns en liten tunn bit kopparfolie, svartmålad som globtermometern, men platt, så att den bara "ser" halva rummet. Vinkelfaktorn för en yta med avvikande temperatur blir helt olika beroende på hur kubtermometern riktas. Därmed reflekterar den hur det "känns" åt ett visst håll. Mätning med kubtermometern är ett bra sätt att uppskatta ROT vid husbesök. Förfarandet beskrivs i Byggforskningens Informationsblad B5:1975. SIB har producerat ett videoföredrag om ROT med tillhörande kompendium om beräkningsmetoder och har tagit fram en "klimatmätväska" som bl a innehåller en kubtermometer. I dokumenteringen anges vilka viktningfaktorer som borde tillämpas för de 6 olika ROT-värdena för en sittande resp stående människa, så att medelvärdet motsvarar den operativa temperaturen för människokroppen.

5.2 MÄNNISKAN OCH OMGIVNINGEN

Lämplig temperatur

Max- och min-temperatur för olika aktiviteter i bostaden anges i tabellen nedan för olika beklädnadsisolationer, clo-värden. Kläder med clo-värde över 1,5 är otympliga och lämnar dessutom nästan alltid någon kroppsdel otillräckligt skyddad. Man vill till exempel inte gärna bära vantar inomhus. Det har visat sig att 18°C är den lägsta temperatur man rimligen kan klä sig för om man skall sitta still utan att känna kyla. Vid lägre temperaturer måste man vara aktiv eller intermittert aktiv. För att kunna sova måste man ha minst 3 clo, men det uppnås lätt med hjälp av sängkläder om händerna är täckta. Många människor föredrar att sova i kalla sovrum. Man ligger då still och sover därmed lugnare utan att behöva justera värmebalansen genom ändringar i sin liggställning, vilket är nödvändigt om sovrummet är lite för varmt i förhållande till de använda sängkläderna.

Det framgår också av tabellen att 27°C är den högsta temperatur man bör ha för att kunna sitta i lätt sommarklädsel utan att svettas. För att kunna utföra stående hushållsarbete vid 27°C utan att svettas skulle man behöva vara helt naken. Däremot kan man sova utan att svettas i en rumstemperatur upp mot ca 30°C liggande på en madrass med enbart ett lakan som täcke. Ty lakan eller nattskjorta tillsammans med madrassens inverkan ger ca 0,3 clo. Tabellen har räknats fram med hjälp av en värmebalansekvation (Humphrey).

Undre och övre gränser för inomhustemperaturer.

a) Under nedanstående lufttemperaturer inträder **köldskakningar**:

Aktivitet	Meta- bolism W/m ²	Beklädnad (clo)				
		0	0,5	1,0	1,5	2,0
Sova	40	30	28	26	24	21
Sitta	55	27	24	21	18	15
Dygnsmedeltal	67	25	22	18	14	11
Arbeta						
(stående)	78	23	19	15	11	(6)
(rörligt)	110	20	14	8	(2)	
(aktivt)	150	17	9	(1)		

b) Över nedanstående lufttemperaturer inträder **svettning**:

Aktivitet	Meta- bolism W/m ²	Beklädnad (clo)				
		0	0,5	1,0	1,5	2,0
Sova	40	32	30	28	26	23
Sitta	55	30	27	24	21	18
Dygnsmedeltal	67	29	25	21	18	14
Arbeta						
(stående)	78	27	23	19	15	(10)
(rörligt)	110	26	20	14	(8)	
(aktivt)	150	25	17	(9)		

Relativ lufthastighet = 0,1 m/s utom vid rörligt arbete (=0,3 m/s) och aktivt arbete (=1 m/s)

5.3 NÅGRA VANLIGA MISSFÖRHÅLLANDEN "För kallt", drag

Kalla golv, torr luft

När det klagas på att det är *för kallt* bör man först undersöka vilka aktiviteter som avses, om de är lämpliga för lokalen, om beklädnaden har anpassats på ett rimligt sätt, om man försöker utnyttja golvyta utanför "vistelsezonen" och om klagomålen egentligen avser drag (se nedan). Då bör man mäta ROT, eller yttemperatur och lufttemperatur så att ROT kan beräknas. För den totala värmebalansen är det globtemperaturen eller genomsnittet av ROT i alla riktningar, som är relevant. ROT får dock inte understiga 18°C vid LUT. Vissa aktiviteter kräver hög fingerfärdighet. Även om kroppen kan anpassa sig till kyla sker detta på bekostnad av handtemperaturen och därmed fingerfärdigheten. Redan vid finger-temperaturer mellan 30° och 20°C kan nedsatt fingerfärdighet konstateras. Den blir riktigt utpräglad vid 18–16°C. Det är en bra idé att mäta finger-temperaturen hos de boende samtidigt som man mäter rummets parametrar.

Vid *drag* bör man undersöka om det är lufthastighet, strålningsdrag, lokal temperaturavvikelse eller för lågt clo-värde på den aktuella kroppsdel som orsakar klagomålen. Lufthastigheten bör inte överstiga 0,2 m/s, ROT bör vara över 18°C, temperaturskillnaden mellan huvud och fötter bör inte vara över 3°C, dvs en vertikal temperaturgradient på mer än 2°C/m ger ofta upphov till klagomål. Temperaturskiktning uppstår lättast vid konvektiv uppvärmning i kombination med dålig isolering. Den vertikala gradienten blir minst vid golv- eller takvärme. Konvektiv uppvärmning kan fungera utmärkt om rumsytorna är tillräckligt isolerade.

Dragförnimmelsen kan uppstå om radiatoren är skymd av möbler – soffa, skåp, gardin eller bordyta – eller om rummet i övrigt är så varmt att termostatventilen stänger och strålningsbidraget uteblir.

Den som sitter för nära fönstret vintertid kommer att känna drag även om fönstret är tätt. Kallras från fönster och yttervägg kan kännas som drag på grund av temperaturen även om hastigheten är mycket låg. Kallras måste blandas med radiatorns uppström. Om ett bord placeras intill fönstret förs kallrasen ut i rummet medan radiatoren värmer endast under bordet.

När det är kallt ute stängs alla fönster och dörrar och huset får negativt tryck. Uteluft strömmar då in genom alla springor och kan ge dragproblem. Lösningen är att leda in uteluft på lämpliga platser, genom kontrollerbara tilluftsdon och friskluftsintag. Då blir inte undertrycket så stort att oavsedda öppningar fungerar som luftintag. Luften måste tillföras bostaden för att upprätthålla minst 0,5 luftomsättningar per timme.

Ett *kallt golv* kan bero på dålig värmeisolering men också på olämplig luftsiktning såsom beskrivits ovan. Det senare kan uppstå trots att golvet är välisolerat. Det får inte heller glömmas att människor får kalla fötter när de fryser totalt, även när golvet inte är kallt. Golvtemperaturens effekt på fotens värmebalans studeras ingående av Olesen, 1975. Sammanfattningsvis kan sägas att med rätt fotbeklädnad tål man stora avvikelser av golvtemperatur från rumstemperatur. SBN 80's krav kan anses som mycket rimliga.

När människor klagat över *torr luft vintertid* menar de oftast att slemhinnornas fuktbalans inte fungerar. Rensningsfunktionen avstannar och luftföreningar såsom damm och gasarter har lättare att påverka näsa, ögon, läppar. Man trodde länge att detta var ren inbillning, att människan saknade möjlighet att förnimma fukt, men det är nu bevisat att obehandlad uteluft uppvärmd till 23–24°C känns för torr för de flesta, samtidigt som samma luft uppvärmd endast till 20–21°C ger nästan inga problem. Två eller tre graders temperaturskillnad räcker för att göra torr luft till ett problem (Andersson, Löfstedt, Frisk & Wyon, 1975).

6. ATT SKAPA RUMSKLIMAT

- 6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR
- 6.2 NATURENS LAGAR
- 6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA
- 6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system
- 6.5 VÄRMEISOLERING
- 6.6 VÄXTHUSPRINCIPEN
- 6.7 VENTILATION
- 6.8 BOENDEVÄRME
- 6.9 ENERGIOMVANDLING
- 6.10 VÄRMNING
- 6.11 KYLNING
- 6.12 Huset känslighet för energibortfall
- 6.13 DAGLJUS – TILLSATSLJUS

6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

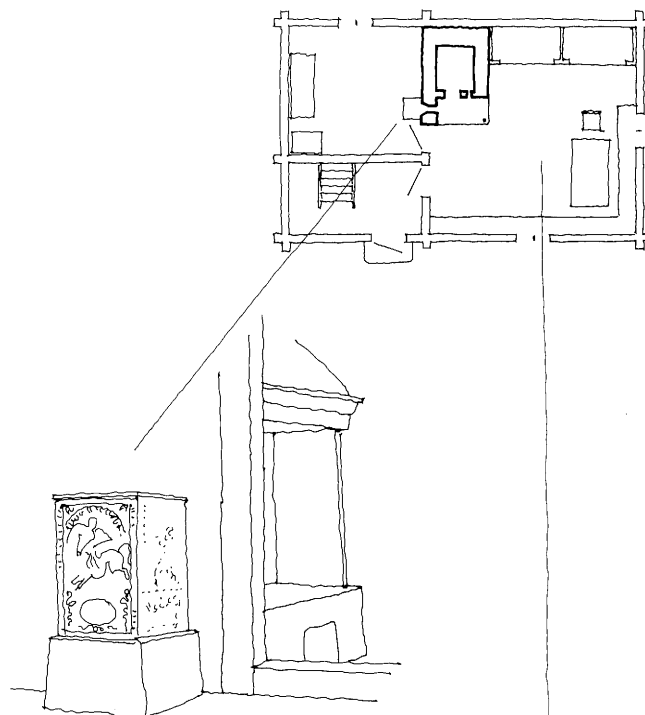
Om behovet av skydd

Sedan urminnes tider har behovet av skydd mot det yttre klimatet varit en av flera drivkrafter vid formandet av utrymmen för arbete, vila och gemenskap. Utifrån å ena sidan rådande klimat såsom hetta dagar, kalla nätter, perioder av ihållande kyla, värme eller hetta, regn eller snö, å andra sidan tillgången på byggnadsmaterial, möjliga att forma en skyddande konstruktion med, har människan på olika vägar ordnat det primära skyddet för sig och sina djur, utrustningar, arbete och andra aktiviteter. Men skyddet har oftast inte ensamt kunnat utjämna temperaturskillnaderna mellan de extrema klimatsituationerna utomhus och det önskade klimatet inomhus. Värme från öppen eld, sedermera andra värmekällor, jämte värme från människor och djur, matlagning, belysning m m har skapat ett drägligt inomhusklimat.

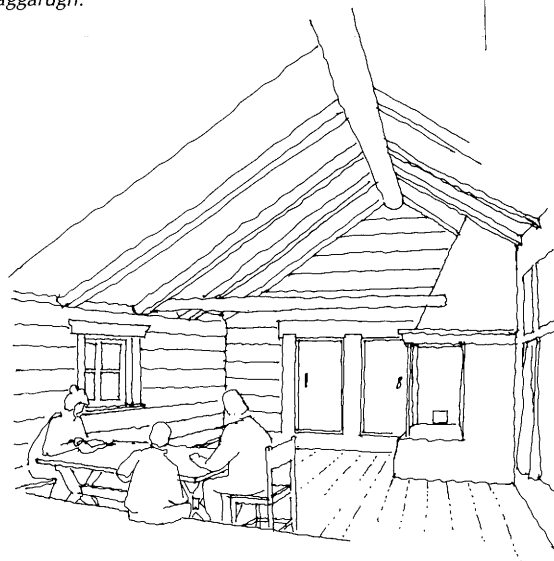
Under vintern eller i perioder av sträng kyla trängde man sig samman på en liten yta. Man levde dygnet runt i bostadsköket för att hushålla med bränsle och värme. Resten av bostaden stod oftast oeldad och sval. En kammare vägg i vägg med köket hölls varm med spillvärme från köket eller med hjälp av en öppen spis eller biläggaru gn ansluten till kökets skorstensstock.

Andra hjälpmedel att hålla kylan borta när husets konstruktion och värmestillskott inte räckte till var, förutom kläder, värmeisolerande bäddar och sängkläder, sängförlängningen i förening med att man nattetid sov tätt sammanpackade, värmande varandra.

Allmänt sett har det för stora delar av jordens befolkning oftast rått en viss knapphet i tillgången på resurser för att bygga och bo, varför uppvärmd yta och volym oftast starkt begränsats, särskilt då här i Norden med dess långa uppvärmningssäsong. Under långa tider har stora delar av befolkningen inte haft mer än en à två värmekällor att ty sig till; därtill arbetskrävande och dyra att hålla varma.



Biläggaru gn.



6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Ökad komfort

Först under det senaste århundradet har bostadsstandarden ökat, vilket kommit till uttryck i bl a större yta per person, större differentiering, införande av centralvärme, tillgång till varmvatten, elektricitet för matlagning, belysning m m.

I dagens materiella standard och med ett relativt lågt energipris under de senaste decennierna har vi fjärrmat oss långt från den knapphet i storlek och form som tidigare präglade vår bostad. På liknande sätt har våra arbetslokaler och övriga lokaler ute i samhället utvecklats till att ständigt hålla en hög lokalkomfort den korta tid av dygnet vi nyttjar dem.

När vi nu kommit till insikt om att vi måste leva mer hushållande med våra energitillgångar måste vi se över våra hus; det äldre beståndet såväl som det nya.

Utan att gå tillbaka till vad som varit bör vi, med en i möjligaste mån bibehållen standard, ta lärdom av tidigare generationers sätt att hushålla. Det vill säga: anpassa oss i levnadssätt och bygga till en ny och effektivare energihushållning och detta om möjligt till en oförändrad kostnad och en icke ökad tidsåtgång i den dagliga användningen av bostäder och lokaler.

Låt oss, innan vi går in på alla delfaktorer eller detaljproblem i utformningen av lågenergihus, ta del av några utvecklingssteg i det nordiska byggandet när det gäller klimathöljet och dess värmekällor samt några andra väl utvecklade ekologiska boendeformer präglade av extrema klimat.

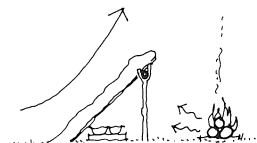
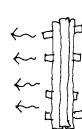
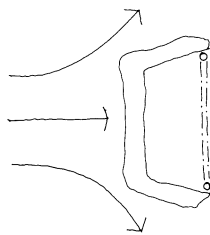
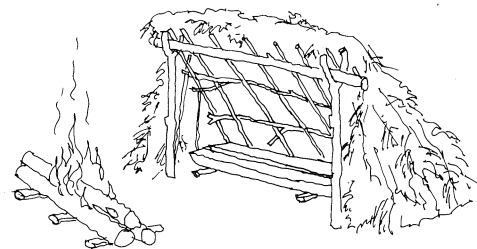
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

En tillbakablick – vindskyddet, hyddan och kåtan

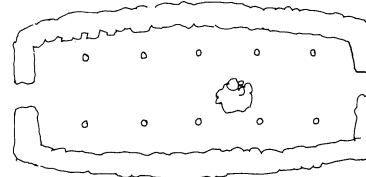
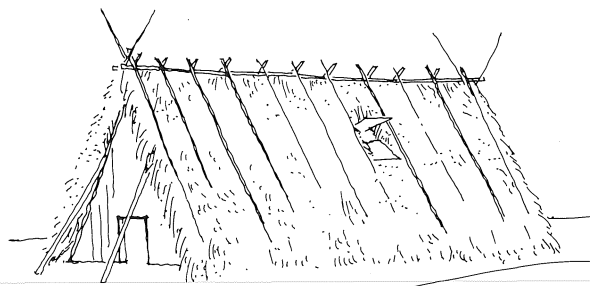
Vindskyddet. Enkla och lättbyggda skydd för tillfälliga övernattnings eller kortare perioder av vila i samband med tex arbete i skogen byggs oftast med virke, ris och mossa eller torv hämtat från skyddets allra närmaste omgivning. Skyddet orienteras med hänsyn till lä mot rådande vind och med öppningen riktad mot den öppna elden, nyingen. Med stor strålningsintensitet värmer brasan den eller dem som uppehåller sig i skyddet utan att samtidigt ge drag eftersom tillskottsluften tillförs elden från omgivningen utanför skyddet.

Hyddan. Arkeologiska utgrävningar bl a på Gotland och i Danmark har gett underlag för rekonstruktioner av hur man tidigt ordnade skydd för människor och husdjur. Tjocka lager av vattenväxten ag på stomme av trä gav skydd mot regn, värme och kyla. Torv eller mullbänk vid väggarnas anslutning till mark gav ökad isolering i väggarnas nedre del, högre marktemperatur på jordgolvet och en god täthet i vistelsezonen. Värme källan, den öppna elden för matlagning och uppvärmning, gav huvudsakligen strålningsvärme men tillika golvdrag i varierande grad allt efter storleken på elden, eftersom ersättningsluften vid förbränningen oftast hämtades via ingångar till hyddan. Röken steg mot nocken för att söka sig ut genom öppningar eller någon form av reglerat rökuttag.

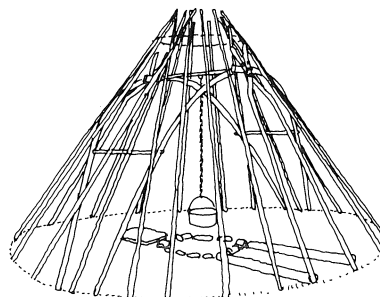
Samekåtan. Ända in i vår tid används, om än i liten omfattning, den uråldriga lätta monterbara kåtan, som följer med renflyttningen till sommarbetena, eller den stationära bågstångskåtan som hör höst- och vårvistet till och som med sin torvtäckning ger ett bättre klimatskydd. Bågstångskåtans kupolform är aerodynamisk och ger därmed en jämn och god snötäckning som extra värmeisolering vintertid. Härden i kåtans mitt, vistelseytorna för arbete, vila och gemenskap påminner osökt om vikingahyddan. Den starkt begränsade ytan och volymen i relation till antalet i kåtan boende samt kunskapen om att elda effektivt för att få önskad värme leder till liten bränsleförbrukning per capita och därmed till ett litet behov av tilluft. Upplevelsen av besvärande drag eller golvkyla begränsas härmed.



Vindskydd med nying.

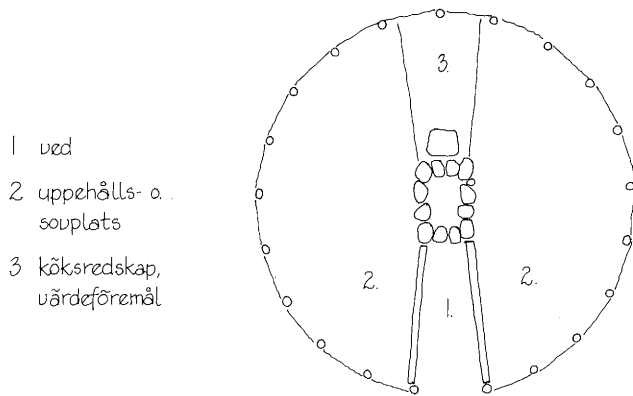


Trolig utformning av hyddliknande bostad från vikingatiden.



Bågstångskåta.

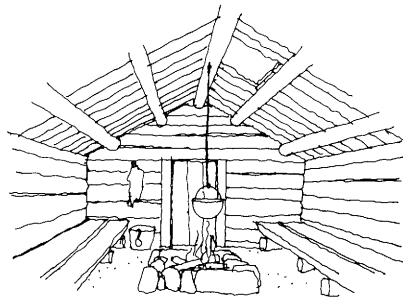
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR En tillbakablick – jordkulan, backstugan och eldhuset



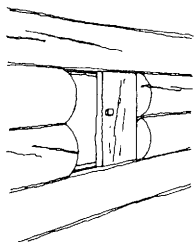
Samekåtans plan.



Mindre jordkula.



Eldhus.



Skjutlucka i trä.

Med samernas boendebeteende kan man verkligen tala om energihushållning med hänsyn till knappheten på bränsle i fjället och till ihållande kyla. Man har lärt detta genom att transportera och bygga hus med en starkt begränsad planyta och rumsvolym. Man har också en väl genomtänkt klädsel för ute- och inneklimatet. Man utnyttjar all spillvärme och frivärme från närvarande personer för rummets uppvärmning.

Jordkolor och backstugor. Denna form av resursnålt byggande återfinns vi i bygder där man av ekonomiska skäl tvingats bygga billigt eller i områden med brist på byggnadsvirke, som tex på Island. Vintertid utnyttjade man de mäktiga marklagrens såväl som torvtakets och snöns isolerande egenskaper.

Förångningen av markfukten måste ha givit ett besvärande rått inomhusklimat under uppvärmningssäsongen. Av hälsoskäl byggdes därför, där så var möjligt, byggnader ovanjords och helst av värmeisolerande material som timmer i de fall inte bristen på byggnadsvirke tvingade till väggar av sten, tegel, lerklining eller klivet virke.

Eldhuset är känt som ett av de första bostadshusen av ren timmerkonstruktion. Kring den öppna elden från härden på jordgolvet, men nu med skydd av tjocka drevade timmerväggar som med hjälp av tyngdkraften ständigt strävade till att täta drevningen i fogarna, levde man på långbänkar av klivet timmer isolerat från jordgolvet. Genom en lucka över rökuttaget kunde ventilationen reduceras när bränderna på härden fullständigt förbränts och enbart gav strålning från glödbädd och härdens heta stenar. Små gluggar med skjutbara luckor i timmerväggarna gav möjlighet till utblickar, kontrollerbar lufttillförsel och dagsljusinsläpp när rökuttaget vid nock hölls stängt.

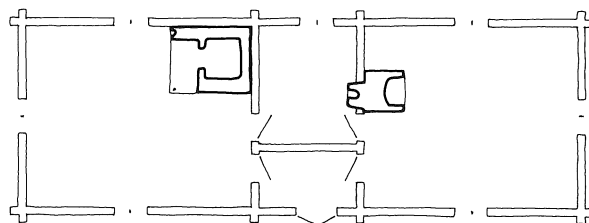
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Timmerhuset – stenhuset

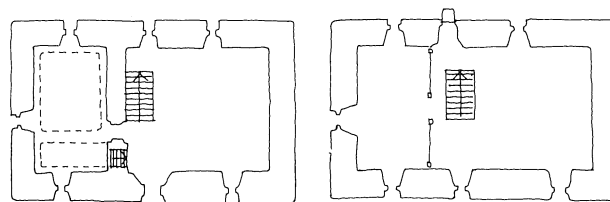
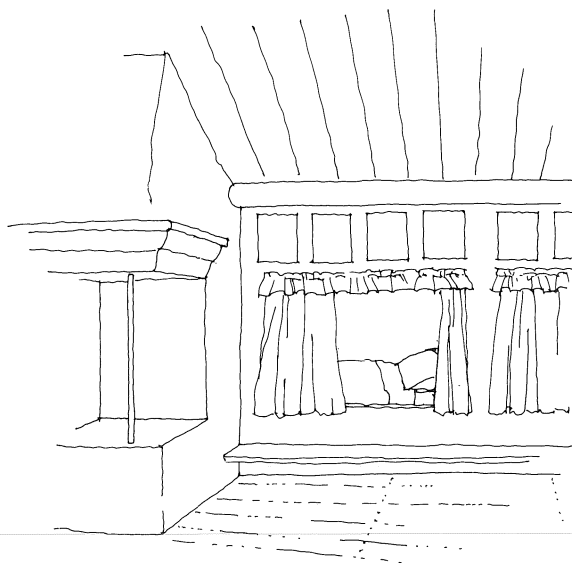
Det traditionella timmerhuset. Med eldhuset och loftboden med sitt upplyfta trägolv som länk i utvecklingen formas det traditionella timmerhuset eller dess motsvarighet byggt med det material de lokala förutsättningarna medgav inom ramen för rådande ekonomi. Husen tätas, isoleras alltmer, jordgolven ersätts med plankgolv först på mark, sedan upplyft från marken. Murstock med spisplan införs, sängar med bolster förbättrar boendet, senare kompletteras också bäddutrustningen med sparlakan som skyddande förhängen nattetid. Fönsterytorna minimeras. Bostaden utvecklas stegvis från ett rum till flera, med kammare, sovloft och garderober för behov av ökad funktionsuppdelning, fördelning på vinter- och sommarboende m m.

Stenhuset har till form och planorganisation gestaltats på liknande sätt men då med väggar av gråsten, kalksten eller tegel. Blandformer av trä och sten har i vissa sammanhang varit naturliga kompromisser, allt beroende på lokala resurser.

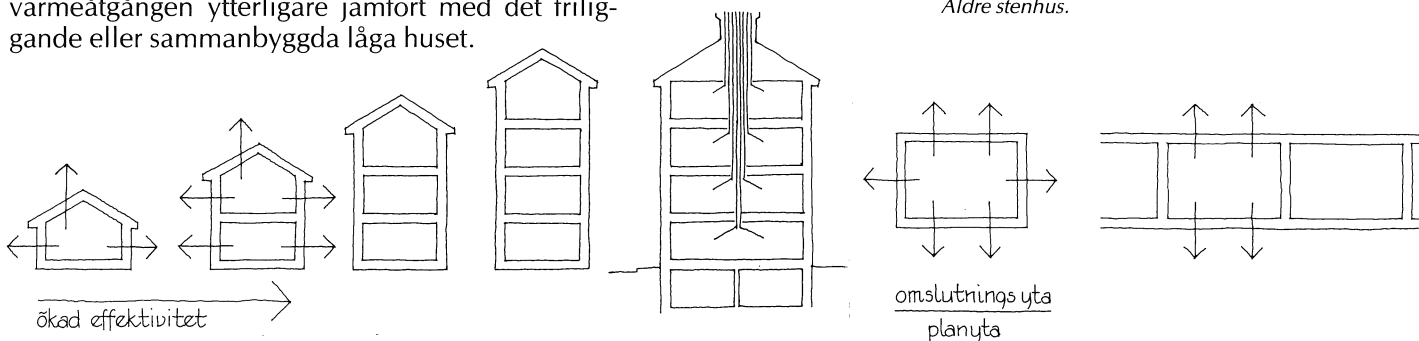
Stenhuset har med sina tjocka väggar i tegel en från trähuset avvikande karaktär med tanke på klimatbalanseringen på grund av den stora värmekapacitet stenmaterialet har. Med hjälp av den värmeackumulerande massan i ytter- och innermurar erhålls en långsamt svängande inomhustemperatur med liten dygnsamplitud som följd. Stenhusbygandet blev mot bakgrund av den stora brandrisk som förefanns i tät trähusbebyggelse alltmer allmänt i städer och större tätorter. Genom sammanbyggnad gavel mot gavel till sammanhängande huslängor eller till hela kvarter förbättrades värmeushållningen jämfört med fristående hus. Genom ökat antal våningar minskades också den relativa värmeåtgången ytterligare jämfört med det friliggande eller sammanbyggda låga huset.



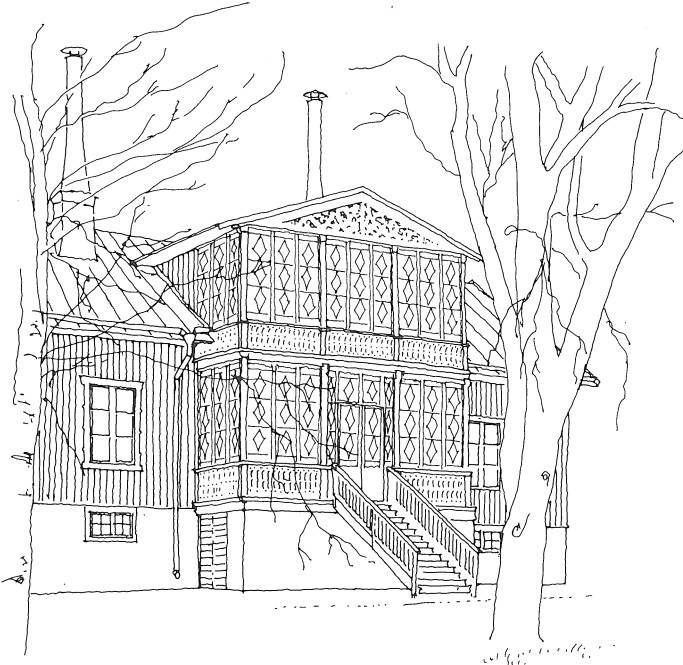
Parstuga i timmer.



Äldre stenhus.



6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR Glasverandan

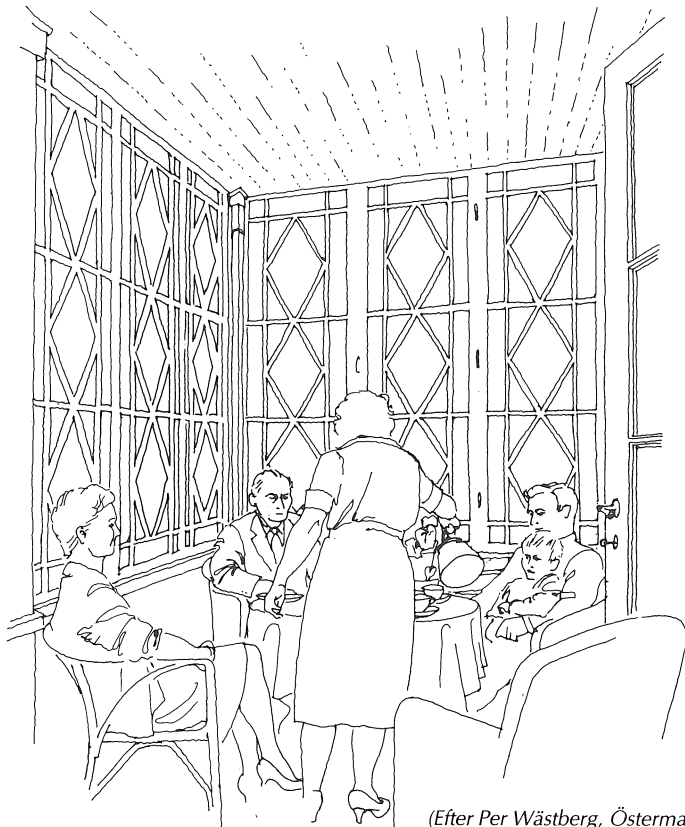


Glasverandan. Som ett intressant inslag vid tiden för sekelskiftet kan man se de friliggande hus som försågs med glasverandor för att därigenom tillvarata solens gratisvärme alltifrån den tidiga våren till den sena hösten. Dessa verandor var oisolerade, enkelglasade och utan annan värmekälla än solen.

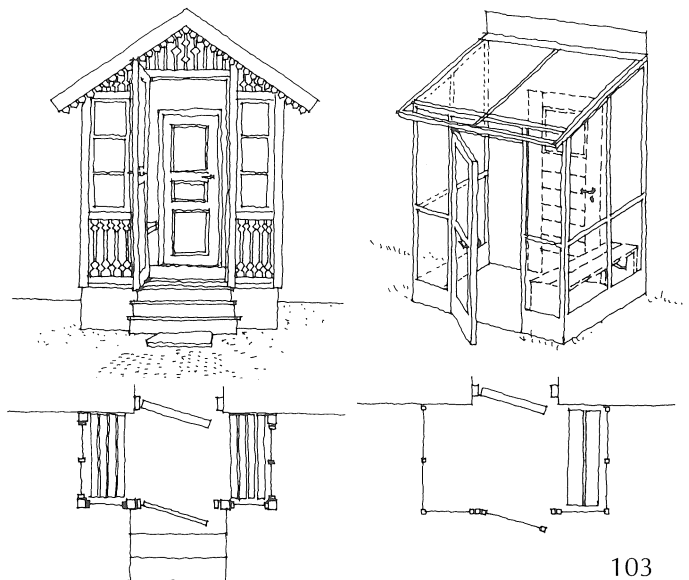
Denna utveckling byggde på kunskapen från trädgårdsmästeriernas växthus, en vindskyddad värmefälla, kombinerad med det traditionellt slutna och ombonade bostadshuset.

Det inglasade rummet, verandan, stod oftast i direkt förbindelse med salongen innanför och bildade därmed ett kompletterande rum för vår-, sommar- och höstbruk. Ett rum man flyttade ut i för en kortare eller längre tids samvaro i en mer öppen kontakt med omgivningen men ändå i en vindskyddad och varm miljö. Glasverandan med sina uppglasade väggar stod i bjärt kontrast till det slutna inre rummet. Livet i bostaden fick med detta arrangemang en ökad kvalitet såväl upplevelsemässigt som socialt sett.

Ibland gjordes dessa glasade utbyggnader i två våningar där den nedre glasade verandan utgjorde kontakten med trädgården. Glasverandan formades ibland också som huvudentré, ett soluppvärmt vindfång som särskilt vår och höst bildade en ljus tempererad zon mellan ute och inne.



(Efter Per Wästberg, Östermalm.)



Inglasad förstuvist.

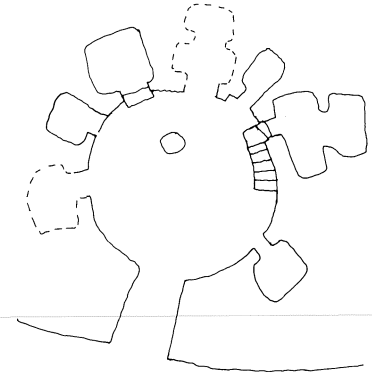
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Bostäder i ökenklimat

Klippbostäder. I sterila bergöknar har man sedan urminnes tider tagit vara på grottformationer för att skaffa sig ett skydd för att kunna överleva i ett extremt klimat med heta dagar och kyliga nätter, häftiga skyfall och pressande sandstormar. Skyddet har inte bara gällt människorna utan även deras husdjur och förnödenheter.

Där marklagren består av lösa bearbetbara stenarter eller av hårdpressad sand har den naturliga grottan utvidgats för att bättre anpassas till de boendes behov eller också har man byggt till grottan med massiva murverk av sten eller soltorkat tegel. Klippans massa liksom ev kompletterande murverk har genom sin stora värmekapacitet balanserat dagens solhetta mot nattens kyla. Håltagningar för dagsljusinsläpp och ventilation dagtid har minimerats för att inte få problem med klimathållningen inomhus. Så långt möjligt har olika funktioner givits olika utrymmen med varierande grad av klimathållning och skydd mot väder och vind. Sett över året har klippans ackumulerade värme utnyttjats för att hålla ett jämnt inomhusklimat över "vinterperioden" eller över längre perioder av mindre intensiv solstrålning. Klippans stora värmekapacitet ger med de rådande klimatförutsättningarna ett relativt stabilt inomhusklimat. Uppvärmning eller kylning utgör inget resursförbrukningsproblem.

Lerhuset. I sterila ökenområden med tillgång till lerblandade marklager har man byggt hus av soltorkad lera, antingen leran lagts lager för lager som sedan torkats i den heta solen eller genom att man tillverkat lerblock, som soltorkats för att sedan användas att mura husen med.



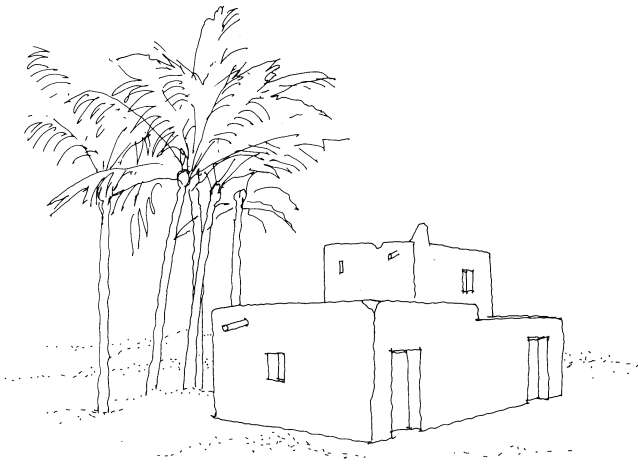
Exempel på klippbostäder från ökenbergen i Tunisien.



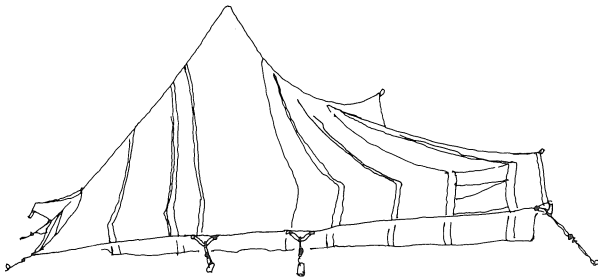
Tunisiska lerhus.

6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

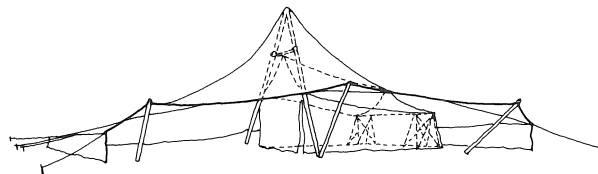
Bostäder i ökenklimat



Hus av soltorkad lera, Saudiarabien.



Sektion av ett beduintält.



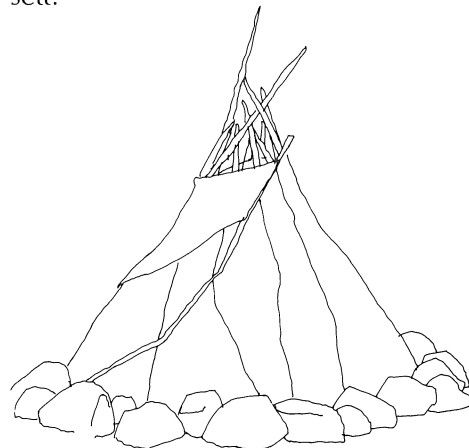
Nomadtäkt.

Hus av soltorkad lera har mycket gemensamt med grottbostaden i det att murarnas tjocklek och massa ger ett gott skydd mot dagens hetta. Den under dagen uppvärmda husmassan ger under kvällen och natten en värmestrålning in mot rummet, när natttemperaturen utomhus kryper ner. Köldstrålningen från en klar svart natthimmel kan bli mycket stark och därmed kyla ned mark och taktytor påtagligt. Taken är oftast utformade som flacka bassänger för att fånga upp eventuellt regnvatten. Ett annat bevis på ekologiskt anpassat byggnadsätt.

Ventilationen av ökenhusen sker bäst nattetid då en lätt bris genom byggnaden ger svalka, kylning av väggar och golvens ytskikt.

Beduintältet. För nomadiserande stammar utan möjlighet att utnyttja grottor eller lerhus har ett lätt hanterligt klimatskydd utbildats med det flerskiktade tältets konstruktion. Eftersom tältet inte har någon som helst värmekapacitet har man i stället tagit vara på dess skuggeffekt kombinerad med möjligheter att i olika grad ventilerat tältet med hjälp av genomluftning, dagar som nätter. Genom att förändra tältdukarnas läge och relation till varandra kan man vid stark hetta förstärka effekten av genomluftning eller vid andra tillfällen skapa lä mot oönskade vindar och sandstormar.

Här liksom i övriga ökenbostäder har man med små medel skaffat sig en tempererad inomhuszon till vilken man anpassat sina vanor och levnadsmönster utan att i vardagen tära på energikällor av något slag. Detta möjliggörs genom klimatets karaktär av en blandning av solheta dagar och svala till kyliga nätter. Man har lärt sig att leva med naturen och utnyttja den på bästa sätt hushållsmässigt sett.



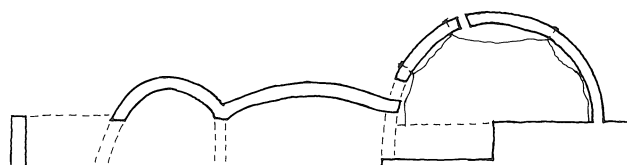
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Bostäder i extremt kallt klimat

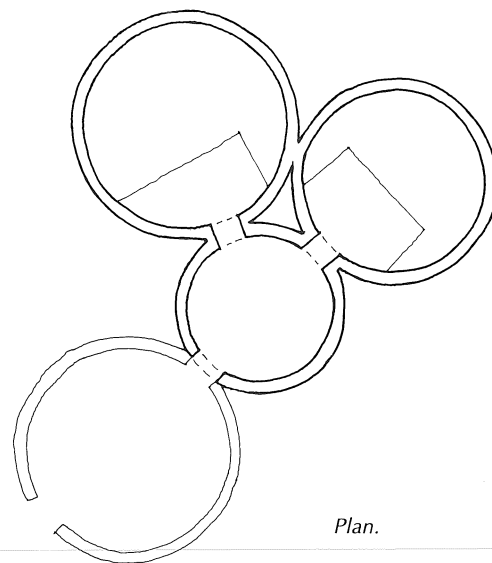
Igloon används som permanent bostad i de snö- och isrika polartrakterna men också som tillfälligt övernattnings- och överlevnadsskydd i fjälltrakter vid hastigt uppkomna snöstormar eller vid stark köld.

Med *igloon*, formad av snöblock sammanfrusna med varandra till en dom av starkt begränsad storlek och med en köldfälla anordnad i anslutning till entréns luftsluss, har man åstadkommit en påtaglig klimatförbättring i förhållande till det extrema utomhusklimatet, som karakteriseras av sträng kyla, dag som natt, stora delar av året. Med närheten till polen är man utan sol i 1–4 månader per år.

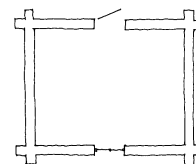
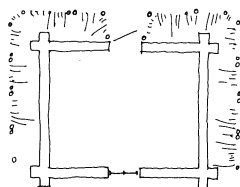
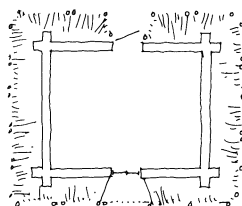
Genom utnyttjande av den värmeisolerande egenskapen hos snö, dels i form av block, dels som lös eller packad snö över och kring domen, samt med hjälp av den fullständiga täthet som åstadkommit har en första förutsättning för viss klimathållning erhållits med tillgängligt "material" och egen arbetsinsats. Genom dukar uppspända mot taket, som ett tält inom *igloon*, minskas värmestrålningen mot snöväggarna med minskad isbildning som följd, och omvänt minskas kallstrålningen från snö- eller isväggarna.



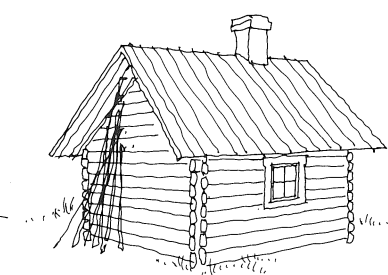
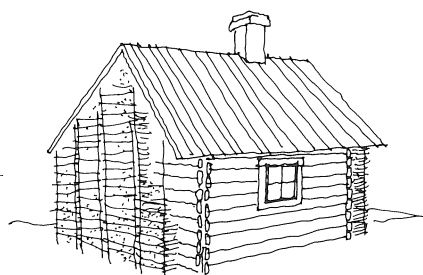
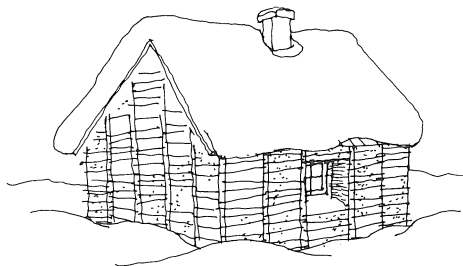
Lågpunkter utgör ett köldfås. Sektion.



Plan.

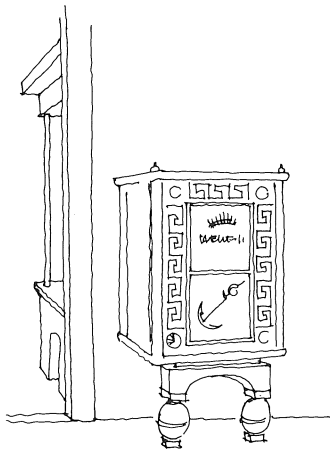
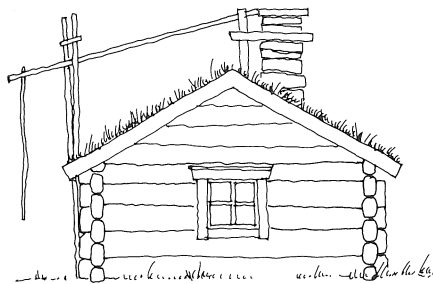
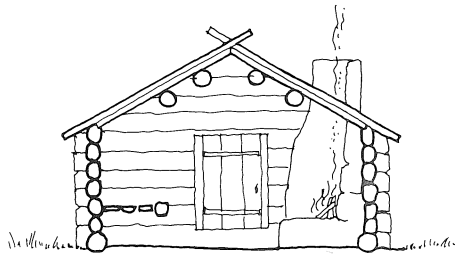


Plan.



Ett ryskt exempel på ett ekologiskt levnadssätt, där djurens foder stackas kring huset som extra värmeisolering som successivt används.

6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR Uppvärmning – härden, ugnen och kakelugnen



Biläggargugn i gjutjärn, betjänad från köket.



En av många kakelugnar.

Den öppna härden. Med murstockens införande bjöds en bättre möjlighet för uppvärmning, matlagning och sedermera brödbak. Dessa öppna härdar hade till en början en helt öppen rökgång men kompletterades senare med reglerbart spjäll.

Murstocken gav en ur brandsynpunkt tryggare eldstad men också möjlighet till värmelagring under natten. En sakta avklingande strålningskälla som gav värme för några nattimmar utan krav på passning.

Med spjällets tillkomst kunde man ännu bättre tillvarata värmen, reglera temperatur och ventilation nattetid och därmed minska eldningstiden. Denna uppvärmningsform med en eller flera öppna spisar grupperade kring murstockar kom under lång tid att tjäna som enda uppvärmningsanordning.

Biläggargugnen, också kallad sättugnen, murad eller utförd i gjutjärn, infördes som ett komplement till den öppna härden och anslöts som en sidoordnad fristående pjäs, som från härden försörjdes med glöd. Biläggargugnen kan ses som en föregångare till kaminen genom sin höga ytemperatur och strålningstemperatur men med relativt liten massa, dvs litet värmelager. Den blev snabbt het men också snabbt kall.

Kakelugnen. Med energikrisen vid mitten av 1700-talet utvecklades kakelugnen av C J Cronstedt till en effektiv värmekälla där de heta avgaserna fördes i serpentinformer upp och ner genom kakelugnen för att avge maximalt med värme till ugnens ytor som i sin tur gav ett bättre och jämnare värmeutbyte till rummet. Kakelugnen ersatte relativt snabbt den öppna spisen i såväl äldre som nya hus för att bli den allt dominerande värmekällan i våra bostäder under 1800-talet. Först i början av 1900-talet ersattes kakelugnen successivt av värmeledningssystemet, vanligtvis med varmvattenradiatorer som värmekroppar.

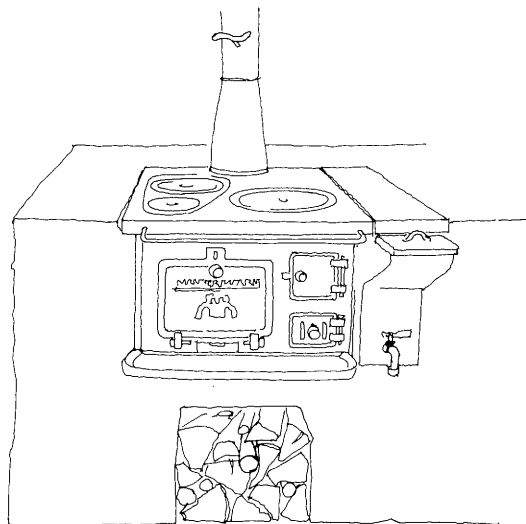
6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Uppvärmning – spisen och kaminen

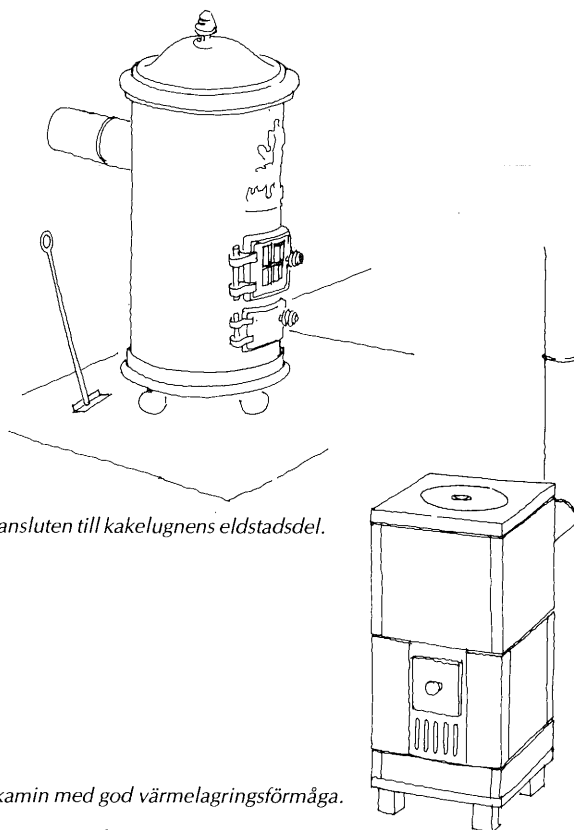
Gjutjärnsspisen ersatte efter hand den öppna härden. Med gjutjärnsspisen fick man en effektivare värme för matlagning och bak och därtill en lätt-skött värmekälla.

Kaminen. Med industrialismen kom möjligheten att i gjuterier massproducera en liten effektiv värmekälla för ved alternativt för trä, kol och koks eller antracit. Kaminer av olika konstruktion utgjorde fullständiga eldstäder med god reglering av förbränningsluften och med reglerbara rökgasspjäll. Gjutjärnsspisen och kaminen anslöts av brandtekniska skäl vanligtvis till kanal i murstock eller fungerade som insats till kakelugn. Rökgaserna bidrog till uppvärmningen av tegelmassan som gav en jämn och god värme. I enklare byggnader som bodar, baracker e d ledde rökgaserna bort via plåtrör. Dessa rör hettades snabbt upp och bidrog till uppvärmningen genom ökad strålningsvärme. Temperaturen i kaminens och rökrörets närhet kunde vid forcerad eldning bli rätt obehaglig, särskilt då i små utrymmen.

Bastuugnen. Med vår urgamla badkultur i form av bastubadet utvecklades en värmekälla som gav en intensiv värmestrålning som hettade upp rumsluften. Med hjälp av ett större eller mindre stenmagasin ovanpå ugnen ökades värmemagasineringsen påtagligt. Ugnarna byggdes ursprungligen i sten men ersattes i modern tid med järn- eller gjutjärnsugnar för vedeldning. Många bastur i tätbebyggda trakter värms i dag med elektriska aggregat. Bastuvärmen användes i gången tid inte enbart för bastubad utan också för torkrum för säd, lin, textilier och för barnafödelse. En rätt placerad bastu väl utnyttjad kan efter badet dela med sig av sin värme till de omkringliggande rummen, vilket idag utnyttjas i energihushållande syfte.



Traditionell köksspis i gjutjärn med varmvattenbehållare invid eldstaden.



Gjutjärnskamin, ibland ansluten till kakelugnens eldstadsdel.

6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

Bondgården – materialhushållning

Sammanfattningsvis kan man med dessa exempel se hur man med liten energiförbrukning i förening med till förhållandena anpassat levnadssätt och anpassad klädsel skapat förutsättningar för att överleva i klimat av olika extrema karaktärer. Här valda exempel har tagits med enkom för att genom sina enkla, raka lösningar stimulera till fortsatt utveckling av modernt byggande.

Av redovisade exempel, skisserande en utveckling av hur våra förfäder format sina skydd mot väder och vind, ser vi hur man i gångna tider med knappa resurser byggde och levde, utnyttjade tillgängligt material och naturens övriga förutsättningar genom att på ett klokt sätt utnyttja förnyelsebar energi och ej förbruka lagrad energi. På bara några generationer har vi tappat detta kunnande. Utan att "vrida klockan tillbaka" har vi mycket att lära beträffande framtida byggnadsutformning genom att studera hur tidigare generationer byggt, bott och arbetat. Låt oss därför se på vår byggnadstradition enbart utifrån ett resurshushållande perspektiv.

Våra bondgårdar, som alla har differentierade och olikartade funktioner, har fått till varje funktion anpassade rum eller byggnader. Gårdarna har oftast en väl vald belägenhet, en god klimathållning i relation till klimatförutsättningarna och ett tillrättat användningssätt samt en noga avvägd användningstid som begränsar energiåtgången. Beroende på byggnadssituation, klimat, lokala traditioner, resurstillgångar, social status etc valdes olika gårdsstorlekar och grupperingsformer. Materialval, byggnadsteknik, tekniska lösningar och planformer var dock i stort sett lika och klimatförutsättningarna varierade inte mer i svensk skogsbygd än att samma byggnadskunnande kunde tillämpas praktiskt taget överallt. För slättbygderna valdes andra material och till följd därav annan teknik och planform. Ur resurshushållningssynpunkt var timret ett förnyelsebart material tillika återanvändningsbart för liknande funktion i nytt läge. Sist i kedjan av användning blev timret till ved för uppvärmning i någon form.



Kringbyggt gårdstun, läskyddat och solvärm.

6.1 TIDIGA KLIMATSKYDD OCH VÄRMEKÄLLOR

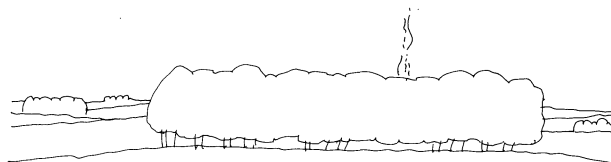
Bondgården – utrymmeshushållning

Bostadshusen utformades extra noggrant med tanke på värmehushållningen. Djurhus, förråd, bastu, redskapsutrymmen och arbetslokaler byggdes i en varierande skala av täthet alltefter funktion, grad av värmehållning och väderskydd. Lador, logar, vedbodnar med funktion att torka timrades med springor eller brädades in med glesa springor för att medge viss genomluftning. Vagnshus, lider, såghus och andra kallutrymmen formades huvudsakligen som skydd enbart mot nederbörd och besvärande vind.

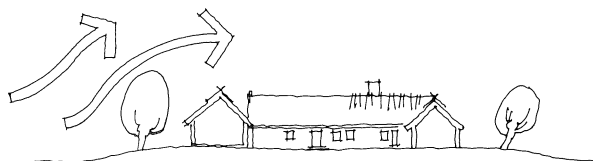
Varje byggnad fick sin planform och sina mått utvecklade och anpassade mot bakgrund av reella behov och med tanke på minsta resursåtgång i byggande och drift. Om och när en värmekälla behövdes valdes den till art, läge och storlek utifrån dess primära och sekundära funktioner samt användningstider. Matlagning och brödbakning förenades med boendets uppvärmning eftersom elden här hölls vid liv under större delen av dygnet. Andra eldplatser användes mer temporärt allt beroende på funktion och behov. Sädestork, bastu, rökeri, bryggghus eller kokhus kunde ibland samgrupperas. Smedjan separerades ofta från gården på grund av brandfara och buller.

I levnadsmönstret ingick att man levde mer utbrett sommartid när uppvärmning inte blev bestämmande för de boende. Ju mer kylan satte in ju mer koncentrerade man sitt boende till en liten yta-volymin och till den över dygnet mest utnyttjade värmekällan, dvs spisen och ugnen. Denna årsvisa expansion respektive kontraktion i ett sommar- och ett vinterboende var helt enkelt energimedvetet betingad utifrån nödvändig energihushållning.

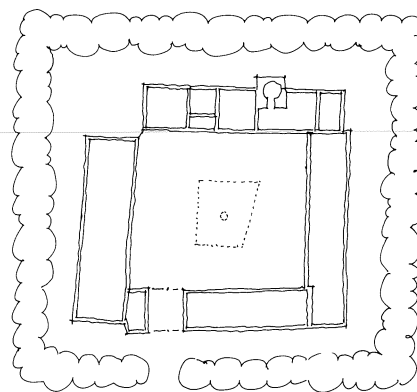
I det sydsvenska, ofta öppna, slättlandskapet där skogen inte gav lä formade man med den slutna gårdsformen en läplats mot vilken bostadens sydfasad ofta vände sig. Andra sambyggnadsformer baserades på ett gott värmeutbyte djurhus–bostad.



Vy.



Sektion.



Plan.

Kringbyggd gård i öppen slättbygd med extra vindskydd i form av planterad trädomfattning.

6.2 NATURENS LAGAR

Energins oförstörbarhet och kvalitet

Energi finns i många former. Det finns *kemisk energi*, bunden i material, t ex olja, kol, ved etc. Det finns *mekanisk energi* i form av lägesenergi, t ex vatten till ett vattenkraftverk, och rörelseenergi. *Elenergi*, *värme* och *strålning*, t ex solstrålning, är andra energiformer.

Energi kan omvandlas från en energiform till en annan, men den kan *ej förstöras eller försvinna*. Om vi har en elektrisk apparat, som kräver 100 W, så kan denna elkraft först utnyttjas för sitt ändamål, t ex belysning, driva en fläkt eller pump eller driva ett kylskåp. Ofta utnyttjas endast en del av energin för sitt egentliga ändamål. Sålunda blir kanske endast 10 % av den tillförda energin ljus och endast 75 % rörelseenergi i pumpen. All tillförd energi blir i de nämnda exemplen värme. Den del av den tillförda belysningsenergin, som ej blir ljus, blir direkt värme, vilken avges från belysningsarmaturen. Även ljusstrålningen blir värme, när den träffar rumsytor och absorberas i dessa. På liknande sätt blir all tillförd pumpenergi till sist värme genom friktion i pump och rörsystem. Den tillförda *energin finns kvar i en eller annan form*.

Energi kan inte ovillkorligen överföras från en form till en annan. Om vi har ett värmeinnehåll i en liter vatten mellan +20°C och 0°C, så kan inte denna energimängd användas för att direkt värma en annan liter vatten från 30°C till 50°C. Motsatsen är däremot möjlig. Energi kan således ha olika *kvalitet (exergi)*. *Det går att utnyttja energi av lägre kvalitet för att uppnå en högre kvalitet, men då måste energi av ännu högre kvalitet offras*. Värmepumpar är sådana hjälpmedel. De kan drivas med elkraft, bränsle eller ett mycket varmt medium. Mängden tillskottsenergi beror på värmekällans kvalitet, önskad kvalitet på den avgivna värmen och tillskottsenergis kvalitet. Vid liten kvalitetshöjning och hög kvalitet hos tillskottsenergin blir tillskottet litet.

6.2 NATURENS LAGAR

Energi och effekt

Energi räknas i Joule (J) eller multiplar av Joule, t ex kilojoule (kJ), megajoule (MJ), gigajoule (GJ). Enerгимängden 1 Joule kan emellertid också uttryckas som

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ Wattsekund (Ws)}$$

dvs den energi som krävs för att effekten 1 Watt (W) skall verka under en sekund. Således gäller att

$$\text{Energi} = \text{Effekt} \times \text{Tid}$$

Detta leder oss in på den elektriska energienheten kilowattimmar (kWh) som alltså är

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh} = 3\,600 \cdot 1\,000 \text{ Ws} \\ = 3\,600\,000 \text{ J} = 3,6 \text{ MJ}$$

Energisorten wattimmar eller kilowattimmar leder tankarna till elenergi men är inte bunden till elenergi. Värme och andra energiformer kan också uttryckas i Wh, kWh eller högre multiplar av Wh.

Tidigare användes sorten kilokalorier (kcal) före energi och många äldre böcker innehåller denna sort för energi. Sambandet gäller då att

1 kWh	= 860 kcal	1 Mcal	= 1,163 kWh
1 Wh	= 0,86 kcal	1 kcal	= 1,163 Wh
1 kW	= 860 kcal/h	1 Mcal/h	= 1,163 kW
1 W	= 0,86 kcal/h	1 kcal/h	= 1,163 W

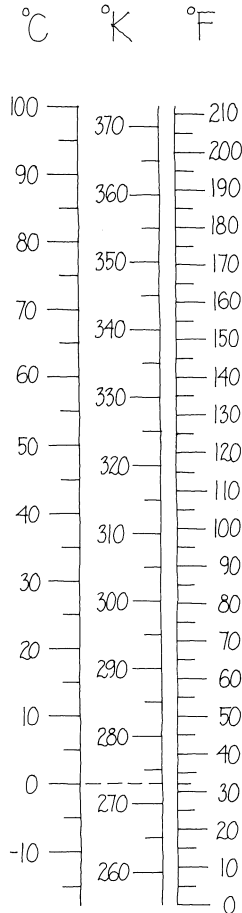
Lägesenergin anges av lyftarbetet:

$$W_1 = M \cdot g \cdot h$$

där M är massan i kg, h är lyfthöjden i meter och g är jordaccelerationen $= 9,82 \text{ m/s}^2$. Sorten på energin blir då kgm/s^2 för $M \cdot g$ och m för h . Eftersom kraften 1 Newton $= 1 \text{ kgm/s}^2$ kan man skriva arbetet som Newtonmeter (Nm).

6.2 NATURENS LAGAR

Temperatur och värmetransport



Jämförelse mellan Celsius–Kelvin–Fahrenheit temperaturskalor.

Temperatur mäts i grader, men det finns olika temperaturskalor att välja på:

°C (Celsius) har isens smältpunkt som 0°C och vattnets kokpunkt som 100°C,

K (Kelvin) har den absoluta nollpunkten, dvs den lägsta tänkbara temperaturen, som 0 K och samma gradstorlek som Celsiusskalan,

°F (Fahrenheit) används i USA och vissa andra engelsktalande länder och har både en nollpunkt och en gradstorlek som skiljer sig från Celsiusskalan.

Följande samband gäller:

$$K = ^\circ\text{C} + 273,16 \quad ^\circ\text{C} = K - 273,16$$

$$^\circ\text{F} = \frac{9}{5}^\circ\text{C} + 32 \quad ^\circ\text{C} = \frac{5}{9} (^\circ\text{F} - 32)$$

Värme kan transporteras från en varmare kropp till en kallare genom tre olika mekanismer:

värmeledning

konvektion (molekylrörelse)

strålning (elektromagnetiska vågor)

Värmeledning äger rum i fasta material där atomerna har sina fasta platser kring vilka de svänger. Vid konvektion kan molekylerna röra sig relativt varandra, vilket är möjligt i vätskor och gaser. Elektromagnetisk strålning kräver inget medium. Den kan ske i vakuum. När strålningen orsakas av varma kroppar brukar man kalla densamma *temperaturstrålning*.

Värmeutbytet mellan två ytor som begränsar ett utrymme, tex mellan två glasrutor, sker genom samtidig konvektion och temperaturstrålning. De båda transporterade energimängderna kan då adderas till varandra.

6.2 NATURENS LAGAR

Termisk jämvikt

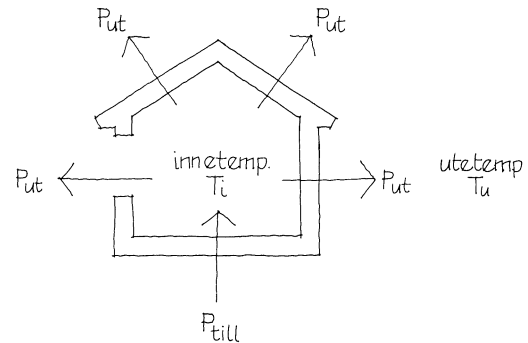
Naturen söker termisk jämvikt. Värme strömmar från en varmare del av en kropp till en kallare för att slutligen ge en jämn temperatur i hela kroppen. Vill man hålla en del av kroppen vid en högre temperatur än andra delar av densamma så måste man kontinuerligt tillföra värme till den varmare delen, för att kompensera den värme som leds bort till den kallare delen. Den senare måste samtidigt kylas, dvs värme måste ledas bort, för att den skall fortsätta att vara kall.

Klimatisering av en byggnad innebär en avvikelse från den termiska jämvikten. Värme måste tillföras eller bortföras för att önskad temperatur inomhus skall erhållas. Slutar man att tillföra eller bortföra värme så kommer byggnaden att med tiden anpassa sig till utomhusklimatet.

Om en byggnad tillförs värme så att den håller en konstant innetemperatur och utetemperaturen samtidigt är konstant så kommer man att ha en konstant värmeförsel och konstant värmeförlust från byggnaden. Man får ett sk *stationärt värmestånd* där temperaturer och värmeflöden inte ändras.

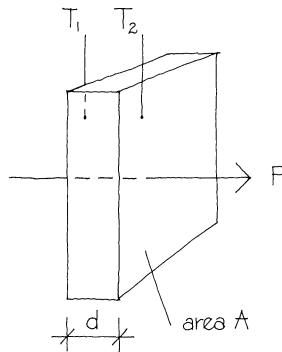
Tillskapandet av ett termiskt inomhusklimat stör den termiska jämvikten. Vi måste finna ett sätt att tillföra värmen och vi får en viss uppvärmning av omgivningen på grund av värmeförlusterna från byggnaden. Det kan därför tyckas vara i enlighet med naturens lagar att *klimatisera byggnader med så litet värmeförsel eller -bortförel som möjligt*. Tillskapandet av värme eller kyla innebär också ett ingrepp i naturen.

Ett sätt att behålla den termiska jämvikten är att *söka återvinna värmeförluster resp kylförluster*. Det är av termodynamiska skäl inte möjligt att helt återvinna värme resp kyla men man har i hus stora möjligheter till återvinning från tex ventilationsluften.



Vid $P_{till}=0$ blir $T_i=T_u$ och $P_{ut}=0$

6.2 NATURENS LAGAR Värmeledning



$$P = \lambda \cdot \frac{(T_1 - T_2) \cdot A}{d}$$

Värmeledningsförmåga λ .

Material	λ W/°C,m
Silver	415
Stål	50
Granit	3
Betong (i byggnad)	1,5
Glas	1,0
Trä (i byggnad)	0,14
Stillastående luft	0,024
Stillastående koldioxid	0,014
Stillastående freon CCl ₃ F	0,008

Om ena sidan av en jämntjock skiva hålls vid temperaturen T_1 och den andra sidan vid temperaturen T_2 så kommer värme att transporteras genom skivan. Genom experiment kan man visa att värmeströmmen fördubblas om temperaturskillnaden görs dubbelt så stor eller om skivans yta görs dubbelt så stor men blir bara hälften om skivans tjocklek fördubblas. Vi får då ett samband mellan värmeströmmen (P), temperaturskillnaden ($T_1 - T_2$), arean A och tjockleken d

$$P = \lambda \cdot \frac{(T_1 - T_2) \cdot A}{d} \text{ (Watt)}$$

Koefficienten λ (grekiska bokstaven lambda) är en materialkonstant. Den är olika för trä, tegel, betong osv. Den kallas för *värmeledningsförmåga* eller *värmekonduktivitet*. Eftersom vi använder °C för temperaturskillnaden, m² för arean och m för tjockleken så får λ sorten Watt per °C per m (W/°C,m). Den talar om hur mycket värme i Watt som går igenom en 1 meter tjock skiva med ytan 1 m² när temperaturskillnaden mellan ytorna är 1 °C.

Värmekonduktiviteten varierar mycket från material till material. Som några extremvärden kan nämnas silver som har $\lambda = 415$ W/°C,m och stillastående luft som har $\lambda = 0,024$ W/°C,m. Stillastående gaser har således mycket lägre värmekonduktivitet än fasta material. Detta kan utnyttjas när man vill skapa en värmeisolering. Stillastående gas kan åstadkommas genom att gasen, oftast luft, innesluts i små porer i ett material eller genom att gasen förses med så mycket fibrer att gasrörelserna försvåras. Typiskt för värmeisoleringsmaterial är att de har låg vikt (densitet).

Mineralull och cellplast är exempel på värmeisoleringsmaterial med låg värmekonduktivitet, ca 0,035 W/°C,m..

6.2 NATURENS LAGAR

Konvektion

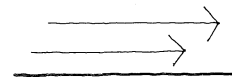
Konvektion i gaser eller vätskor kan åstadkommas dels av temperaturskillnader i mediets olika delar dels av tryckskillnader inom mediet. Egentligen skapas alltid rörelserna, konvektionen, av tryckskillnader ty temperaturskillnaderna ger upphov till täthetsskillnader, vilka i sin tur resulterar i tryckskillnader.

När rörelserna i mediet äger rum på grund av temperaturskillnader så kallar man det *egenkonvektion*, *naturlig eller fri konvektion* (engelska: natural convection eller free convection). När rörelserna orsakas av påtvingade tryckskillnader genom fläktar eller pumpar så kallar man det *påtvingad konvektion* (forced convection).

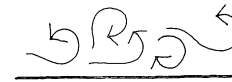
Rörelsen i vätskan eller gasen kan vara strömlinjeformad, *laminär*, eller virvelformad, *turbulent*. Laminär strömning förutsätter i regel släta ytor och begränsad hastighet hos mediet. Värme från en varm yta överförs bättre till ett medium om strömningen är turbulent.

Värmeöverföring på grund av egenkonvektion beror på täthetsskillnader hos mediet. Intill en varm vägg stiger luften uppåt och intill en kall vägg sjunker luften nedåt. Vid ett varmt innertak så får luften ej någon täthetsskillnad och man får då ingen eller liten värmeöverföring från taket till luften. I praktiska fall medverkar dock rummets övriga delar till att skapa viss lufrörelse invid ett varmt tak.

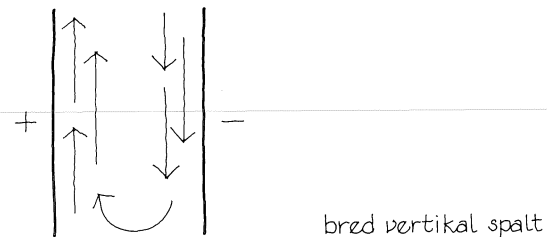
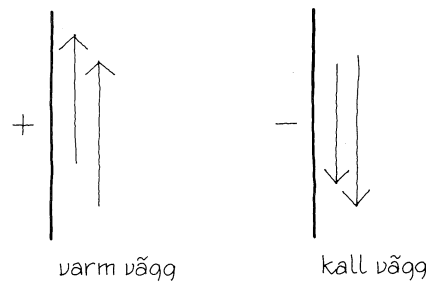
I *vertikala luftspalter*, tex ett fönster, så sjunker luften vid den kalla ytan och stiger vid den varma. Är spalten mycket smal så kommer dessa rörelser att motverka varandra och konvektionen försvåras. Vid ca 8 mm luftspalt är luften praktiskt taget stillastående.



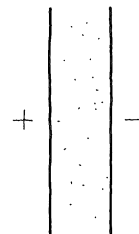
laminär strömning



turbulent strömning

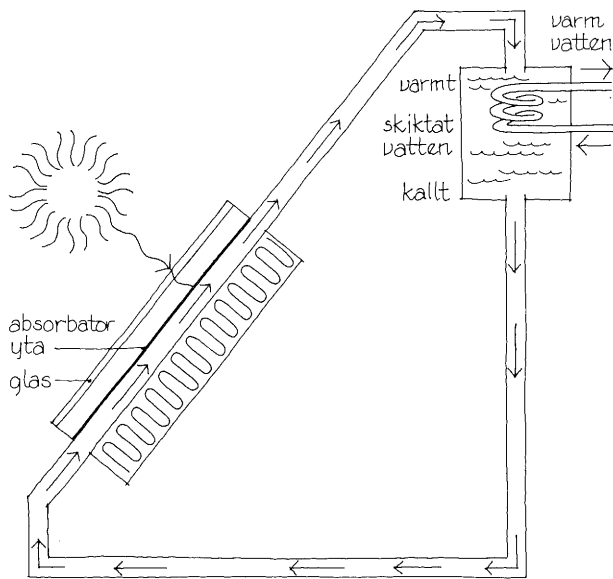


bred vertikal spalt



smal vertikal spalt =
= nästan stillastående gas

6.2 NATURENS LAGAR Själv-cirkulation och skiktning



Princip för själv-cirkulerande solfångarsystem.

Egenkonvektion utnyttjas att driva runt ett medium i ett slutet system, ett sk *själv-cirkulationssystem*. Gamla tiders radiatorsystem är exempel på ett själv-cirkulationssystem. Där fick det varma radiatorvatten gå upp i huset, genom radiatorerna, där det kylades och sedan återvände till värmepannan. Man hade ingen pump utan förlitade sig enbart på själv-cirkulationen. Rördimensionerna blev dock stora eftersom hastigheterna var relativt låga i systemet.

Själv-cirkulation utnyttjas för *uppvärmning av varmvatten med solfångare*. Solen strålar då på en svart plåtradiator som värms upp på ytan. Vattnet i radiatoren värms också upp och stiger genom ett rör till den ovanförliggande varmvattentankens överdel. När varmt förbrukningsvatten tappas så kyls vattnet i behållaren. Det kalla vattnet i botten förs tillbaka till solfångarens (plåtradiatorns) nederdel och den slutna kretsen är fullbordad. Man bör emellertid alltid hålla i minnet att vid själv-cirkulationssystem så kan cirkulationen gå bakvägen. På natten kan man således ladda ur varmvattentanken genom att varmt vatten värmer den kalla plåtradiatoren.

Skiktning är ett annat fenomen som utnyttjas vid lagring av varmvatten. Det varma vattnet stiger uppåt och samlas vid tankens topp. Man kan alltså ha tillgång till vatten med högre temperatur än tankens medeltemperatur. Vid en skiktad tank så sker värmeöverföringen från den övre varma delen till den nedre kallare genom värmeledning genom den stillastående vätskan. Denna värmeledning är liten. Det är emellertid viktigt att skiktningen i tanken ej störs. Således får man ej släppa in vatten med en temperatur som avviker mycket från temperaturen hos det skikt där vattnet tillförs.

6.2 NATURENS LAGAR

Strålning

En kropp med en temperatur över den absoluta nollpunkten, dvs *alla* kroppar, utsänder energi i form av elektromagnetisk strålning. Elektromagnetisk strålning kan också härröra från andra strålningskällor än varma kroppar. Radiovågor, TV-vågor, ljus, röntgen- och γ -strålning är exempel på andra källor. Strålningen från varma kroppar kallas för *temperaturstrålning*.

Strålningen från en svart kropp, dvs en kropp utan reflektion, är proportionell mot den absoluta temperaturen T (K) upphöjt till 4:e potens:

$$P_S = \sigma_S \cdot A \cdot T^4 \quad (\text{Watt}) \quad T \text{ i Kelvin}$$

där $\sigma_S = 5,67 \cdot 10^{-8}$ och A är kroppens area (m^2).

En enklare form är:

$$P_S = 5,67 \cdot A \cdot \left(\frac{T}{100}\right)^4 \quad (\text{Watt}) \quad T \text{ i Kelvin}$$

Liksom all annan strålning har temperaturstrålningen en våglängd, ja ett spektrum av våglängder. Detta spektrum varierar med den svarta kroppens temperatur. Den maximala intensiteten inträffar vid våglängden:

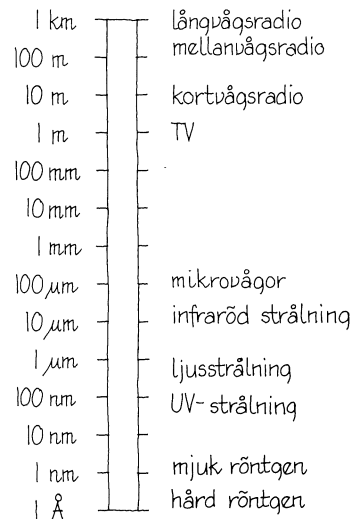
$$\lambda_{\max} = \frac{2,898}{T} \cdot 10^{-3} \quad (\text{m}) \quad T \text{ i Kelvin}$$

Tänker vi oss en kropp med temperaturen 6 000 K, dvs ca 5 700 °C, vilket är solens temperatur, blir:

$$\lambda_{\max} = \frac{2,898}{6\,000} \cdot 10^{-3} = 480 \cdot 10^{-9} \quad (\text{m}) = 0,480 \mu\text{m}$$

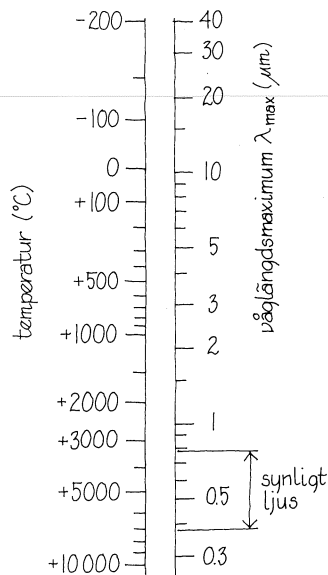
Sorten μm betyder mikrometer och är 1 miljondels meter. En kropp med temperaturen 20 °C får på liknande sätt $\lambda_{\max} = 9,890 \mu\text{m}$.

Eftersom ljusinstrålning har våglängdsområdet 0,370–0,760 μm så är solen med $\lambda_{\max} = 480 \mu\text{m}$ lysande medan den 20-gradiga kroppen med $\lambda_{\max} = 9,890 \mu\text{m}$ är mörk.



det elektromagnetiska spektrumet

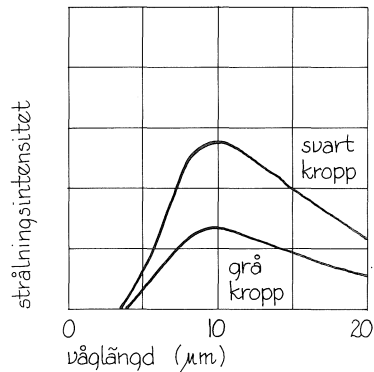
(μm = mikrometer
nm = nanometer
Å = ångström)



våglängdsmaximum för temperaturstrålning

6.2 NATURENS LAGAR

Emission, absorption och reflektion



Kroppars emissionsförmåga.

Absorptionsförmåga $a (= \epsilon)$ för dagsljusstrålning.

Material	a
Nysnö	0,15
Vit färg	0,2
Ljusa färger, blankt aluminium	0,3—0,5
Betong, mörkrött tegel, löv, gräs	0,6—0,7
Mörka golvplattor och mattor	0,8—0,9

Emission för vinkelrät temperaturutstrålning från kropp av rumstemperatur ϵ_n .

Material	ϵ_n
Guld, polerat	0,02
Aluminium, polerat	0,05
Stål, galvaniserat	0,26
Glas	0,92
Tegel	0,93
Trä	0,94
Målning, även vit	0,94

Temperaturstrålningen från en svart kropp utgör den maximala strålning som en varm kropp kan avge. Dess *emissionsförmåga* är $\epsilon = 1$. Om kroppen inte är svart utan reflekterar ljus i viss utsträckning så blir emissionsförmågan ϵ mindre än 1.

Den svarta kroppen avger sin strålning inom ett våglängdsspektrum. Om den icke-svarta kroppen avger en strålning, som inom hela våglängdsområdet är en viss bråkdel av den svarta kroppens strålning, så kallas kroppen för en *grå kropp* med emissionsförmågan ϵ .

En kropps *absorptionsförmåga* a är lika stor som dess emissionsförmåga ϵ , dvs

$$a = \epsilon$$

Detta gäller för varje våglängd λ och varje temperatur T . Om kroppen är *ogenomsläpplig för strålning* så blir summan av absorptionsförmågan a och reflektionsförmågan r :

$$a + r = 1$$

Material absorberar emellertid inte lika mycket inom olika våglängdsområden av temperaturstrålningen. Man brukar därför ange absorptionsförmågan (= emissionsförmågan) för det ljusa våglängdsområdet (kortvågig strålning) och för det mörka våglängdsområdet (långvågig strålning) och menar då den sammanvägda absorptions-(emissions-)förmågan för dagsljusstrålning respektive för temperaturstrålning från en kropp av rumstemperatur.

Som en god minnesregel gäller att absorptionsförmågan inom det ljusa våglängdsområdet antyds av hur mörk kroppen ser ut. Inom det mörka våglängdsområdet har flertalet material utom metaller en emissionsförmåga $\epsilon = 0,9—0,95$ vid vinkelrät utstrålning.

6.2 NATURENS LAGAR

Mer om emission

I tabellen på föregående sida visas att emissionsförmågan för vinkelrät utstrålning ϵ_n är mycket olika för blanka metaller och vanliga byggnadsmaterial som tegel, trä och glas. Således har guld en emissionsförmåga, som är endast 0,02. Temperaturstrålningen från en kropp med guldbeläggning blir således extremt liten. Guldbeläggning har därför använts, där värmeförlusterna skall minimeras, t ex i rymddräkter. Även silverbeläggning och blankt aluminium har mycket låg emission. Det kan vara intressant att notera att även galvaniserad stålplåt har låg emission.

Vid strålning mellan två parallella plattor så sker utstrålningen från den varma skivan i alla riktningar. För glas minskar emellertid emissionen vid en ökad vinkel θ räknad från den vinkelräta utstrålningen. Vid vinkelrät utstrålning ($\varphi = 0$) är emissionen ca 0,92 medan den vid $\varphi = 80^\circ$ är 0,6 och vid $\varphi = 90^\circ$ är 0, övre figuren.

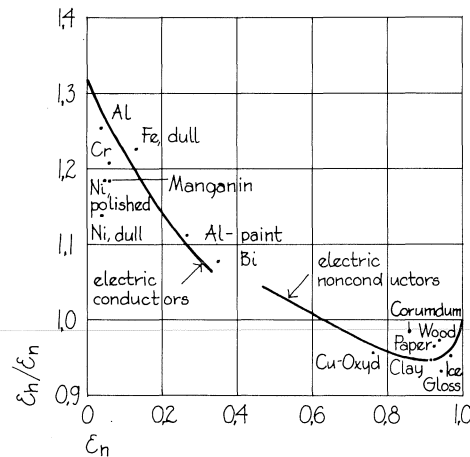
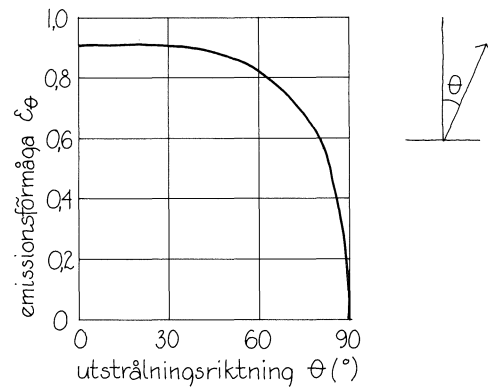
Vid strålning mellan två skivor så måste man räkna med en sammanvägd halvsfärisk emission ϵ_h . Förhållandet mellan ϵ_h och ϵ_n varierar för olika material och ytbeskaffenhet, nedre figuren.

För *glas* har denna halvsfäriska emission bestämts experimentellt av Lohrengel, 1970. För temperaturstrålning kring $+20^\circ\text{C}$ blir denna

$$\epsilon_h = 0,85$$

Den varierar mycket litet, liksom för övrigt även ϵ_n , inom intervallet -60°C till $+90^\circ\text{C}$.

Det bör särskilt observeras att i litteraturen ges sällan värden på den halvsfäriska emissionsförmågan. Uppgivna värden avser i regel vinkelrät strålning.



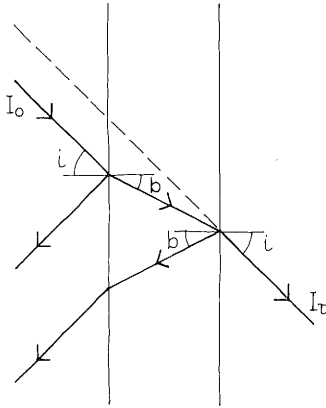
överst Emissionsförmågan ϵ_θ för glas enl Lohrengel, 1980. (Glastemperatur 85°C .)

nederst Sfärisk emission ϵ_h i förhållande till emission vinkelrätt mot ytan.

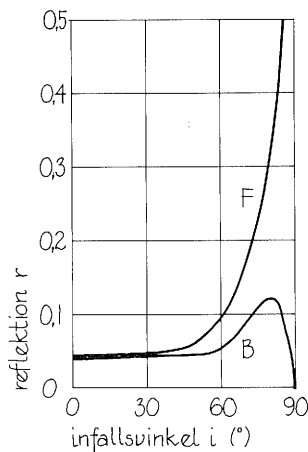
ϵ_n för olika material enl Schmidt & Eckert, 1935. (Efter Eckert & Drake, 1959.)

6.2 NATURENS LAGAR

Reflektion och absorption vid glasskivor



En ljusstråles passage genom en glasskiva med planparallella ytor, omgiven av luft.



Samband mellan reflektion r och infallsvinkel i vid reflektion i främre glasytan (F) och bakre glasytan (B) av en glasskiva. (Efter Adamson & Backman, 1975.)

När en ljusstråle går från luft till glas så bryts den i glasytan, varvid brytningsvinkeln b blir mindre än infallsvinkeln i , dvs strålen bryts mot normalen, se övre figuren. Vid passage från glas till luft bryts den däremot från normalen. Om en ljusstråle sålunda passerar en planparallell platta av glas, är den transmitterade strålen I_T parallell med den infallande strålens riktning. Förhållandet mellan infallsvinkeln i och brytningsvinkeln b erhålls ur sambandet:

$$n_1 \cdot \sin i = n_2 \cdot \sin b$$

där n_1 är luftens brytningsindex (ca 1) och n_2 är glasets brytningsindex (ca 1,52).

Vid *vinkelrätt infall* (i normalens riktning) mot en plan yta av ett material med brytningsindex n_2 blir, om det omgivande mediet har brytningsindex n_1 , reflektionen r :

$$r = \left(\frac{n_2 - n_1}{n_2 + n_1} \right)^2$$

Reflektionen vid en glasyta riktad mot luft blir då $n_1 = 1$ och $n_2 = 1,52$:

$$r = \left(\frac{1,52 - 1}{1,52 + 1} \right)^2 = 0,04$$

Reflektionen ökar med infallsvinkeln enligt

$$r = \frac{\sin^2(i-b)}{2\sin^2(i+b)} + \frac{\tan^2(i-b)}{2\tan^2(i+b)}$$

I nedre figuren visas reflektionen i främre ytan F och i bakre ytan B vid varierande infallsvinkel i .

När *ljusstrålen* passerar glaset *absorberas* en del av densamma. Med absorptionskoefficienten β (m^{-1}) och väglängden x (m) blir

$$I_x = I e^{-\beta x}$$

6.2 NATURENS LAGAR

Transmission

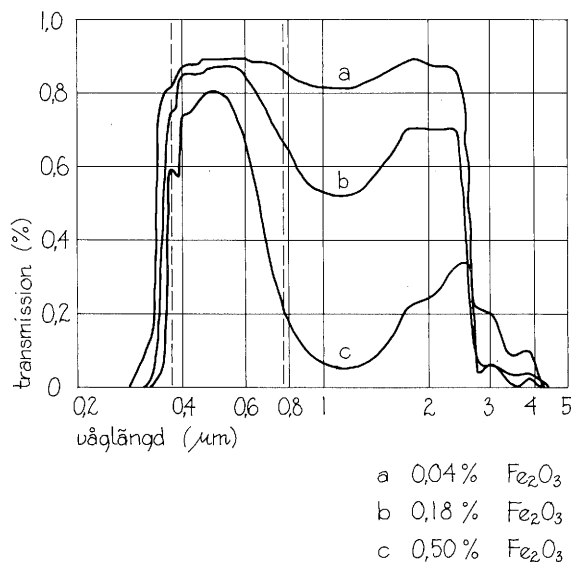
När en strålning träffar en yta så reflekteras en del medan resten absorberas och omvandlas till värme. För glas och andra transparenta material så tillkommer att en del av strålningen kan passera genom materialet. Materialet har en *transmissionsförmåga* t , och vi får sambandet:

$$a + r + t = 1$$

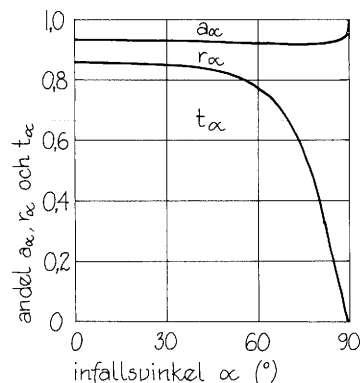
Orsaken till att synlig strålning kan passera genom glas i det närmaste obehindrat är att storleken på de enskilda molekylerna (SiO_4 -tetraedrar) är mycket obetydlig i förhållande till den synliga strålningens våglängder. Molekylerna har en utsträckning av storleksordningen 0,2–0,4 nm (1 nm = nanometer = 10^{-9}m) medan ljusets våglängd är 370–760 nm. Ljusstrålen kan därför passera utan att nämnvärt påverkas av enskilda molekyler eller molekylgrupper.

När ljusstrålar passerar en glasmassa så absorberas dock en liten del av ljusstrålningen. Normalt är denna absorption obetydlig, eftersom glas används i tunna skivor, 3–5 mm. Om glaset görs tjockt så kan man emellertid ej försumma denna absorption, som minskar transmissionen.

Absorptionen i glasmassan påverkas av dess innehåll av metalloxider. Ett obetydligt innehåll av järnoxid (Fe_2O_3) ger en betydlig absorption och minskad transmission. Med 0,5 % Fe_2O_3 i glasmassan minskar transmissionen till mindre än hälften och glaset blir grönfärgat. Detta förhållande utnyttjas också för att minska transmissionen genom tex bilrutor. Man måste dock alltid hålla i minnet att den absorberade strålningen omsätts i värme och glaset blir varmt.



Transmissionskurvor för 6 mm maskindraget planglas.

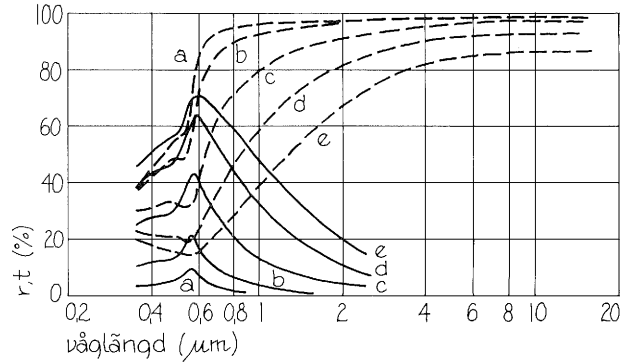


Absorption a_α , reflektion och transmission t_α för ljus som infaller med vinkeln α från normalen till glasytan (3 mm klarglas.) (Efter Adamson & Backman, 1975.)

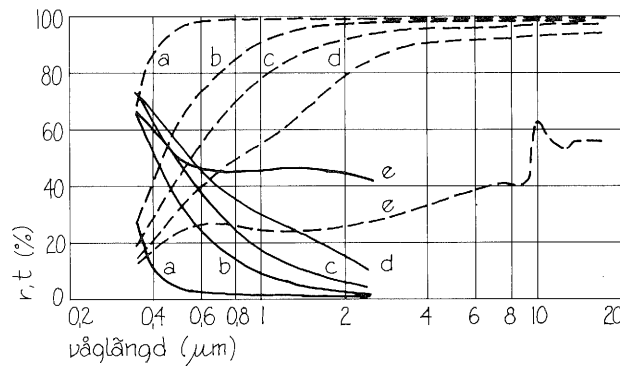
6.2 NATURENS LAGAR

Selektiv reflektion, absorption och transmission

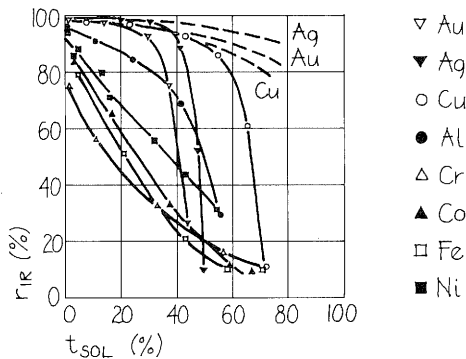
a) Cu



b) Ag



c)



- a) Transmission t (heldragen) och reflektion (streckad) för koppar (Cu) med tjocklek $a = 450 \text{ \AA}$, $b = 280 \text{ \AA}$, $c = 160 \text{ \AA}$, $d = 100 \text{ \AA}$ och $e = 70 \text{ \AA}$.
- b) Dito för silver (Ag) med tjocklek $a = 360 \text{ \AA}$, $b = 160 \text{ \AA}$, $c = 120 \text{ \AA}$, $d = 90 \text{ \AA}$ och $e = 60 \text{ \AA}$.
- c) Integrerad reflektion för rumtemperaturstrålning r_{IR} och integrerad soltransmission t_{SOL} för olika metallskikt (Valkonen, Karlsson och Ribbing, 1981).

Man kan belägga glas med tunna metallskikt och därmed ändra dess reflektion, absorption och transmission. Reflektionen och absorptionen blir våglängdsberoende, vilket medför att även transmissionen blir våglängdsberoende.

Ju tjockare metallskiktet är desto mer av strålningen reflekteras eller absorberas och desto mindre transmitteras. I figurerna a och b visas resultat från mätningar av Valkonen et al, 1981, för tunna skikt av koppar och silver. För ett kopparskikt, 70 Å ($\text{Å} = \text{Ångström} = 10^{-10} \text{ m}$) tjockt, når man inom det synliga området en transmission som blir maximalt 70% medan reflektionen vid 10 μm blir ca 0,87. Ökas tjockleken till 100 Å så minskar transmissionen ca 10% medan reflektionen ökar till 0,93. I figur c visas ett diagram med den integrerade reflektionen för ett rumsvårt belagt glas r_{IR} på den vertikala axeln och den integrerade soltransmissionen t_{SOL} på den horisontella axeln. Man ser att mätvärdena ger klar indikation på svårigheter att uppnå stor transmission vid stor reflektion. De streckade linjerna för silver (Ag), guld (Au) och koppar (Cu) visar vad som teoretiskt vore möjligt att uppnå. Orsaken till att dessa värden ej uppnås är att det belagda skiktet är genombrutet. I vissa fall, tex koppar, är metallskiktet ej stabilt utan måste täckas med ett dielektriskt material. Med ett intensivt utvecklingsarbete borde det vara möjligt att uppnå en transmission av ca 70% för solstrålning samtidigt som reflektionen för temperaturstrålning blir drygt 0,9, vilket innebär en emission av något lägre än 0,1.

Tunna metallskikt är lämpliga för solskydd, eftersom de reflekterar en stor del av solstrålningen. Den höga reflektionen inom temperaturstrålningsområdet kan dessutom utnyttjas för att minska värmeförlusterna. För att skydda skikten mot påverkan används de inom sk isolerrutor, dvs glasenheter som har ett slutet utrymme mellan två glasrutor.

6.2 NATURENS LAGAR

Selektiv absorption/emission

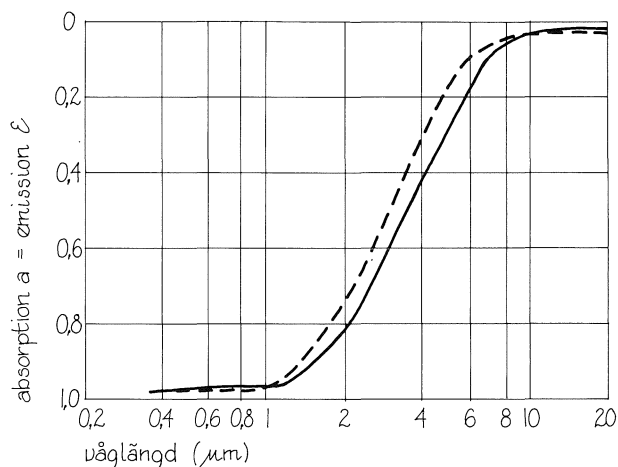
I samband med solvärmeutnyttjande är man intresserad av att absorbera så mycket solstrålning som möjligt i en yta samtidigt som man önskar hindra emission av temperaturstrålning från den varma ytan, dvs hindra värmeavgivningen till det fria. Man kan tillämpa två principer för att åstadkomma kortvågig absorption och långvågig reflektion, dvs hög absorption av solstrålning och låg emission av temperaturstrålning:

- 1 En polerad metallyta beläggs med ett tunt, optiskt mörkt skikt, som huvudsakligen är transparent för våglängder över 2–3 μm .
- 2 En svart yta beläggs med ett lager av finfördelad metall, tex guld, som fixeras i en lämplig matris. Partikelstorleken anpassas så att för synligt ljus den belagda ytan är svart medan för temperaturstrålning reflektionen hos metallen dominerar.

Nästan alla selektiva ytor för solfångare baserar sig på den förstnämnda principen. Sådana ytbeläggningar är tex "black nickel" och "black chrome".

På senare år har selektiv beläggning blivit kommersiellt tillgänglig i form av tunna folier. Figuren visar två sådana folier, "Berry Solarstrip" och "Erge-nics-Maxorb". För båda folierna blir ljusabsorptionen ca 0,96 och emissionen för temperaturstrålning ca 0,1.

Praktiskt taget alla selektiva skikt för solfångare kan absorbera 95 % av solstrålningen och samtidigt ha emissionen för långvågig strålning = 0,1. Skikten är emellertid ofta känsliga för fukt och i vissa fall också för höga temperaturer, vilket måste beaktas vid solfångarekonstruktionen.



Sfärisisk absorption (= emission) för selektiva ytbeläggningsfolier för solfångare (black chrome), Lampert, 1979.

6.2 NATURENS LAGAR

Värmekapacitet

Värmekapacitet för byggnadsmaterial.

Material	c kJ/°C,kg	c · ρ Wh/°C,m ³
Vatten	4,17	1 160
Stål	0,47	1 010
Aluminium	0,86	650
Betong	0,86	550
Trä, furu	2,70	450
Träfiberskivor, hårda	1,33	370
Lera	0,86	360
Tegel, 1 300 kg/m ³	0,86	310
Gipsskivor	0,86	220
Gasbetong	0,86	120
Träfiberskivor, porösa	1,33	110
Mineralull, 50 kg/m ³	0,86	12
Cellplast av polystyren	1,38	8

Värmekapacitet för torr luft.

Temperatur °C	c _p kJ/°C,kg	c _p · ρ Wh/°C,m ³
-20	1,00	0,390
-10	1,00	0,375
0	1,00	0,361
+10	1,00	0,348
+20	1,00	0,336
+30	1,00	0,325
+40	1,00	0,315

Om man värmer upp en kropp så kan man genom upprepade försök konstatera att det krävs dubbelt så stor värmemängd för att få en dubbelt så stor temperaturhöjning, (T₂-T₁). Görs kroppen dubbelt så stor så fördubblas ävenledes den erforderliga värmemängden för att få samma temperaturhöjning. Vi får uppenbarligen följande lag:

$$W = c \cdot M \cdot (T_2 - T_1) \quad (\text{Joule eller Watt-timmar})$$

I formeln betyder M kroppens massa i kg medan c är en materialkonstant, som kallas *värmekapacitet eller specifikt värme* för materialet. Denna konstant får sorten Joule per grad per kg (J/°C,kg) eller Watt-timmar per grad per kg (Wh/°C,kg).

För byggnadsmaterial kan man ha minnesregeln att mineralbaserade material som betong, tegel, glas, stenmaterial och mineralull har c = 0,86 kJ/°C,kg. Trä har en betydligt större värmekapacitet, ca 2,7 kJ/°C,kg.

Många gånger är man intresserad av värmekapaciteten per volymenhet, dvs c · ρ i Wh/°C,m³, där ρ är materialets densitet i kg/m³. Även om betong och stenull har samma värmekapacitet c så blir c · ρ = 550 Wh/°C,m³ för betong och c · ρ = 10 Wh/°C,m³ för stenull med ρ = 40 kg/m³.

För gaser måste värmekapaciteten fastställas vid *konstant tryck* och skrivs då c_p. Den värmemängd som erfordras för att värma upp en gas blir då:

$$W = c_p \cdot \rho \cdot (T_2 - T_1) \quad \text{kJ/m}^3 \text{ eller Wh/m}^3$$

Det bör observeras att gasers densitet är temperaturberoende och att därför c_p · ρ blir temperaturberoende till skillnad från fasta material, där c · ρ är konstant.

6.2 NATURENS LAGAR

Förångning, relativ mättnad och kondensation

Vatten i en öppen skål avdunstar med tiden. Vätskan övergår i gasform. Molekylerna i vätskan rör sig med olika hastigheter och det finns alltid någon molekyl som har så stor hastighet att den kan frigöra sig från vätskan och bli fri i gasform. Eftersom molekylerna rör sig snabbare vid högre temperatur än vid lägre så ökar avdunstningen med ökad temperatur. Eftersom vätskan förlorar sina snabba molekyler så kommer medelvärdet av de kvarvarande molekylernas kinetiska energi att minska, dvs vätskans temperatur sjunker. Den värmemängd, som erfordras för att förflytta ett ämne från vätskefas till gasfas, kallas ångbildningsvärme. Vi får då lagen:

$$W = r \cdot M$$

där r kallas *specifik ångbildningsvärme eller ångbildningsentalpitet*. Den får sorten Joule per kg (J/kg) eller Watt-timmar per kg (Wh/kg), eftersom M är massan i kg.

Gasen ovanför en vätskeyta innehåller alltid molekyler från vätskan. Den står i jämvikt med vätskan så att lika många molekyler fångas upp av vätskan som slungas ut från densamma. Gasmolekylerna har ett partialtryck p . I gasen ovanför vätskeytan förekommer en av temperaturen bestämd mängd molekyler av samma slag som i vätskan. Gasen är mättad och man har ett mättnadspartialtryck p_m . Man kan också i ett rum ha gas med ett innehåll av molekyler som är lägre än mättnadsgraden, t ex vattenångmolekyler i luft. Man talar då om det relativa mättnadstrycket, den *relativa fuktigheten* φ :

$$\varphi = \frac{p}{p_m} \cdot 100 (\%)$$

Om man sänker temperaturen hos en mättad gas så förmår inte alla molekylerna att vara kvar i ångform. De återgår i vätskeform och avger sin kinetiska energi. Man får en kondensation och man får *kondensationsvärme* som är lika stor som ångbildningsvärmem.

Ångbildningsentalpitet r för vatten.

Temperatur °C	r kJ/kg	r Wh/kg
0	2 500	695
10	2 477	688
20	2 453	681
30	2 430	675
40	2 406	668
50	2 382	662
60	2 358	655
70	2 334	648
80	2 308	641
90	2 282	634
100	2 256	627

6.2 NATURENS LAGAR "Kalla väggens princip"

Vattenångans partialtryck vid mättnad p_m vid olika temperaturer.

T °C	p_m Pa (N/m ²)	T °C	p_m Pa (N/m ²)
-20	103	6	936
-19	114	7	1 003
-18	125	8	1 075
-17	137	9	1 150
-16	151	10	1 230
-15	165	11	1 314
-14	181	12	1 405
-13	198	13	1 500
-12	217	14	1 601
-11	238	15	1 708
-10	260	16	1 820
-9	284	17	1 941
-8	310	18	2 067
-7	338	19	2 201
-6	369	20	2 343
-5	402	21	2 491
-4	438	22	2 648
-3	476	23	2 814
-2	518	24	2 988
-1	563	25	3 173
		26	3 367
0	612	27	3 571
+1	658	28	3 786
+2	706	29	4 012
+3	760	30	4 250
+4	815		
+5	873		

Om vi har ett slutet rum med ytor av olika temperatur och innehållande luft med en viss mängd vattenånga, så kommer denna luft att ha olika relativ fuktighetshalt intill de olika ytorna. Antar vi att rumsluftens temperatur i rummets mitt är +20 °C och att dess relativa fuktighet $\varphi = 40\%$ så blir enligt tabellen dess partialtryck:

$$p = \varphi \cdot p_m = \frac{40}{100} \cdot 2\,343 = 937 \text{ Pa}$$

Om en av rummets ytor har temperaturen +10 °C, t ex en glasyta, så har naturligtvis luften samma partialtryck intill densamma. Eftersom luften intill ytan får samma temperatur som ytan själv så kommer dess relativa fuktighet att ändras. Vid +10 °C blir mättnadstrycket enligt tabellen $p_m = 1\,230 \text{ Pa}$ och den relativa fuktigheten intill ytan blir:

$$\varphi = \frac{937}{1\,230} \cdot 100 = 76\%$$

Skulle det i rummet finnas en annan yta med temperaturen +5 °C så blir vid denna temperatur mättnadstrycket $p_m = 873 \text{ Pa}$, dvs lägre än det aktuella partialtrycket hos luften. Vattenången i rumsluften kondenserar då på den kalla ytan. Kondensationen fortsätter tills rumsluften förlorat så mycket ånga att dess partialtryck sjunkit till 873 Pa och den relativa fuktigheten invid ytan blivit 100%.

Samma sak händer om vattenånga diffunderar in i en yttervägg med en tät utsida och öppen insida. Då kondenserar vattenången på ytor med en temperatur som understiger den som motsvarar 100% relativ fuktighet hos luften. I ytterväggar är sällan utsidan helt tät. Då får man en partialtrycksänkning från rumsluftens partialtryck till partialtrycket hos uteluften. Det senare är under vintern i regel betydligt lägre än inomhus och man kan räkna ut hur partialtrycket sjunker under vattenångans väg genom väggen. Därefter jämför man med de temperaturer som erhålls inom väggen.

6.2 NATURENS LAGAR

Smältvärme och värme bundet i vissa salter

På analogt sätt som vätska övergår i gasform så kan fasta kristallina material övergå i flytande form. Partiklarna (atomer, molekyler eller joner) i kristallgittret svänger vid ökande temperatur allt kraftigare och vid en viss temperatur så rycks de loss från kristallgittret, materialet smälter. Så länge materialet smälter så sker det ingen temperaturhöjning, endast mer av materialet övergår i flytande form.

Man får då följande lag:

$$W = I \cdot M$$

där I är *specifik smältvärme eller smältentalpitet* och M är massan i kg. Sorten blir J/kg eller Wh/kg.

Om man sänker temperaturen hos en vätska så uppnår man dess stelningstemperatur (fryspunkt) där smältvärme börjar frigöras. Denna temperatur bibehålls så länge vätska finns tillgänglig.

Smältvärme kan användas för att lagra värmeenergi. Vissa *salter* kan frigöra energi vid kristallisation, vilken dock kan påverkas av underkylning. Därför måste man i regel vidta speciella åtgärder för att omvandlingen skall vara reversibel under saltets användningstid.

Smältentalpitet I .

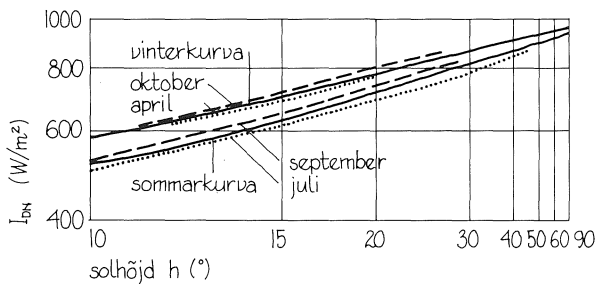
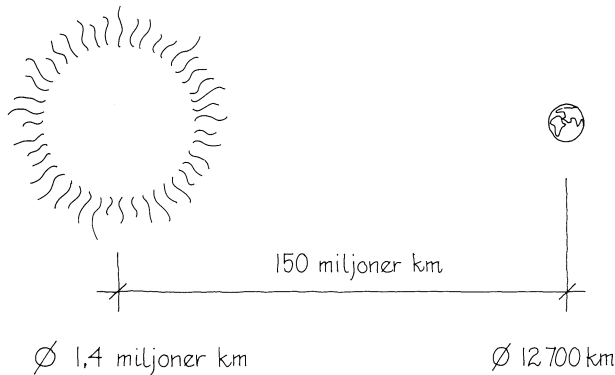
Material	Smältpunkt °C	I kJ/kg	$I \cdot \rho$ kWh/m ³
Is	0	335	85
Paraffiner	20—70	200	40

Latent värme i vissa salhydrater.

Material	Omvandlings- punkt °C	$I \cdot \rho$ kWh/m ³
CaCl ₂ · 6H ₂ O	30	80
NaSO ₄ · 10H ₂ O	32	100
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	35	112
Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	49	96

6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Ett hett klot



Intensiteten hos direkt solstrålning mot en yta, placerad vinkelrätt mot strålningsriktningen klara dagar, som funktion av solhöjden h (enligt Brown & Isfält).

Solen är ett klot, som består av oerhört heta gaser. Dess diameter är ca $1,4 \cdot 10^6$ km, dvs ca 110 gånger jordens diameter. Solens massa är $2,2 \cdot 10^{27}$ ton, vilket är 334 000 gånger jordens massa. Avståndet mellan solen och jorden varierar $\pm 3\%$, men är genomsnittligen $150 \cdot 10^6$ km.

Solen fungerar som en kärnreaktor, där den totala utstrålningen är ca $4 \cdot 10^{23}$ kW, varav mindre än en miljarddel träffar jordatmosfären. Temperaturen inuti solen uppskattas till 15 milj K. Sett från jorden representerar dock solen en het skiva med mycket lägre temperatur. Före det solstrålningen har passerat jordatmosfären, där en del absorberas, kan solen representeras av en svart skiva med en temperatur mellan 5 700 och 6 000 K (5 400–5 700°C). Den strålning som når jordatmosfären har en intensitet $I_0 = 1\,396$ W/m² (Brown & Isfält, 1974). I_0 kallas för solarkonstanten. Dess värde omvärderas litet då och då, men endast i mindre grad. Solarkonstanten gäller vid medelavstånd mellan jorden och solen. Avståndet är minst den 1 januari, då solinstrålningen är ca $1,033 \cdot I_0$, och störst den 1 juli, då solinstrålningen är ca $0,963 \cdot I_0$.

När solstrålningen passerar atmosfären absorberas en del av strålningen och en del reflekteras av molekyler i atmosfären. Det senare resulterar i att även himlen blir lysande. Vid solhöjden $h = 45^\circ$ (vinkeln över horisontalplanet) är strålningen på en yta, placerad vinkelrätt mot strålningen, ca 900 W/m², vid solhöjden $h = 30^\circ$ är strålningen ca 860 W/m² på vintern och ca 810 W/m² på sommaren. Vid $h = 15^\circ$ är strålningen på vintern ca 700 W/m² och på sommaren ca 620 W/m².

Av den till jordatmosfären infallande strålningen reflekteras 42% tillbaka till rymden, absorberas 15% i atmosfären, medan 43% tillförs jordytan, varav 27% är direkt solstrålning medan 16% är diffus strålning från himlavalvet. Dessa siffror gäller som genomsnitt över lång tid.

6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Spektral fördelning av sol- och himmelsstrålning

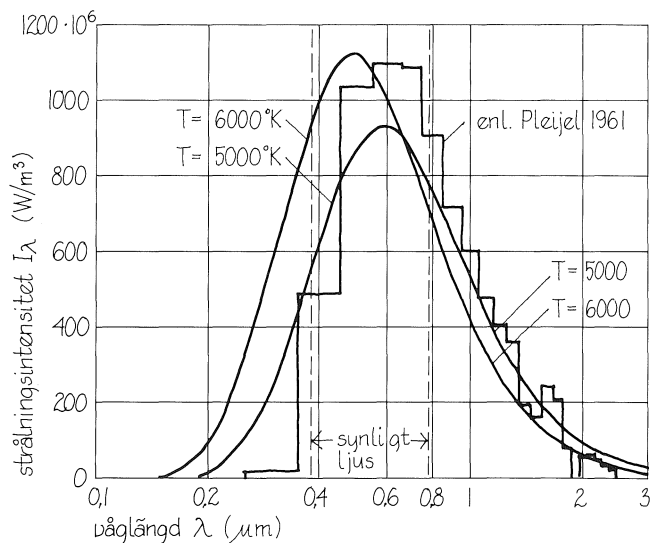
Av den totalt emitterade solstrålningen ligger 98 % inom våglängdsområdet 0,25–3 μm (1 mikrometer = 10^{-6} meter), dvs inom det våglängdsområde som vi normalt betraktar som solspektrum.

Solstrålningens spektrala fördelning vid 30° solhöjd har angivits av Pleijel, 1961, och visas i övre figuren, där den jämförs med strålningen från en svart kropp med temperaturen 5 000 K och 6 000 K. Man ser att strålningsmaximum ligger vid ca 0,6 μm (gult ljus), vilket nära motsvarar ögats största känslighet. Den totala strålningsintensiteten blir vid 30° solhöjd ca 830 W/m^2 , varav 47 % är synligt ljus.

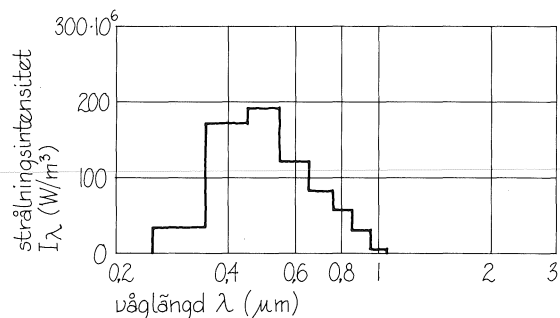
När solstrålningen passerar jordatmosfären så absorberas en del av densamma. Ju längre väg genom atmosfären desto mer absorberas. Absorptionen är störst för blått och ultraviolett ljus, vilket medför att lång väg genom atmosfären ger ett rött ljus såsom vid solnedgången, medan en hög solhöjd ger blåaktigt ljus.

En del av solstrålningen diffuseras och sprids vid passagen genom atmosfären. Då uppstår en illumination av himlen och densamma blir strålande. Atmosfärens molekyler är mycket mindre än solstrålningens våglängder, varför den kortvågiga strålningen (blått ljus) sprids mest, vilket resulterar i ett blått himlavalv. I mellersta figuren visas himmelsstrålningens spektrala fördelning vid klar himmel. Även om himmelsstrålningen vid klar himmel inte utgör mer än 8 % av den totala sol- och himmelsstrålningen (globalstrålningen) så utgör den 13 % av strålningen inom det synliga området.

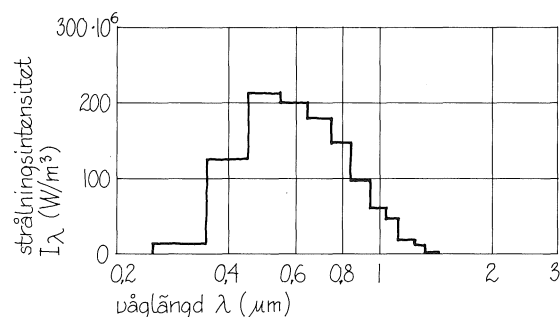
När himlen är helt molntäckt, så ser man ingen solstrålning. Solen skiner dock på molnens ovansida och man får en himmelsstrålning. I nedre figuren visas den spektrala fördelningen. Den totala strålningen är 112 W/m^2 , vilket är 12 % av globalstrålningen vid klar himmel.



Solstrålningens spektrala fördelning vid solhöjden 30° (enligt Pleijel, 1961)



Himmelsstrålningens spektrala fördelning vid klar himmel (enligt Pleijel, 1961)

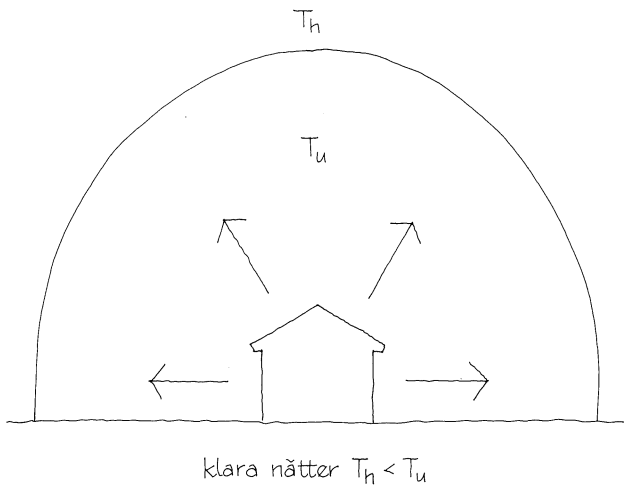


Himmelsstrålningens spektrala fördelning vid mulen himmel (enligt Pleijel, 1961)

6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Utstrålning till himlavalvet

Den spektrala fördelningen av solstrålningen, när den träffar jorden, har visats i övre figuren på föregående uppslag. Den når upp till $3 \mu\text{m}$. Ovanför denna våglängd ger solen ej något energitillskott till jorden. Man kan frestas tro att ovanför denna våglängd har jorden ej något strålningsutbyte med rymden. Vår erfarenhet säger oss emellertid att vi har en viss utstrålning under klara nätter från jorden mot himlavalvet, vi får ju kondens på bilar och gräsmattor under klara nätter.



Man har ett "fönster" inom våglängdsområdet ca $8-13 \mu\text{m}$, inom vilket atmosfären är förhållandevis transparent och medger strålning till den kalla rymden. Utstrålningen kan i torra klimat bli så hög som 150 W/m^2 . Man kan tänka sig himlavalvet som en yta, som har lägre temperatur än uteluften. Man har mätt upp mer än 40°C lägre ekvivalent temperatur på himlavalvet än uteluftens temperatur. För svenska förhållanden har Brown 1956 mätt upp ca 20°C i temperaturskillnad mellan uteluft och den ekvivalenta temperaturen på himlavalvet, räknat över en hel natt.

Utstrålningen mot himlavalvet under klara nätter blir av betydelse för byggnadsdelar med litet värmemotstånd, t ex fönster. Under klara nätter blir dessas värmeförluster betydligt större än vad normala värmeförlustberäkningar ger vid handen:

$$P = k_g(T_i - T_{ue})$$

där k_g = glaspartiets k-värde

T_i = inneluftens temperatur

T_{ue} = uteluftens ekvivalenta temperatur

Utstrålningen mot himlavalvet under klara nätter kan utnyttjas för att kyla en byggnad. Detta är särskilt aktuellt i ökenklimat. Med hjälp av selektiva skikt, som endast emitterar strålning inom det nämnda våglängdsområdet $8-13 \mu\text{m}$, kan kyleffekten ökas. Takets värmemotstånd görs då lämpligen litet under nätterna och stort under dagen, då solstrålningen träffar detsamma.

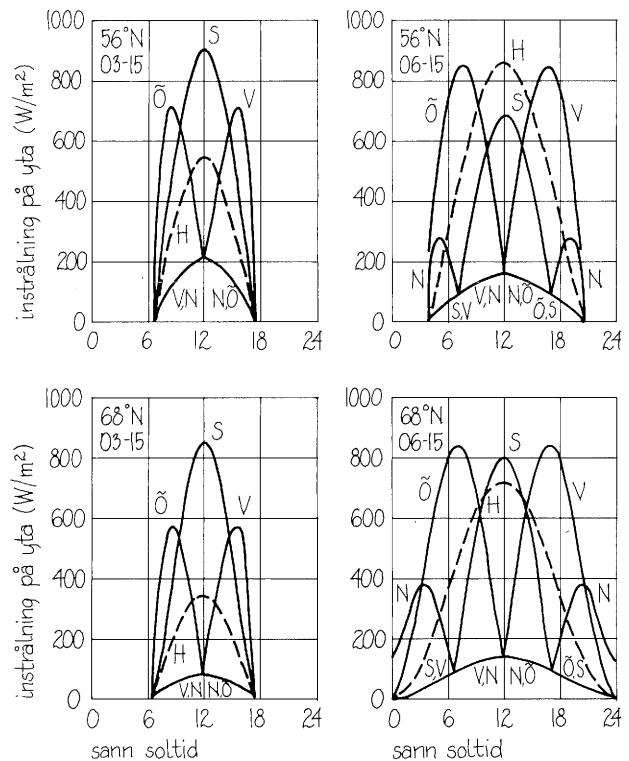
6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA Instrålning på ytor under klara dagar

En del av den infallande sol- och himmelsstrålningen reflekteras mot markytan och omgivande byggnader och kan på detta sätt öka instrålningen mot en byggnads fasader. *Markreflektionen* beror på markytans reflektionsegenskaper. Nyfallen snö reflekterar 0,85 av den infallande strålningen. Hög reflektion har även *kvartsgrus*, vilket kan användas på markytan *framför vertikala solfångare i syfte att öka instrålningen på solfångarytan*. Gräs reflekterar ej mer än 0,25 och svart asfalt endast 0,1 av den infallande strålningen.

Den mark- och omgivningsreflekterande strålningen är huvudsakligast diffus, dvs spridd i alla riktningar. Man kan naturligtvis tänka sig att förse marken eller ytan framför en vertikal solfångare med *speglande beläggning* och på detta sätt även få en riktad reflekterad strålning.

Tabeller över sol- och himmelsstrålning under klara dagar i Sverige har uppgjorts av Brown & Isfält, 1969. De har bl a beräknat instrålningen på horisontell yta och på vertikala ytor riktade mot olika väderstreck. I figuren visas instrålningens fördelning över dygnet för dels 56°N (Skåne) och 68°N (Kiruna) och dels två olika tidpunkter, mars och juni. Instrålningen innefattar sol- och himmelsstrålning samt markreflekterad strålning vid reflektionskoefficient $r = 0,25$. Himmelsstrålningen representeras av den nedre kurvan i figurerna (med beteckning S,V V,N osv).

I tabellen visas dygnssummorna av instrålningen under klara dagar för 56°N och 68°N latitud. Man ser att instrålningen på vertikala ytor under sommaren är större i norra Sverige än i södra Sverige. Instrålningen på fasader åt öster och väster blir under sommaren mycket större än instrålningen på norr- och söderfasader. Detta är värt att observera ty på sommaren sammanfaller då för öster- och västerorienterade rum både höga utetemperaturer och stor instrålning, vilket i hög grad försvårar klimatiseringen av rummen.



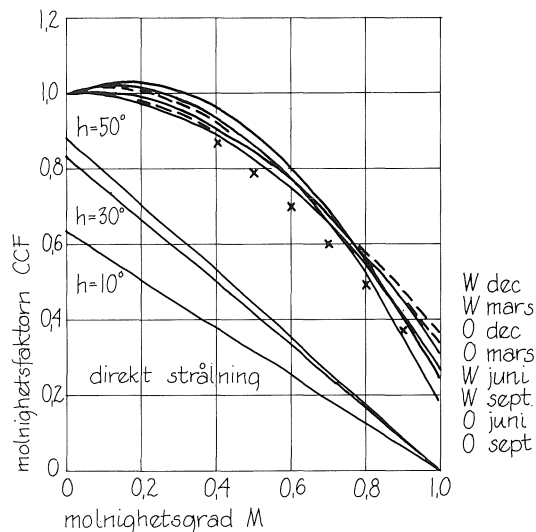
Instrålning (W/m^2) på horisontell och på vertikala ytor under klara dagar.

Instrålning per dygn (Wh/m^2) under klara dagar.

Dag under året	Instrålning på yta under klart dygn ($Wh/dygn$)							
	56°N				68°N			
	Vertikal yta riktad mot Norr	Öster Väster	Söder	Horisontell yta	Vertikal yta riktad mot Norr	Öster Väster	Söder	Horisontell yta
15 jan	230	910	3 730	880	0	10	160	0
15 feb	480	1 920	5 470	2 070	160	770	3 140	590
15 mar	820	3 280	6 420	3 880	530	2 470	5 770	2 260
15 apr	1 370	4 760	6 180	6 170	1 320	4 700	6 690	4 920
15 maj	2 230	5 500	5 360	7 700	2 940	6 010	6 370	7 050
15 jun	2 950	5 980	5 030	8 640	4 890	6 820	6 310	8 470
15 jul	2 630	5 790	5 160	8 260	4 040	6 500	6 340	7 870
15 aug	1 680	4 970	5 680	6 730	2 010	5 130	6 390	5 720
15 sep	980	3 680	6 100	4 600	790	3 120	5 920	3 110
15 okt	610	2 450	5 990	2 750	290	1 370	4 370	1 150
15 nov	300	1 190	4 340	1 220	30	140	1 040	90
15 dec	170	680	3 150	640	0	0	0	0

6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Direkt och diffus strålning



Samband mellan CCF (cloud cover factor) och molnighetsgraden M . Värden x avser mätningar av Lunelund i Helsingfors maj–juni 1927–33. De heldragna och streckade kurvorna bygger på mätresultat enligt Kimura och Stephenson i Winnipeg (W) 1966 och i Ottawa (O) 1967. Figuren enligt Girdo, 1982.

Strålningen från sol och himmel under dagtid utgörs av dels *direkt strålning*, som ger skuggor, dels *diffus strålning*. Under klara dagar är den direkta strålningen dominerande men en del av den totala strålningen är diffus. Under helt mulna dagar är den totala strålningen helt diffus. Den diffusa strålningen från himlen är inte jämnt fördelad över hela himlen. Under klara dagar är den större i solens närhet än längre bort från densamma. Under helt mulna dagar är den ganska jämnt fördelad över himlen. Ofta antas den diffusa strålningen vara jämnt fördelad över himlen oberoende av molnigheten.

Fördelningen mellan direkt och diffus strålning är av stor vikt när man skall räkna om instrålning på horisontell yta, vilken uppmäts av meteorologerna, till instrålning på lutande eller vertikala ytor åt olika väderstreck. Meteorologerna observerar molnigheten vid olika tidpunkter under dagen. Man kan normera de angivna värdena till molnighetsgrad M , varierande mellan 0 och 1, varvid $M = 0$ är helt klart och $M = 1$ är helt mulet.

Instrålningen på horisontell yta I_h skulle kunna bestämmas genom kännedom om instrålning under helt klar dag ($M = 0$) och molnighetsgraden M :

$$I_h(M) = \text{CCF}(M) \cdot I_h(0)$$

där $I_h(M)$ = instrålning på horisontell yta vid molnighetsgraden M

$$I_h(0) = \text{dito vid } M = 0 \text{ (helt klar dag)}$$

$$\text{CCF}(M) = \text{bestämd koefficient ("cloud cover factor")} \text{ vid molnighetsgraden } M$$

Ur uppmätta värden på $I_h(M)$ och $I_h(0)$ samt observerade värden på M kan $\text{CCF}(M)$ bestämmas som medelvärde ur många mätningar. I figuren visas samband mellan CCF och M . Man ser att störst total strålning får man vid $M = 0,2$.

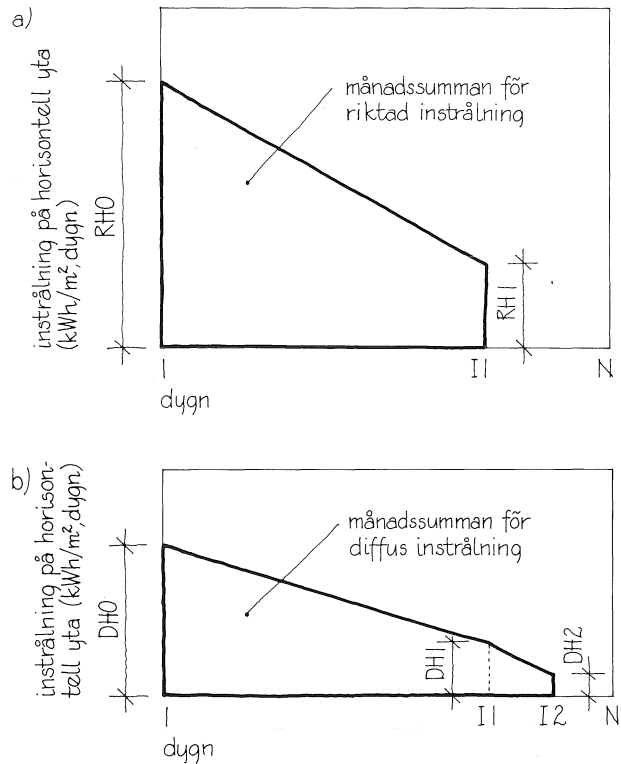
6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Dygnssummer av instrålning

För beräkning av instrålning på vertikala eller lutande ytor behöver man värden på såväl den riktade som den diffusa instrålningen. Vid vissa beräkningsmetoder, t ex den metod för beräkning av uppvärmningsbehov under årets månader, vilken visas i avsnitt 9.6, behöver man uppgifter om dygnsinstrålning av riktad resp diffus instrålning på horisontell yta. För nämnda beräkningsmetod, se Källblad & Adamson, 1984, är det lämpligt att ordna värdena för månadens dygn så att dygnet med högsta totalinstrålning (riktad + diffus) kallas dygn 1, dygnet med den näst högsta totalinstrålningen kallas dygn 2, osv till dygn N som har den lägsta totalinstrålningen under månaden – N är antalet dygn under månaden.

Om man plottar värdena för den riktade instrålningen på horisontell yta för dygn 1–N, så kan dessa representeras med en rät linje som figuren visar. Därvid har som absolut villkor satts att månadssumman skall vara korrekt. På liknande sätt har värdena för den diffusa instrålningen på horisontell yta ordnats från dygn 1–N och representerats med räta linjer som figuren visar. Därvid har I 1 satts lika med det värde som erhålls för den riktade strålningen. Det kan tyckas orimligt att det skulle vara möjligt med dygn (mellan I 2 och N) som ej har någon instrålning. Detta sammanhänger med att månadssumman av den diffusa instrålningen skall vara korrekt. Normalt är I 2 = N.

I tabellen visas värden på RH0, RH1, DH0, DH1, DH2, I 1 och I 2 för Stockholm 1971. Man ser att för de flesta månaderna är RH1 = 0. Under dagar med stor totalinstrålning är den diffusa instrålningen under dygnet 15–30% av totalinstrålningen, lägst under sommaren. För dygn utan instrålning, t ex dygn I 1 kan den diffusa instrålningen vara mycket större än den diffusa instrålningen under en klar dag, jämför t ex juli månad, där DH1 = 2,697 kWh/m², dygn medan DH0 = 1,312 kWh/m², dygn. Värden för Malmö och Umeå ges i avsnitt 9.6.



Representation av riktad och diffus dygnsinstrålning på horisontell yta under månad med N dygn.

Värden på RH0, RH1 etc för Stockholm 1971.

Mån	RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	I 1	I 2
01	0,608	0	0,225	0,160	0	21	26
02	0,893	0	0,626	0,306	0,042	23	28
03	2,457	0	0,976	0,956	0,094	23	31
04	4,595	0	1,688	1,332	0,570	26	30
05	6,940	0,251	1,345	2,469	0	31	31
06	7,316	0	1,613	2,815	0	30	30
07	7,120	0	1,312	2,697	2,505	30	31
08	5,541	0	1,456	1,757	1,582	30	31
09	3,143	0	1,340	1,057	0,530	26	30
10	1,764	0	0,651	0,524	0,332	28	31
11	0,829	0	0,339	0,240	0,008	24	30
12	0,333	0	0,173	0,092	0,012	26	31

6.3 SOLEN – VÅR PRIMÄRA ENERGIKÄLLA

Månadssummor av instrålning

Månadssummor av instrålning på horisontell yta I_h (kWh/m²) under enbart klara dagar i Stockholm jämfört med uppmätt instrålning 1971.

Månad	I_h (kWh/m ²)		Tillgängligt av "klara dagar"
	Enbart klara dagar*	Uppmätt 1971	
Jan	14,6	10,8	0,74
Feb	43,1	21,9	0,51
Mars	104,2	54,7	0,52
April	173,4	102,8	0,59
Maj	232,2	170,6	0,73
Juni	256,2	176,1	0,69
Juli	251,4	169,5	0,67
Aug	198,7	133,0	0,67
Sept	123,9	75,2	0,61
Okt	68,5	42,4	0,62
Nov	22,8	17,6	0,77
Dec	8,7	8,0	0,92

*) Enligt Brown & Isfält, 1969.

Månadssummor av riktad strålning ($I_{h,r}$ kWh/m², mån) och diffus strålning ($I_{h,d}$ kWh/m², mån) på horisontell yta.

Månad	Malmö		Stockholm		Umeå	
	$I_{h,r}$	$I_{h,d}$	$I_{h,r}$	$I_{h,d}$	$I_{h,r}$	$I_{h,d}$
1971						
Jan	4,4	8,6	6,4	4,4	1,5	2,7
Feb	13,2	15,8	10,3	11,6	6,6	10,6
Mars	31,2	35,0	28,3	26,4	33,9	29,8
April	82,5	44,8	59,7	43,1	81,7	38,4
Maj	130,0	54,3	111,5	59,1	96,7	58,6
Juni	95,9	63,4	109,7	66,4	115,0	59,8
Juli	122,0	63,4	106,8	62,7	109,7	62,8
Aug	104,3	49,8	83,1	49,9	66,4	53,6
Sept	52,1	40,7	40,9	34,3	42,6	30,6
Okt	28,1	24,5	24,7	17,7	19,5	16,1
Nov	7,8	10,6	9,9	7,7	6,1	5,2
Dec	3,6	5,9	4,3	3,7	0,6	1,2

En månad innehåller inte enbart klara dagar och månadssummor av instrålningen från sol och himmel blir väsentligt lägre än vad som erhålls genom enbart klara dagar. Detta kan illustreras genom ett exempel, se övre tabellen, gällande för Stockholm. Månadssummorna för klara dagar har beräknats enligt Brown & Isfält, 1969, medan de uppmätta värdena är hämtade från officiell statistik. Det är intressant att notera att uppmätta värden är normalt 0,5–0,7 av de värden, som beräknats enligt Brown & Isfält för horisontell yta, vilka avser 60°N. Detta synes strida mot personlig erfarenhet. Orsaken är att instrålningen under klara dagar kan överträffas under dagar med viss molnighet. Detta bidrar till att öka de uppmätta månadssummorna.

Instrålningen från sol och himmel fördelar sig på riktad strålning, dvs *direkt solstrålning* och *diffus strålning*, dvs himmelsstrålning. Uppdelningen mellan riktad och diffus strålning är nödvändig när man vill transformera instrålning på horisontell yta till instrålning på lutande ytor orienterade mot olika väderstreck.

I nedre tabellen visas månadssummor för riktad och diffus instrålning på horisontell yta för tre orter under året 1971. Det senare året har av meteorologerna utvalts som ett ganska normalt år. Man ser att den diffusa strålningen under vintern är nästan lika stor som den riktade och på sommaren ungefär hälften av den riktade. Jämför man de tre orterna så finner man under juni och juli månad att månadssummorna för de tre orterna är mycket lika. I vissa fall ser man att den tillfälliga väderlekssituationen under 1971 synes ha avvikit från det normala under t ex juni i Malmö och april i Umeå.

6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system

Statiska förhållanden – medeltemperaturer

När ett hus utsätts för *tidsberoende* termiska förhållanden kommer värmeflöden och temperaturer att vara konstanta. Man får då följande värmebalans:

$$F_t(T_i - T_u) + c_p \cdot \rho \cdot v(T_i - T_u) = P_{sol} + P_{pers} + P_{el} + P_{till}$$

där

F_t = samtliga spec transmissionsförluster genom tak, ytterväggar, golv, fönster och ytterdörrar (W/°C)

$c_p \cdot \rho$ = rumsluftens värmekapacitet (Wh/°C, m³)

v = ventilerad luftmängd (m³/h)

T_i = lufttemperatur inomhus (°C)

T_u = lufttemperatur utomhus (°C)

P_{sol} = solinstrålning (W)

P_{pers} = personvärme (W)

P_{el} = värme från elektriska apparater (W)

P_{till} = tillsatsvärme (W)

Rumsluftens temperatur blir då:

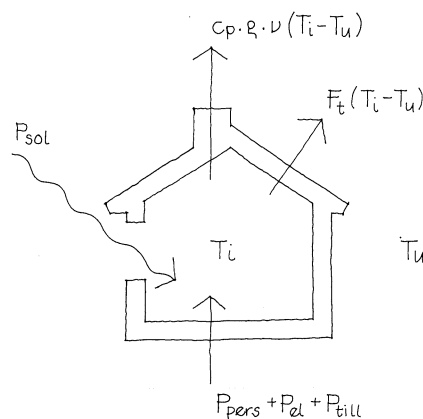
$$T_i = T_u + \frac{P_{sol} + P_{pers} + P_{el} + P_{till}}{F_t + c_p \cdot \rho \cdot v}$$

Om huset utsätts för *dygnsperiodiska förhållanden*, dvs lika dygn efter dygn, så blir rumsluftens *dygnsmedeltemperatur*:

$$\bar{T}_i = \bar{T}_u + \frac{\bar{P}_{sol} + \bar{P}_{pers} + \bar{P}_{el} + \bar{P}_{till}}{F_t + c_p \cdot \rho \cdot v}$$

där \bar{T}_u är uteluftens dygnsmedeltemperatur, \bar{P}_{sol} är solinstrålningens dygnsmedelvärde, \bar{P}_{pers} är personvärmens dygnsmedelvärde, osv.

Om man önskar bringa ner rumsluftens dygnsmedeltemperatur kan man således antingen bringa ner tillskottsvärmens dygnsmedelvärde, dvs $\bar{P}_{sol} + \bar{P}_{pers} + \bar{P}_{el} + \bar{P}_{till}$ eller öka transmissions- och ventilationsförlusterna.



6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system

Styrning av rumsmiddeltemperaturen

Dygnsmedeltemperatur för det genomsnittligen varmaste dygnet under månaden (°C).

Ort	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept
Malmö	17,1	20,1	21,2	20,5	17,8
Göteborg	17,2	20,6	22,1	20,8	17,3
Stockholm	16,6	20,7	23,3	21,4	17,2
Härnösand	13,1	18,5	20,6	18,9	15,2

Dygnsmedelvärde på instrålning genom treglasfönster under klara dagar (W/m²).

Ort	Orientering	Maj	Juni	Juli	Aug	Sept
Malmö	N	48	65	58	37	24
	Ö/V	139	151	147	127	94
	S	123	112	117	135	153
Göteborg	N	50	69	60	37	22
	Ö/V	141	154	150	128	91
	S	139	119	123	140	155
Stockholm	N	52	71	63	37	22
	Ö/V	143	156	151	128	89
	S	134	125	128	144	156
Härnösand	N	54	80	69	37	20
	Ö/V	146	162	156	128	86
	S	143	134	138	150	156

Möjligheterna att påverka rumsluftens medeltemperatur skall här belysas med ett exempel. Vi antar att vi har ett kontorsrum med följande data:

Fasad åt väster

Yttervägg med $k_Y=0,3 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$, $A_Y=7,6 \text{ m}^2$: $k_Y A_Y=2,3$

Fönster med $k_f=2,0 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$, $A_f=3,2 \text{ m}^2$: $k_f A_f=6,4$

Glasarea $A_g=2,7 \text{ m}^2$

Ventilation $v=80 \text{ m}^3/\text{h}$, $c_p \cdot \rho \cdot v=28 \text{ W/}^\circ\text{C}$

Personer och elektriska apparater: 300 W mellan klockan 08 och 16.

Uteklimatet i Stockholm under juni månad har under soliga, varma dygn (övre tabellen):

$$\bar{T}_u = 20,7 \text{ }^\circ\text{C}$$

och solinstrålningen (nedre tabellen):

$$\bar{P}_{\text{sol}} = 156 \text{ W/m}^2$$

Rumsluftens medeltemperatur blir med $P_{\text{till}} = 0$:

$$\bar{T}_i = 20,7 + \frac{156 \cdot 2,7 + \frac{300 \cdot 8}{24}}{6,4+2,4+28} = 34,9 \text{ }^\circ\text{C}$$

Det är uppenbarligen möjligt att minska rummets medeltemperatur genom att

*minska solinstrålningen genom solskydd
öka ventilationen*

Persienner mellan glaset ger en reduktion av solinstrålningen till ungefär 1/3, vilket sänker rumsmiddeltemperaturen till 27,3 °C. Ökningen av ventilationen till 160 m³/h medför att rummets medeltemperatur sänks till 28,7 °C.

Det bör observeras att ovanstående beräkning avser rumsmiddeltemperaturen och att maximitemperaturen blir högre än medeltemperaturen.

6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system Ett hus utan värmekapacitet

Alla byggnadsmaterial har en värmekapacitet, vilket gör det möjligt att genom temperaturförhöjning lagra upp värme, som sedermera kan avges genom temperatursänkning. Som tidigare visats i tabellen avsnitt 6.2 har t ex betong $c \cdot \rho = 550 \text{ Wh/}^\circ\text{C,m}^3$ och cellplast $c \cdot \rho = 8 \text{ Wh/}^\circ\text{C,m}^3$.

Låt oss först betrakta ett hus, som helt saknar värmekapacitet, dvs inte har någon som helst förmåga att lagra värme. Spec förlusterna i ett sådant hus blir:

$$F = k_t \cdot A_t + k_y \cdot A_y + k_g \cdot A_g + k_f \cdot A_f + k_d \cdot A_d + c_p \cdot \rho \cdot v \quad (\text{W/}^\circ\text{C})$$

där k är resp byggnadsdels k -värde ($\text{W/}^\circ\text{C,m}^2$), A är dess area (m^2), $c_p \cdot \rho$ är ventilationsluftens värmekapacitet ($\text{Wh/}^\circ\text{C,m}^3$) samt v är ventilerad luftmängd (m^3/h). Indexen t , y , g , f och d anger byggnadsdelen, dvs resp tak, yttervägg, golv, fönster och dörrar.

Om man vill upprätthålla temperaturen T_i inomhus, när utetemperaturen är T_u , måste man tillföra:

$$P_{\text{till}} = F \cdot (T_i - T_u) \quad (\text{W})$$

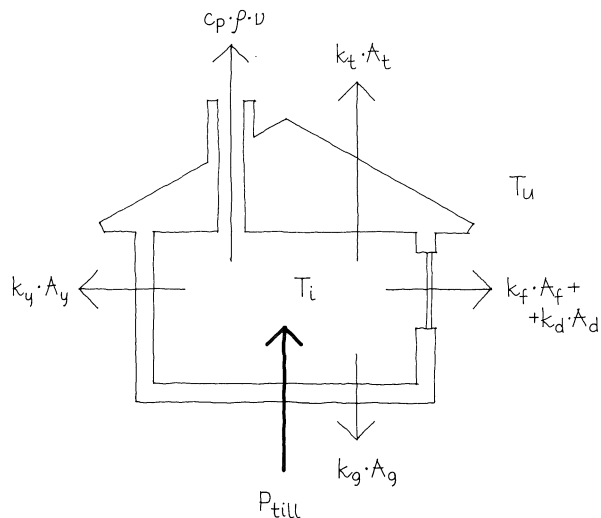
Om sommaren sker hela värmetillförseln genom värme från sol, personer och elektriska apparater. Man kan då beräkna temperaturhöjningen

$$(T_i - T_u) = \frac{P_{\text{sol}} + P_{\text{pers}} + P_{\text{el}}}{F} \quad (^\circ\text{C})$$

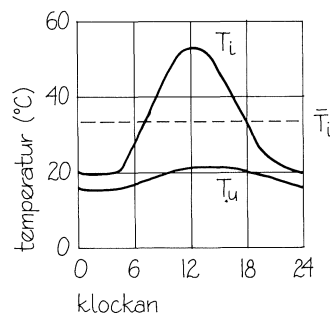
För ett välisolerat småhus med ca 120 m^2 bostadsyta är $F = \text{ca } 150 \text{ W/}^\circ\text{C}$. $P_{\text{sol}} + P_{\text{pers}} + P_{\text{el}}$ kan under soliga dagar uppgå till $5\,000 \text{ W}$. Temperaturhöjningen skulle då bli

$$(T_i - T_u) = \frac{5\,000}{150} = 33 \text{ }^\circ\text{C}$$

och innetemperaturen bli ca $50 \text{ }^\circ\text{C}$ (se nedre figuren). Eftersom *huset alltid har en värmekapacitet* blir innetemperaturen betydligt lägre.



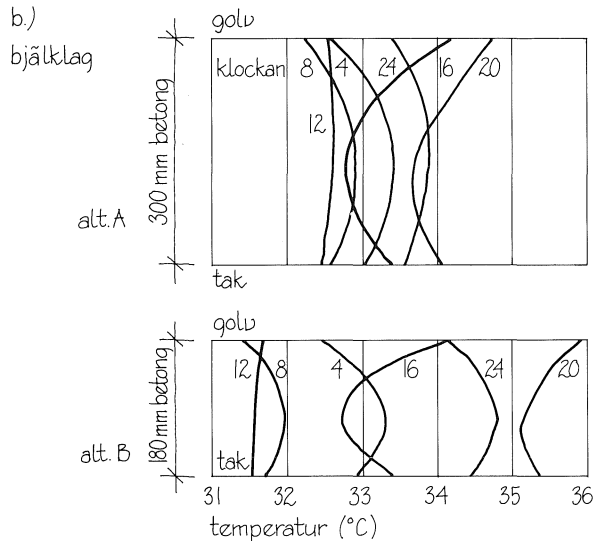
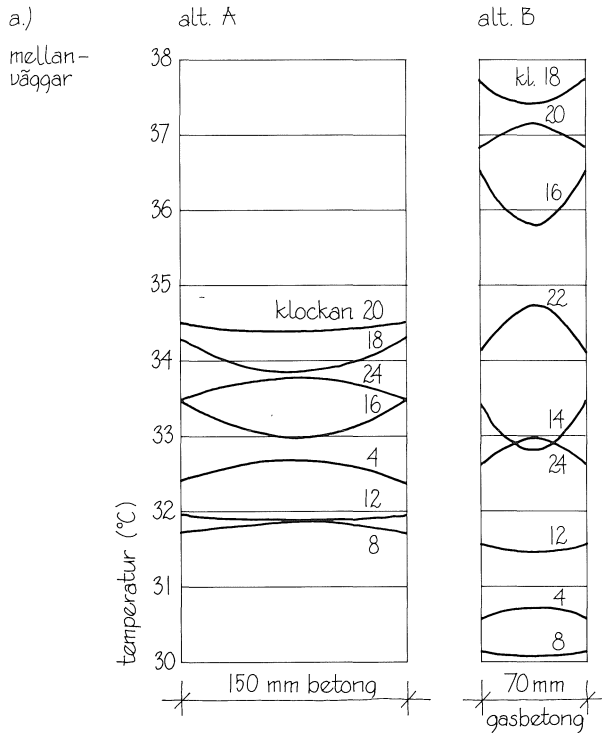
Värmebalans för ett hus utan värmekapacitet.



Rumstemperatur vid hus utan värmekapacitet.

6.4 HUSET SOM DYNAMISKT, TERMISKT SYSTEM

Inre byggnadsdelars temperatur



Temperaturer under ett soligt dygn i a) mellanväggar b) bjälklag.

Utan värmekapacitet blev rumstemperaturerna mycket höga, se tidigare figur, och svängningen mellan dag och natt ca 35°C. Med inre byggnadsdelar som har tillräckligt stor yta för att överföra värme till densamma samt tillräckligt stor värmekapacitet för att lagra upp den tillförda värmen kan temperatursvängningen begränsas till några få grader. Dygnsmedeltemperaturen blir dock i det närmaste oförändrad.

Datorberäkningar har genomförts av G Brown för ett kontorsrum med stora glasytor åt väster. Beräkningarna har avsett upprepade soliga dygn under juni månad i Stockholm. Två konstruktioner i vad avser de inre byggnadsdelarna har studerats, nämligen:

Alt A:	Bjälklag:	300 mm betong
	Innerväggar:	150 mm betong
	Korridorvägg:	150 mm betong
Alt B:	Bjälklag:	180 mm betong
	Innerväggar:	70 mm gasbetong
	Korridorvägg:	150 mm betong

Figuren visar temperaturerna i innerväggar och bjälklag. Man ser att innerväggar av 150 mm betong har en temperaturvariation under dygnet med ca 2,5°C medan väggar av 70 mm gasbetong har en temperatursvängning på ca 8°C. Bjälklaget av 300 mm betong svänger ca 2,5°C på golvytan, något mindre på takytan. Bjälklaget med 180 mm betong svänger närmare 5°C under dygnet.

Rumsluftens medeltemperatur under dygnet blir för båda alternativen 31,4°C medan temperatursvängningen under dygnet för Alt A blir ca 5°C och för Alt B ca 7°C.

Inre byggnadsdelars värmekapacitet påverkar således ej medeltemperaturen men väl temperatursvängningen under dygnet.

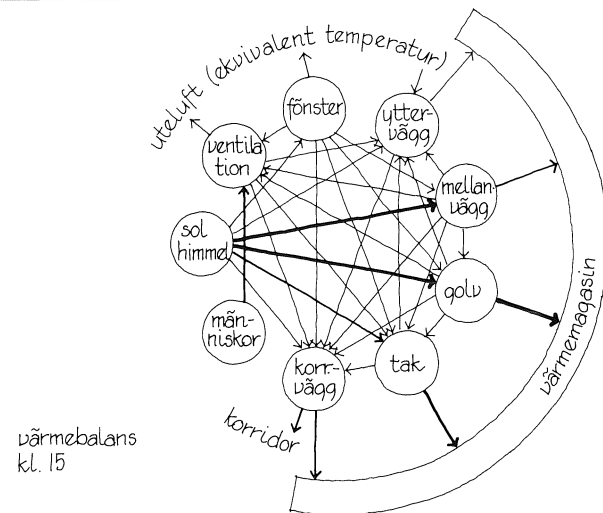
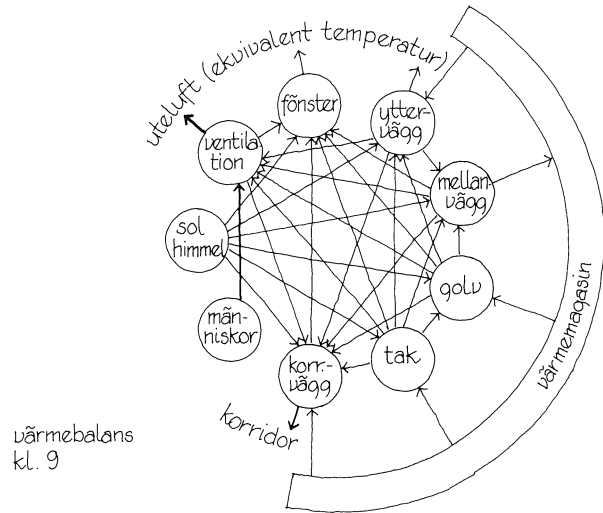
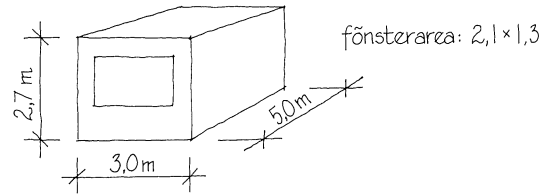
6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system

Värmeflöden i ett rum under ett soligt sommardygn

Inom ett rum transporteras värme dels genom temperaturstrålning mellan rummets ytor dels genom konvektion mellan rumsluften och rumsytorna. Här skall visas hur värme transporteras inom ett kontorsrum under ett soligt junidygn. Kontorsrummet har sin fasad åt väster och densamma har stora glasytor, vilket medför att solinstrålningen blir betydande. Bjälklaget utgörs av 180 mm betong, korridorväggen av 150 mm betong, mellanväggarna av 70 mm gasbetong och ytterväggen av 80 mm betong + 100 mm isolering + 80 mm betong. Rummet används av två personer mellan klockan 8 och 16. I figuren visas värmeflödena vid fyra tidpunkter under dygnet. Figuren baserar sig på datorberäkningar. Bredden på pilarna i diagrammen indikerar värmeflödenas storlek.

Klockan 9 tillförs rummet huvudsakligast värme genom människor. Sol- och himmelsstrålningen är liten, eftersom fasaden är västerorienterad och ej nås av solen förrän på eftermiddagen. Värmeförlusterna orsakas främst genom ventilationsluften och värmeflödet till korridoren. Man har dessutom ett mindre värmetilskott från värmemagasineringsen i bjälklaget. De lätta mellanväggarnas värmemagasin tillförs däremot en mindre del värme. Enligt beräkningsförutsättningarna tillförs all personvärme direkt till ventilationsluften.

Klockan 15 strålar solen in genom västerfönstret och absorberas i rumsytorna. Golvet får direkt uppta en stor del av instrålningen, betydligt mer än taket. Detta beror på att golvet förutsatts vara betydligt mörkare än taket. Mellanväggarna mottar också en stor del av instrålningen. En mindre del återstrålas från golv, tak och mellanväggar till fönstrets insida och ytterväggens insida. Av den instrålning som absorberades i mellanväggarnas ytor kan endast en del föras vidare in i väggarna och magasineras, medan resten förs vidare genom temperaturstrålning till golv, tak, yttervägg och korridorvägg. En mindre del avges även genom konvektion till ventilationsluften.



Värmeflöden i ett västerorienterat kontorsrum under ett soligt dygn.

6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system Värmeflöden i ett rum under ett soligt sommardygn (forts)

Klockan 21 har människorna lämnat kontorsrummet. En mindre instrålning sker dock ännu. Ventilationsförlusterna har ökat sedan klockan 15, eftersom temperaturskillnaden mellan inne och ute är något större. Den upplagrade värmen återförs till rumsyrtorna från byggnadsdelarnas inre. Den förs vidare till ventilationsluften genom konvektion och till korridorväggen genom temperaturstrålning. Korridoren har vid beräkningarna förutsatts ha en konstant temperatur, som är så låg att den resulterar i värmeförluster till korridoren under hela det soliga dygnet.

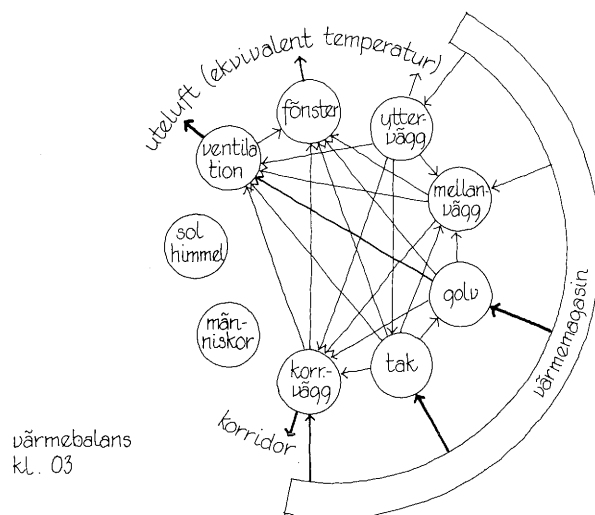
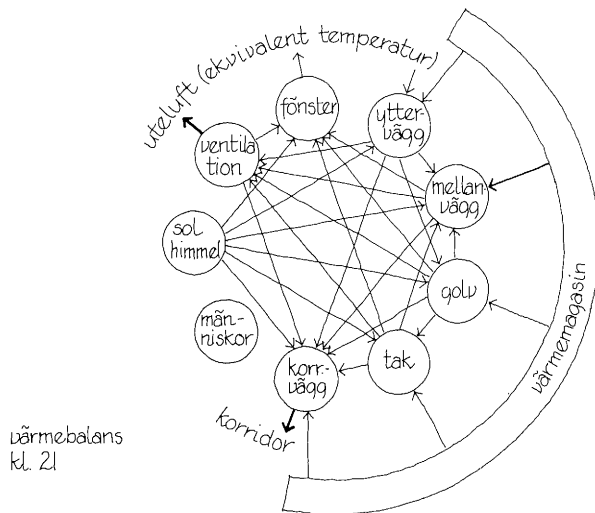
Klockan 3 har värmeförlusterna genom ventilationsluften ökat ytterligare på grund av den låga utetemperaturen under natten. Värme tillförs rumsluften genom konvektion från mellanväggar, golv och till en mindre del även taket. Bjälklaget kan till golvet och taket avleverera värme från dess inre. Betongen på ytterväggens insida kan också avleverera en del värme till väggens insida. Mellanväggarna har ingen värme kvar men dess ytor får motta värme genom temperaturstrålning från tak, golv och ytterväggens insida.

Figurerna kan ge anledning till några slutsatser:

Den byggnadsdel som har stor värmelagrande förmåga får motta "gratisvärmén" antingen direkt eller via en annan byggnadsdel med liten värmelagrande förmåga, jämför bjälklaget och mellanväggarna.

En mörkare yta får direkt motta mera instrålning än en ljusare, jämför golv och tak.

Taket har svårare att konvektivt avge värme än golvet, vilket beror på att det är svårt att transportera bort den uppvärmda luften under takytan. Varm luft stiger uppåt och blir då kvar under takytan, medan den lämnar en varm golvyta.



Värmeflöden i ett västerorienterat kontorsrum under ett soligt dygn.

6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system

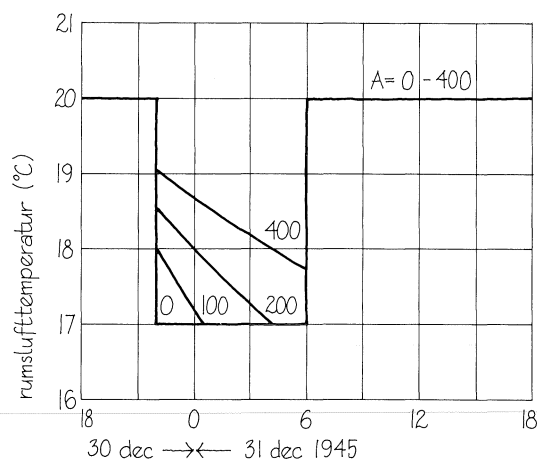
Nattsänkning

I syfte att spara energi kan rumslufttemperaturen tillåtas sjunka till en lägre nivå under nätter och för arbetslokaler även vid veckoslut. Rumstermostatens börvärde sänks automatiskt från tex 20°C till det lägre värdet. Förutom bjälklag och bärande innerväggar kommer då även lätta innerväggar, skåpinredning och möbler att delta i värmeutbytet med rumsluften. I figuren visas ett exempel på vad som händer när termostatvärdet sänks från 20°C till 17°C mellan klockan 22 och 6, Adamson & Efring, 1979a. Figuren baserar sig på datorberäkningar avseende ett tvåvånings radhus med betongplatta på mark och mellanbjälklag av betong. Figuren gäller bottenvåningen, där således både golv och tak utgörs av betong. Den visar vad som händer under mulna dygn i Stockholm. Som lätta innerväggar, inredning och möbler har simulerats $A \text{ m}^2$ av 25 mm trä, som antas ha värmeutbyte på båda sidor.

Man ser av figuren att med $A = 0$, dvs utan inredning och möbler, så sjunker lufttemperaturen direkt från 20°C till 17°C – rumsluftens värmekapacitet har försumrats vid beräkningarna. Den momentana temperatursänkningen beror på att golvet, taket och ytterväggens insida inte förmår att själva avge tillräckligt med värme för att upprätthålla 17°C inomhus. Värmeöverföringen från dessa ytor (samanlagd yta = A_m) blir:

$$P_m = \alpha_k A_m (T_i - T_y) \quad (\text{W})$$

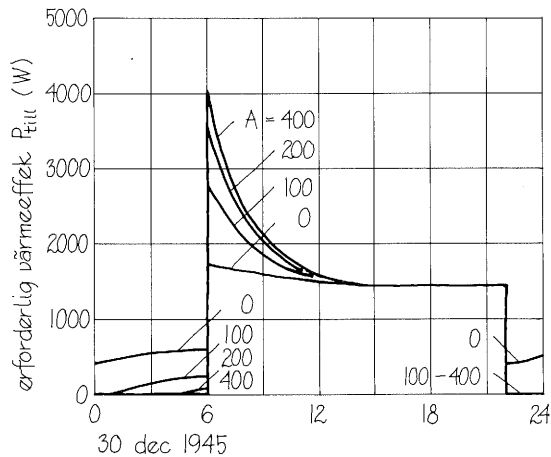
där α_k är konvektiv värmeöverföringskoefficient ($\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$) och $(T_i - T_y)$ är temperaturdifferensen mellan luft och yta. När huset förses med lätta innerväggar, inredning och möbler så sjunker lufttemperaturen momentant någon grad och fortsätter därefter att sjunka mycket sakta. Normalt torde lätta innerväggar, inredning och möbler motsvara ca 200 m^2 trä och i energisnåla radhus och villor torde det dröja fram mot morgonen innan temperaturen inomhus nått 17°C. Samtidigt som lufttemperaturen sjunker sänks även rumsyornas temperatur, dock har man där ej någon momentan temperatursänkning klockan 22.



Rumslufttemperatur mulna decemberdygn i Stockholm när lätta innerväggar, inredning och möbler simulerats som $A \text{ m}^2$ av 25 mm trä.

6.4 Huset som dynamiskt, termiskt system

Nattsänkning (forts)



Erforderlig värmeeffekt för att hålla lufttemperaturen 20°C mellan klockan 6 och 22 och 17°C mellan klockan 22 och 6. A är simulerad yta (25 mm trä) för lätta innerväggar, inredning och möbler.

Den erforderligt tillförda värmeeffekten P_{till} visas i figuren. För $A = 0$ dvs, utan lätta innerväggar, inredning och möbler, så sjunker värmeeffekten från 1 400 W till 400 W när termostatsens börvärde sänks från 20°C till 17°C klockan 22. Efterhand under natten stiger effektbehovet och är före klockan 6 $P_{till} = 600$ W. När termostaten ställer om från 17°C till 20°C så ökas effektbehovet till 1 700 W. Värmeeffekt krävs således under hela natten. Om lätta innerväggar, inredning och möbler simuleras med $A = 200$ m^2 trä, så sjunker effektbehovet klockan 22 från 1 500 W till 0. Uppvärmningen stängs således av och kan förbli avstängd till mellan klockan 4 och 5, när värme åter krävs. Klockan 6 ökar effektbehovet från 200 W till 3 600 W. Först klockan 13 är effektbehovet nere i 1 500 W. Den energibesparing som gjorts genom att uppvärmningen varit avstängd under större delen av natten äts till en del upp av det ökade värmebehovet under förmiddagen.

Det kraftiga effektbehovet klockan 6 kan naturligtvis inte alltid tillgodoses. Man måste då acceptera att antingen låta inomhustemperaturen stiga sakta från 17°C till 20°C eller att påbörja uppvärmningen före klockan 6.

Som nämnts sjunker ytemperaturen på de inre ytorna under natten. På grund av de inre ytornas bakomliggande värmekapacitet så kommer densamma att endast sakta stiga under dagen, därav det ökade effektbehovet under förmiddagen. Eftersom ytorna har en lägre temperatur under förmiddagen så kommer rummets operativa temperatur att vara lägre än om nattsänkning ej tillämpats. Detta kan kräva att termostatsens börvärde bör ökas utöver 20°C under förmiddagen för att kompensera de lägre ytemperaturerna. Detta minskar dock värmebesparingen på grund av nattsänkningen.

För att uppnå maximal effekt av nattsänkning bör den interna värmekapaciteten göras så liten som möjligt. Detta medför emellertid att solinstrålningen ger höga inomhustemperaturer.

6.4 Huset SOM DYNAMISKT, TERMISKT SYSTEM

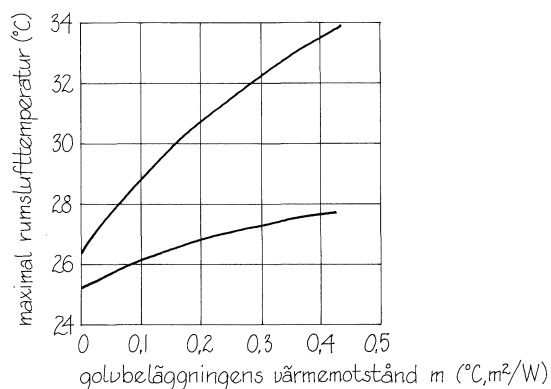
Rumslufttemperatur under soliga dagar

Det nämnda tvåvåningsradhuset har simulerats med stora södervända glasytor. Bottenvåningen har förutsatts ha betonggolvet och övervåningen har simulerats med ett lätt trätak. Bjälklaget mellan de båda våningarna har förutsatts bestå av 200 mm betong. På betonggolvet i de båda våningarna har simulerats en golvbeläggning med värmemotståndet m ($^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$) varierande från $m = 0$ (ingen golvbeläggning) till $m = 0,4$, som motsvarar en 25 mm tjock heltäckningsmatta.

I figuren visas den maximala rumslufttemperaturen i övervåningen under ett soligt marsdygn – klimatet simulerat för den 30 mars 1946. Utan golvbeläggning, dvs med fritt värmeutbyte med betongbjälklaget men med ett tak utan nämnvärd värmekapacitet, blir den maximala rumslufttemperaturen $26,3^{\circ}\text{C}$. Med ökande värmemotstånd m så ökar den maximala rumslufttemperaturen beroende på att betongbjälklagets värmelagrande förmåga sätts mer och mer ur spel. Vid $m = 0,4^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ blir den maximala rumslufttemperaturen så hög som $33,5^{\circ}\text{C}$.

I bottenvåningen har man i utgångsläget ($m = 0$) tillgång till både betonggolvet och betongtak. Som figuren visar blir då den maximala rumslufttemperaturen $25,2^{\circ}\text{C}$ under det soliga marsdygnet. Ökar golvytans värmemotstånd till $m = 0,4^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ så ökar den maximala rumslufttemperaturen till $27,5^{\circ}\text{C}$. Detta är nära den temperatur som erhöles i övervåningen med fri tillgång till en betongyta – golvet.

Man kan av figuren dra slutsatsen att ett värmemotstånd av $0,4^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ på en betongyta sätter i det närmaste hela dess värmelagrande förmåga ur spel. Redan vid $m = 0,1^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ ökar rumslufttemperaturerna märkbart om man endast har tillgång till en betongyta i rummet. Detta värmemotstånd motsvarar ca 16 mm parkett och 4 mm kork. Golvbeläggningen är således av stor betydelse när betonggolvet är den enda värmelagrande byggnadsdelen.



Maximal rumslufttemperatur under ett soligt marsdygn för ett tvåvånings radhus med stora södervända glasytor, betonggolvet, betongbjälklag och lätt yttertak. Övre kurvan avser övervåningen, den undre bottenvåningen.

6.5 VÄRMEISOLERING Isoleringsmaterial

Fasta material har god värmeledningsförmåga (värmekonduktivitet) och följaktligen också dålig värmeisolerförmåga. *Stillastående gaser* har däremot låg värmekonduktivitet och skulle således vara väl ägnade för värmeisolering. Problemet är emellertid att man måste få gasen stillastående även när den utsätts för temperaturskillnader. I annat fall uppstår konvektion som försämrar isolerförmågan.

Gaser kan *inneslutas i små porer* i ett material och kan på detta sätt hållas stillastående. Man kan emellertid inte undvika att materialet i porväggarna leder värme, vilket medför att materialet med porerna alltid får högre värmekonduktivitet än den stillastående gasen. Ett annat sätt att hålla gasen mer eller mindre stillastående är att *fylla gasutrymmet med ett fibröst material*. Fibrerna minskar då de termiska rörelserna.

Isoleringsmaterial med luft som isolering är t ex polystyrenplast, där cellväggarna utgörs av polystyren. På liknande sätt är vissa keramiska porösa material uppbyggda, t ex cellglas.

Fibrösa material är de vanligaste värmeisoleringsmaterialen i Sverige. Fibrerna utgörs antingen av stenull eller av glasull.

Isoleringsmaterial med *annan gas än luft* som isolering är t ex polyuretaner, där freongas är innesluten i porerna. Denna gas har lägre värmekonduktivitet än luft.

Isoleringsmaterialens värmekonduktivitet beror av deras fukttinhåll och de är därför beroende av den miljö, i vilken de används. Vissa material är dessutom känsliga för tryckskillnader och isolerförmågan kan fördäras av inre konvektion. *Konstruktions- och arbetsutförande* är därför av vital betydelse för isoleringsmaterialens funktion.

6.5 VÄRMEISOLERING

Isolerförmåga

Staten ställer krav på värmeisolering av byggnader. Man vill förhindra att byggnader blir så dåligt värmeisolerade att hälsorisk föreligger. Ur energihushållningssynpunkt ställer staten också krav på värmeisoleringen.

Man måste således genom beräkning visa att värmegenomgången ej blir för stor. I Svensk Byggnorm anges också värden på olika materials värmeledningsförmåga (värmekonduktivitet). Dessa värden tar hänsyn till den fukthalt som kan förväntas, när materialet används i en konstruktion. I vissa fall underställs isoleringsmaterialet offentlig tillverkningskontroll och detta kan ge lägre tillåtna värden på värmeledningsförmågan för materialet, det sk λ -värdet (lambdavärdet).

Att använda värmeledningsförmågan (värmekonduktiviteten) som mått på ett materials värmeisoleringsförmåga blir emellertid avigt — ju lägre λ -värde desto bättre isolerförmåga. Bättre vore att använda *materialets specifika isolerförmåga*, som vi kan sätta

$$r = 1/\lambda$$

Om vi multiplicerar r med materialets tjocklek d så får vi *materialeskiktets isolerförmåga*, dvs *dess värmemotstånd* (motstånd mot värmeledning):

$$m = r \cdot d \quad (^\circ\text{C},\text{m}^2/\text{W})$$

Har man flera skikt som värmen skall passera så kan man summera de olika skiktens värmemotstånd:

$$M_{\text{tot}} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots$$

Värmekonduktivitet λ för isolermaterial

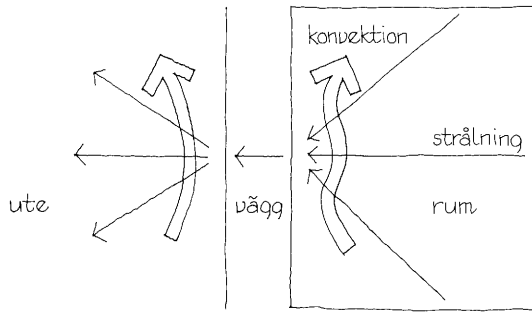
Material	λ W/°C,m
Gasbetong (500 kg/m ³)	0,14
Gasbetong (200 kg/m ³)	0,08
Expanderad lera under betongplatta (280 kg/m ³)	0,09
Mineralull, A-kvalitet	0,040
Mineralull, B-kvalitet	0,045
Mineralull, markskiva	0,042
Polystyrenplast	0,040
Polyuretanplast utan ytskydd	0,032
Polyuretanplast med ytskydd på båda sidor	0,028

Specifik isolerförmåga r för isolermaterial

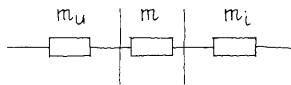
Material	r °C,m/W
Gasbetong (500 kg/m ³)	7,1
Gasbetong (200 kg/m ³)	12,5
Expanderad lera under betongplatta (280 kg/m ³)	11,1
Mineralull, A-kvalitet	25,0
Mineralull, B-kvalitet	22,2
Mineralull, markskiva	23,8
Polystyrenplast	25,0
Polyuretanplast utan ytskydd	31,3
Polyuretanplast med ytskydd på båda sidor	35,7

6.5 VÄRMEISOLERING

Värmeövergång vid ytor



värmetransport till, genom och från en vägg



värmemotstånd för ytor och vägg

Värmeövergångsmotstånd för in- och utsida enligt Svensk Byggnorm 1980.

Byggnadsdel	$m_i + m_u$ $^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$
Fönster och dörr mot det fria	0,20
Vägg och tak mot det fria	0,25
Golvbjälklag	0,30
Vägg, tak och golvbjälklag mot uppvärmd lokal med lägre temperatur	0,35

Värme kan överföras till en yta genom *konvektion* och *temperaturstrålning*. Överföringen genom konvektion beror dels på lufthastigheten intill den yta som mottager värme dels på temperaturskillnaden mellan luft och yta. Temperaturstrålningen beror på den avgivande ytans temperatur och den mottagande ytans temperatur. Temperaturstrålning mottas av en yta från alla de ytor som den mottagande ytan kan "se". Varje yta, som "ses" av den mottagande ytan, har en vinkelkoefficient φ_n och hela det halvrum som ses har $\varphi = 1$. Vi får alltså att summan av alla omgivande ytors vinkelkoefficienter blir

$$\varphi_{\text{tot}} = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots = 1$$

Genom att sammanväga de olika ytornas temperatur efter deras φ så får man en medelstrålningstemperatur för hela det halvrum som den mottagande ytan "ser".

Värmeöverföringen till en yta är *summan* av den konvektiva överföringen och strålningsöverföringen:

$$P = P_k + P_s$$

Man kan mycket väl tänka sig både en tillförsel från rumsluften, eftersom denna är varmare än ytan, och en bortförsel genom strålning till omgivande ytor vilka då är kallare än ytan i fråga. Detta kan vid ytter- ytor hända på vintern då himlen kan ha flera tiotals grader lägre temperatur än uteluften, vilket bl a resulterar i isbildning på utestående bilar.

Man kan bestämma värmemotståndet mot värmeöverföring på en byggnadsdels in- och utsida. Detta finns *normerat i Svensk Byggnorm*. Storleken bestäms framför allt av förhållandena på insidan. På utsidan kan man anta att $m_u = 0,05 \text{ } ^{\circ}\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ medan m_i varierar mellan 0,15 och 0,30.

6.5 VÄRMEISOLERING

k-värde och årliga värmeförluster

Om man summerar alla en konstruktions värmemotstånd (ett för varje skikt) och därtill lägger värmövergångsmotstånden för in- och utsida så får man konstruktionens totala värmemotstånd M_{tot} .

$$M_{tot} = m_1 + m_2 + m_3 + \dots + m_i + m_u$$

Inverteras M_{tot} får vi konstruktionens värmegenomgångskoefficient, det s k k-värdet:

$$k = 1/M_{tot} \quad (W/^\circ C, m^2)$$

som alltså är ett mått på konstruktionens värmegenomsläppningsegenskaper. Ju större värde desto mer värme släpps igenom.

Om vi multiplicerar k-värdet med temperaturskillnaden mellan inne och ute ($T_i - T_u$) och konstruktionens yta A , så får vi dess värmeförlust:

$$P = k \cdot A \cdot (T_i - T_u) \quad (W)$$

Under 1 timme blir värmeförlusten:

$$W = k \cdot A \cdot (T_i - T_u) \cdot 1 \quad (Wh)$$

Man multiplicerar således $k \cdot A$ med ett antal *gradtimmar*. Om man känner till inne- och utetemperaturen för varje timme under året så kan man räkna ut hur många gradtimmar man har under året. Om årets (eller uppvärmningssäsongens) gradtimmar kallas Q så blir de årliga värmeförlusterna:

$$W_{\text{år}} = k \cdot A \cdot Q \quad (Wh) \quad \text{eller} \quad = \frac{k \cdot A \cdot Q}{1000} \quad (kWh)$$

Gradtimmar Q under året vid 20°C inne

Ort	Q (°C·h)
Malmö	98 000
Göteborg	103 000
Stockholm	112 000
Karlstad	118 000
Härnösand	133 000
Östersund	146 000
Gällivare	177 000

$$k = \frac{1}{M_{tot}} \quad (W/^\circ C, m^2)$$

$$W_{\text{år}} = \frac{k \cdot A \cdot Q}{1000} \quad (kWh)$$

6.5 VÄRMEISOLERING

Värmeförluster under uppvärmningssäsong

Värme tillförs en byggnad även på andra sätt än genom uppvärmningsanordningarna. Man tillför värme från personer, elektriska apparater, belysning osv. Man tillför också betydande mängder energi genom dagsljusinstrålning genom fönster. All denna energi, som brukar kallas "gratisvärme", bidrar till att minska behovet av uppvärmning från radiatorer etc. En byggnad får därför alltid mindre uppvärmningsbehov än vad vi beräknat på föregående sida. Uppvärmningssäsongen börjar i allmänhet i september och slutar i maj-juni.

Om vi antar att "gratisvärmerna" är P_g (W) och att byggnadens förluster genom transmission och ventilation är F (W/°C) så representerar "gratisvärmerna" en temperaturdifferens:

$$\Delta T = \frac{P_g}{F}$$

Om P_g är stor så blir ΔT stor, vilket är helt naturligt. Är F liten, dvs det är ett energisnålt hus, så blir också ΔT stor. Vi skulle kunna ta hänsyn till "gratisvärmerna" genom att dra av ΔT från innetemperaturen och räkna ut gradtimmarna Q med en lägre innetemperatur. Då blir Q lägre än tidigare. Detta nya Q' kan utnyttjas för att räkna ut värmeförlusterna under uppvärmningssäsongen. För byggnadsdelen med det beräknade k -värdet blir då

$$W_{\text{uppv}} = \frac{k \cdot A \cdot Q'}{1\,000} \quad (\text{kWh})$$

Vi kan dra en viktig slutsats, nämligen att energisnåla byggnader kan få stor relativ nytta av "gratisvärme".

För närmare diskussion om Q -värde hänvisas till avsnitt 8.5.

Exempel: Ett småhus har specifika förlusterna $F = 180$ W/°C. Om huset tillförs gratisvärme från hushållsapparater med 400 W och från personer med 400 W så blir temperaturhöjningen

$$\Delta T = \frac{400+400}{180} = 4,4^\circ\text{C}$$

Om utetemperaturen är 15,6 °C så kan man således genom gratisvärmen ändå hålla +20°C inne.

$$W_{\text{uppv}} = \frac{k \cdot A \cdot Q'}{1000} \quad (\text{kWh})$$

Gradtimmar Q' vid "gratisvärme". Ekvivalent innetemperatur $T_i = 20 - \Delta T$

Ort	T_i		
	18°C	16°C	14°C
Malmö	81 000	65 000	49 000
Göteborg	86 000	70 000	54 000
Stockholm	95 000	79 000	63 000
Karlstad	101 000	85 000	69 000
Härnösand	116 000	99 000	82 000
Östersund	129 000	112 000	95 000
Gällivare	160 000	143 000	126 000

6.5 VÄRMEISOLERING

Extrem isolering

I en spalt överförs värme genom konvektion (k) — eller vid stillastående gas genom ledning — och strålning (s). Om den ena ytan av spalten har temperaturen T_1 och den andra ytan temperaturen T_2 så blir värmeöverföringen per m^2 :

$$P = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \quad (\text{W}/\text{m}^2)$$

där

$$\alpha = \alpha_k + \alpha_s \quad (\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2)$$

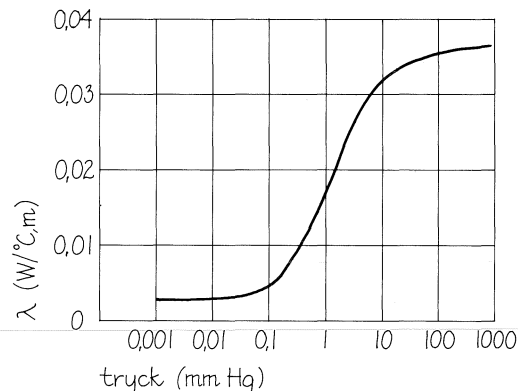
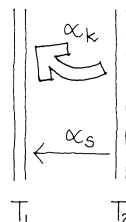
Den konvektiva värmeöverföringen kan kraftigt nedsättas om gasen i spalten evakueras. Visserligen får man då ett undertryck som ger problem att hålla ytorna åtskilda. Fullt vakuum ger en belastning av ca $10 \text{ ton}/\text{m}^2$. Försök har utförts av Verschoor & Greebler, 1952, med glasullsisolering med olika lufttryck. Som framgår av figuren får man vid normalt lufttryck 760 mm Hg ett experimentellt λ -värde av ca $0,035 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}$ för glasullen som har densiteten $75 \text{ kg}/\text{m}^3$. Vid 1 mm Hg blir det experimentella λ -värdet $0,017$ och vid $0,01 \text{ mm Hg}$ når λ -värdet sitt lägsta värde $0,003 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}$. Vid så låga lufttryck är molekylernas fria väglängd lika med spaltbredden eller större än densamma.

Vid mycket låga gastryck i spalten kan man alltså få mycket låga α_k . Vid en spaltbredd på ca 5 mm skulle α_k kunna vara ca $0,2 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. Om samtidigt spaltens ytor görs starkt reflekterande, t ex med $\epsilon = 0,03$, så kan man göra α_s så låg som $0,15 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. Tillsammans skulle då den totala värmeöverföringen i spalten bli

$$\alpha = 0,2 + 0,15 = 0,35 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2 \quad (m = 1/0,35 = 2,86)$$

Antar vi att inre och yttre värmeövergångsmotståndet vid skivornas utsida är $m_i + m_u = 0,2 \text{ }^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$, så får en sådan konstruktion med 5 spalter ett k-värde:

$$k = \frac{1}{5 \cdot 2,86 + 0,2} = 0,069 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$$



λ -värde för glasull ($75 \text{ kg}/\text{m}^3$) vid olika lufttryck i isoleringen, medeltemperatur 65° . (Efter Verschoor & Greebler, 1952.)

6.5 VÄRMEISOLERING

Yttertemperatur och medelstrålningstemperatur

Av stor betydelse för inomhusklimatet är rumsytornas temperatur. Som tidigare nämnts så avger människor värme genom såväl konvektion som temperaturstrålning. Värmeisoleringen av en byggnads yttertor har således ytterligare en funktion förutom att minska värmeförlusterna, nämligen att höja yttemperaturen på insidan av byggnadens yttertor.

Yttertemperaturen på insidan av en yttervägg, ett tak eller ett fönster kan beräknas ur formeln:

$$T_{yi} = T_i - m_i \cdot k \cdot (T_i - T_u) \quad (^\circ\text{C})$$

där

T_{yi} = yttertemperaturen på insidan ($^\circ\text{C}$)

T_i = lufttemperaturen inomhus ($^\circ\text{C}$)

T_u = lufttemperaturen utomhus ($^\circ\text{C}$)

m_i = värmeövergångsmotståndet på insidan ($^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$)

k = konstruktionens k-värde ($\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$)

Värmeövergångsmotståndet har olika värde för olika byggnadsdelar. I Svensk Byggnorm 1980 anges summan av inre och yttre värmeövergångsmotståndet ($m_i + m_u$). Antar vi att $m_u = 0,05 \text{ }^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ så kan vi få ett ungefärligt värde på m_i .

Det bör observeras att yttertemperaturen på insidan av en byggnadsdel kan höjas, förutom genom att minska k-värdet, också genom att minska värmeövergångsmotståndet m_i . Detta kan ske genom att öka luftrörelserna i rummet.

Medelstrålningstemperaturen från flera ytor med olika temperatur kan beräknas genom att använda de rymdvinklar de upptar. Med φ_n = vinkelkoefficienten för ytan n med temperaturen T_n blir medelstrålningstemperaturen:

$$T_{ms} = \varphi_1 \cdot T_1 + \varphi_2 \cdot T_2 + \varphi_3 \cdot T_3 + \dots$$

Värmeövergångsmotstånd m_i ($^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$)

Byggnadsdel	m_i $^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$
Fönster och dörr mot det fria	0,15
Vägg och tak mot det fria	0,20
Golvbjälklag	0,25
Vägg, tak och golvbjälklag mot uppvärmd lokal med lägre temperatur	0,30

6.5 VÄRMEISOLERING

Riktad operativ temperatur

Som ett mått på det termiska inneklimatet använder Svensk Byggnorm 1980 begreppet riktad operativ temperatur T_{rop} eller ROT. Detta baserar sig på antagandet att en människas värmeavgivning sker lika mycket genom konvektion som genom temperaturstrålning. Då blir:

$$T_{rop} = \frac{T_{luft} + T_{ms}}{2} \quad (^\circ\text{C})$$

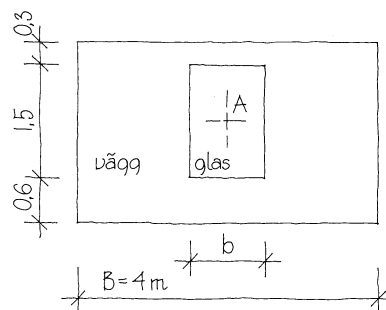
där

T_{luft} = lufttemperaturen ($^\circ\text{C}$)

T_{ms} = medelstrålningstemperaturen för de ytor som finns inom den halvsfär som syns i den valda riktningen.

Som ett exempel har valts en fasadvägg i ett rum med lufttemperaturen = $+20^\circ\text{C}$ och med övriga ytor i rummet förutom fasadväggen med ytemperaturen $+20^\circ\text{C}$. Om vi ställer oss 1 meter från fönstrets mitt, dvs i punkten A, så upplever vi dels fasadväggen med dess fönster dels en del av golv, tak och mellanväggar. Om utemperaturen $T_u = -20^\circ\text{C}$ får vi de medelstrålningstemperaturer T_{ms} och riktade operativa temperaturer T_{rop} som visas i vidstående tabell. Man ser att det vid stora fönsterytor kan vara svårt att upprätthålla den önskade riktade operativa temperaturen $+18^\circ\text{C}$ även om man har 4-glasfönster, dvs $k = 1,4 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. Det kan bli nödvändigt med en strålningskälla, tex en radiator under fönstret eller en strålningskälla ovanför fönstret. Ett annat, fast värmeekonomiskt mera tvivelaktigt, sätt är att höja lufttemperaturen.

Beräkningen av medelstrålningstemperatur är ganska komplicerad och kräver bestämning av olika ytors andel (vinkelkoefficienter) av den halvsfär, som medelstrålningstemperaturen avser. Beräkningsmetoden visas i kommentarer till SBN. De olika rumsytornas temperatur beräknas med hänsyn tagen till inre värmeövergångsmotstånd för resp yta. De värden som anges i SBN 80 måste betraktas som normerade värden – i verkligheten kan väsentligt avvikande värden uppmätas. Mer om riktad operativ temperatur, se kap 5.

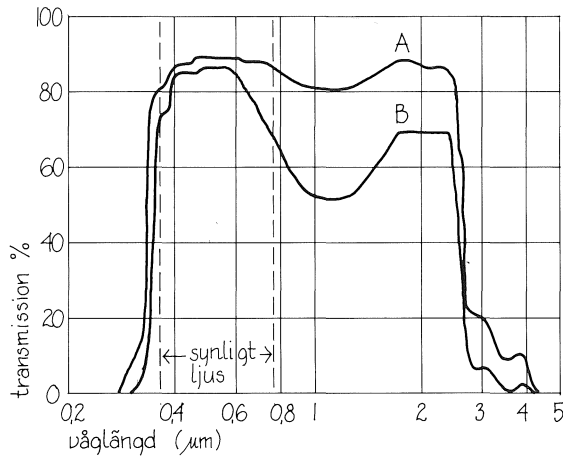


Yttrevägg sedd från insidan ($A = 1 \text{ m}$ från väggen). Glaset har $k_g \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$ och väggen $k_v \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. Utemperatur = -20°C och innetemperatur = $+20^\circ\text{C}$.

b/B	k_v ($\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$)	k_g ($\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$)	T_{ms} $^\circ\text{C}$	T_{rop} $^\circ\text{C}$
0	0,3	–	18,70	19,35
0	0,2	–	19,14	19,57
0	0,1	–	19,57	19,79
0,25	0,3	2,8	13,99	17,00
0,25	0,3	1,8	15,88	17,94
0,25	0,3	1,4	16,63	18,32
0,50	0,3	2,8	11,55	15,78
0,50	0,3	1,8	14,41	17,21
0,50	0,3	1,4	15,56	17,78
1,00	0,3	2,8	10,14	15,07
1,00	0,3	1,8	13,57	16,79
1,00	0,3	1,4	14,94	17,47

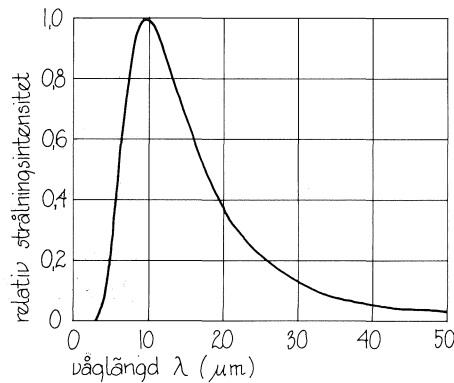
6.6 VÄXTHUSPRINCIPEN

Glaset, en strålningsfälla



Transmission för två olika 6 mm glas.

$T = 300\text{°K}$
(27°C)



Relativ strålningsintensitet från svart kropp med temperaturen 300°K ($= 27\text{°C}$).

Glas är huvudsakligast transparent för både den synliga och den infraröda delen av sol- och himmelsstrålningen, se den övre figuren. Normala glas med tjockleken 4 mm transmittar ca 0,85 av den vinkelrätt infallande strålningen. Vid flera glas kan man multiplicera med samma siffra, t ex för ett tre-glasfönster $0,85 \cdot 0,85 \cdot 0,85 = 0,61$. Den transmittade strålningen kommer till sin största del att absorberas i ytor i rummet, med undantag för en del av strålningen som träffar en annan glasyta och passerar ut genom densamma. Att beräkna hur mycket sol- och himmelsstrålning som blir kvar inom ett hus med enbart glasväggar och glastak, ett växthus, är en utomordentligt svår uppgift.

Absorption av kortvågig strålning innebär att denna omvandlas till värme i en yta. Värme avges från densamma dels in i materialet som formar ytan dels från densamma genom konvektion och långvågig strålning, s k temperaturstrålning. Den senare har ett våglängdsområde, som framgår av nedre figuren. Man ser att all strålning ligger över $3\ \mu\text{m}$ med ett maximum kring $10\ \mu\text{m}$. När denna strålning träffar omgivande glasytor, så finner den dessa icke-transparenta. Som framgår av övre figuren så är glaset ej transparent för strålning med större våglängd än $2,5\ \mu\text{m}$. All temperaturstrålning absorberas således i glasets inneryta och omvandlas till värme, som delvis leds ut genom glaset. Detta kallas *glasets strålningsfälla* eller som man ofta säger *växthusprincipen*.

Enkelglas har ett ringa värmemotstånd – endast motståndet i själva glas materialet. Värmeförlusterna för fönster med enkla glas blir därför stora i det svenska klimatet. Uppvärmningskostnaderna för enkelglasade växthus blir höga och belastar trädgårdsnäringen hårt. Nya växthus har därför utförts med dubbla transparenta skikt. Ofta blir det alltför dyrbart med dubbla glas och man har därför i stället använt någon form av plastmaterial, ibland i kombination med glas.

6.6 VÄXTHUSPRINCIPEN

Plaster i "glasade" rum

Plaster för växthus har provats vid Lantbruksuniversitetets Institution för lantbrukets byggnadsteknik i Lund. Problemställningen är då dels olika plastsor- ters strålningstransmission, både för dagsljus och för temperaturstrålning, dels deras åldringsegen- skaper både ur transmissions- och hållfasthetssyn- punkt. Landgren, 1976, har rapporterat om detta. Provingarna pågår kontinuerligt och rön rörande nya material är att vänta.

Från undersökningarna kan nämnas att transmis- sionen av dagsljus har delats upp i dels synlig strål- ning dels IR-strålning (ca hälften inom varje). Som framgår av övre tabellen så är akrylskivor mycket transparenta för dagsljusstrålning. Samma gäller polyeten PE-folier.

När det gäller den långvågiga strålningen, tem- peraturstrålningen, så uppvisar plasterna skilda egenskaper. Akryl har mycket liten strålningstran- smission för våglängder över 3 μm . Akryl är således mycket likt glas ur strålningssynpunkt. PVC och glasfiberarmerad polyester har liknande egenska- per. Polyetenfolierna har däremot stor transmission för temperaturstrålning.

Generellt kan sägas att akryl och polyetenfolier har liten åldersförändring; akryl har den minsta. Något sämre är glasfiberarmerad polyester medan PVC visar den största försämringen. Dubbel poly- propenplatta har endast följts under tre år och då försämrats måttligt.

Amerikanska erfarenheter av plaster och deras livslängd visas i nedre tabellen, hämtad från Lang- don, 1980. Egentligen är det endast akrylplattor och glasfiberarmerade polyesterplattor som har till- räcklig livslängd. Akrylfolie har 10 års livslängd, vilket bör ställas mot kostnaden för folien, och be- traktas som rimligt. Polyetenfolier har enligt Lang- don alltför kort livslängd, även om kostnaden är låg. Dessutom är dessa olämpliga med hänsyn till transmissionen för temperaturstrålning.

Transmission av dagsljus för nytillverkat material enligt Landgren, 1976.

Material	Transmission	
	Synligt ljus	IR: 0,8 < 2,5 μm
Akrylplatta	0,88–0,91	0,88–0,95
PVC-platta	0,67–0,80	0,84–0,91
Glasfiberarmerad polyesterplatta	0,74–0,81	0,79–0,90
Dubbel polypropenplatta	0,61–0,64	0,75–0,85
Polyetenfolie	0,82–0,85	0,91–0,92

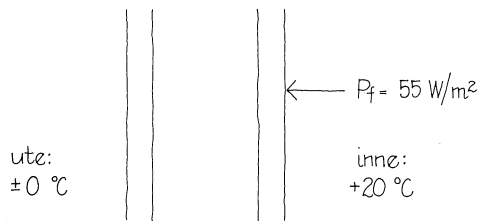
Transmission och livslängd för några plaster enligt Langdon, 1980.

Material	Dagsljus- transmis- sion	Temp- strål- nings- transmis- sion	Livs- längd år
Akrylplatta	0,91–0,93	0	25
Akrylfolie	0,89	0,10	10
Glasfiberarmerad polyesterplatta	0,85	0,05	20
PVC-folie	0,90–0,95	0,15	4–5
Polyetenfolie	0,90–0,93	0,72	1–2
Glas	0,92	0	oändl

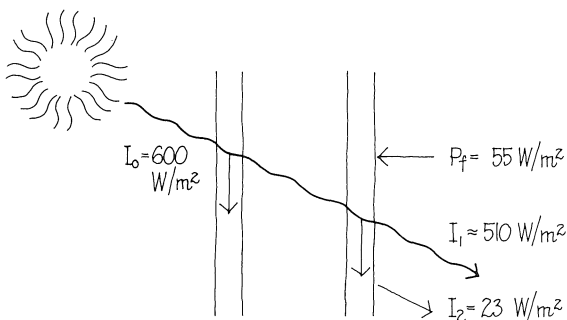
6.6 VÄXTHUSPRINCIPEN

Primär och sekundär solvärmeförsel

utan solinstrålning



med solinstrålning



Värmeförlust och värmeförluster vid tvåglasfönster utan och med solinstrålning (exempel).

Glaset är som nämnts till stor del transparent för sol- och himmelsstrålning. En del av den infallande strålningen absorberas dock i glasmassan, där den värmer upp glaset och sedan delvis tillförs rummet – en del går naturligtvis utåt. Denna extra värmeförsel till rummet kallas *sekundär solvärmeförsel* till skillnad från den direkt transmitterade strålningen som benämns *primär solvärmeförsel*.

Ett exempel kan illustrera detta. Vi antar att vi har ett tvåglasfönster utan någon sol- eller himmelsstrålning. Om utetemperaturen är 0°C och innetemperaturen är $+20^{\circ}\text{C}$ så får man vid vissa antaganden om värmemotstånden ute, inne och mellan glaset värmeförluster från rummet till inre glasets insida som blir 55 W/m^2 . Om tvåglasfönstret utsätts för en instrålning som är ca 600 W/m^2 så absorberas en del i det yttre glaset, ca 36 W/m^2 , och en del i det inre glaset, ca 30 W/m^2 . Till rummet transmitteras direkt 510 W/m^2 av den infallande strålningen, 600 W/m^2 .

Samtidigt som glaset blir varmare än vad de skulle blivit om de ej utsatts för solstrålning så minskar värmeförlusterna från rummet till det inre glasets insida till 32 W/m^2 . Man kan då betrakta skillnaden mellan de 55 W/m^2 utan solinstrålning och de 32 W/m^2 med solinstrålning som den sekundära solvärmeförseln, dvs $55 - 32 = 23\text{ W/m}^2$, se figuren.

Den sekundära solvärmeförseln är normalt av storleksordningen 5–7% för vanligt fönsterglas. Vid speciella, värmeabsorberande, glas kan den sekundära solvärmeförseln bli väsentligt större. Sådana glas används som solskydd och är naturligtvis ej aktuella i växthussammanhang, där man vill ha in så mycket primär solenergi som möjligt.

6.7 VENTILATION

Tryckskillnader på grund av vindkrafter

På lovartsidan av en vindpåverkad byggnad får man ett övertryck och på läsidan ett undertryck. I figuren visas de vindtryck som Svensk Byggnorm anger för vindlastberäkningar. I verkligheten får man naturligtvis ej jämnt fördelade tryck över hela fasaden utan en koncentration på lovartfasadens mitt (se kap 4). Inuti byggnaden får man ett undertryck som i det aktuella fallet blir $-0,4$. De angivna värdena är dimensionslösa formfaktorer c , med vilka man multiplicerar vindens dynamiska tryck, dvs tryckökningen blir:

$$\Delta p = c \cdot \frac{\rho v^2}{2} \quad (\text{Pa} = \text{Pascal} = \text{N/m}^2)$$

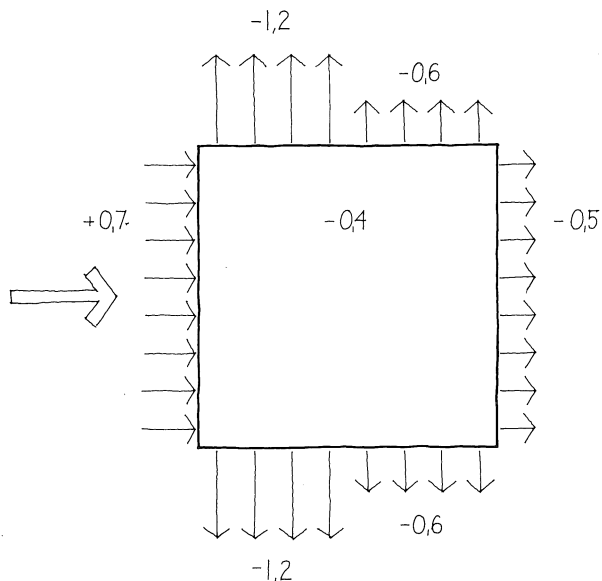
där ρ är luftens densitet (kg/m^3) och v är vindhastigheten mot fasaden (m/s). Approximativt kan man sätta

$$\Delta p = c \cdot 0,65v^2 \quad (\text{Pa})$$

Den mängd luft som kommer in i en otät byggnad på lovartsidan och går ut genom de tre andra väggarna beror på väggarnas otätheter. Dessutom beror luftläckaget på det motstånd som luftströmmen stöter på under sin väg genom byggnaden, t ex mer eller mindre stängda dörrar mellan rummen.

En uppfattning om tryckskillnadernas storleksordning kan man få om man sätter normal vind under uppvärmningssäsongen till $v = 2 \text{ m/s}$ invid byggnaden. Då blir $\Delta p = 2,5 \text{ Pa}$. Detta värde kan gälla för ett enplanshus. Vid höga hus blir lufthastigheten större och närmar sig de meteorologiska värdena, som också överskrids. Vid kraftig vind kan tryckskillnaderna i höga hus uppgå till 50 Pa och mer.

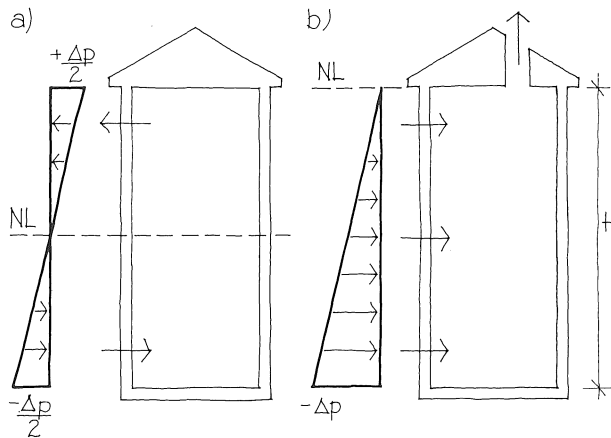
Läckage på grund av vindkrafter blir i verkligheten ojämnt fördelat över fasaden. I byggnadens nedre våningar är lufthastigheten mot fasaden mindre än vid de övre våningarna och man får då större luftomsättning i de övre våningarna. Vid kraftig vind påverkar detta temperaturförhållandena inom byggnaden.



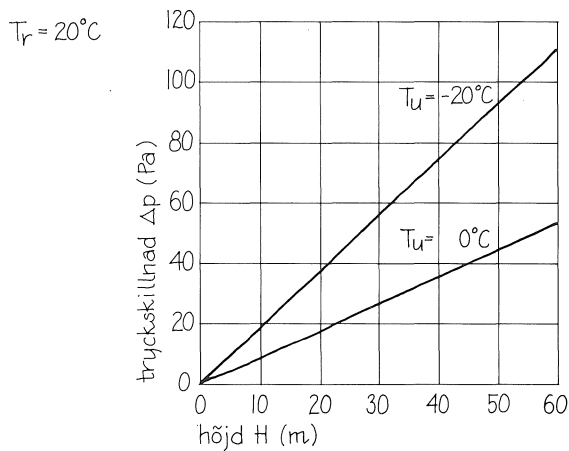
Vindtryck enligt SBN:s vindlastnormer.

6.7 VENTILATION

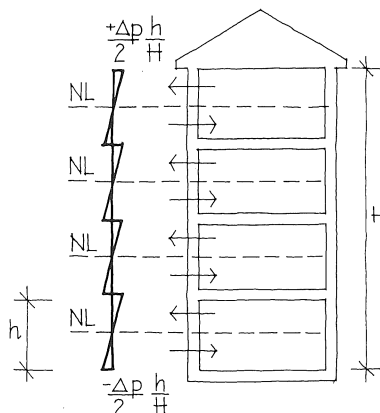
Tryckskillnader på grund av termiska krafter



Tryckförhållanden på grund av termiska krafter.



Tryckskillnad som funktion av höjden.



Tryckförhållanden med täta bjälklag.

Om en byggnad har tätt tak och tät grund så får man en tryckfördelning inuti byggnaden som figur a visar. Orsaken är täthetsskillnader hos luften. Under idealiserade omständigheter får man ett övertryck $+\Delta p/2$ upptill som är lika stort som undertrycket $-\Delta p/2$ nedtill. På halva höjden har man samma lufttryck som utanför byggnaden. Detta kallas för neutrallagret. Tryckskillnaden blir

$$\Delta p = g \cdot H \cdot \rho \cdot \frac{\Delta T}{T_m} \quad (\text{Pa})$$

där

g = jordaccelerationen ($9,82 \text{ m/s}^2$)

H = byggnadens höjd (m)

ρ = luftens densitet vid temperaturen T_m (ca $1,3 \text{ kg/m}^3$)

ΔT = temperaturskillnaden mellan inne och ute ($^\circ\text{C}$)

T_m = medeltemperaturen mellan inne och ute (K)

Om man gör en stor öppning i byggnadens tak så måste lufttrycket utanför och inuti byggnaden bli lika i öppningen och neutrallagret flyttas upp till taket. Undertrycket nedtill blir då $-\Delta p$, som figur b visar.

I mellersta figuren visas tryckskillnaden Δp som funktion av byggnadens höjd H för innetemperaturen $T_r = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ samt utetemperaturen $T_u = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ och $-20 \text{ }^\circ\text{C}$. Man ser att vid en- och tvåplansbyggnader blir Δp liten. För $H = 3 \text{ m}$ och $T_u = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ blir $\Delta p = 2,8 \text{ Pa}$. Vid höga byggnader kan flera tiotals Pascal uppnås.

På grund av de termiska krafterna har man ett luftläckage in i byggnaden i dess nedre del och ett luftläckage utåt i dess övre del, se överst, figur a. Denna *oavsiktliga ventilation*, som också kallas *infiltration*, kan vid höga byggnader bli betydande. Förhållandena kan väsentligt förbättras om man bryter av eller försvårar luftströrelserna i byggnadens höjded. Om dessa avbryts vid varje bjälklag får man den idealiserade tryckbild som nedre figuren visar.

6.7 VENTILATION

Täthetskrav

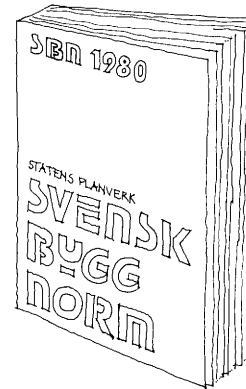
I syfte att kontrollera att byggnader utförs med tillräcklig täthet har i Svensk Byggnorm införts krav dels på enskilda byggnadsdelars (fönster, ytterväggar och tak) lufttäthet dels hela byggnadens lufttäthet. Sålunda föreskrivs att i hela byggnaden vid provning enligt Statens provningsanstalts metod SP 1977:1 skall vid 50 Pa över- eller undertryck luftläckaget ej överskrida

för friliggande småhus och kedjehus: 3,0 oms/h
för övriga bostadshus med högst 2 vån: 2,0 oms/h
för bostadshus med 3 eller flera vån: 1,0 oms/h

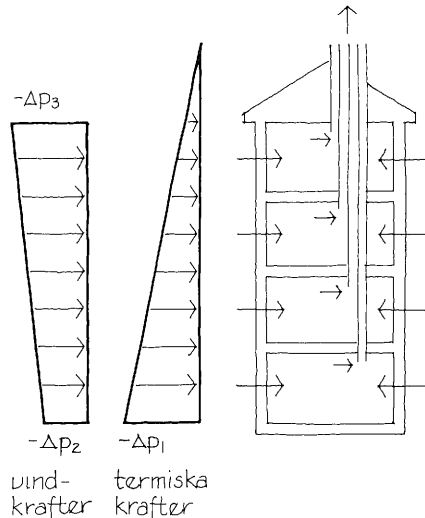
Dessa värden gäller för nya hus. Man kan efter hand förvänta sig att en viss försämring sker. Med goda konstruktioner och gott arbetsutförande kan ovanstående värden väsentligt underskridas, åtminstone i vad avser friliggande småhus och kedjehus.

Man kan genom spårgasmätning mäta upp den oavsiktliga ventilationen. Man släpper ut en spårgas i byggnaden och blandar denna väl med luften. Efter hand som ny luft tillförs minskar koncentrationen av spårgas och luftomsättningen kan beräknas. Med tillslutna ventiler visar spårgasmätningar under normala vinterförhållanden att den oavsiktliga ventilationen (infiltrationen) vid 1-planshus blir ca 0,1 oms/h. Vid 1 1/2- och 2-planshus har värden mellan 0,1 och 0,2 oms/h uppmätts. Ovanstående värden gäller för hus vars luftläckage vid 50 Pa ligger kring 2,0 oms/h. Härur kan man dra slutsatsen att normalt under vintrarna har man en genomsnittlig tryckdifferens över hela byggnadsskalet på 2–3 Pa.

Uppenbart är att täthetskraven på bostadsbyggnaden är så höga att man måste ha särskilda anordningar för att tillförsäkra de boende en tillräcklig ventilation, som uppfyller hygieniska krav på luftomsättning.



6.7 VENTILATION Självdagsventilation



Undertryck vid självdragsventilation.

Vid självdragsventilation utnyttjas naturens egna krafter för att ventileras byggnaden, dvs vindkrafter och termiska krafter. Från varje våningsplan dras en eller flera ventilationskanaler upp över yttertaket som figuren visar. De termiska krafterna avtar uppåt och är lägst i översta våningsplanet. För ett 4-våningshus blir under vintern $-\Delta p_1 = \text{ca } 6 \text{ Pa}$. Vindkrafterna ökar i regel uppåt fasaden, eftersom vindhastigheten mot densamma där är störst. Med formfaktorn $c = -0,4$ inuti byggnaden och vindhastigheten mot fasaden $v = 4 \text{ m/s}$ blir $-\Delta p_3 = \text{ca } 4 \text{ Pa}$. Tillsammans ger vindkrafterna och de termiska krafterna under normala vinterförhållanden ett ganska jämnt fördelat undertryck i en flervåningsbyggnads höjddled. Det är emellertid uppenbart att vid höga vindhastigheter kan $-\Delta p_3$ bli upp mot 100 Pa .

Ventilationens storlek beror på arean hos öppningar i byggnadens skal. Är skalet helt tätt blir det ingen ventilation alls. Öppningarna utgörs av ventiler eller springor och andra otätheter. Tätar man ett hus med självdragsventilation så minskar ventilationen såvida man inte samtidigt öppnar ventiler.

När det på vintern är mycket kallt kan de termiska krafterna bli stora och vid otäta byggnader ge obehagligt drag samt stor energiförbrukning. Man kan då förse frånluftkanalerna med ett spjäll som minskar frånluftöppningen när det är kallt ute.

Vid självdragsventilerade småhus hade man förr en normal ventilation av $0,7\text{--}1,0$ luftomsättningar i timmen. Med de nya täthetskraven och utan tilluftsventiler blir luftomsättningen ej mer än $0,1\text{--}0,3$ oms/h. I flerbostadshus med självdragsventilation har uppmätts $0,3\text{--}1,0$ oms/h. Husens ålder har varierat från 1860 till 1960. Nytätade fönster ger den lägre siffran. De nämnda luftomsättningarna skall ställas i relation till de hygieniska kraven i Svensk Byggnorm, som för mekanisk ventilation kräver minst $0,5$ luftomsättningar i timmen.

6.7 VENTILATION

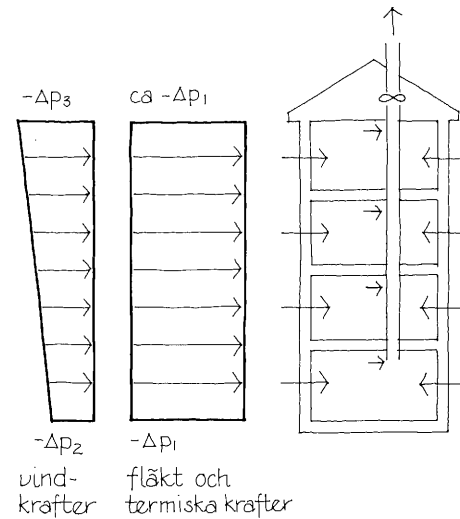
Mekanisk ventilation

Med mekanisk ventilation menar man en ventilation som åstadkoms med hjälp av fläktar. Man skiljer mellan frånluftventilation (F-ventilation), där fläktar ombesörjer utsugningen av luften, och från- och tillluftventilation (FT-ventilation), där fläktar ombesörjer såväl till- som frånluft. I flerbostadshus har under de senaste decennierna frånluftssystem varit dominerande med undantag för några år kring 1960, då de statliga lånemöjligheterna medgav FT-ventilation.

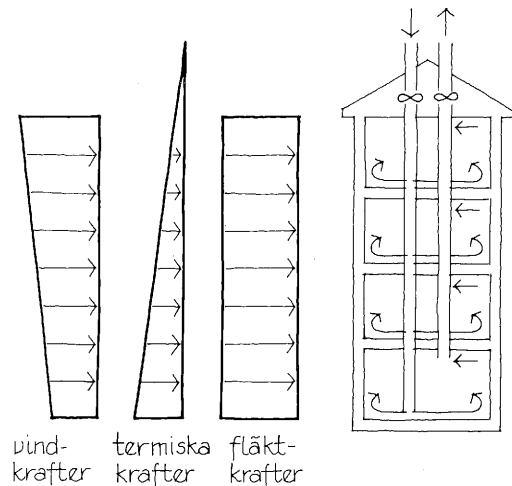
Vid frånluftventilation skapas ett undertryck i byggnaden med hjälp av fläktar. Undertryckets storlek beror på ventilationssystemets dimensionering och tilluftöppningarnas luftmotstånd. Normalt är detta undertryck betydande, ca 10–20 Pa. Inklusiva de små termiska krafterna blir således $-\Delta p_1 =$ ca 20 Pa, se övre figuren.

Ventilationens storlek beror som nämnts på tilluftmöjligheterna. Vid frånluftventilation är emellertid fläktarna i regel så starka att de drar ut den luftmängd, som de är dimensionerade för. *Om en sådan byggnad tätas så minskas i regel ventilationen obetydligt, men lufthastigheten ökar i de återstående springorna och öppningarna, draget ökar.* Ökad täthet minskar dock ventilationen och draget vid stark vind.

Vid från- och tillluftventilation balanseras från- och tilluftsystemen så att ett mindre undertryck uppstår inuti byggnaden på grund av fläktarna. De tre krafterna i den nedre figuren blir av samma storleksordning och förhållandena liknar självdragsventilation när det gäller känslighet för vindkrafter och termiska krafter. Genom till- och frånluften garanteras emellertid att den avsedda, hygieniskt betingade, ventilationen blir tillräcklig. *Genom noggrann tätning av byggnadens skal kan känsligheten mot vindkrafter och termiska krafter nästan helt elimineras.*



Undertryck vid frånluftventilation.



Undertryck vid från- och tilluftventilation.

6.7 VENTILATION

Oavsiktlig ventilation

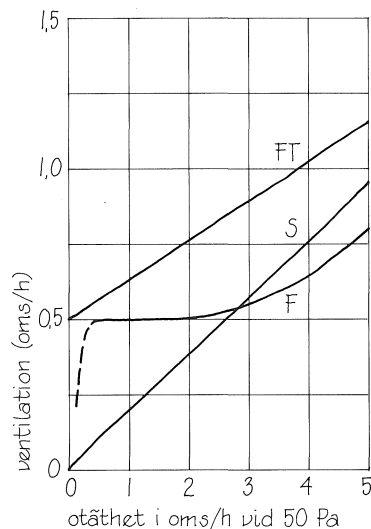
Ventilationens storlek bestäms av hygieniska skäl. Den skall förse byggnaden med "frisk" uteluft i sådan utsträckning att luftkvaliteten blir lämplig eller i varje fall acceptabel för brukarna. Eftersom uteluften kräver uppvärmning, vill man minimera intaget. Det är symptomatiskt att byggnormens av hygieniska skäl bestämda minimikrav motsvarar maximalt tillåten ventilation ur energihushållningssynpunkt.

Vid mekanisk ventilation dimensioneras systemet efter den ventilation som Svensk Byggnorm kräver. Ökas ventilationen på grund av vindkrafter och termiska krafter blir denna ventilation oavsiktlig och ur energihushållningssynpunkt oönskad. Den oavsiktliga ventilationen bör således begränsas, vilket sker genom att byggnadsskalets täthet ökas.

Nylund, 1979, har teoretiskt studerat självdrags-systems (S-system) samt F- och FT-systems känslighet för otätheter i byggnadens skal. För en enplansbyggnad har tryckförhållanden beräknats och luftomsättningen bestämts. Byggnadens täthet har varierats, och definieras som antalet luftomsättningar per timme vid 50 Pa undertryck. Uteklimatet har antagits till vind $v = 4$ m/s och temperatur $T_u = +2^\circ\text{C}$. Vid S-system har antagits tre ventilationskanaler $\varnothing = 125$ mm, vardera med en höjd $h = 7$ m. F- och FT-systemen har förutsatts inreglerade till 0,5 oms/h vid vindstilla och vid samma temperatur ute och inne. I figuren visas resultatet av beräkningarna. Man ser att S-systemet kräver en otäthet för att uppnå tillräcklig ventilation. F-systemet är ganska okänsligt för byggnadens otäthet och får effekt först vid otäthet större än 3 oms/h vid 50 Pa undertryck. FT-systemet är väsentligt mera känsligt för otätheten. Redan vid otätheten 1,5 oms/h vid 50 Pa blir den oavsiktliga ventilationen 0,2 oms/h.

Öppna fönster och dörrar ger också en ökad ventilation, utöver den dimensionerande. Vid sporadiskt öppnande blir deras tillskott till den genomsnittliga ventilationen dock ringa.

Nylund, 1984, har vidareutvecklat sina tankegångar i en läsvärd skrift.



Ventilationens storlek vid varierande otäthet hos byggnaden, Nylund, 1979.

6.8 BOENDEVÄRME

Personvärme

Människor avger värme genom konvektion, temperaturstrålning och avdunstning. Värmeavgivningen ökar vid ökad aktivitet, eftersom producerad värme måste avges för att upprätthålla kroppens värmebalans. Kroppsyntans temperatur kan öka något, varigenom värmeavgivningen ökas, men vid hårt arbete avges den ökade värmeproduktionen framför allt genom svett som avdunstar, se kap 5.

Värmeavgivningen genom avdunstning tillförs rumsluften och ökar dess fukttinnehåll. Normalt ventileras denna fukt bort utan att rummets värmebalans påverkas. Värmeavgivningen genom konvektion och strålning tillförs rummet som uppvärmning. *I bostäder med normal rumstemperatur och små luft rörelser kan man räkna med att värmetillskottet till rummet är ca 100 W per person.* Av denna värmetillförsel kan man räkna med att hälften tillförs genom konvektion och hälften genom strålning.

Eftersom personvärmerna utgör en del av rummets (husets) värmetillförsel, vill man redan i projekteringsstadiet söka kvantifiera densamma. Detta är emellertid svårt, eftersom man inte känner familjernas sammansättning, arbetsförhållanden och sociala liv. Även om dessa förhållanden var kända för de först inflyttade så förändras de under byggnadens livslängd. Det måste bli en gissning eller en allmänt accepterad schematisering. Någon sådan schematisering finns ej men torde bli nödvändig om man skall göra jämförande värmebehovsberäkningar, som t ex vid lågenergihus. Förf har använt följande värden vid 12 h närvaro:

för 2 personer:	dygnsgenomsnitt = 100 W
för 3 personer:	" 150 W
för 4 personer:	" 200 W

och ansett att en tvårummare rymmer 2 personer, tre rummare 3 personer och fyra rummare eller större 4 personer. Varje annat motiverat val av personvärme är lika bra eller bättre än ovan angivna värden.

6.8 BOENDEVÄRME Hushållsenergi

Hushållsenergens storlek och dess fördelning på olika användningsområden varierar från familj till familj. I tabellen visas resultatet av noggranna mätningar, utförda av SYDKRAFT AB i fem villor under ett år. Den totala förbrukningen har varierat mellan 3 852 kWh/år och 8 704 kWh/år. Den ungefärliga fördelningen på olika användningsområden kan uppskattas till:

matlagning	ca 20 %
matförvaring	ca 35 %
belysning	ca 20 %
tvätt	ca 10 %
övrigt	ca 15 %

Hushållsenergens fördelning på olika användning i fem villor enligt mätningar av SYDKRAFT AB.

Hushållsutrustning vars elförbrukning uppmätts	Hus 1, 130 m ² 3 vuxna Total förbrukning 6 098 kWh/år		Hus 2, 184 m ² 2 vuxna, 1 barn Total förbrukning 8 704 kWh/år		Hus 3, 125 m ² 3 vuxna, 1 barn Total förbrukning 4 223 kWh/år		Hus 4, 134 m ² 4 vuxna Total förbrukning 3 852 kWh/år		Hus 5, 145 m ² 2 vuxna, 2 barn Total förbrukning 4 214 kWh/år	
	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%	kWh	%
Spis	333,0	5,5	619,5	7,1	686,1	16,2	532,0	13,8	642,4	15,2
Diskmaskin	129,2	2,1	82,0	1,0			37,3	1,0		
Kaffekokare	112,4	1,8	173,6	2,0	76,6	1,8	92,4	2,4	100,6	2,4
Köksfläkt	27,4	0,5			19,3	0,5	18,7	0,5	89,9	2,1
Totalt Matlagning	602,0	9,9	875,1	10,1	782,0	18,5	680,4	17,7	832,9	19,7
Kyl o sval	369,9	6,1	435,4	5,0	944,9	22,4	221,5	5,8	1265,3	30,0
Frys	673,6	11,0	1775,6	20,4	709,3	16,8	853,7	22,2	325,4	7,7
Totalt Matförvaring	1043,5	17,1	2211,0	25,4	1654,2	39,2	1075,2	28,0	1590,7	37,7
Tvättmaskin	218,8	3,6	690,0	7,9	356,1	8,4	157,6	4,1	540,3	12,8
Torkskåp			1064,4	12,2					150,5	3,6
Strykjärn	6,7	0,1			9,2	0,2	23,5	0,6	28,0	0,7
Mangel	0,7	0,01			1,3	0,03				
Totalt Tvätt	226,2	3,71	1754,4	20,1	366,6	8,63	181,1	4,7	718,8	17,1
Belysning	3434,9	56,3	3249,4	37,3	1109,5	26,3	740,9	19,2	806,0	19,1
Teve	134,7	2,2	196,9	2,3	48,8	1,2	198,9	5,2	226,4	5,4
Oljebrännare							125,0	3,2		
Cirkulationspump	609,2	10,0			187,0	4,4	293,0	7,6		
Stereo	14,9	0,2	18,7	0,2	17,7	0,4	25,9	0,7	1,3	0,03
Dammsugare	26,2	0,5			18,2	0,4	28,6	0,7	38,7	0,9
Akvarium			395,6	4,5	38,9	0,9	502,7	13,1		
Brödrost	6,3	0,1								
Gräsklippare			3,3	0,04						
Totalt Övrigt	791,3	13,0	614,5	7,04	310,6	7,3	1174,1	30,5	266,4	6,33

6.8 BOENDEVÄRME

Tillgodogjord värme

De elektriska apparaterna tillförs energi för att utföra någon önskad prestation, tex kylning, värmning, hushållsarbete, belysning, driva TV-apparat. Sedan prestationen är utförd har all den tillförda energin omvandlats till värme, huvudsakligast konvektiv värme.

Förbrukningen av hushållsenergi är synnerligen individuell, vilket framgår av föregående tabell. Förbrukningen ändras med tiden genom ändrade boendevanor och ändrat apparatinnehav. Dessutom görs nya modeller av apparaterna mera energisnåla än tidigare modeller, tex kylenheter och belysningskällor. *Vid projektering av lågenergihus bör energisnåla apparater användas.* Visserligen blir all tillförd energi värme men den kan endast tillgodogöras under uppvärmningssäsongen.

Vid beräkningar av energiförbrukning för uppvärmning måste man ta hänsyn till *nyttiggjord boendevärme*. Detta måste ske på ett schematiserat sätt och ej sättas för högt. I tabellen visas de uppskattningar som förf använt. De är ej riktigare än varje annat motiverat antagande.

Nyttiggörande av personvärme och hushållsenergi beror på hur rummets värmeförsel regleras. Detta gäller naturligtvis även solinstrålningen. Denna värme läggs i botten och värmeförseln via uppvärmningssystemet regleras så att den önskade inomhustemperaturen uppnås. Vid helt avstängd värmeförsel resulterar "basvärmen" i förhöjda inomhustemperaturer. En av de viktigaste åtgärderna vid projektering av lågenergihus är att i första hand utnyttja personvärme, hushållsenergi och solinstrålning för husets uppvärmning och minimera energitillförseln från uppvärmningssystemet.

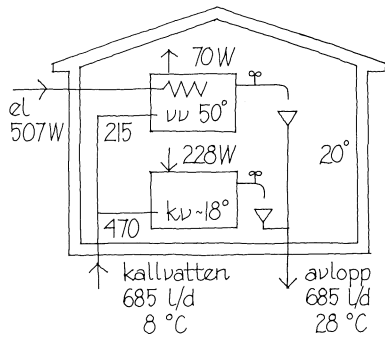
Man har ofta använt benämningen "gratisvärme" för ovanstående värmeförsel. Här har i stället "boendevärme" använts som samlat begrepp för av boendet introducerade värmeförsel och värmeförluster. Dessa inkluderar avloppsförluster men exkluderar solvärme, som behandlas separat.

Antagen nyttiggjord boendevärme.

Månad	Genomsnittlig hushållsel (W)	
	Småhus	Lägenhet
Jan	400	350
Febr	400	350
Mars	300	250
April	300	250
Maj	300	250
Juni	200	150
Juli	200	150
Aug	200	150
Sept	300	250
Okt	300	250
Nov	400	350
Dec	400	350
År	3 700	3 100

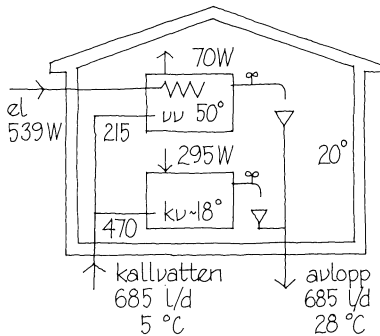
6.8 BOENDEVÄRME

Värmebalans för kall- och varmvatten



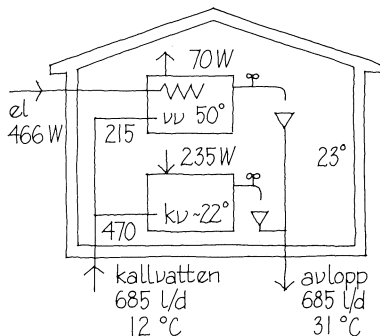
december

avloppsförluster:
15,9 kWh/d
nettoförluster för
husuppvärmningen:
158 W



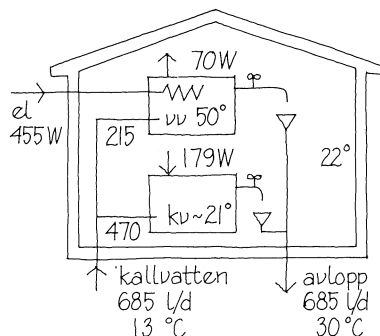
mars

avloppsförluster:
18,3 kWh/d
nettoförluster för
husuppvärmningen:
225 W



juli

avloppsförluster:
15,1 kWh/d
nettoförluster för
husuppvärmningen:
165 W



september

avloppsförluster:
13,5 kWh/d
nettoförluster för
husuppvärmningen:
109 W

Många mätningar och uppskattningar har gjorts beträffande den årliga energiförbrukningen för varmvattenuppvärmning. Vanligen nämnda siffror i den årliga värmebalansen för hus är 5 000 kWh för småhus och 4 000 kWh för lägenheter. Uppmätta värden är väsentligt lägre, 3 500–3 000 kWh.

Nils-Eric Lindsoug har påpekat att kallvatten också värms upp inom byggnaden innan det spolas ut i avloppet. Han har med rätta kallat detta "den försummade värmeförlusten". I rapporten över Täbyprojektet behandlar han detta närmare. Mätningar på hyreshus, utförda av KTH, VA-teknik och Vattenkemi, har visat en genomsnittlig avloppsvattentemperatur på våren av 28°C. Mätningar inom Täbyprojektet indikerar en liknande temperatur. Denna temperatur är naturligtvis beroende av förhållandet mellan direkt kallvattenförbrukning och varmvattenförbrukning och kan därför variera. Dessutom är den beroende av kallvattentemperaturen, som varierar under året.

Med antagandet att den totala kallvattenförbrukningen för ett småhus är 685 liter/dygn, varav för varmvattenuppvärmning använts 215 l/d, visas i figuren uppskattade värmebalanser för vattenanvändningen i ett småhus med fyra personer. I december har kallvattnet en temperatur = 8°C. En del av kallvattnet går till varmvattenberedaren där det värms upp till 50°C. Beredare avger genom sin isolering en del värme till huset, här satt till 70 W. Totalt tillförs beredaren genomsnittligen 507 W. Om avloppsvattnets temperatur är 28°C så har den rena kallvattenförbrukningen, 470 l/d, värmts upp till 18°C innan det går ut i avloppet. För detta krävs 228 W, vilket tillförs från huset. Nettoförlusterna för huset blir $(228 - 70) = 158$ W, vilket belastar husets uppvärmningssystem. Dessa blir högst i mars, 226 W, och lägst i september, 112 W.

Mätningar på hyreshus inom det s k Stockholmsprojektet tyder på att avloppsförlusterna är något mindre än värmebehovet för varmvattenuppvärmning.

Uppskattade värmebalanser för vattenförbrukningen i ett småhus (4 personer).

6.9 ENERGIOMVANDLING

I rum, byggnad eller värmecentral

Tidigare i detta kapitel har visats hur man genom värmeisolering och glas kan utnyttja solvärme och boendevärme för klimatisering av byggnader. Man kallar detta för *passiv klimatisering*. På vintern är emellertid detta ej tillräckligt för att i Sverige åstadkomma ett önskvärt inomhusklimat. Extra värme måste tillföras byggnaden.

Tillskottsvärme kräver någon form av energiomvandling, t ex:

- bränsle till värme
- bränsle till elkraft + värme
- vattenfall till elkraft
- elkraft till värme
- elkraft till värmepump till värme
- sol till värme

Energiomvandlingen kan ske i rummet, i byggnaden, i kvarterscentral eller i en större central för hel stad eller stadsdel. När energiomvandlingen sker i en central krävs ett distributionsystem för att transportera det heta vattnet till de olika byggnaderna (fjärrvärmenät, kulvertnät).

I rummet kan följande energiomvandling ske:

- bränsle till värme (spis, kamin, kakelugn)
- elkraft till värme (elvärme)

Inom byggnaden kan energiomvandling ske genom:

- bränsle till värme (panna)
- bränsle till elkraft + värme (dieseloljedriven värmepump)
- elkraft till värme (vattenburen värme, varmluft)
- elkraft till värmepump till värme
- sol till värme (solfångare)

Centralt kan energiomvandling ske på alla de sätt som uppräkningsen under tillskottsvärme visar.

6.9 ENERGIOMVANDLING

Förbränning av bränsle

Förbränning av fossila ämnen har sedan urminnes tider utgjort den värmekälla, som förmått skapa ett bättre inomhusklimat än vad enbart passiva åtgärder kan ge. Några vanliga bränslen samt deras värmeinhåll per ton anges nedan:

Gasol:	12 800 kWh/ton
Fotogen:	11 800
Eldningsolja 1:	11 800
Eldningsolja 4:	11 400
Antracit:	9 100
Koks:	7 900
Stenkol:	7 600
Ved (25 % fukthalt):	ca 3 800
Ved (45 % fukthalt):	ca 3 100
Torv (50 % fukthalt):	ca 2 600

Ur hanteringssynpunkt är det viktigt att veta hur stort utrymme respektive bränsle upptar i löst mått. Värmeinhållet i löst mått är:

Eldningsolja 4:	10 900 kWh/m ³
Eldningsolja 1, fotogen:	10 100
Gasol:	6 700
Stenkol:	6 000
Ved:	1 100–1 400
Torv:	ca 1 100
Flis:	ca 700

Ved kräver 8–10 gånger så stort utrymme som olja och flis 15–20 gånger så stort utrymme. Om buffertlagren ej skall bli alltför omfattande krävs kontinuerlig bränsletillförsel med ökad sårbarhet för anläggningen.

Vissa bränslen, såsom gasol, kräver speciella lagringsanordningar. Skall naturgas användas krävs ett stort gasnät med kontinuerlig gastillförsel.

6.9 ENERGIOMVANDLING

Val av energislag

Energiförsörjningen betraktas som en samhällets angelägenhet. Således åligger det kommuner att upprätta planer, där man tar ställning till hur olika delar av kommunen skall försörjas med värme. Många kommuner har redan stora centraler, där elkraft produceras och värmeöverskottet används för uppvärmning. Denna värme levereras som hett vatten i ett fjärrvärmenät. Man har naturligtvis värmeförluster från detta nät. Ju mindre värme man transporterar i en ledning desto större blir den relativa värmeförlusten. I områden med villor eller radhus kan värmeförlusterna genomsnittligt under året bli 30 %. Huvudledningar med stor värmetransport får förhållandevis små förluster.

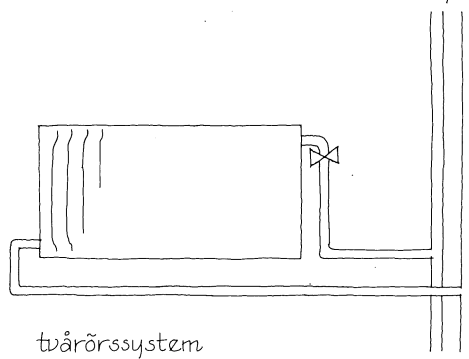
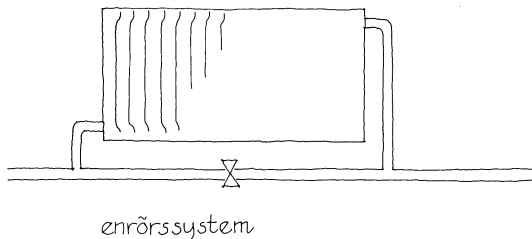
I nya områden med energisnål bebyggelse blir förlusterna i fjärrvärmenätet relativt stora. Värmetätheten inom områdena blir inte mer än 1/3–1/4 av vad som var vanligt före oljekrisen 1973. Detta påverkar också de relativa fjärrvärmenätskostnaderna, som blir höga. Fjärrvärmesystem ger dessutom höga fasta årliga kostnader på grund av att central och nät skall amorteras och förräntas. Detta medför att lönsamheten för fjärrvärme blir diskutabel vid låg energitäthet. Ett alternativ är då direktverkande elvärme, som har låga anläggningskostnader och måttlig energikostnad. Tyvärr har kärnkraftfrågans politiska handläggning försvårat ett rationellt val av energislag. Förräntningen av befintliga fjärrvärmeverk styr dessutom planerna för kommuners energiförsörjning.

Enligt förslag av den sk ELAK-utredningen skall direktverkande elvärme vara tillåtet om byggnaderna är energisnåla. Detta har definierats så att de skall ha 40 % mindre energiförbrukning än ett hus byggt enligt SBN 80. Detta är inte orimligt. Man har emellertid också antytt att man sedermera bör skärpa detta krav till en reduktion på 60–70 %. Detta är inte rimligt och skulle leda till ett framtida förbud mot direktverkande elvärme.

6.10 VÄRMNING Distribution

Den primära energin kan omvandlas till en lämplig energiform, vanligen

varmt vatten
varm luft
elektricitet



Distributionen av varmt vatten sker genom ett rörsystem och värmen tillförs rummet genom en värmare. Rörsystemet är av enrör- och tvårörstyp. I det förstnämnda systemet är värmarna seriekopplade och det varma vattnet "stryps" upp i värmaren, ju större strypning desto mer vatten till värmaren. Vid tvårörssystemet är värmarna parallellkopplade och vattentillförseln regleras med en ventil på tillloppet. Värmarna är antingen av konvektortyp, där nästan all värme tillförs förbipasserande luft, eller av radiortyp, där den varma ytan dels värmer luft dels strålar mot rummet. Nämnade typer av värmare är i regel ganska lättreglerade. Varmt vatten kan också värma ett golv eller ett tak genom inlagda värmror. Då blir hela ytan en värmare, som ej behöver ha särskilt hög temperatur. Om golvet resp taket är av betong och varmvattenrören ingjutna i betongen blir emellertid värmeavgivningen svårreglerad på grund av konstruktionens värmetroghet.

Om primärenergien omvandlats till varm luft så sker distributionen i kanaler och den varma luften tillförs rummet genom inblåsningsdon. Eftersom lufttemperaturen hos inblåsningsluften av hygieniska skäl måste begränsas så krävs stora luftmängder, vilket kräver recirkulation. Det är svårt att reglera värmeförseln till varje rum eftersom man då antingen måste reglera inblåsningstemperaturen eller luftmängden för varje rum. Båda alternativen är komplicerade. En annan nackdel med varmluftssystem är att läckor är svåra att upptäcka.

Elektriciteten är lätt att distribuera inom en byggnad. Den kan i varje rum omvandlas så att den värmer luft eller en yta. Värmeavgivningen är lätt att reglera.

6.10 VÄRMNING

Några olika uppvärmningssystem

Rumsuppvärmningen bör ske på ett sätt som är komfortabelt för brukarna och så energiekonomiskt som möjligt. Det är svårt att göra komfort- och energistudier i bebodda hus. Man har därför valt att studera problemet i speciellt uppbyggda försöksrum.

En sådan undersökning har rapporterats av Olesen & Thorshauge 1979. De har byggt upp ett försöksrum enligt övre figuren. I detta rum har man utvärderat följande nio uppvärmningssystem:

Radiator 1.1 under fönstret och täckande nästan hela fönsterbröstningen ($L \times H = 2,00 \times 0,55$ m). Vattentemperatur = 39°C .

Radiator 1.2 under fönstret ($H \times L = 1,20 \times 0,55$ m). Vattentemperatur = 42°C .

Radiator 1.3 på bakre väggen ($H \times L = 1,20 \times 0,55$ m). Vattentemperatur = 52°C .

Takvärme 2.1 med aluminiumplåtar som värms genom varmvattenrör fästa på plåtarna. Framledningsvatten vid fasad och returvatten vid bakre vägg. Vattentemperatur = 35°C .

Golvvärme 3.1 med elektrisk motståndsfolie över hela golvet täckt med en 2 mm aluminiumplåt.

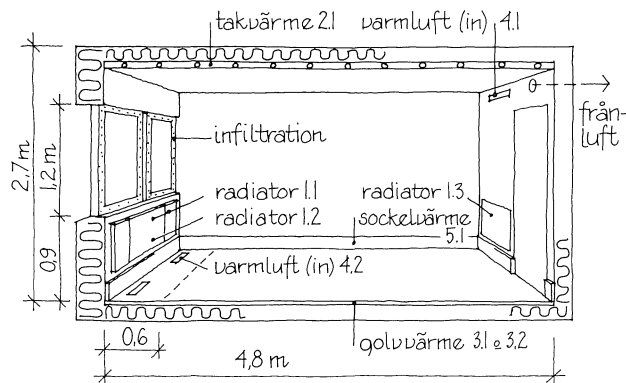
Golvvärme 3.2 som 3.1 men 0,6 m intill fasadväggen gavs en högre effekt så att yttemperaturen blev 29°C .

Varmluft 4.1 med tilluft upptill på bakre väggen. Luftmängd motsvarande 4 luftomsättningar per timme, lufthastighet vid donet = $1,2$ m/s ($L \times H = 0,80 \times 0,05$ m) och lufttemperaturen = 35°C .

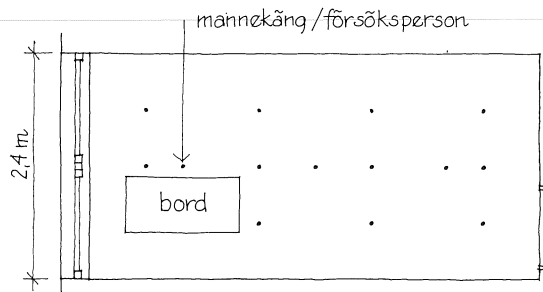
Varmluft 4.2 med två tilluftsdon i golvet nära fönstret, 4 luftoms/h, lufthastighet = $1,2$ m/s ($L \times H = 0,40 \times 0,05$ m) och lufttemperatur = 33°C .

Sockelradiatorer 5.1 utgörande elektriska panelradiatorer med höjden = $0,20$ m längs hela periferin. Effekten var störst vid fasad.

Komforten har bestämts dels med en termisk mannekäng dels med försökspersoner. Rummen har först studerats med mannekängen vid ett bord (nedre figuren) och uppvärmningen har injusterats så att god komfort erhålls.



Försöksrum med olika uppvärmningssystem.



Mätpunkter.

6.10 VÄRMNING Komfort

I mannekängförsöken placerades mannekängen vid bordet, som står nära fasadväggen (nedre figuren, föregående sida). Utanför fasadväggen hade man -5°C och inne i rummet den temperatur som ger mannekängen samma komfort som ett rum med luft- och yttemperaturen 22°C . "Hudtemperaturer" uppmättes på mannekängen liksom även luft- och medelstrålningstemperaturer samt lufthastigheter. Med Fangers, 1970, komfortekvationer bestämdes hur många personer som skulle vara missnöjda med rumsklimatet. Betr "mannekänger", se kap 5.

Alla nio uppvärmningssystemen kunde skapa ett anmärkningsvärt jämnt termiskt klimat inom hela vistelsezonen i rummet. Endast ca 5 % var missnöjda i de åtta fallen medan för fallet med radiatorn på bakväggen ca 8 % skulle vara missnöjda nära radiatorn. Lufthastigheterna var sällan högre än 0,05 m/s om man undantar zonen nära golvet. Där kan man ibland nå upp till 0,15–0,20 m/s, vilket skulle kunna ge dragkänsla.

Vid försöken med människor fick man liknande resultat. Inget av uppvärmningssystemen orsakade någon allvarlig diskomfort för personer sittande nära fasadväggen under vinterförhållanden i Danmark (-5°C).

Liknande resultat har erhållits vid undersökningar vid SINTEF, se Norske Elektrisitetsverkens Förening, publikasjon 254–1978. För stillasittande verksamhet fann man att konvektorer och radiatorer vid fasadvägg, takvärme och golvvärme ger god och lika komfort. Man fann också att uppvärmningsbehovet var nära detsamma för alla systemen.

Det har ofta hävdats att takvärme skulle ge obehaglig värmekänsla på huvudet. Nämnade undersökningar, liksom Adamson & Löfstedt, 1971, visar emellertid att så ej blir fallet. Sannolikt är moderna hus så energisnåla att taktemperaturen kan hållas lägre än ca 30°C . Det har vidare hävdats att det varma taket skulle ge ett avsevärt tillskott till den operativa temperaturen, vilket skulle medge lägre lufttemperatur. Detta bekräftas ej av undersökningar.

6.11 KYLNING

Extra ventilation

I Sverige och andra länder med liknande klimat utformas byggnader primärt för vinterfallet varvid värmehushållning är väsentlig. Sommaren med dess risk för övertemperaturer behandlas ofta inte alls och bekymren kommer som en överraskning. I projekteringsuppgiften ingår naturligtvis också att man skall tillse att rumstemperaturerna på sommaren ej blir okomfortabla. Vid vissa typer av byggnader har man stora värmestillskott från personer och elektriska apparater, tex kontor, skolor, sjukhus. I sådana lokaler kan man få övertemperaturer redan under soliga vinterdagar.

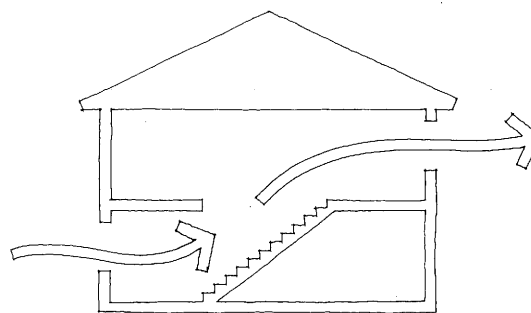
I byggnader, där övertemperaturer uppträder framför allt på sommaren men också under soliga vår- och höstdagar, tex bostäder, kan en ökad ventilation vara lösningen på kylproblemet. Normalt är det kallare ute än inne, även på sommaren, och man kan då utnyttja uteluften för kylning av rumsluften. En ökad ventilation kan åstadkommas antingen genom att fläktarna varvas upp i byggnader med mekanisk ventilation eller genom fönstervädning. Ett öppet fönster kan ge 5–10 luftomsättningar per timme, vilket kan vara svårt att uppnå vid mekanisk ventilation.

Vädning som metod för kylning måste beaktas vid projekteringen. Man måste bestämma vilka fönster som skall öppnas och hur mycket. Man måste tillse att ett öppet fönster inte ger drag eller annat obehag. Man måste vidare välja ut fönstren så att man har nytta av den förhärskande vindriktningen under den tid då man behöver den extra ventilationen samt söka utnyttja skorstenseffekten (in i bottenvåningen och ut i övervåningen). Vidare måste man beakta inbrottssäkerheten. Man kan nämligen inte förutsätta att människor alltid vistas i de rum som vädras. Snarare är det så att man kanske helst vädrar då ingen finns i rummet.

Vid mekanisk ventilation kan det vara svårt att öka luftomsättningen till mer än 4–6 ggr den normala utan att drag och oljud uppstår. Dessutom kostar det ökade fläktarbetet energi.

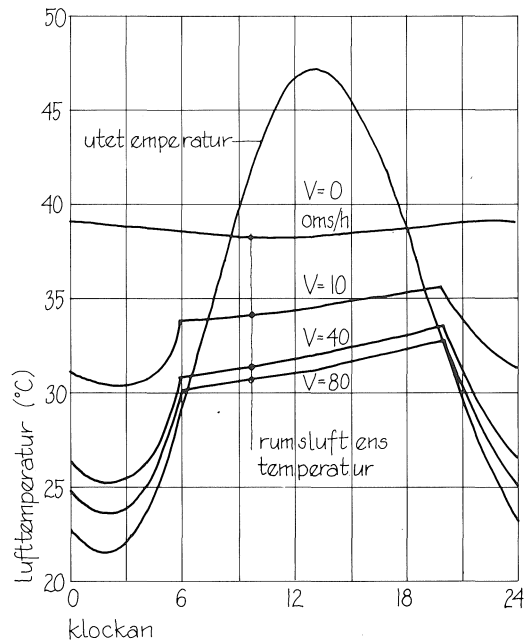
enligt schweizisk undersökning (vinterförhållanden):

stängt fönster	0,15 luftoms/h
öppet fönster, 100 mm	2,5 luftoms/h
öppet fönster, 45°	6,0 luftoms/h
öppet fönster, helt öppet	7,5 luftoms/h



Korsdragsventilation.

6.11 KYLNING Nattventilation



Rumsluftens temperatur vid olika nattventilation v (2100–0600) för extremt Aswan-klimat (Elawa, 1981). Byggnad med ytterväggar av 400 mm sandsten och tak av 100 mm betong med 50 mm värmeisolering. Ingen infiltration.

Utelufttemperaturen på natten är lägre än på dagen, vilket kan utnyttjas för att kyla en byggnad. Man kylar ned densamma under natten genom ökad ventilation och tillsluter den under dagen under beaktande av att minimiventilation upprätthålls. Temperaturskillnaden mellan dag och natt beror på klimattyp. Några värden på skillnaden mellan den genomsnittligt högsta temperaturen och genomsnittligt lägsta temperaturen under juli månad blir för några orter:

Stockholm	$T_{\max} - T_{\min} = 8^{\circ}\text{C}$
München	$= 11^{\circ}\text{C}$
Bagdad	$= 19^{\circ}\text{C}$
Aswan (Egypten)	$= 15^{\circ}\text{C}$
Singapore	$= 7^{\circ}\text{C}$

För att få effekt på kylning med nattventilation måste man kunna lagra upp kyla i byggnadsstommen eller i något speciellt kylager. Detta kan antingen ske genom att byggnaden ventileras kraftigt under natten eller genom att stommen kyls ned med hjälp av kall nattluft som förs genom densamma, t ex i ett hålbjälklag eller en dubbelväggskonstruktion. Konstruktionen bör lämpligen utgöras av betong eller tungt tegel.

Som framgår av temperaturdifferenserna ovan så har Sverige förhållandevis liten temperaturdifferens medan ökenklimat har stor temperaturdifferens. Varmt och fuktigt klimat som i Singapore har också liten temperaturdifferens.

I figuren visas effekten av nattventilation i Aswan-klimat, Elawa, 1981. Man ser att under extremdygn svänger utetemperaturen mellan 47°C på dagen och 22°C på natten. Utan nattventilation skulle man inne få 39°C under hela dygnet. Den jämna temperaturen beror på den extremt tunga byggnaden. Med 10 luftsättningar per timme, vilket är möjligt med termiska krafter, sänks maximitemperaturen inne till ca 35°C och med 40–80 oms/h, vilket kräver genomdragsventilation med vind, är man nere i ca 33°C.

6.11 KYLNING

Mekanisk kylning

Om man inte kan kyla en byggnad på ett passivt sätt genom utnyttjande av byggnaden själv, så måste man tillgripa någon form av mekanisk kylning. Detta kan göras på två skilda sätt:

Konvektivt genom att kyla ventilationsluften till rummen.

Strålningsmässigt genom att en yta, tex delar av ett tak, kyls ned till lägre temperatur än rumsluften.

I det första fallet begränsas kylförmågan av hur mycket kall luft man kan tillföra utan drag. I det senare fallet begränsas kylningen av hur låg temperatur man kan ge en yta utan att det är risk för kondensation.

Vid konvektiv kylning krävs det ofta stora luftmängder för att tillföra rummet den kylmängd som behövs för att uppnå önskad temperatur. Detta medför att kanalsystemet måste dimensioneras upp i förhållande till vad som skulle krävas vid enbart hygienisk ventilation. Om man under en del av dygnet behöver kylning medan man under en annan del behöver uppvärmning, tex i kontor under soliga vinterdygn, så måste man *uppofta* både uppvärmningsenergi och en del kylenergi.

Ett "energistyrningssystem" som är speciellt ekonomiskt för kontor och liknande byggnader med stort värmetillskott under dagtid är *fyrörssystemet med värmepump*. Man har då fyra rör för fram- och returledning av varmt vatten resp kylt vatten till en induktionsapparat i varje rum. Denna apparat antingen värmer eller kyler rummet och kan lätt regleras så att önskad temperatur erhålls. Ventilationen till och från rummet bestäms enbart av hygieniska krav. När man skall kyla returvattnet från rummen används en isackumulator och vid värmning en varmvattenackumulator. De två ackumulatorerna laddas av en värmepump som på ena sidan lämnar kall vätska och på andra sidan varmt vatten. Systemet är ekonomiskt både ur anläggnings- och driftskostnadssynpunkt.

6.12 HUSETS KÄNSLIGHET FÖR ENERGIBORTFALL

Olika problem vid energibortfall

Vid bortfall av elenergi i en byggnad slutar det mesta att fungera. Direktverkande elradiatorer slutar avge värme, varmvattenradiatorer kallnar, eftersom cirkulationspumpen stannar, oljeeldningsaggregatet slutar att fungera liksom även spis, kylenheter, hushållsmaskiner etc. Detta kan vara lätt överkomliga besvär om de är kortvariga, några timmar eller så. Om energibortfallet varar några dagar kommer innetemperaturen att sjunka och närmar sig utetemperaturen. På vintern kan således innetemperaturen bli mycket låg.

En kortvarig temperatursänkning kan, förutom att det blir omöjligt att vistas i huset, ge upphov till

*ytkondens på rumsytor, främst fönster
ev frysning i värme-, vatten- och avloppssystem
svällning i vissa material i huset*

Om energibortfallet blir långvarigt eller om man fortfarande bor kvar i huset fast med sänkt innetemperatur kan man få ytterligare problem. Fuktproblemen kan bli ytterligt accentuerade eftersom man genom fortsatt boende har kvar fuktillförsel från människor, matlagning, växter etc. Det är framför allt följande problem som uppkommer:

*ytkondens med mögel
fuktskador i väggar och tak på grund av kondens i konstruktionen
fuktskador i väggar på grund av bristande uttorkning efter slagregn
fuktskador på grund av markfukt
frysning och tjälhävning under grundkonstruktionen*

6.12 HUSETS KÄNSLIGHET FÖR ENERGIBORTFALL

Fuktskador

En sommarstuga kan stå kall under hela vintern utan att man får några fuktproblem inomhus. Innetemperaturen är nästan så låg som utetemperaturen – solstrålningen gör att innetemperaturen blir något högre än ute. Den relativa fuktigheten hos inneluften blir då lika med eller något lägre än utomhus. Detta betyder att under molniga dagar blir den relativa fuktigheten inomhus 80–90%. Detta kan ge problem med svällning hos vissa material. Mögel inomhus är dock sällsynt. Under den tid huset står uppvärmt kan ytterväggar och ev tak fuktas ned av regn och vara nedfuktade under längre tid, eftersom man inte har någon värmeström inifrån som kan torka ut väggen. Kryprumsbjälklag av trä är synnerligen olämpliga för sommarhus eftersom man i regel får fuktskador i bjälklaget.

Sommarhusets problem gäller också för hus som lämnas uppvärmda under lång tid. Om emellertid ett uppvärmt hus periodvis tas i bruk så kan man temporärt få kondens på kalla ytor, vilka ej värms upp lika snabbt som rumsluften. Om uppvärmningsperioden är tillräckligt lång så kan denna fukt torka ut och förorsakar då inga problem.

Fuktproblemen blir mer akuta om man i byggnader med fukttillförsel från de boende, matlagning, växter osv samtidigt har låg rumstemperatur i hela eller delar av huset. Vid avstängning av vissa rum måste man tillse att fukt från bebodda rum inte kan komma in i de kalla obebodda rummen och där kondensera på de kalla rumsytorna. Flitigt dörröppnande eller otäta dörrar och väggar kan medföra stor fukttillförsel. Om rumstemperaturen i ett hus genomsnittligen hålls låg kan man få ytkondens på rumsytor. Den ofta höga relativa fuktigheten i rummen kan då förhindra uttorkning och man får mögelbildning och ev röta. *En genomsnittlig rumstemperatur lägre än ca 15°C är ej att rekommendera om man har normal fukttillförsel. Om vissa rum planeras vara uppvärmda eller endast delvis uppvärmda skall innerväggar och dörrar konstrueras med hänsyn därtill.*

6.12 HUSETS KÄNSLIGHET FÖR ENERGIBORTFALL

Skador på grundläggning

Om en byggnad lämnas uppvärmd under längre tid kan man under vintern få tjälproblem. Förutsättningen är naturligtvis att grundläggningen skett på tjälskjutande mark samt att värmeströmningen från huset har förutsatts utnyttjad för att reducera grundläggningsdjupet. Detta gäller både "platta på mark" och kryprumsgrundläggning. Har man förutsatt nedkylning och grundlagt på fullt frostfritt djup föreligger inga tjälproblem.

Man kan lämna en byggnad med reducerad temperatur under en kortare tid eftersom man har stor värmetröghet i jordmassan. För grundläggning med platta på mark har detta studerats i Adamson et al, 1973. Det visar sig att man får en obetydlig ökning av frostnedträngningen om rumstemperaturen under ca fyra veckor sänks från 20°C till 5°C i förhållande till att byggnaden värms till 20°C. Om man sänker rumstemperaturen under vintern så kommer man att få en omvänd värmeströmning. Det blir varmare i den värmetröga jordmassan än i huset och fukt kan transporteras nedifrån och uppåt. Det måste betonas att en riskbedömning betr fuktskador bör göras och om man sänker temperaturen under en viss tid på vintern, måste detta meddelas ägarna genom skyltning.

För kryprumsbjälklag, som studerats i Adamson et al, 1971, är risken för ökad frostnedträngning om rumstemperaturen under viss tid under vintern sänks till 5°C större än vid platta på mark. Man bör nog begränsa en sådan temperatursänkning till ett par veckor. Om temperaturen inomhus sänks så sänks temperaturen i kryprummet och den relativa fuktigheten i detsamma ökar. Om markytan är belagd med plast som hindrar fuktvandring från marken upp till kryprumsluften så torde inverkan av en kortvarig sänkning av rumstemperaturen vara obetydlig.

Om en byggnad med kryprumsbjälklag förutsätts uppvärmd under hela vintern och grundläggningsdjupet bestämts med hänsyn härtill, så måste fuktförhållandena i kryprummet särskilt beaktas. *Det är absolut nödvändigt att hindra markfukten att tränga upp genom att täcka marken med en varaktig plastfolie el dyl.*

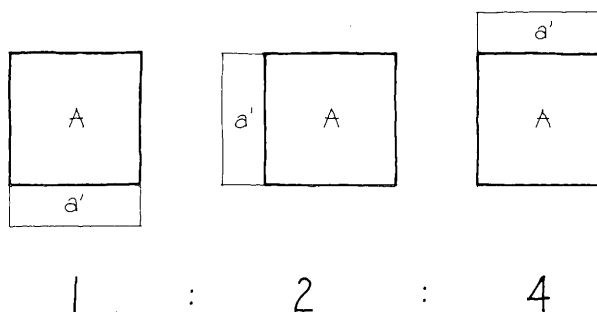
6.13 DAGSLJUS – TILLSATSLJUS – ett balanseringsproblem

Dagsljuset har i alla tider tagits tillvara för belysning inomhus. I heta klimatzoner är man sparsam med oskyddade ljusöppningar för att hålla värmen ute. På våra breddgrader är man sparsam med fönsterytan för att inte förlora värme. Vid små rumsdjup klarar man sig belysningsmässigt sett bra med relativt små fönsteröppningar, 8–12% av golvytan, under förutsättning att tak- och väggytor genom reflektion bidrar till ljusspridningen i rummet. Vid större rumsdjup med arbetsplatser i inre rumszon ges lokaler normalt en högre rumshöjd. Högre fönster kan då medges och därmed erhåller man ett bättre dagsljus på de längre in belägna platserna.

Ett högt beläget ljusinfall är mycket effektivare ur belysningssynpunkt än ett lågt. I ett normalt fönster är det ljus som faller in nära fönstrets överkant 4 gånger så effektivt som infallande ljus i fönstrets underkant. Medveten om detta förhållande kan man vid utformningen av rum och dess dagsljusstillgång ekonomisera med ljusöppningarna till storlek och läge. Värmeförlusten, liksom också värmetillskottet, över ett fönster är däremot direkt proportionell mot ytan.

Dimensioneringen av fönsterytans storlek och läge blir i ett lågenergihus beroende av orientering, rummets form, mått och funktion, rumsytornas reflektion, värmeupptagande och -avgivande egenskaper samt av önskvärd temperaturhållning och dagsljus kvalitet i rummet.

När dagsljuset blir otillräckligt inomhus måste det kompletteras eller ersättas med ett tillsatsljus. Genom att välja lämpliga och effektiva armaturer med hänsyn till kravet på goda syn- och läsförhållanden kan man förbättra ljus kvaliteten utan att öka energiuttaget. *Ingen energibesparing hur tekniskt-ekonomisk den än kan vara får inkräkta på tillgodoseendet av ett bra dagsljus.*



7. OM LÖNSAMHET

- 7.1 NUVÄRDE
- 7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING
- 7.3 ENERGISPARKOSTNAD
- 7.4 BESPARINGSKOSTNAD
- 7.5 KAPITAL BEHÖVS!
- 7.6 EN STRATEGI INFÖR EN OSÄKER FRAMTID

7.1 NUVÄRDE

Framtida inkomster eller utgifter

Om man disponerar ett kapital, A kronor, så kan man placera detta i en bank och få ränta på detsamma. Med räntan r blir det *framtida värdet* efter n år $f \cdot A$, där

$$f = (1+r)^n$$

I övre tabellen ges värden på f .

Det framtida värdet på ett kapital är alltså högre än dagens värde – vi räknar då inte i realvärde, dvs med hänsyn tagen till inflation. Analogt så är dagens värde av en framtida inkomst eller utgift lägre än det belopp som då gäller. Dagens värde kallas i sådant fall *nuvärdet* eller det *diskonterade värdet* av den framtida inkomsten eller utgiften A , dvs

$$N = p \cdot A$$

$$p = \frac{1}{(1+r)^n}$$

där p kallas *diskonteringsfaktor*. Det är uppenbart att $p = 1/f$. Diskonteringsfaktorn p visas i nedre tabellen.

Exempel: Om man måste vidta en åtgärd vart 10:e år i 50 år så blir det diskonterade värdet av dessa upprepade utgifter vid räntan $r = 10\%$:

dagens kostnad	1,0 A
kostnad om 10 år	0,386 A
kostnad om 20 år	0,149 A
kostnad om 30 år	0,057 A
kostnad om 40 år	0,022 A
kostnad om 50 år	0,009 A
	1,623 A

Dagens värde blir således 1,623 A. Tillskottet från utgifter långt in i framtiden blir ytterst ringa.

Framtida värde f efter n år av 1 krona vid räntan $= r$ eller framtida kostnad $f \cdot A$ när dagens kostnad är A och penningvärdesförsämringen $= q$ per år.

n år	f vid r (resp q) =						
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %
1	1,020	1,040	1,060	1,080	1,100	1,120	1,140
5	1,104	1,217	1,338	1,469	1,611	1,762	1,925
10	1,219	1,480	1,791	2,159	2,594	3,106	3,707
15	1,346	1,801	2,397	3,172	4,177	5,474	7,138
20	1,486	2,191	3,207	4,661	6,727	9,646	13,74
25	1,641	2,666	4,292	6,848	10,84	17,00	26,46
30	1,811	3,243	5,743	10,06	17,45	29,96	50,95
40	2,208	4,801	10,29	21,73	45,26	93,05	188,9
50	2,692	7,107	18,42	46,90	117,4	289,0	700,2

Diskonteringsfaktor p vid räntan $= r$

n år	p vid r =						
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %
1	0,980	0,962	0,943	0,926	0,909	0,893	0,877
5	0,906	0,822	0,747	0,681	0,621	0,567	0,519
10	0,820	0,676	0,558	0,463	0,386	0,322	0,270
15	0,743	0,555	0,417	0,315	0,239	0,183	0,140
20	0,673	0,456	0,312	0,215	0,149	0,104	0,073
25	0,610	0,375	0,233	0,146	0,092	0,059	0,038
30	0,552	0,308	0,174	0,099	0,057	0,033	0,020
40	0,453	0,208	0,097	0,046	0,022	0,011	0,005
50	0,372	0,141	0,054	0,021	0,009	0,003	0,001

7.1 NUVÄRDE Årliga inkomster eller utgifter

Man kan också räkna fram nuvärdet av framtida årliga inkomster eller utgifter. Om räntan är r och den årliga inkomsten eller utgiften faller ut i *början* av året så blir nuvärdet för n årliga, lika stora kostnader — eller avkastningar ($D_{\text{år}}$):

$$N = p_n \cdot D_{\text{år}}$$

där

$$p_n = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{\frac{r}{1+r}}$$

Om inkomsten eller utgiften inträffar i *slutet* av året blir:

$$p'_n = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^n}{r}$$

Om vi vill jämföra två alternativ med årliga kostnader = $D_{1,\text{år}}$ resp $D_{2,\text{år}}$ så blir den högsta tillåtna investeringsskillnaden:

$$I_1 - I_2 = p_n (D_{2,\text{år}} - D_{1,\text{år}})$$

dvs nuvärdet av de lägre årliga kostnaderna för alternativ 1 skall betala den ökade investeringen ($I_1 - I_2$).

Diskonteringsfaktorn p_n visas i övre tabellen för olika ränta och med utnyttjandetiden varierande mellan 10 och 50 år. Faktorn p'_n visas i nedre tabellen.

Diskonteringsfaktor p_n (inkomst eller utgift i början av året).

Utnyttj- ningstid n år	Diskonteringsfaktor p_n vid ränta $r =$						
	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%
10	9,16	8,44	7,80	7,25	6,76	6,33	5,95
15	13,11	11,56	10,29	9,24	8,37	7,63	7,00
20	16,68	14,13	12,16	10,60	9,36	8,37	7,55
25	19,91	16,25	13,55	11,53	9,98	8,78	7,84
30	22,84	17,98	14,59	12,16	10,37	9,02	7,98
40	27,90	20,58	15,95	12,88	10,76	9,23	8,10
50	32,05	22,34	16,71	13,21	10,91	9,30	8,13

Diskonteringsfaktorn p'_n (inkomst eller utgift i slutet av året).

Utnyttj- ningstid n år	Diskonteringsfaktor p'_n vid ränta $r =$						
	2%	4%	6%	8%	10%	12%	14%
10	8,98	8,11	7,36	6,71	6,14	5,65	5,22
15	12,85	11,12	9,71	8,56	7,61	6,81	6,14
20	16,35	13,59	11,47	9,82	8,51	7,47	6,62
25	19,52	15,62	12,78	10,67	9,08	7,84	6,87
30	22,40	17,29	13,76	11,26	9,43	8,06	7,00
40	27,36	19,79	15,05	11,92	9,78	8,24	7,11
50	31,42	21,48	15,76	12,33	9,91	8,30	7,13

7.1 NUVÄRDE

Realt nuvärde av framtida kostnader

Om den allmänna prisnivån stiger år från år så föreligger en penningvärdesförsämring eller en inflation. Ofta beräknas denna ur ett konsumtionsprisindex. Stiger konsumtionsprisindex med 10 % per år så är penningvärdesförsämringen 10 %. Med *penningvärdesförsämringen* = q blir utgiften om n år:

$$A_1 = (1+q)^n \cdot A = f \cdot A$$

där f erhålls ur övre tabellen sid 182 (med q i stället för r). Ibland vill man räkna bort inflationen och talar om *realvärde*. Detta betyder att man ställer utgiften i relation till prisläget vid tillfället i fråga.

Exempel: Kostnaden för en vara eller tjänst är idag 100 kronor. Vi antar att penningvärdesförsämringen $q = 8$ % per år. Kostnaden A om 10 år blir då

$$A_1 = 2,159 \cdot 100 = 216 \text{ kronor}$$

Det *reala nuvärdet* är emellertid inte mer än dagens kostnad = 100 kronor.

Exempel: Om vi i det tidigare exemplet hade en penningvärdesförsämring $q = 8$ % så blir det reala nuvärdet:

dagens kostnad	1,0	A
kostnad om 10 år:	$2,159 \cdot 0,386 \cdot A =$	0,83 A
kostnad om 20 år:	$4,661 \cdot 0,149 \cdot A =$	0,69 A
kostnad om 30 år		0,57 A
kostnad om 40 år		0,48 A
kostnad om 50 år		0,40 A
		<hr/>
		3,97 A

Om $q =$ räntan r så blir $A_1 = A$, vilket innebär att nuvärdet för ovanstående exempel blir $6 \cdot A$. Man ser att penningvärdesförsämringen starkt påverkar nuvärdet.

7.1 NUVÄRDE

Realt nuvärde av årliga besparingar eller kostnader

Diskonteringsfaktorn p_n vid ökande årlig kostnad, $q\%$ per år (kostnad i början av året).

n		Ränta $r = 4\%$ och $q =$					
år	0%	2%	4%	6%	8%	10%	12%
10	8,44	9,18	10	10,91	11,92	13,04	14,28
15	11,56	13,14	15	17,18	19,80	22,87	26,51
20	14,13	16,74	20	24,11	29,31	35,89	44,23
25	16,25	20,00	25	31,72	40,79	53,11	69,90
30	17,98	22,96	30	40,08	54,67	75,92	107,1

n		Ränta $r = 8\%$ och $q =$					
år	4%	6%	8%	10%	12%	14%	16%
10	8,49	9,21	10	10,88	11,84	12,91	14,09
15	11,67	13,20	15	17,11	19,59	22,50	25,93
20	14,31	16,84	20	23,94	28,88	35,08	45,87
25	16,49	20,16	25	31,43	40,02	51,55	67,07
30	18,30	23,18	30	39,64	53,39	73,14	101,7

n		Ränta $r = 10\%$ och $q =$					
år	6%	8%	10%	12%	14%	16%	18%
10	8,51	9,22	10	10,86	11,81	12,85	14,00
15	11,72	13,23	15	17,07	19,49	22,33	25,66
20	14,39	16,89	20	23,86	28,68	34,70	42,24
25	16,61	20,24	25	31,30	39,66	50,83	65,78
30	18,45	23,28	30	39,43	52,80	71,87	99,23

n		Ränta $r = 12\%$ och $q =$					
år	8%	10%	12%	14%	16%	18%	20%
10	8,54	9,23	10	10,84	11,77	12,79	13,91
15	11,77	13,26	15	17,03	19,40	22,17	25,41
20	14,47	16,94	20	23,79	28,49	34,34	41,64
25	16,72	20,31	25	31,17	39,32	50,15	64,56
30	18,60	23,38	30	39,23	52,23	70,66	96,92

På grund av ökande löner och priser ökar driftskostnaderna år från år. Samma gäller också energibesparingar, vilka ökar på grund av ökande energipriser.

Om vi antar att besparingen eller kostnaden årligen ökar med $q \cdot D_{\text{år}}$ och att densamma faller ut i början av året så blir diskonteringsfaktorn

$$p_n = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^n}{\frac{r-q}{1+r}}$$

Om besparingen eller kostnaden faller ut i slutet av året blir

$$p'_n = \frac{p_n}{1+r}$$

I tabellen visas diskonteringsfaktorn p_n för några värden på räntan r , den årliga ökningen q i kostnaden och antalet år n , som investeringen beräknas bli utnyttjad.

Tabellen ger några beaktansvärda besked. För det första så ser vi att när $q = r$ så blir diskonteringsfaktorn $p_n = n$, dvs lika med det antal år som investeringen beräknas bli utnyttjad. För det andra finner vi att vi får ungefär samma värde på diskonteringsfaktorn om $r-q$ är lika, oberoende av nivån på r resp q . För $(r-q) = 4-2 = 2\%$ blir vid $n = 20$ diskonteringsfaktorn $p_n = 16,74$. För $(r-q) = 12-10 = 2\%$ blir med $n = 20$ diskonteringsfaktorn $p_n = 16,94$, dvs nära det förra värdet.

7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING

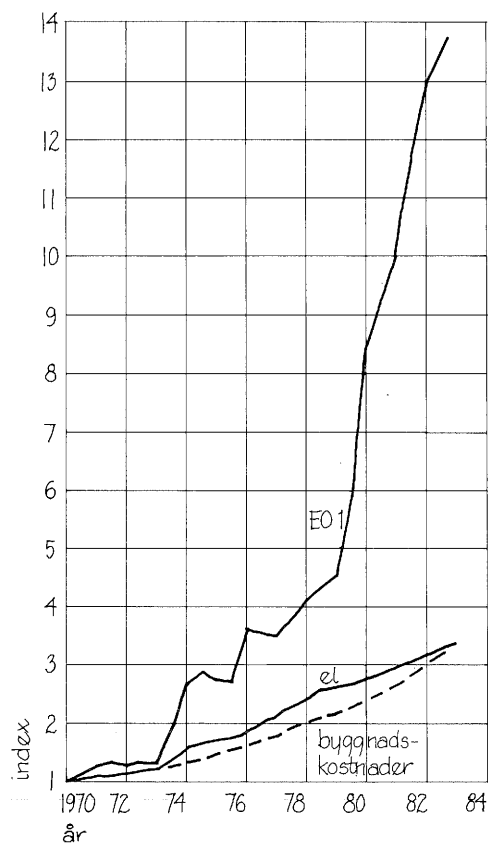
Kostnadsutveckling

När vi önskar beräkna nuvärdet av framtida energibesparingar för att avgöra om en energibesparingsinvestering är lönsam, så måste vi söka bedöma den framtida energiprisutvecklingen. Energipriset för olja är emellertid inte ett resultat av produktionskostnader utan bestäms helt på politiska grunder. Det påverkar till viss del också kolpriset. Därför är de framtida energipriserna praktiskt taget omöjliga att förutse. Även priset på elenergi är svårt att uppskatta även om dess produktionskostnad till stor del bestäms inom landet. Av olika skäl kan staten önska påverka efterfrågan på elkraften och belägga densamma med beskattning. Man kan också tänka sig att energi av olika slag subventioneras.

Figuren ger en uppfattning om hur olje- och elpris utvecklats det senaste årtiondet. Figuren visar också konsumentprisutvecklingen. Denna gäller approximativt även för byggnadskostnadernas utveckling under 1970-talet. Med 20 % årlig ökning så ökar index till 6,19 på 10 år medan 10 % ökning ger index = 2,59 och 6 % ökning ger index = 1,79.

Den årliga energiprisökningen torde på längre sikt ej understiga 10 % och knappast överstiga 20 %. Det kan vara klokt att räkna med olika alternativ när man skall söka bedöma om en energibesparingsåtgärd är privatekonomiskt lönsam.

Svårt är det också att bedöma framtida skötsel- och underhållskostnader. Dessa beror på löneutveckling och inflation. Dock kan man våga ett antagande att den årliga ökningen inte understiger 6–10%.



Index från 1970 för eldningsolja (EO1), elvärme (20 000 kWh) och konsumentpriser. Byggnadskostnader är lika med konsumentpriser.

7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING

Nuvärde av energibesparing

Den årliga energibesparingen för en åtgärd kan ofta beräknas. Om den kallas W_{spar} så blir besparingen under första året:

$$D_{\text{år1}} = e_1 \cdot W_{\text{spar}}$$

där e_1 är dagens energipris i kr/kWh och W_{spar} är angivet i kWh. Om energibesparingsåtgärden kan utnyttjas under n år, räntan är r och den årliga energiprisökningen är q_e så blir nuvärdet av energibesparingen W_{spar} :

$$N = p_{n,e} \cdot e \cdot W_{\text{spar}}$$

där diskonteringsfaktorn erhålls ur föregående tabell.

Exempel: Antag att den årliga energibesparingen är 5 000 kWh/år, att räntan är $r = 12\%$, att den årliga energiprisökningen $q_e = 10\%$, att investeringen kan utnyttjas under 30 år och att "dagens" energipris är 15 öre/kWh. Nuvärdet av energibesparingen blir då:

$$N = 23,38 \cdot 0,15 \cdot 5\,000 = 17\,535 \text{ kr}$$

Åtgärden skulle alltså få kosta upp till 17 535 kr och ändå vara genomsnittligen lönsam under avskrivningstiden. Om vi i stället antar att energipriset stiger med 20 % per år så blir diskonteringsfaktorn enligt föregående tabell $p_{n,e} = 96,92$ och nuvärdet av energibesparingen blir $N = 72\,690$ kronor. Valet av energiprisökning påverkar således nuvärdet av energibesparingen mycket kraftigt. Det är således av vital betydelse att man söker övertyga sig själv, och eventuella uppdragsgivare, om det rimliga i den valda ökningstakten av energipriset.

7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING

Lönsamhet av energibesparing

Nuvärdet av en energibesparing skall vara större än nuvärdet av investeringar, underhållskostnader och skötselkostnader under energibesparingens utnyttjningstid för att den energibesparande åtgärden skall vara lönsam.

Nuvärdet av investeringar kan omfatta dels direkt utförda investeringar dels erforderliga framtida investeringar under byggnadens utnyttjningstid. Som exempel kan nämnas tätning av fönster, vilket kan behöva upprepas vart tionde år. Nuvärdet av investeringarna blir då:

$$I_{nu} = I_0 + p_{(11)} \cdot I_1 + p_{(12)} \cdot I_2 + \dots$$

Samma gäller nuvärdet av framtida underhållskostnader:

$$U_{nu} = p_{(U1)} \cdot U_1 + p_{(U2)} \cdot U_2 + \dots$$

Årliga skötselkostnader har ett nuvärde =

$$S_{nu} = p_{n,s} \cdot S_1$$

där S_1 är dagens skötselkostnad i kr/år.

Energibesparingens nuvärde är:

$$E_{nu} = p_{n,e} \cdot e_1 \cdot W_{spar}$$

där e_1 är dagens energisparpris och W_{spar} är den årliga energibesparingen.

Vi får då att nuvärdet:

$$N = E_{nu} - I_{nu} - U_{nu} - S_{nu}$$

skall vara positivt (större än 0) för att energibesparingen skall vara lönsam.

7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING

Exempel på lönsamhetsbedömning

Vi antar att en energibesparande åtgärd kostar 10 000 kronor och att den varar under byggnadens avskrivningstid $n = 30$ år. Vart tionde år behövs ett underhåll, som i dag skulle kosta 1 000 kronor. Den årliga skötseln kostar i dag 100 kronor per år. Energibesparingen blir 2 500 kWh/år och dagens energipris är 0,20 kr/kWh. Underhålls- och skötselkostnader antas stiga med 8 % per år medan energipriset stiger med 12 % per år. Räntan antas genomsnittligen bli 10 %.

Nuvärdet av investeringskostnaden är:

$$I_{nu} = 10\,000$$

Nuvärdet av underhållskostnaderna (i dag 1 000 kr) efter 10 och 20 år blir:

$$U_{nu} = 2,159 \cdot 1\,000 \cdot 0,386 + 4,661 \cdot 1\,000 \cdot 0,149 = 1\,528$$

där faktorn 2,159 erhålls ur övre tabellen sid 182 för $q = 8\%$ (årlig ökning) och $n = 10$ år samt faktorn 0,386 erhålls ur nedre tabellen sid 182 för $r = 10\%$ och $n = 10$ år. Värdena 4,661 och 0,149 erhålls på liknande sätt för $n = 20$ år.

Nuvärdet av de årliga skötselkostnaderna blir:

$$S_{nu} = 23,28 \cdot 100 = 2\,328$$

där 23,28 erhålls ur föregående tabell för $r = 10\%$, $q = 8\%$ och $n = 30$ år.

Nuvärdet av energibesparingarna blir:

$$E_{nu} = 39,43 \cdot 0,20 \cdot 2\,500 = 19\,715$$

där 39,43 erhålls ur föregående tabell för $r = 10\%$, $q = 12\%$ och $n = 30$ år.

Nuvärdet blir:

$$N = 19\,715 - 10\,000 - 1\,528 - 2\,328 = 5\,859.$$

Investeringen är således lönsam.

7.2 INVESTERING CONTRA ENERGIBESPARING

Isolering av ytteervägg (marginell och genomsnittlig lönsamhet)

Byggnormens krav på värmeisolering av en yttervägg är $k = 0,30 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ för södra Sverige. Om vi förser denna vägg med ytterligare 50 mm värmeisolering så ökar väggens värmemotstånd från $M_0 = 1/0,30 = 3,33 \text{ }^\circ\text{C,m}^2/\text{W}$ till

$$M_1 = M_0 + \frac{d}{\lambda} = 3,33 + \frac{0,050}{0,040} = 4,59 \text{ }^\circ\text{C,m}^2/\text{W}$$

Det nya k-värdet blir $k_1 = 1/4,59 = 0,218 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$.

Den årliga energibesparingen blir:

$$W_{\text{spar}} = (k_0 - k_1) \cdot Q = (0,300 - 0,218) \cdot 100\,000 = 8\,200 \text{ Wh}$$

dvs 8,2 kWh/m² per år. Q är ortens gradtimmar.

Med $r = 10\%$, $q = 12\%$, $n = 30$ år och $e_1 = 0,20$ kr/kWh blir:

$$E_{\text{nu}} = 39,43 \cdot 0,20 \cdot 8,2 = 64,7 \text{ kr/m}^2$$

Investeringskostnaden är ca 400 kr/m² per meter isolering, dvs

$$I_{\text{nu}} = 0,05 \cdot 400 = 20 \text{ kr/m}^2$$

Nuvärdet blir $N = 64,7 - 20 = 44,7 \text{ kr/m}^2$. Investeringen är således lönsam.

Ytterligare ökning ger stegvis lägre nuvärde och övre tabellen visar att för ökning från 150 till 200 mm i tilläggsisolering blir nuvärdet negativt, dvs detta steg är ej lönsamt. Eftersom vi tagit det steg för steg så avser beräkningen den *marginella lönsamheten*.

Den *genomsnittliga lönsamheten* visas i nedre tabellen. Den medger ökning till 450 mm, om investeringskostnaden ökar proportionellt.

Lönsamhet vid stegvis ökning av värmeisolering av yttervägg (marginell lönsamhet).

Tilläggsisolering mm från till		k (W/°C,m ²)		W _{spar} kWh/m ² per år	E _{nu} kr/m ²	I _{nu} kr/m ²	N kr/m ²
		före	efter				
0	50	0,300	0,218	8,2	64,7	20	44,7
50	100	0,218	0,172	4,6	36,3	20	16,3
100	150	0,172	0,141	3,1	24,4	20	4,4
150	200	0,141	0,120	2,1	16,6	20	- 3,4

Genomsnittlig lönsamhet.

Tilläggsisolering mm från till		k (W/°C,m ²)		W _{spar} kWh/m ² per år	E _{nu} kr/m ²	I _{nu} kr/m ²	N kr/m ²
		före	efter				
0	50	0,300	0,218	8,2	64,7	20	44,7
0	100	0,300	0,172	12,8	100,9	40	60,9
0	150	0,300	0,141	15,9	125,4	60	65,4
0	200	0,300	0,120	18,0	141,9	80	61,9
0	250	0,300	0,104	19,6	154,6	100	54,6
0	300	0,300	0,092	20,8	164,0	120	44,0
0	350	0,300	0,083	21,7	171,1	140	31,1
0	400	0,300	0,075	22,5	177,4	160	17,4
0	450	0,300	0,069	23,1	182,2	180	2,2

7.3 ENERGISPARKOSTNAD Optimering av komponent

En enkel och lättförståelig metod att beräkna lönsamheten av en energisparåtgärd är den så kallade *energisparmetoden*. Den lanserades 1974 och bygger på antagandet att energipris samt underhålls- och skötselkostnader stiger årligen med samma procenttal som räntan r . Detta antagande kan naturligtvis diskuteras och kritiseras, men man kan nog våga påstå att alternativa antaganden angående driftskostnadernas framtida utveckling är lika osäkra.

Tabellen sid 185 visar att med antagandet att den årliga driftskostnadsutvecklingen motsvarar räntan, dvs $q = r$, blir diskonteringsfaktorn p_n lika med utnyttjandetiden n . Man kan då beräkna nuvärdet av energibesparingen:

$$E_{nu} = n \cdot e_1 \cdot W_{spar}$$

där e_1 liksom tidigare är dagens energipris och W_{spar} den årliga energibesparingen i kWh/år.

Nuvärdet av investerings-, underhålls- och årliga skötselkostnader som förankrats av den energibesparande åtgärden frånräknas E_{nu} och nuvärdet blir

$$N = n \cdot e_1 \cdot W_{spar} - I_{nu} - U_{nu} - nS_1$$

För lönsamhet skall N vara större eller lika med 0.

Om vi sätter $N = 0$ och $e_1 = k_{esp}$ så erhålls

$$k_{esp} = \frac{I_{nu} + U_{nu} + nS_1}{n \cdot W_{spar}}$$

där k_{esp} är energisparkostnaden, dvs det energipris vid vilket investeringen lönar sig. Detta skall vara lika med eller lägre än dagens energipris. Tabellen visar ett exempel.

Energisparkostnad vid stegvis ökning av värmeisolering av yttervägg¹⁾.

Tilläggs- isolering mm	k (W/°C, m ²)		W _{spar} kWh/m ² per år	I _{nu} kr/m ²	k _{esp} kr/kWh
	före	efter			
0– 50	0,300	0,218	8,2	20	0,081
50–100	0,218	0,172	4,6	20	0,145
100–150	0,172	0,141	3,1	20	0,215
150–200	0,141	0,120	2,1	20	0,317

1) $r = q$, $n = 30$ år.

7.4 BESPARINGSKOSTNAD

Begreppet besparingskostnad infördes i Regeringens proposition 1977/78:76, "Energisparplan för befintlig bebyggelse". Det definierades som (citat):

$$\text{besparingskostnad} = \frac{\text{investering} + p_1 \cdot \text{årlig underhållskostnad}}{p_2 \cdot \text{årlig energibesparing}}$$

där

$$p_1 = \frac{1 - \left(\frac{1}{1+r}\right)^T}{r} \quad \text{och}$$

$$p_2 = \frac{1 - \left(\frac{1+q}{1+r}\right)^T}{r-q}$$

med r = "realkalkylränta", T = "materialets livslängd" och q = årlig energiprisstegring räknad i fast penningvärde. Detta innebär att underhållskostnaderna antas stiga i samma takt som penningvärdesförsämringen.

Det är intressant att notera att Regering och Riksdag satt på prant att lämpligt värde på den reella kalkylräntan är 4%. Man menar att den reella räntan under senare år varit 2%, men att man i detta fall bör räkna med högre ränta, eftersom de energibesparande åtgärderna kommer att finansieras genom nedskärning av de privata investeringarna. När det gäller energiprisets årliga ökning menar man att man bör räkna med en real prisökning av 2%.

Eftersom staten accepterat begreppet besparingskostnad med tillhörande värden på ränta och årlig energiprisökning så finns det anledning att förmoda att statliga myndigheter och organ följer denna princip. Besparingskostnaden skall liksom energisparingskostnaden jämföras med dagens energipris. Är besparingskostnaden lägre än eller lika med dagens energipris är investeringen lönsam – och samhälls-ekonomiskt motiverad.

Tabellen visar ett exempel.

Besparingskostnad k_{bsk} vid stegvis ökning av värmeisolering av yttervägg¹⁾.

Tilläggs- isolering mm	k (W/°C,m ²)		W _{spar} kWh/m ² per år	I _{nu} kr/m ²	k _{bsk} kr/kWh
	före	efter			
0– 50	0,300	0,218	8,2	20	0,106
50–100	0,218	0,172	4,6	20	0,189
100–150	0,172	0,141	3,1	20	0,281
150–200	0,141	0,120	2,1	20	0,415

1) $p_n = 22,96$ för $r = 4\%$, $q = 2\%$ och $n = 30$ år.

7.5 KAPITAL BEHÖVS! Lånat kapital

Om vi förutsätter fri tillgång till kapital, så skulle det vara möjligt att alltid få fram tillräckligt med pengar för att vidta varje lönsam energisparåtgärd. De säkerhetsmässiga synpunkterna borde inte vara svåra att tillgodose, eftersom man visat att investeringen är lönsam. En omständighet kan emellertid krångla till låneproceduren. Långgivaren kan ha andra lönsamhetskriterier än den, som vill låna pengar. Avvikelsen kan bero på olika uppfattning om framtida energipris eller om investeringens utnyttningstid. Den framtida räntan utgör långgivarens villkor, men kan trots detta vara svår att bedöma om den skall bindas under lång tid.

Olika uppfattning om energiprisökningen borde kunna bringas ur världen genom att staten ger uttryck för sin uppfattning om densamma och tar ansvar genom att själv låna ut erforderligt kapital eller genom att gå i borgen för lån från annan långgivare. Förutsättningen för sådan borgen måste naturligtvis vara att lönsamhetsberäkningen är utförd enligt normer, som utfärdats av Regeringen eller underställd myndighet. Beträffande utnyttningstid för den energibesparande åtgärden samt ev. underhålls- och skötselkostnader kan dessa vara svåra att normera. De är beroende av materialkvalitet och arbetsutförande. Ibland kan utnyttningstiden vara lika med byggnadens återstående livstid. I sådana fall löper man alltid risk att den återstående livstiden förkortas genom att ny teknik gör rivning och nybyggande mer lönsamt än att behålla den gamla byggnaden.

Fri kapitalmarknad, där man kan låna till varje lönsam investering, är ett idealtillstånd. Verkligheten är oftast att det är svårt att uppbringa tillräckligt med lån för lönsamma investeringar. Industri och företagsamhet kan oftast erbjuda stor lönsamhet och snabb amortering, vilket gör energisparåtgärder mindre attraktiva.

7.5 KAPITAL BEHÖVS!

Bidrag

Om staten önskar prioritera energisparåtgärder så kan man ge bidrag till sådana åtgärder och på detta sätt nedbringa kapitalbehovet och förbättra lönsamheten för investeringen. Ett exempel kan illustrera detta:

Exempel: Vi har tidigare (under 7.2) räknat ut att det skulle vara lönsamt att investera 17 535 kr om energibesparingen är 5 000 kWh/år, räntan r är 12 %, den årliga energiprisökningen q_e är 10 %, utnyttningstiden är $n = 30$ år och dagens energipris är 0,15 kr/kWh. Om staten önskar påskynda sådana åtgärder så kan man t ex ge bidrag med en del av investeringskostnaden. Låt oss anta att man ger bidrag med 35 % av kostnaden, vilken dock maximerats till 15 000 kr. Nettoinvesteringskostnaden blir då:

$$I' = 17\,535 - 0,35 \cdot 15\,000 = 12\,285 \text{ kr}$$

Energibesparingen har i dagens energipris värdet:

$$e_1 \cdot W_{\text{spar}} = 0,15 \cdot 5\,000 = 750 \text{ kr/år}$$

Diskonteringsfaktorn blir då:

$$p = 12\,285 / 750 = 16,38$$

Med antagna värden på ränta $r = 12$ % och energiprisökningen $q_e = 10$ % blir enligt tabellen utnyttningstiden $n = 20$ år, då diskonteringsfaktorn $p = 16,94$. Efter 20 år är investeringen återbetald.

Om vi håller kvar räntan $r = 12$ % och utnyttningstiden $n = 30$ år så kan vi leta rätt på en passande energiprisökning. För $q = 6$ % blir $p = 15,09$. Även om energipriset ej ökar med mer än ca 6 % per år så är investeringen lönsam. Man kan också bibehålla $q = 10$ % och $n = 30$ år och bestämma räntan. Denna blir ca 16 %, vilket ger $p = 15,40$.

Diskonteringsfaktorn p vid ökande årlig kostnad – ökning q % per år (kostnad i början av året).

Utnyttningstid n år	Ränta $r = 12$ % och $q =$					
	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	12 %
10	6,80	7,33	7,90	8,54	9,23	10
15	8,45	9,39	10,49	11,77	13,26	15
20	9,47	10,82	12,46	14,47	16,94	20
25	10,11	11,80	13,95	16,72	20,31	25
30	10,52	12,48	15,09	18,60	23,38	30

Utnyttningstid n år	Ränta $r = 16$ % och $q =$					
	6 %	8 %	10 %	12 %	14 %	16 %
10	6,89	7,40	7,97	8,58	9,26	10
15	8,60	9,54	10,62	11,87	13,32	15
20	9,69	11,03	12,65	14,63	17,04	20
25	10,38	12,07	14,21	16,94	20,45	25
30	10,82	12,80	15,40	18,88	23,58	30

Utnyttningstid n år	Ränta $r = 20$ % och $q =$					
	10 %	12 %	14 %	16 %	18 %	20 %
10	6,97	7,48	8,03	8,63	9,28	10
15	8,75	9,67	10,73	11,96	13,37	15
20	9,89	11,23	12,83	14,77	17,13	20
25	10,64	12,33	14,45	17,15	20,58	25
30	11,12	13,11	15,71	19,15	23,76	30

7.5 KAPITAL BEHÖVS! Subventionerad ränta

Staten kan också göra energisparåtgärder intressanta genom att subventionera räntan på lånat kapital. Detta kan i princip tillgå så att staten själv är långivare till låg ränta eller genom att staten ger en direkt subvention, som sänker räntekostnaden på det lånade kapitalet.

Exempel: Om vi i föregående exempel antar att räntan subventioneras så att nettoräntan blir 4 % så blir enligt tabellen sid 185 för $r = 4 \%$, $q_e = 10 \%$ och $n = 30$ år diskonteringsfaktorn $p = 75,92$. Detta skulle tillåta en investeringskostnad av

$$I = 75,92 \cdot 750 = 56\,940 \text{ kr}$$

Om den verkliga kostnaden är 17 535 kr, så blir diskonteringsfaktorn:

$$p = 17\,535/750 = 23,38$$

Med $r = 4 \%$, $q_e = 10 \%$ och $n = 15$ år så blir enligt tabellen sid 185 diskonteringsfaktorn $p = 22,87$. Redan efter 15 år är således investeringen återbetald.

Med $r = 4 \%$, $n = 30$ år och $q_e = 2 \%$ blir enligt tabellen sid 185 diskonteringsfaktorn $p = 22,96$. Även om energiprisökningen q_e ej blir större än 2 % per år så har investeringen lönat sig.

Sättet att studera utfallet vid en variation i de gjorda antagandena kallas *känslighetsanalys*. En sådan analys ökar säkerheten hos beslutsfattaren.

För energisparåtgärder har staten i samband med förbättring av befintliga bostäder använt en kombination av bidrag och subventionerad ränta. Detta komplicerar analysen men förfaringssättet blir ändå lika det som beskrivits i detta och föregående avsnitt.

7.6 EN STRATEGI INFÖR EN OSÄKER FRAMTID

Litet energibehov = ökad säkerhet

Mycket tyder på att framtiden, liksom i dag, kommer att innebära politisk ostabilitet i världen med åtföljande råvarukriser. Bränsle kommer sannolikt att även i framtiden vara en bristvara, som underkastas kraftiga fluktuationer såväl rörande tillgång som i fråga om pris. För den enskilde kommer detta att innebära påfrestningar, eftersom statsmakterna ej har stora möjligheter att lindra sådana kriser annat än temporärt.

För den enskilde husägaren gäller det således att i möjligaste mån begränsa inverkan av en försörjningskris. Detta kan ske genom att man förbereder sig för användning av inhemskt bränsle, t ex ved. Skulle en kris bli långvarig kan det emellertid bli svårt att skaffa ved i tillräcklig omfattning. Den säkraste åtgärden torde vara att under icke-kristid bringa ned bostadens energibehov samt överväga om man kan minska boendeytan under kristid. Det senare torde dock kräva byggnadstekniska åtgärder, vilka bör utföras i tid. Med ett litet energibehov blir det lättare att klara sig med inhemskt bränsle.

Lågenergihus med eller utan medvetet utnyttjande av solvärme utgör i sig en säkerhet mot kommande energikriser, av vad slag de än må bli. Strategiskt sett borde man därför bringa ned energiåtgången mer än vad som är lönsamt med gängse beräkningsmetoder.

Det framtida värdet av ett hus beror på dess framtida driftskostnad. Redan nu har stora villor med stor energiförbrukning börjat att falla i värde i förhållande till villor med liten energiförbrukning. En klok åtgärd torde vara att snarast vidta energisparåtgärder i sådana hus.

Nya hus måste göras energisnåla om de i framtiden skall stå sig i konkurrensen med mera energisnåla hus. Låga energi- och underhållskostnader torde bli framtida säljargument.

7.6 EN STRATEGI INFÖR EN OSÄKER FRAMTID

En osäker framtid

Det är svårt att spä – i synnerhet om framtiden. Vid utformningen av lågenergihus gör man lönsamhetsbedömningar av olika slags energisparåtgärder. Dessa baserar sig på antaganden om energiprisets framtida ökningstakt, ränta, underhållskostnader, ekonomisk livslängd och amorteringstid. Om verkligheten avviker väsentligt från antagandena blir naturligtvis lönsamhetsbedömningen felaktig. Man kan då följa två alternativa strategier:

prioritera åtgärder med mera kända förutsättningar förbereda för en framtida ombyggnad eller komplettering

I det första fallet kan man tänka sig att man prioriterar byggnadstekniska åtgärder med ekonomisk livslängd större än amorteringstiden samt med kända dvs låga underhållskostnader, t ex värmeisolering. Installationstekniska åtgärder *kan* ha en ekonomisk livslängd som blir kortare än amorteringstiden. Underhållskostnaderna är svåra att prediktera. Det kan t ex komma nya, bättre värmepumpar i marknaden, vilka gör en ombyggnad ekonomisk. Totalt blir dock lönsamheten av den första investeringen sämre än beräknat.

Man kan också förbereda för en ombyggnad eller komplettering. Detta innebär att man accepterar vissa tilläggs-kostnader i nybyggnadsskedet för att möjliggöra en framtida förändring, t ex utbyte av apparat eller komplettering av värmeisolering. Lösningen kan vara att man *överdimensionerar åtgärder med mera kända förutsättningar* och förbereder för ett *enkelt utbyte av apparater* med kortare livslängd än husets.

Man bör också projektera sitt hus med tanke på att under kriser kunna stänga av en del av boendeytan. Kanske blir det framtida energipriset så högt att det blir regel att under vintern bo på en mindre yta än under sommaren – jämför gamla tiders bostäder.

8. OM KOMPONENTER OCH DELSYSTEM

- 8.1 FÖNSTER
- 8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER
- 8.3 GLASADE RUM
- 8.4 SOLSKYDD
- 8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDBJÄLKLAG
- 8.6 JORDISOLERADE KONSTRUKTIONER
- 8.7 RUMSLUFTSVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION
- 8.8 RUMSLUFTSVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION
- 8.9 TILLUFTSVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK
- 8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER
- 8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING
- 8.12 VÄRMEVÄXLARE
- 8.13 FÖRBRÄNNINGSENHETER
- 8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN
- 8.15 VÄRMEPUMP

8.1 FÖNSTER

Värmetransport utan ljusstrålning

Om vi inte har någon ljusstrålning genom ett fönsters glasparti så kan vi betrakta glasrutorna som icke-transparenta skivor av ett material med samma värmeledningsegenskaper som glas.

Värmetransporten mellan skivorna sker dels i form av temperaturstrålning dels i form av konvektion och ledning.

Temperaturstrålningen mellan skivorna kan skrivas:

$$P_S = 5,67 \cdot \epsilon_{res} \cdot \left[\left(\frac{T'_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T'_2}{100} \right)^4 \right] \text{ W/m}^2$$

(T' i K)

En annan form är:

$$P_S = \alpha_{SS} \cdot \epsilon_{res} (T_1 - T_2) = \alpha_S (T_1 - T_2) \text{ W/m}^2$$

(T i °C)

I dessa båda ekvationer är ϵ_{res} den resulterande halvfäriska emissionsförmågan för de båda skivorna, vars respektive halvfäriska emissionsförmåga är ϵ_{h1} och ϵ_{h2} .

$$\epsilon_{res} = \frac{1}{\frac{1}{\epsilon_{h1}} + \frac{1}{\epsilon_{h2}} - 1}$$

För vanliga fönsterglas är $\epsilon_h = 0,85$, dvs $\epsilon_{res} = 0,74$.

Värmetransporten på grund av *konvektion* är svår att beräkna och man är hänvisad till experiment. Värmeöverföringen kan skrivas:

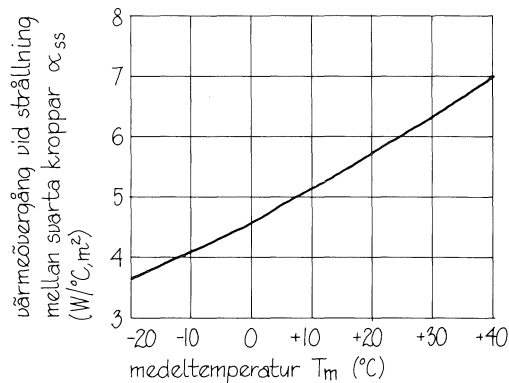
$$P_k = \alpha_k \cdot (T_1 - T_2) \quad (T \text{ i } ^\circ\text{C}) \quad \text{W/m}^2$$

Den totala värmeöverföringen mellan de båda skivorna blir då

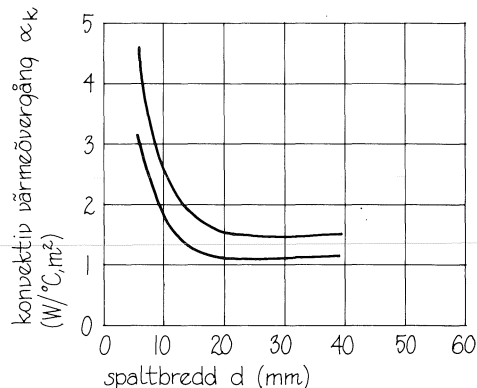
$$P = P_S + P_k = \alpha \cdot (T_1 - T_2) \quad (T \text{ i } ^\circ\text{C}) \quad \text{W/m}^2$$

$$\alpha = \alpha_S + \alpha_k = \alpha_{SS} \cdot \epsilon_{res} + \alpha_k \quad \text{W/}^\circ\text{C, m}^2$$

α_{SS}



α_k



Värmeövergång på grund av temperaturstrålning och konvektion i en vertikal spalt.

8.1 FÖNSTER

Mörker-k-värde

Värmeövergången mellan glasrutorna har nu bestämts, och vi kan räkna ut värmemotståndet hos luftspalten.

Denna är:

$$m_{\text{spalt}} = \frac{1}{\alpha_s + \alpha_k} \quad (^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W})$$

För att beräkna värmegenomgången, dvs k-värdet, så skall vi addera glasrutornas värmemotstånd m_{gl} ($0,001 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ per mm) och det *normerade värmeövergångsmotståndet* för in- och utsida, $m_i + m_u = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ och får då:

$$k = \frac{1}{m_{\text{spalt}} + m_{\text{gl}} + m_i + m_u} \quad (\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2)$$

Som exempel skall uträknas k-värdet för ett tvåglasfönster med 12 mm mellan 4 mm rutor (medeltemperatur = $10 \text{ } ^\circ\text{C}$)

$$\alpha_{\text{SS}} = 5,15, \quad \alpha_s = 0,74 \cdot 5,15 = 3,81 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$$

$$\alpha_k = 2,2 \text{ för } T_m = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{spalt}} = \frac{1}{3,81 + 2,2} = 0,166$$

$$k = \frac{1}{0,166 + 0,008 + 0,20} = 2,67 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$$

Detta k-värde gäller utan ljusstrålning och kallas därför *mörker-k-värde*.

För glas med ett selektivt skikt kan $\epsilon_{\text{H}1}$ för ena rutans mot spalten vända sida vara $0,1$ à $0,2$, vilket ger lägre mörker-k-värde, $k = 1,7$ – $1,9 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$.

För flera luftskikt, dvs tre- och fyrglasfönster, får man addera till ett eller två extra m_{spalt} och får då lägre mörker-k-värde. För 12 mm spalt blir för treglasfönster $k = 1,84$ och för fyrglasfönster $k = 1,40 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$.

8.1 FÖNSTER

Verkligt mörker-k-värde

Det mörker-k-värde som beräknas enligt Svensk Byggnorm, SBN 80, förutsätter att värmeövergångsmotståndet vid inre och yttre ytan är

$$m_i + m_u = 0,20 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

Detta kan tänkas vara sammansatt av $m_i = 0,15$ och $m_u = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$. Förutsättningen för det yttre övergångsmotståndet är att omgivningen har samma temperatur som luften och att normal vind råder. Då blir värmeöverföringen på grund av temperaturstrålning $\alpha_s = \text{ca } 5 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$ och på grund av konvektion $\alpha_k = \text{ca } 15 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$, dvs tillsammans $\alpha_u = 20 \text{ W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$. Då blir $m_u = 1/\alpha_u = 0,05 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$.

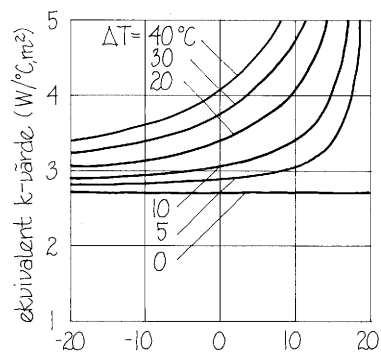
I verkligheten blir emellertid vid klart väder omgivningens, särskilt då himlavalvets, temperatur lägre än lufttemperaturen. Om himlen är helmulen blir dess temperatur nära luftens temperatur. Ett fönster "ser" både himmel och mark samt omgivande byggnader och växtlighet. Även om himlen en klar natt har 30–40 °C lägre temperatur än luften så blir den medelstrålningstemperatur som fönstret upplever i regel ej mer än 10–15 °C lägre än lufttemperaturen eftersom marken, byggnader och växtlighet har en temperatur nära lufttemperaturen. Ett horisontellt fönster "ser" ofta endast himlen och dess medelstrålningstemperatur kan således bli 30–40 °C lägre än lufttemperaturen.

Den stora utstrålningen ökar värmeförlusterna genom fönstret. Om medelstrålningstemperaturen på fönstrets utsida är ΔT °C lägre än utetemperaturen T_u blir förlusterna

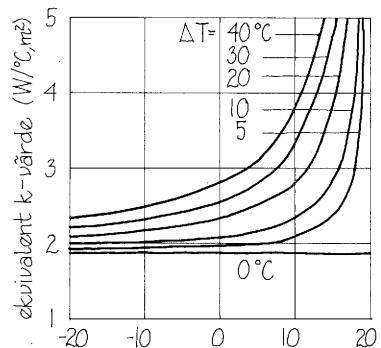
$$P = k_e (T_i - T_u) \cdot A$$

där k_e är det ekvivalenta mörker-k-värdet, som blir beroende av såväl T_u som ΔT , se figuren.

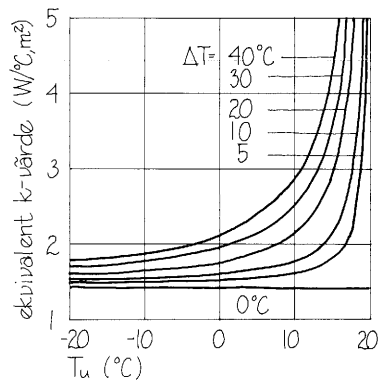
2 glas



3 glas

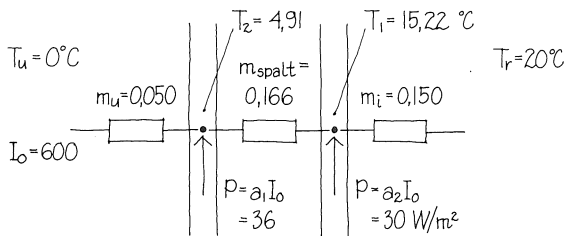
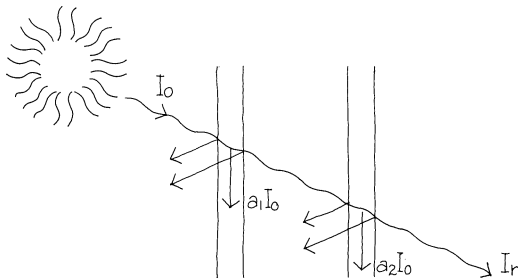


4 glas



Ekvivalent mörker-k-värde under klar natt – omgivningens medelstrålningstemperatur är ΔT °C lägre än lufttemperaturen T_u .

8.1 FÖNSTER k-värde vid ljusstrålning



Under dagen har vi alltid mer eller mindre ljusstrålning genom fönstrets glaspartier. En del av denna strålning absorberas i glasmassan och omsätts i värme. Av den infallande strålningen I_0 absorberas vid 3 mm glas ca 6% i den yttre och 5% i den inre rutan i ett tvåglasfönster. Värmetillförseln i rutorna kommer naturligtvis att påverka värmetransporten genom fönstret. Ett exempel kan illustrera detta:

Vi antar att vi har ett tvåglasfönster med $m_{spalt} = 0,166 \text{ } ^\circ\text{C},\text{m}^2/\text{W}$, $m_i = 0,150 \text{ } ^\circ\text{C},\text{m}^2/\text{W}$ och $m_u = 0,050 \text{ } ^\circ\text{C},\text{m}^2/\text{W}$. Temperaturen i rummet antas vara $T_r = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$ och utomhus $T_u = 0 \text{ } ^\circ\text{C}$. Vi antar vidare att den infallande strålningen är 600 W/m^2 , vilket resulterar i att 36 W/m^2 absorberas i den yttre rutan och 30 W/m^2 i den inre rutan. Temperaturen i den inre rutan blir då $T_1 = 15,22 \text{ } ^\circ\text{C}$ och i den yttre rutan $T_2 = 4,91 \text{ } ^\circ\text{C}$.

Till den inre rutan förs då från rummet:

$$P = \frac{(T_r - T_1)}{m_i} = \frac{20 - 15,22}{0,150} = 31,9 \text{ W/m}^2$$

och glaspartiets k-värde är:

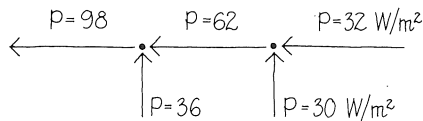
$$k = \frac{P}{(T_r - T_u)} = \frac{31,9}{20} = 1,60 \text{ W/}^\circ\text{C},\text{m}^2$$

Utan ljusstrålning blir $T_1 = 11,82 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $T_2 = 2,74 \text{ } ^\circ\text{C}$, vilket ger

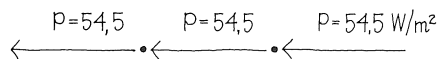
$$P = \frac{20 - 11,82}{0,150} = 54,5 \text{ W/m}^2$$

$$k = \frac{54,5}{20} = 2,73 \text{ W/}^\circ\text{C},\text{m}^2 \text{ (= mörker-k-värdet)}$$

med solinstrålning:



utan ljusstrålning:



Vid ljusstrålning får man alltså lägre k-värde än mörker-k-värdet. Dessutom tillförs rummet energi.

Värmebalans vid ljusstrålning är mycket komplicerad och måste studeras med hänsyn tagen till rummet bakom fönstret. Detta kräver i regel datorberäkning.

8.1 FÖNSTER

Radhus – ett beräkningsexempel

I detta avsnitt liksom i flera andra avsnitt i kapitel 8 redovisas temperaturer, värmeflöden och värmeenergier från datorberäkningar. Dessa beräkningar avser i regel ett *tvåvånings radhus*, vilket finns beskrivet i Adamson & Efring 1979a och 1979b. Där visas också hur radhuset simulerats vid datorberäkningarna.

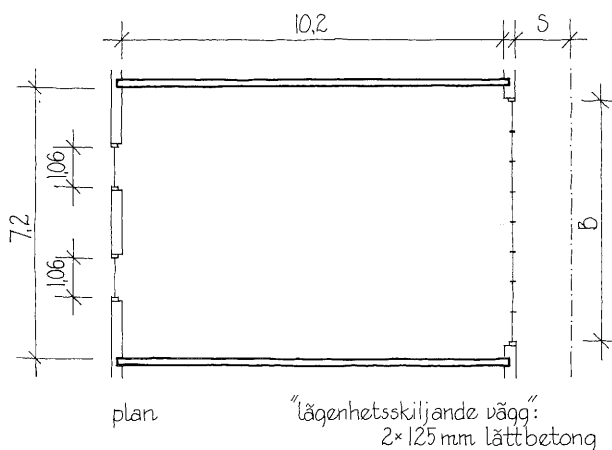
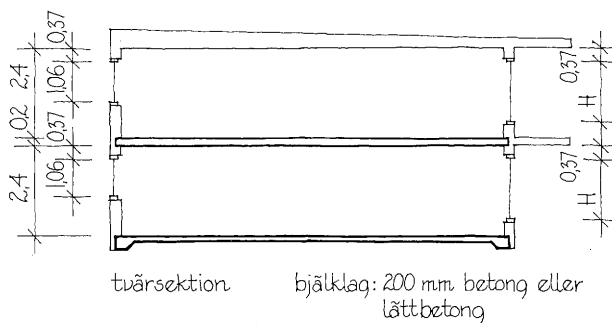
Radhuset har ett husdjup av 10,2 m och en lägenhetsbredd av 7,2 m. Beräkningarna avser en mellanlägenhet. Taket har antagits plant och utfört med en träkonstruktion, vars värmeisolering normalt ger $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Mellanbjälklaget antas normalt vara 200 mm betong men även gasbetong och träkonstruktion har förekommit. Bottenbjälklaget utgörs av 120 mm betong på en mycket tjock värmeisolering. På huvudfasaden har glasarean varierats från 6,7 till 20,9 m^2 . På motsatta sidan har antagits 4,5 m^2 glasarea. Antalet glas i fönstren har varierats från 2 till 4 glas. Ovanför fönstren på huvudfasaden har i vissa fall placerats en horisontell solavskärmning, som skuggar fönstren. Dennas djup S har valts till 0,9, 1,5 och 2,1 m. Ytterväggarna består av en träkonstruktion vars värmeisolering normalt ger $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$.

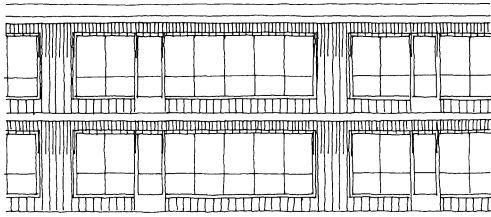
I vissa fall har även specialfönster studerats. Resultatet redovisas i Adamson 1981.

Radhuslägenheten ventileras normalt med 0,5 luftväxlingar per timme. Denna ventilation har i ett flertal fall antagits värmeväxlad med verkningsgraden 0,6.

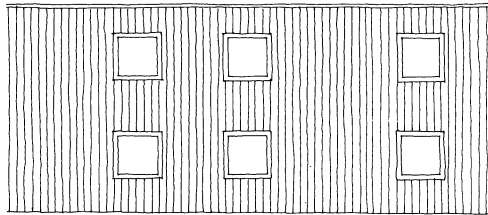
Normalt antas att lägenheten saknar lätta innerväggar, inredning och möbler, men dess inverkan på temperaturer och värmebehov har undersökts. Detta gäller även inverkan av gratisvärme från personer och elektriska apparater.

Inverkan av värmeisolerande golvbeläggning och färg på golvet har också studerats.

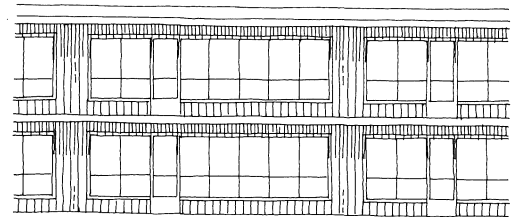
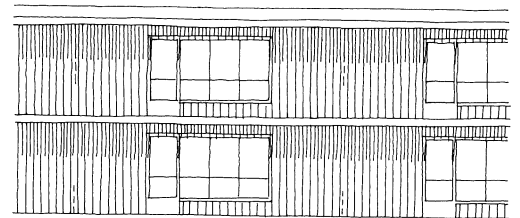
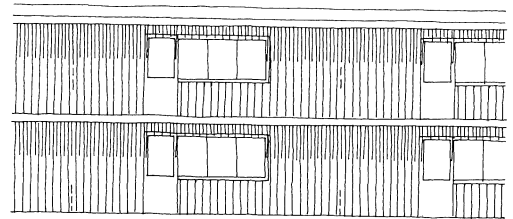




huvudfasad



motsatt fasad



tre antagna fönsterstorlekar i huvudfasaden

8.1 FÖNSTER

k-värdets variation under dygnet

k-värdet för ett fönster hänger starkt samman med det rum som ligger bakom fönstret. Värmetillförseln till fönstret beror på lufrörelserna i rummet samt på rumsytornas temperatur. För att man skall kunna noggrant bestämma denna värmetillförsel måste *hela rummets värmebalans bestämmas timme för timme*. Detta kräver datorberäkning, baserad på en noggrann simulering av rummets värmebalans.

k-värdet för fönsters glaspartier kan med dator beräknas timme för timme. Det beräknas som

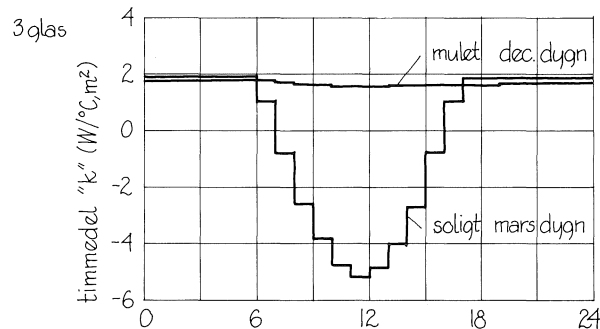
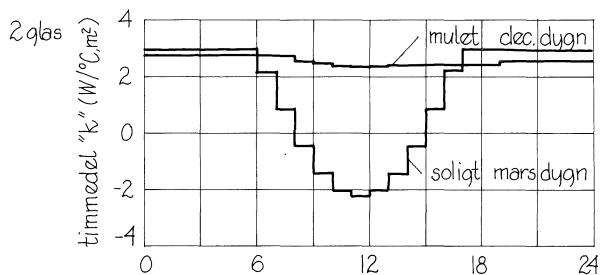
$$k = \frac{P}{\Delta T \cdot A} \quad (\text{W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2)$$

där P är den sammanlagda värmeöverföringen till glaspartiets insida på grund av konvektion och strålning, ΔT är temperaturskillnaden mellan lufttemperaturen inne och ute samt A är glaspartiets area. Detta k-värde anger förlusterna utåt under hänsyn tagen till reflektion och absorption i glasskivorna.

För ett radhus med ca 30% glas i söderfasaden blir under ett mulet decemberdygn k-värdet nära konstant. För ett tvåglasfönster (isolerglas med 12 mm glasavstånd) blir under natten $k = 2,8 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$ medan det under dagen sjunker till $k = 2,5 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$. För ett soligt marsdygn sjunker emellertid k-värdet kraftigt under dagen på grund av den i glaset absorberade strålningen. *k-värdet blir mitt på dagen negativt*, vilket innebär att den inre rutan blir varmare än rummet och alltså tillför detsamma värme.

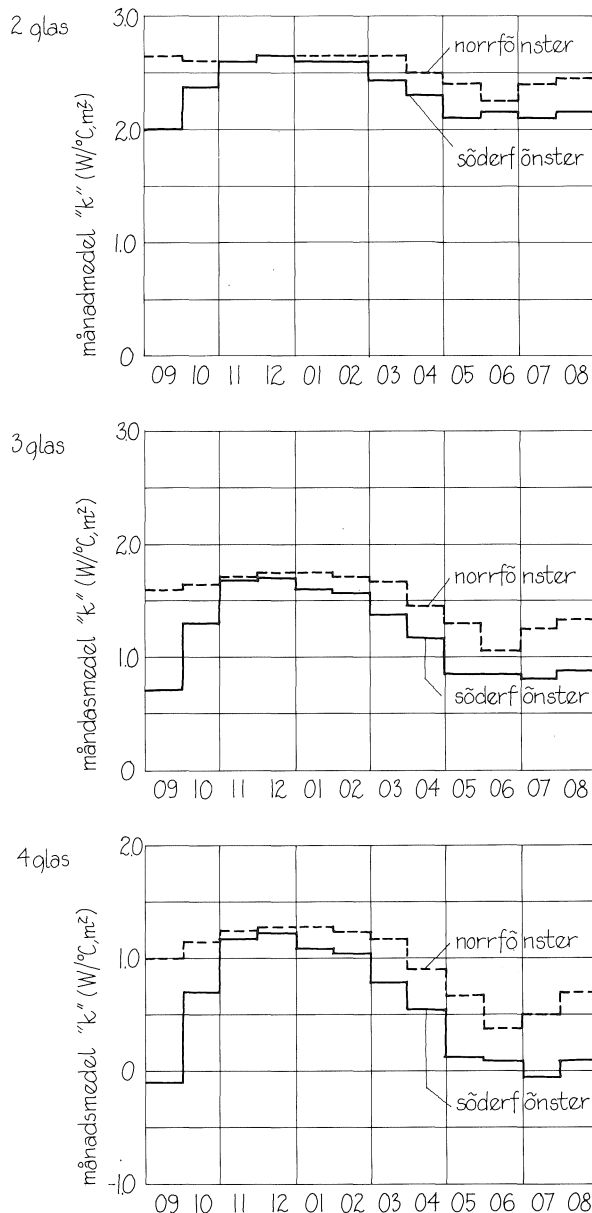
För tre- och fyrglasfönster fås under ett soligt marsdygn timmedelvärden på k som är kraftigt negativa.

k-värden för fönster med ljusstrålning avviker så principiellt från andra byggnadsdelars att man bör skriva detsamma "k"-värde.



k-värdets variation för söderfönster i Stockholm, dels ett mulet decemberdygn dels ett soligt marsdygn.

8.1 FÖNSTER k-värdets variation under året



Månadsmedel-k-värde för fönster åt norr och söder. Stockholm 1945/46.

"k"-värdet för fönster kan även bestämmas som månadsmedelvärde. Då beräknar man den under månaden till fönstrets insida tillförda värmen $W_{\text{mån}}$ och dividerar denna med månadens timmar N , medeltemperaturdifferensen mellan inne och ute ΔT och arean A :

$$k = \frac{W_{\text{mån}}}{N \cdot \Delta T \cdot A} \quad (\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2)$$

Även månadsmedelvärdet av k-värdet varierar med tiden. Om man jämför med nattvärdena på föregående sida så finner man att månadsmedelvärdena är lägre än dessa.

Under vintern blir för tvåglasfönster $k = 2,6$ $\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$ mot 2,8 under natten och för treglasfönster $k = 1,6$ under vintern mot $k = 2,0$ under natten.

Om man skall räkna ut värmeförluster genom fönster under uppvärmningssäsongen så skall man räkna ut ett vägt medelvärde för denna. Därvid kommer naturligtvis de kalla vintermånaderna att dominera men för söderfönster bör man kunna använda betydligt lägre k-värden än de som normalt används. Således bör man för treglasfönster åt söder kunna använda $k = 1,5$ $\text{W}/^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$ i stället för mörker-k-värdet = 2,0. För treglasfönster åt norr bör $k = 1,7$ kunna användas.

Ovan nämnda exempel gäller ett radhus, vilket har datorberäknats. Varje hus med sin arkitektur och sin byggnadstekniska uppbyggnad får sina egna "k"-värden för fönsters glaspartier. De ovan angivna kan dock indikera hur "k"-värdet varierar under dygnet och året.

"k"-värde för fönster är ett suspekt begrepp. Mätningar på värmeflöden genom fönster antyder dessutom att man har ett mycket komplicerat förlopp, vilket ytterligare ifrågasätter "k"-värdet som ett mått på fönsters värmeförlust.

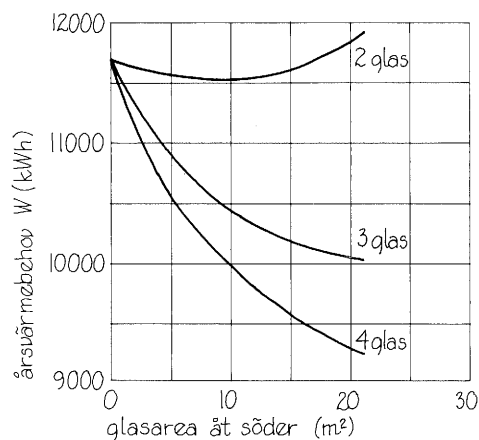
8.1 FÖNSTER

Årsvärmebehov vid oskärmade södervända fönster

För att bedöma fönsterstorlekens inverkan på årsvärmebehovet måste man ta hänsyn till *såväl värmetransporten ut som instrålningen in genom glaspartier*. Man måste timme för timme beräkna hur mycket värme som måste tillföras för att den önskade inomhustemperaturen skall kunna uppnås. Detta är ett omfattande beräkningsarbete som kräver datorer för att kunna utföras med rimlig arbetsinsats. Den beräknade värmeförlusten för varje timme summeras sedan under hela beräkningsåret och man får årsvärmebehovet. Vanligen behöver man endast tillföra värme under 7–9 månader, vilket alltså motsvarar uppvärmningssäsongen.

För att belysa fönsterstorlekens inverkan på årsvärmebehovet har radhuset i två våningar valts. Detta radhus har en huvudfasad med varierande glasarea och en motsatt fasad med fyra små fönster med en sammanlagd glasarea av 4,49 m². Radhuset antas ligga *fritt och oskuggat* av sin omgivning. Vidare förutsätts att glaspartierna är *fria från persienner och gardiner*. Väggar och tak har $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ och ventilationen motsvarar 0,5 luftväxlingar i timmen, dvs lika med Byggnormens krav på mekanisk ventilation av bostäder.

I figuren visas årsvärmebehovet för Stockholm under ett normalt år för södervända två-, tre- och fyrglasfönster. Man ser att för tvåglasfönster minskas först årsvärmebehovet något för att sedan öka när glasarean åt söder ökas. Vid tre- och fyrglasfönster minskar däremot värmebehovet avsevärt. Man kan alltså säga att tvåglasfönster är likvärdiga med och tre- och fyrglasfönster väsentligt bättre än en vägg med $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ om fasaden är *södervänd* och instrålningen är oskärmad. Liknande resultat erhålls för Malmö och Luleå — se tabellen. Den årliga värmevinsten i kWh är praktiskt taget lika i Stockholm och Luleå och något större i Malmö.



Oskärmade söderfönsters inverkan på årsvärmebehovet W (kWh).

Årsvärmebehov och värmevinst i förhållande till fönsterlös söderfasad för radhus i Malmö, Stockholm och Luleå. Oskärmade treglasfönster.

Glas- area åt söder m ²	Malmö 1967/68 ¹		Stockholm 1945/46 ¹		Luleå 1964/65 ¹	
	Års- värme- behov kWh	Värme- vinst kWh	Års- värme- behov kWh	Värme- vinst kWh	Års- värme- behov kWh	Värme- vinst kWh
0	9 576	0	11 688	0	16 427	0
6,68	8 502	1 074	10 728	960	15 367	1 060
10,46	8 095	1 481	10 430	1 258	15 007	1 420
13,36	7 829	1 747	10 265	1 423	14 820	1 607
20,92	7 395	2 181	10 023	1 665	14 594	1 833

¹ Normala uppvärmningssäsonger för resp ort.

8.1 FÖNSTER

Marginell värmevinst vid ökad glasarea åt söder

Årsvärmebehov och marginell värmevinst vid ökande oskärmad glasarea åt söder. Radhus med treglasfönster.

Glasarea åt söder m ²	Malmö 1967/68 ¹		Stockholm 1945/46 ¹		Luleå 1964/65 ¹	
	Årsvärmebehov kWh	Värmevinst kWh/m ²	Årsvärmebehov kWh	Värmevinst kWh/m ²	Årsvärmebehov kWh	Värmevinst kWh/m ²
0	9 576	161	11 688	144	16 427	159
6,68	8 502	108	10 728	79	15 367	95
10,46	8 095	92	10 430	57	15 007	64
13,36	7 829	57	10 265	32	14 820	30
20,92	7 395		10 023		14 594	

¹ Normala uppvärmningssäsonger för resp ort.

Marginell värmevinst vid ökning av oskärmad glasarea åt söder i radhus i Stockholm.

Glasarea åt söder m ²	3-glas			4-glas		
	Årsvärmebehov kWh	Värmevinst kWh	Värmevinst kWh/m ²	Årsvärmebehov kWh	Värmevinst kWh	Värmevinst kWh/m ²
0	11 688			11 688		
6,68	10 728	960	144	10 358	1 330	199
10,46	10 430	298	79	9 927	431	114
13,36	10 265	165	57	9 694	233	80
20,92	10 023	242	32	9 210	484	64

Vi har konstaterat att glasarean åt söder påverkar årsvärmebehovet. Vid tre- och fyrglasfönster minskade värmebehovet med ökad *oskärmad* glasarea åt söder. Man gör således en värmevinst vid ökad glasarea. Å andra sidan kommer — som visas längre fram — rumstemperaturen att öka under sommaren, vilket gör att *valet av glasarea måste ske så att rumstemperaturerna under sommaren blir rimliga.*

Man kan räkna med den marginella värmevinsten vid ökad *oskärmad* glasarea åt söder. I den övre tabellen visas den marginella värmevinsten vid treglasfönster i Malmö, Stockholm och Luleå. Man ser t ex att ökningen från glasarean 0 till 6,68 m² i Malmö ger en värmevinst på 161 kWh per m² glasarea. Ökar man glasarean åt söder från 6,68 till 10,46 m² så blir den marginella värmevinsten 108 kWh/m². Den marginella värmevinsten är således större vid ökning av små fönster än vid ökning av större fönster.

I den nedre tabellen visas den marginella värmevinsten för stegvis ökning av *oskärmade* södervända tre- och fyrglasfönster i Stockholm. Den blir större för fyrglasfönster än för treglasfönster.

Det kan vara intressant att omräkna värmevinsten i årlig värmekostnadsbesparing. En marginell värmevinst av 100 kWh/m² ger vid energipriset 20 öre/kWh en värmekostnadsbesparing av 20 kr/m² per år. Det diskonterade värdet för t ex 30 år blir då (tabell sid 185 med $4 = 4\%$ och $q = 2\%$)

$$22,96 \cdot 20 = 460 \text{ kr/m}^2$$

vilket är en aktningsvärd summa. Södervända fönster är således komponenter, som är värda att beaktas vid utformning av lågenergihus.

8.1 FÖNSTER

Höga rumstemperaturer vid oskärmade södervända fönster

Det är allmänt känt att stora oskärmade fönster åt söder kan medföra mycket höga rumstemperaturer under sommaren och att fönsterstorleken kan behöva reduceras om man inte tillgriper någon form av solskydd. För det tidigare nämnda radhuset har genom datorberäkningar bestämts luft- och yttemperaturer timme för timme under året. I tabellen visas en del temperaturer. Därvid avser T_{\max} den maximala rumstemperaturen (i övervåningen) under året. Den allra högsta temperaturen kan vara ointressant, eftersom denna avser endast den varmaste timmen under året. Ur temperaturstatistik för beräkningsåret har också bestämts temperaturen T_{100} (för övervåningen), vilken temperatur överskreds 100 timmar per år. På analogt sätt avser T_{200} och T_{500} de temperaturer som överskreds 200 resp 500 timmar per år. I tabellen återfinns också maximala glastemperaturer $T_{gS,\max}$ och $T_{gN,\max}$. Dessa avser söderfönsters resp norrfönsters maximala temperatur på insidan av glaset.

Av tabellen framgår att rumslufttemperaturen är praktiskt taget oberoende av om man har två, tre eller fyra glas i fönstren. Däremot är lufttemperaturen starkt beroende av glasareans storlek i söderfönster. Vid stora *oskärmade* söderfönster blir rumstemperaturerna oacceptabelt höga. *Man måste vidta någon form av solskydd för att stora södervända fönster skall kunna användas.*

Tabellen visar även att glastemperaturerna på fönstrens insida blir höga. Man har här en skillnad för två, tre och fyra glas. För södervända fönster blir den maximala glastemperaturen för stora (20,92 m²) fönster ca 10 °C högre för fyrglasfönster än för tvåglasfönster. Orsaken är naturligtvis att den absorberade solstrålningen får svårare att avges utåt vid fyrglasfönster än vid tvåglasfönster. För norrfönster är solinstrålningen mindre och skillnaden mellan två och fyra glas följaktligen också mindre.

Maximal rumstemperatur T_{\max} och temperaturer T_{100} , T_{200} och T_{500} , vilka överskreds 100, 200 och 500 timmar per år, samt maximal glastemperatur på insidan av söderfönster $T_{gS,\max}$ resp norrfönster $T_{gN,\max}$ i övervåningen i radhus i Stockholm. (Glasarea åt norr = 4,49 m²).

2-glas.

Glasarea åt söder m ²	T_{\max} °C	T_{100} °C	T_{200} °C	T_{500} °C	$T_{gS,\max}$ °C	$T_{gN,\max}$ °C
0	26,4	25,2	24,6	23,4	—	—
6,68	30,8	29,3	28,6	27,2	33,4	30,1
10,46	33,0	31,2	30,5	29,0	35,0	31,5
13,36	34,5	32,6	31,8	30,3	36,0	32,5
20,92	40,0	35,8	34,8	33,0	40,4	34,7

3-glas.

Glasarea åt söder m ²	T_{\max} °C	T_{100} °C	T_{200} °C	T_{500} °C	$T_{gS,\max}$ °C	$T_{gN,\max}$ °C
0	26,4	25,2	24,6	23,4	—	—
6,68	30,7	29,2	28,6	27,1	35,6	31,5
10,46	33,0	31,2	30,6	29,1	38,5	33,1
13,36	34,7	32,8	31,9	30,5	41,0	34,3
20,92	40,4	36,4	35,5	33,8	46,7	37,2

4-glas.

Glasarea åt söder m ²	T_{\max} °C	T_{100} °C	T_{200} °C	T_{500} °C	$T_{gS,\max}$ °C	$T_{gN,\max}$ °C
0	26,4	25,2	24,6	23,4	—	—
6,68	30,6	29,0	28,4	27,0	38,0	32,3
10,46	32,9	31,0	30,4	29,0	41,5	34,1
13,36	34,5	32,7	31,8	30,3	44,2	35,3
20,92	40,1	36,4	35,5	33,9	50,2	38,8

8.1 FÖNSTER

Olika fönsterorientering – värmebehov och rumstemperatur

Värmevinst vid radhus med 10,46 m² oskärmade glas i huvudfasad och 4,49 m² oskärmade glas i motsatt fasad i förhållande till fönsterlöst radhus, som funktion av huvudfasadens orientering. Stockholm.

Huvudfasad mot	2-glas			3-glas		
	Värmebehov Utan fönster kWh/år	Värmebehov Med fönster kWh/år	Värmevinst kWh/år	Värmebehov Utan fönster kWh/år	Värmebehov Med fönster kWh/år	Värmevinst kWh/år
Söder	11 513	11 536	-23	11 513	10 430	+1 083
Öster	11 481	12 418	-937	11 481	11 237	+244
Väster	11 481	12 418	-937	11 481	11 225	+256
Norr	11 513	12 729	-1 216	11 513	11 462	+51

Huvudfasad mot	4-glas		
	Värmebehov Utan fönster kWh/år	Värmebehov Med fönster kWh/år	Värmevinst kWh/år
Söder	11 513	9 927	+1 586
Öster	11 481	10 699	+782
Väster	11 481	10 660	+821
Norr	11 513	10 922	+591

Maximitemperatur T_{max} och temperatur T_{100} , vilken överskrids 100 timmar per år, för övervakningen i radhus med olika huvudfasadorientering (10,46 m² oskärmade glas i huvudfasad och 4,49 m² oskärmade glas i motsatt fasad). Stockholm.

Huvudfasad mot	2-glas		3-glas		4-glas	
	T_{max} °C	T_{100} °C	T_{max} °C	T_{100} °C	T_{max} °C	T_{100} °C
Söder	33,0	31,2	33,0	31,2	32,9	31,0
Öster	35,8	34,2	36,0	34,4	35,7	34,1
Väster	36,7	34,3	36,8	34,5	36,5	34,0
Norr	30,8	29,4	30,8	29,5	30,8	29,4

I de nämnda studierna har radhusets huvudfasad varit orienterad åt söder. Här skall diskuteras värmebehov och rumstemperaturer när huvudfasaden orienterats i de andra väderstrecken. Huvudfasaden har därvid antagits innehålla 10,46 m² helt oskärmade glas medan den motsatta fasaden har 4,49 m² helt oskärmade glas.

I den övre tabellen visas värmevinsten med fönster i förhållande till ett hus helt utan fönster. Man ser att för tvåglasfönster får man en värmeförlust vid söderorientering av huvudfasaden med ej mer än 23 kWh/år. Vid andra orienteringar blir förlusten avsevärt större. Intressant är att notera att skillnaden mellan norrorientering av huvudfasaden och öster/västerorientering är liten.

Vid treglasfönster blir värmevinsten vid söderorienterad huvudfasad 1 083 kWh/år medan öster/västerorientering ger en vinst på ca 250 kWh/år. Fyrglasfönster ger än större vinst.

Den nedre tabellen visar rumslufttemperaturer vid olika orienteringar. Tabellen visar dels maximal temperatur under året, T_{max} , dels temperaturen T_{100} , vilken överskrids 100 timmar per år. Det framgår klart att öster/västerorientering ger avsevärt högre rumstemperaturer än söderorientering av huvudfasaden. Detta beror på att dygnssumman av solinstrålningen under sommaren blir större för öster/västerorienterade fönster än för söderorienterade fönster. Det kan vara värt att observera att skillnaden mellan söder- och norrorienterad huvudfasad är liten när det gäller rumslufttemperaturer.

8.1 FÖNSTER

Värmevinst vid ökat antal glas

Antalet glas i fönster bestäms till största delen av ekonomiska skäl. Därför har värmevinsten vid ökning av antalet glas beräknats. I tabell a visas värmebehov för ett radhus med 10,46 m² helt oskärmda glas i huvudfasaden och 4,49 m² helt oskärmda glas i den motsatta fasaden. Man ser att vid norrorienterad huvudfasad så blir värmebesparingen per m² glasarea vid ökning från två glas till tre glas = 85 kWh/m². Om dagens energipris sätts till 20 öre/kWh så blir den årliga värmevinsten 17,00 kr/m². Det diskonterade värdet vid 30 års nyttjandetid blir då (diskonteringsfaktorn enligt tabellen på sid 185 med r = 4 % och q = 2 %):

$$22,96 \cdot 17,00 = 390 \text{ kr/m}^2 \text{ glasarea}$$

vilket således skulle kunna disponeras för att sätta in treglasfönster i stället för tvåglasfönster. Om man lägger ytterligare ett glas till treglasfönstret blir värmevinsten 36 kWh per m² glasarea och den acceptabla tilläggskostnaden för detta fjärde glas får då vara ca 165 kr/m².

Vid söderorienterad huvudfasad blir värmebesparingen mindre än vid norrorienterad. Vid ökning från två till tre glas blir vid helt oskärmd söderorienterad huvudfasad värmevinsten 74 kWh/m² mot 85 kWh/m² vid oskärmd norrorienterad huvudfasad. Skillnaden är dock liten. Det kan vara intressant att notera att 50% skärmda fönster med huvudfasaden åt söder ger värmevinsten 79 kWh/m² vid ökning från två till tre glas och 38 kWh vid ökning från tre till fyra glas.

Värmevinst och diskonterat värde av densamma visas i tabell b för hus med söderorienterad huvudfasad i Malmö, Stockholm och Luleå.

Värmevinst per m² glasarea vid tillägg av ett glas i fönster samt diskonterade värdet av värmevinsten vid två energipriser ("dagens pris") och 30 års utnyttningstid. Radhus med 10,46 m² glas i huvudfasad och 4,49 m² i motsatt fasad.

a) Stockholm 1945/46

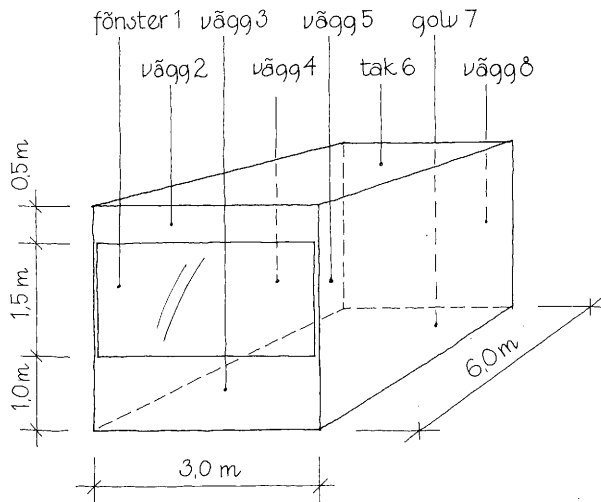
Huvudfasad	Antal glas	Värmebehov kWh/år	Värmevinst kWh/år	Värmevinst per m ² kWh/m ²	Värde kr/m ² vid	
					20 öre/kWh	30 öre/kWh
Norr	2	12 729	1 267	85	390	586
	3	11 462	540	36	165	248
	4	10 922				
Öster	2	12 418	1 181	79	363	544
	3	11 237	538	36	165	248
	4	10 699				
Väster	2	12 418	1 193	80	367	552
	3	11 225	565	38	174	262
	4	10 660				
Söder	2	11 536	1 106	74	340	510
	3	10 430	503	34	156	234
	4	9 927				

b) Huvudfasad mot söder

Ort	Antal glas	Värmevinst per m ² kWh/m ²	Värde kr/m ² vid	
			20 öre/kWh	30 öre/kWh
Malmö 1967/68 ¹	2	59	271	406
	3	24	110	166
	4			
Stockholm 1945/46 ¹	2	74	340	510
	3	34	156	234
	4			
Luleå 1964/65 ¹	2	112	515	772
	3	48	221	330
	4			

¹ Normala uppvärmningssäsonger för resp ort.

8.1 FÖNSTER Rummet, en solfångande yta



a) Strålning från ytan n till ytan m vid $r_n = 0,25$ på alla ytor

Yta	r_n	Yta m						
n		1	2+3	4	5	6	7	8
1	0,25	0,014	0,014	0,236	0,236	0,228	0,192	0,079
2+3	0,25	0,014	0,014	0,211	0,211	0,219	0,255	0,077
4	0,25	0,059	0,053	0,059	0,259	0,229	0,229	0,112
5	0,25	0,059	0,053	0,059	0,259	0,229	0,229	0,112
6	0,25	0,057	0,055	0,229	0,229	0,059	0,259	0,112
7	0,25	0,048	0,064	0,229	0,229	0,259	0,059	0,112
8	0,25	0,040	0,038	0,224	0,224	0,224	0,224	0,024

b) Strålning från ytan n till ytan m vid $r_n = 0,25$ för golv och fönster och $r_n = 0,75$ för övriga ytor

Yta	r_n	Yta m						
n		1	2+3	4	5	6	7	8
1	0,25	0,068	0,021	0,142	0,142	0,137	0,431	0,060
2+3	0,75	0,064	0,020	0,128	0,128	0,129	0,475	0,056
4	0,75	0,106	0,032	0,081	0,140	0,130	0,444	0,066
5	0,75	0,106	0,032	0,140	0,081	0,130	0,444	0,066
6	0,75	0,103	0,032	0,130	0,130	0,077	0,464	0,065
7	0,25	0,108	0,040	0,148	0,148	0,155	0,328	0,074
8	0,75	0,090	0,028	0,133	0,133	0,130	0,445	0,041

När ljusstrålar träffar en yta så reflekteras en del av strålningen medan resten absorberas i ytan och omvandlas i värme. Reflektionsegenskaperna för ljusstrålning återspeglas av deras mörkhet. En svart yta reflekterar således mycket litet, r blir ca 0,1, medan en helt vit yta reflekterar ca 80%, dvs $r = 0,8$. Den reflekterade strålningen är i regel diffus och träffar alla övriga synliga ytor i rummet. Där reflekteras en del, som sedan diffust strålar vidare till övriga synliga ytor. Man inser att det är ett omfattande arbete att beräkna ljusstrålningens fördelning i rummet. Här för krävs normalt datorberäkning.

Om vi tänker oss ett rum enligt figuren, i vilket alla ytor är ganska mörka med reflektionen 25%, dvs $r = 0,25$, så visar tabell a hur strålningen från en yta n fördelar sig på övriga ytor m. Om fönstret avger diffus ljusstrålning så ser man att ytan n = 1 (fönstret) avger 0,236 till ytan 4 (mellanväggen) och lika mycket till ytan 5 (andra mellanväggen), 0,228 till ytan 6 (taket), 0,192 till ytan 7 (golvet) och 0,079 till ytan 8 (motsatt vägg). Intressant att notera är att ytorna 2 + 3 (fasadväggen) och fönstret själv, ytan 1, får en återstrålning trots att de ligger i samma plan som den strålade ytan 1. Endast 0,014 återstrålar ut genom fönstret. Rummet är således en solfångare med verkningsgraden 0,986.

Om rumsytorna görs ljusare, t ex $r = 0,75$ för alla ytor utom golv och fönster, som har $r = 0,25$, så kommer återstrålningen till fönstret att bli 0,068 och fönstrets verkningsgrad som solfångare blir 0,932. Av tabell b framgår vidare att en stor del av ljusstrålningen absorberas av golvet, ytan 7, nämligen 0,431 av strålningen.

Även om man har direkt instrålning av sol, som träffar golv och mellanväggar, så kommer den allra största delen av instrålningen att absorberas i rumsytorna och rummet fungerar som en ypperlig solfångare.

8.1 FÖNSTER

Tillgodogjord solvärme

Sedan vi konstaterat att *oskuggade* (av omgivning- en ej skuggade) och *oskärmade* tre- och fyrglasfön- ster ger värmevinst i förhållande till en södervänd vägg med $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$, skall här diskuteras hur mycket man kan tillgodogöra sig i praktiska fall. Man kan utnyttja de tidigare redovisade beräkning- arna av årsvärmebehovet och jämföra dessa med ett fall där man inte alls har någon instrålning ge- nom glaspartierna men väl värmeförluster utåt, or- sakade av glaspartiernas mörker-k-värden. I tabel- len visas den årliga värmevinsten orsakad av instrål- ningen. Man ser att värmevinsten för en södervänd huvudfasad blir ca 27% oberoende av antalet glas, för en öster- eller västervänd huvudfasad ca 20% och för en norrvänd huvudfasad ca 18%. Värme- vinsten i kWh blir större för tvåglasfönster än för fleglasfönster beroende på att man har en viss absorption av instrålningen i varje glas.

Om fasaderna och deras glaspartier är skuggade eller skärmade, kan man naturligtvis inte tillgodogö- ra sig lika mycket som tabellen visar. Om horison- ten skulle vara skärmad med träd eller andra bygg- nader så att sol- och himmelsstrålningen upp till 15° över horisonten förhindras, så minskar värmevin- sten med ca 8%. Med persienner eller gardiner kan man avskärma en stor del av instrålningen. *Praktiskt torde emellertid knappast mer än hälften av instrål- ningen avskärras.* Mätningar i bebodda hus pekar på 60%. Man kan nog våga förutskicka att de bo- ende i framtiden kommer att vara energimedvetna och att de söker utnyttja solvärme genom att inte av- skärma fönster annat än när detta är nödvändigt för att undvika alltför höga rumstemperaturer.

När man idag talar om att söka utnyttja solenergi så glömmer man att vi redan har möjlighet att tillgo- dogöra oss solenergi som tillförs genom söderfön- ster. *En förutsättning är dock att värmeförlusterna till rummen regleras med rumstermostat* så att värmen verkligen sparas. Solen kan då förse hus med 10–30% av värmebehovet.

Tillgodogjord solvärme kWh/år. (10,46 m² glas i huvudfasad och 4,49 m² i motsatt fasad). Stockholm.

2-glas

Huvud- fasad mot	Utan instrål- ning kWh	Med instrål- ning kWh	Vinst kWh	Vinst %
Söder	15 778	11 536	4 242	27
Öster	15 778	12 418	3 360	21
Väster	15 778	12 418	3 360	21
Norr	15 778	12 729	3 049	19

3-glas

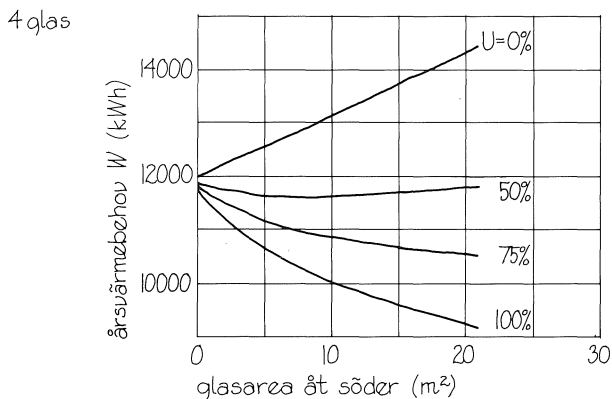
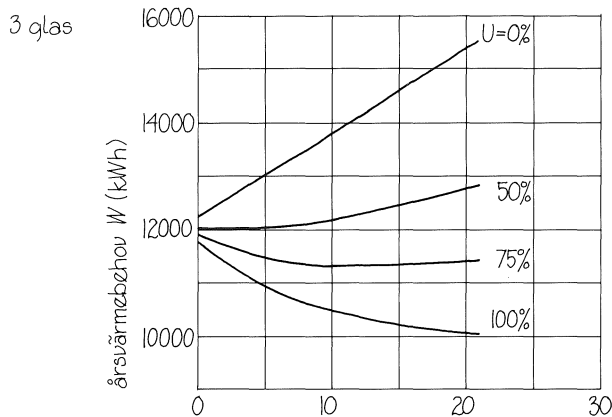
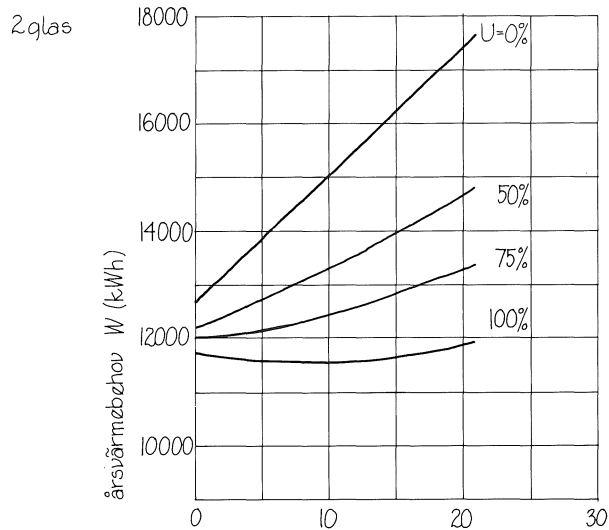
Huvud- fasad mot	Utan instrål- ning kWh	Med instrål- ning kWh	Vinst kWh	Vinst %
Söder	14 199	10 430	3 769	27
Öster	14 199	11 237	2 962	21
Väster	14 199	11 225	2 974	21
Norr	14 199	11 462	2 737	19

4-glas

Huvud- fasad mot	Utan instrål- ning kWh	Med instrål- ning kWh	Vinst kWh	Vinst %
Söder	13 424	9 927	3 497	26
Öster	13 424	10 699	2 725	20
Väster	13 424	10 660	2 764	21
Norr	13 424	10 922	2 502	19

8.1 FÖNSTER

Praktiskt tillgodogjord solvärme



Fönster är i praktiska fall alltid mer eller mindre avskärmade på grund av omgivande byggnader och växtlighet samt genom gardiner, persienner och andra solavskärningsanordningar. Därför kan man inte räkna med att man i praktiken erhåller så stor värmevinst som beräknats för oskärmade fönster.

I figuren visas årsvärmebehovet för det nämnda radhuset vid olika stor glasarea åt söder. Kurvor har inlagts för 100, 75, 50 och 0% solvärmeutnyttjande, innebärande fullt solvärmeutnyttjande (100%) vid oskärmade fönster, 75% av tillgänglig solinstrålning tillförd huset, 50% tillförd huset och ingen del (0%) av tillgänglig solinstrålning tillförd huset.

Man ser att årsvärmebehovet för tvåglasfönster blir oberoende av den södervända glasareans storlek om solvärmeutnyttjandet är 100%. För treglasfönster blir årsvärmebehovet oberoende av den södervända glasareans storlek om solvärmeutnyttjandet är ca 60% och för fyrglasfönster ca 50%.

Detta kan föranleda några reflektioner. I praktiska fall torde solvärmeutnyttjandet vara 60–75% om de boende är energimedvetna. Då är treglasfönster självförsörjande och fyrglasfönster ger direkt värmevinst.

Ju bättre värmeisolerande glaspartier görs utan att väsentligt minska instrålningen desto bättre blir södervända fönster som passiva solfångare. Nya fönstertyper med dessa egenskaper kan bli intressanta.

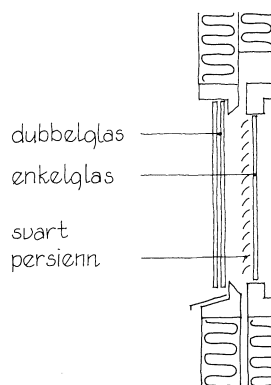
Inverkan på södervänd glasarea på årsvärmebehovet vid radhus, oskärmade söderfönster och 4,49 m² glasarea åt norr. U = solutnyttjande.

8.1 FÖNSTER

Solfångande fönster

Stora fönster åt söder ger utan solskydd höga inomhustemperaturer under sommaren. Förses fönstren med fasta solskydd minskar solvärmeutnyttjandet. Bland rörliga solskydd används i Sverige mest persienner mellan glasen i kopplade fönster. Tanken har då uppstått att solstrålningen borde omvandlas till värme i själva fönstret och sedan lagras i bjälklaget tills dess den behövs, vilket i regel är påföljande natt. I lokaler med kort brukningstid, t ex kontor och skolor, har man i regel förhållandevis stort gratisvärmestillskott per m² golvyta under brukningstiden och det direkta värmebehovet är då litet. Det är framför allt under nätter som värme behövs. Ett annat problem, på vilket man skulle behöva finna en lämplig lösning, är den förhållandevis höga ytemperaturen på fönstrens insida när persienner används under soliga somrardagar.

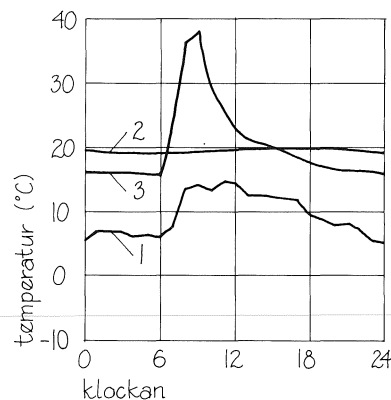
Lösningen har blivit ett system med ett solfångande fönster, som värmer luft, vilken sedan tillförs ett hålbjälklag, där värmen lagras. Fönstret består av ett yttre dubbelglas, en svart persienn och ett inre glas. Under soliga dagar absorberas instrålningen i de svarta persiennlamellerna som ställs i 45° lutning. Luften passerar lamellerna, varvid den värms upp, och värmen överförs därefter via längsgående hål till bjälklaget. Där avger luften värme, varefter den återförs till fönstret. Rummen värms genom de uppvärmda bjälklagen. Genom att varm luft får passera utanför det inre glaset, så kommer detta att få en temperatur som ligger nära rumsluftens, vilket ger en hygienisk fördel. Under sommaren transporteras den uppvärmda luften direkt ut i stället för att tillföras bjälklaget. Man kan i stället tillföra kall nattluft till bjälklaget och på detta sätt kyla detsamma. Figuren visar några resultat från provningar med sådant solfångande system.



Solfångande fönster.

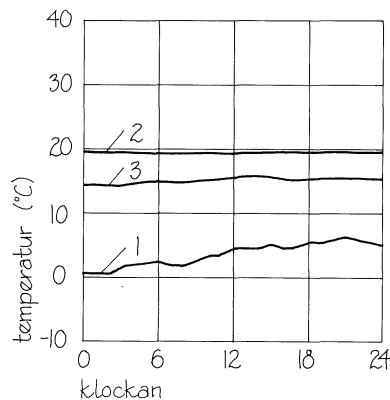
soligt dygn:
79-09-22

1. utetemp
2. före fönster
3. efter fönster



mulet dygn:
79-10-27

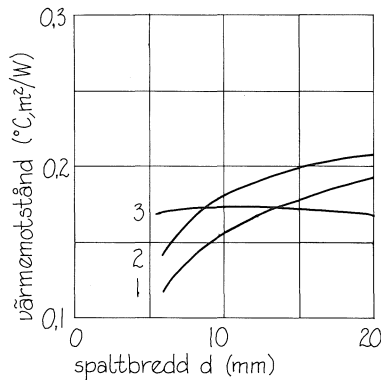
1. utetemp
2. före fönster
3. efter fönster



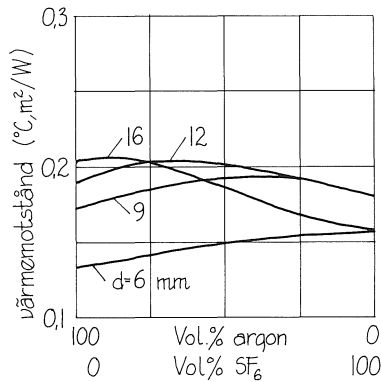
Mätresultat.

8.1 FÖNSTER Gasfyllda isolerrutor

1. Luft
2. argon
3. SF₆

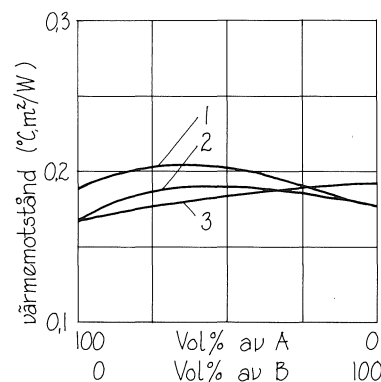


Värmemotstånd för vertikal spalt (d mm) mellan två glasrutor (enligt Gläser, 1977).



Värmemotstånd för vertikal spalt (d mm) mellan två glasrutor med gasblandning (enligt Gläser, 1977).

1. A = argon B = SF₆
2. A = luft B = SF₆
3. A = luft B = argon



Värmemotstånd för vertikal spalt (12 mm) mellan två glasrutor med blandning A/B (enligt Gläser, 1977).

Isolerrutor tillverkas normalt av två eller flera rutor vilka har ett glasavstånd på 12 mm. De är förseglade längs kanterna med ett särskilt lim, som skall hindra att fukt läcker in i rutorna och kondenserar på glaset. Visserligen har distanslisterna, som håller rutorna åtskilda, försetts med torkmedel, men i gengäld skall rutorna vara kondensfria i flera tiotals år. Vid fabrikationen tillförs utrymmet torr luft.

Det är naturligtvis möjligt att fylla utrymmet mellan glaset med annan gas än luft. Man måste emellertid då beakta att förseglingen vid rutorans kant då skall fungera dels mot att gasen "pysar" ut, dels mot att luft och vattenånga läcker in. Aktuella gaser är t ex argon och svavelhexafluorid, SF₆. Man ser av den övre figuren, vilken baseras på mätningar av Gläser, 1977, att det vertikala skiktets värmemotstånd kan avsevärt förbättras genom att man använder argon eller SF₆. Detta kan medge att glasavståndet minskas från det normala 12 mm, vilket kan vara ett önskemål dels med hänsyn till påfrestningen på förseglingen vid stor gasvolym i isolerrutan dels med hänsyn till isolerrutans totala tjocklek, särskilt vid flerglasrutor.

Figuren i mitten visar värmemotståndet hos ett vertikalt skikt med tjockleken d (mm), vilket består av en blandning av argon och SF₆. Man ser att största värmemotståndet R erhålls för (data enligt Gläser, 1977):

$d = 6$ mm, 100% SF ₆ / 0% Ar:	$R = 0,173$ °C, m ² /W
9 mm, 60% SF ₆ /40% Ar:	0,194 °C, m ² /W
12 mm, 35% SF ₆ /65% Ar:	0,204 °C, m ² /W

Ett 6 mm skikt med 100% SF₆ får således ungefär samma värmemotstånd som 12 mm luft ($R = 0,166$ °C, m²/W).

Den nedre figuren visar värmemotståndet hos ett vertikalt skikt med $d = 12$ mm och olika blandning av Ar/SF₆, Luft/SF₆ och Luft/Ar.

8.1 FÖNSTER

Fönster med lågmissionsskikt

Glas kan beläggas med tunna skikt som ger stor reflektion för de våglängder, som är aktuella vid temperaturstrålning mellan glasrutor. Den stora reflektionen, som ger låg emission, minskar värmeförlusterna och sänker mörker-k-värdet för glaspartiet. Skiktet kan antingen anbringas direkt på fönsterglasen eller på en tunn plastfilm, som sedan anbringas på glasets. Följande system har provats:

tennoxid (SnO_2) på glas
indiumoxid (In_2O_3) på glas
kopparsilver (Cu) på glas
guld (Au) på glas
silver (Ag) på glas
guld (Au) och silver (Ag) på film.

Systemen är ofta blandade så att tennoxiden dopas med antimons (Sb) eller fluorid (NH_4F), indiumoxiden med tenn (Sn), osv. Metallen ingår i regel i flerskiktssystem. Nuvarande teknik ger värden på soltransmission t_{sol} och långvågig strålning ϵ som ligger kring $t_{\text{sol}} = 0,7$ och $\epsilon = 0,15$ (silver).

Om det reflekterande skiktet behöver skyddas med ett tunt plasticskikt så ökas emissionen till 0,15–0,20.

Lågmissionsskikt är ömtåliga för mekanisk påverkan och har därför hitintills använts i isolerglas, där skiktet kan skyddas av det hermetiskt slutna utrymmet mellan glaserna. Skiktet kan också skyddas genom att en gas används i det slutna utrymmet.

Låg emission ger en lägre transmission, vilket ger lägre instrålning genom fönstren under dagen. Vid en bedömning av lönsamheten för en lågmissionsskiktbeläggning kan hänsyn behöva tas härtill.

8.1 FÖNSTER

Kopplade fönster med lågemissionsskikt

Glaspartiet i ett vanligt kopplat tvåglasfönster får ett *mörker-k-värde* (se avsnitt 8.1 Mörker-k-värde):

$$\begin{aligned} \alpha_s &= 3,81 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 & \alpha_{\text{tot}} &= 5,6 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \\ \alpha_k &= 1,8 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \\ m_{\text{spalt}} &= \frac{1}{5,6} = 0,178, \quad m_{\text{glas}} = 2 \cdot 0,004, \quad m_i + m_u = 0,20 \\ k &= \frac{1}{0,178 + 0,008 + 0,20} = 2,59 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \end{aligned}$$

Om det inre glasets utsida förses med ett lågemissionsskikt med $\epsilon_h = 0,15$, blir:

$$\begin{aligned} \frac{1}{\epsilon_{\text{res}}} &= \frac{1}{0,15} + \frac{1}{0,85} - 1 \quad \text{vilket ger } \epsilon_{\text{res}} = 0,146 \\ \alpha_s &= 0,146 \cdot 5,15 = 0,75 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \\ \alpha_k &= 1,8 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \end{aligned} \quad \left. \vphantom{\begin{aligned} \alpha_s \\ \alpha_k \end{aligned}} \right\} \alpha_{\text{tot}} = 2,55 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$$

$$\begin{aligned} m_{\text{spalt}} &= \frac{1}{2,55} = 0,392, \quad m_{\text{glas}} = 0,008, \quad m_i + m_u = 0,20 \\ k &= \frac{1}{0,392 + 0,008 + 0,20} = 1,67 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2 \end{aligned}$$

Det kan vara skäl att undersöka om ett kopplat fönster med lågemissionsskikt får ökad kondensrisk på ytterrutans insida. Om temperaturen inne är 20°C och ute -10°C samt m_u och m_i antas till 0,05 resp 0,15 °C,m²/W, så blir det yttre glasets temperatur vid ett vanligt fönster:

$$T_{\text{gl}} = T_u + \frac{\frac{1}{2} \cdot m_{\text{glas}} + m_u}{m_{\text{spalt}} + m_{\text{glas}} + m_i + m_u} \cdot (T_i - T_u) = -5,8^\circ\text{C}$$

Vid lågemissionsskikt blir $T_{\text{gl}} = -7,3^\circ\text{C}$. I båda fallen föreligger risk för kondensation på ytterrutans insida om fuktig luft läcker ut mellan karm och båge och leds in mellan bågarna. God tätning mellan karm och båge, ca 2 mm mellan bågarna, och en väl underhållen målning av bågarna bör förhindra kondens. Samma resonemang gäller för övrigt även för ett kopplat treglasfönster med en tvåglas isolerruta i innerbågen. Det bör nämnas att ca 2 mm mellan bågarna endast obetydligt försämrar mörker-k-värdet, Adamson & Höglund, 1957.

8.1 FÖNSTER

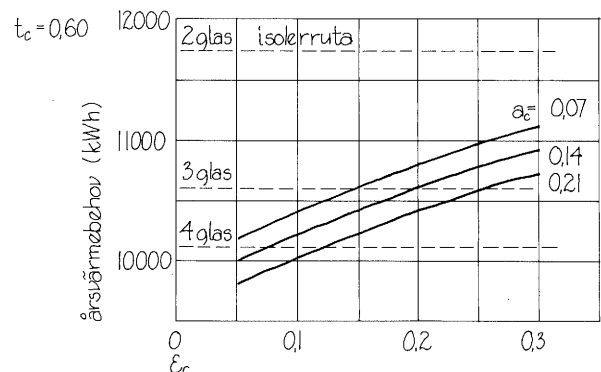
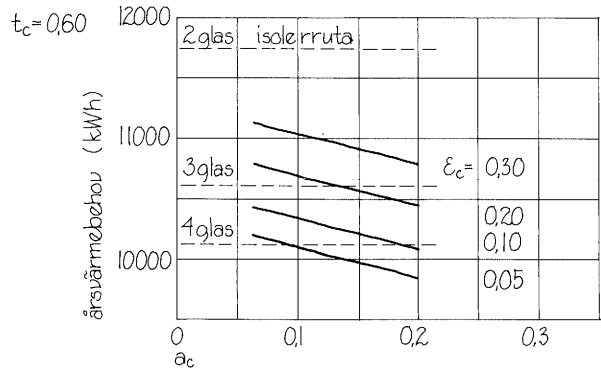
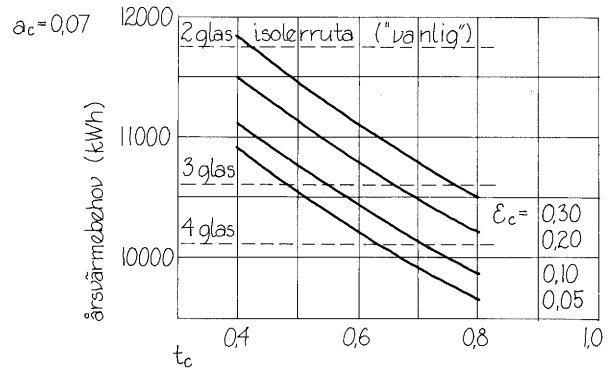
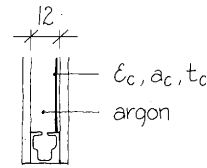
Gasfyllda isolerrutor med lågemissionsskikt

En kombination av både lågemissionsskikt och gasfyllning mellan rutorna bör ge ett lågt mörker-k-värde. En tvåglas isolerruta med ett lågemissionsskikt med $\epsilon = 0,10$ samt med 12 mm argon mellan glasen får således ett teoretiskt mörker-k-värde = $1,3-1,4 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$, vilket är praktiskt taget samma k-värde som en "vanlig" fyrglas isolerruta med 12 mm luft ger.

För att bedöma lönsamheten av en gasfylld isolerruta med lågemissionsskikt så måste man ta hänsyn också till instrålningen genom rutorna. I syfte att belysa detta har beräkningar genomförts på det schematiska radhus, som tidigare beskrivits, se Adamson, 1981. Söderfasaden har försetts med $10,46 \text{ m}^2$ glas och norrfasaden med $4,49 \text{ m}^2$ glas. Fönstren är helt oskärnade. Glaspartierna har antagits som tvåglas isolerrutor med ett lågemissionsskikt, vars transmission t_c , absorption a_c och emission ϵ_c varierats. Mellan glasen har antagits 12 mm gas med en konvektiv värmeöverföring som är 65% av den som gäller för luft. Detta kan gälla för argon.

I figuren visas årsvärmebehovet som funktion av t_c , a_c och ϵ_c . Man ser att låg transmission hos skiktet resulterar i högt värmebehov. Med $t_c=0,40$, $a_c=0,07$ och $\epsilon_c=0,30$ ger inte den gasfyllda rutan med lågemissionsskikt lägre värmeförbrukning än vanliga tvåglas isolerrutor. En ökad absorption a_c ger en minskad värmeförbrukning eftersom den inre rutan blir varm på grund av absorptionen i densamma. Värmeförlusterna minskar därvid. Låg emission ϵ_c ger självfallet ett lägre värmebehov.

Önskvärt vore att transmissionen t_c är ca 0,6, absorptionen a_c ca 0,2 och emissionen ϵ_c ca 0,10. Då skulle det gasfyllda glaspartiet med lågemissionsskikt vara likvärdigt med en "vanlig" fyrglas isolerruta. Ett annat alternativ skulle vara att $t_c=0,8$, $a_c=0,07$ och $\epsilon_c=0,16$. Även denna ruta blir likvärdig med en "vanlig" fyrglas isolerruta. Bägge alternativen torde vara tekniskt möjliga att uppnå.

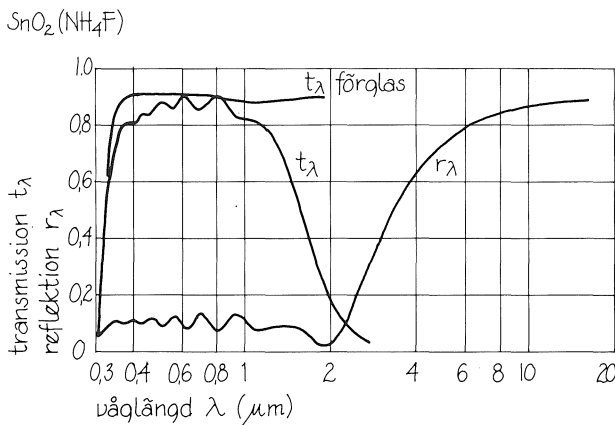


8.1 FÖNSTER

Nyare rön om lågemissionsskikt

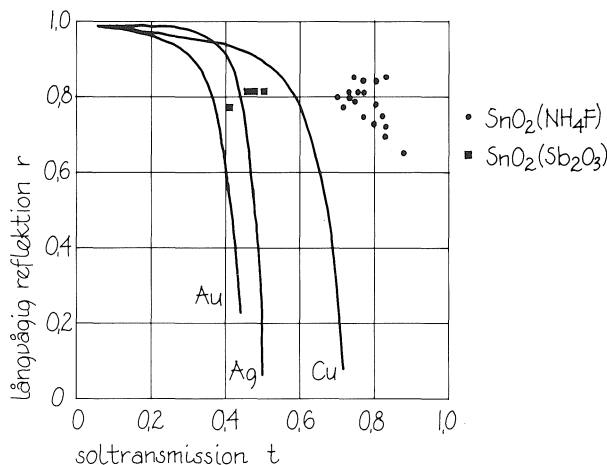
Optiska egenskaper för tennoxidskikt på glas enligt Karlsson et al, 1983.

Dopning	Koncentration	Substrat-temp °C	Optisk tjocklek (nm)	Transmission av solstrålning t	Reflektion av rumtemp-strålning r
Odopad	—	390	1 190	0,77	0,72
Sb	1 mol-% SbCl ₃	440	1 360	0,66	0,84
Sb	1 vikt-% Sb ₂ O ₃	400	1 210	0,50	0,82
F	3 mol-% NH ₄ F	430	1 470	0,74	0,78
F	3 mol-% NH ₄ F	400	1 300	0,80	0,85



Årsvärmebehov vid olika egenskaper hos lågemissionsskiktet.

Transmission t och reflektion r som funktion av strålningens våglängd för fluordopad tennoxid, enligt Karlsson et al 1983.



Reflektion r för rumtemperaturstrålning som funktion av soltransmission t för olika lågemissionsskikt på 1 mm glas, enligt Karlsson et al 1983.

Tennoxidskikt har en väsentlig fördel framför metallskikt, nämligen att de har god resistens mot mekanisk påverkan. Ett metallskikt måste, för att vara skyddat, vara orienterat mot ett förseglat utrymme som i en isolerruta. Även i detta fall kan man vilja skydda detsamma med ett tunt skikt av ett mera resistent material för att inte skada metallskiktet under transport och montering. Ett sådant extra skikt ökar emellertid emissionen. Tennoxidskikt är däremot så resistenta att de kan putsas på samma sätt som vanligt fönsterglas.

För att förbättra tennoxidens, SnO₂, optiska egenskaper har man dopat densamma med antimon i form av oxid, Sb₂O₃, eller klorid, SbCl₃. Man har då uppnått en transmission uppmot $t = 0,6$ och en emission för långvägig strålning $\epsilon = 0,15$. Man kan emellertid också dopa tennoxiden med fluor i form av NH₄F. Som framgår av tabellen (Karlsson et al, 1983) kan man då uppnå en transmission $t = 0,8$ och en emission $\epsilon = 0,15$ ($\epsilon = 1 - r$ reflektionen r). Övre figuren visar enligt samma källa transmissions- och reflektionskurvor för fluordopad tennoxid. Man ser att innanför det synliga våglängdsområdet (0,37—0,77 μm) är transmissionen obetydligt sämre än för obehandlat glas. Karlsson et al, 1983, har även visat reflektionen r för rumtemperaturstrålning (emissionen $\epsilon = (1 - r)$) som funktion av transmissionen för solstrålning. Den nedre figuren visar klart att fluordopad tennoxid ger en mycket fördelaktig kombination av transmission och reflektion.

Ett glas med ett skikt med emissionen $\epsilon = 0,15$ och med goda mekaniska egenskaper skulle kunna användas i ett normalt kopplat tvåglasfönster och ge detsamma ett mörker-k-värde = 1,7 W/°C,m², dvs lika med ett treglasfönster. Med de goda transmissionsegenskaper som fluordopade tennoxider ger kommer transmissionen att vara ungefär densamma som för ett tvåglasfönster. Med två skikt i en treglas isolerruta med argon skulle ett mörker-k-värde = 0,85 W/°C,m² kunna uppnås.

8.1 FÖNSTER

Några tumregler för solvärmeutnyttjande

Det är viktigt att fönster lämnas i *möjligaste mån oskuggade och oskärmade* samt att värmeförlusten i byggnadens rum regleras genom *rumstermostater*. Praktiskt torde man kunna utnyttja mellan 50 och 75% av det maximala solvärmeutnyttjandet. Då gäller:

Ökning av glasarean åt söder ger vid treglasfönster varken värmevinst eller värmeförlust i förhållande till vägg med $k = 0,3 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$.

Ökning av glasarean åt söder ger vid fyrglasfönster en viss värmevinst.

Oskärmade söderfönster måste begränsas till ca 30% av fasadarean åt söder.

Skuggade och skärmade söderfönster med endast 50% solvärmeutnyttjande kan ha upp till 60% av söderfasaden uppglasad.

Orientering åt sydväst—sydost ger ungefär samma värmevinst som sydoriering. Vid ytterligare avvikelser från söder minskar värmevinsten kraftigt.

Ökning från två till tre glas ger en årlig värmevinst av ca 80 kWh/m².

8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER

Värmebesparing med nattisolering

Värmevinst per m^2 glasarea vid nattisolering av fönster samt diskonterade värdet av värmevinsten vid två energipriser ("dagens pris") och 30 års utnyttningstid (gäller för alla fönsterorienteringar).

Nattisolering med värmemotståndet $m = 1,0 \text{ } ^\circ\text{C}, m^2/W$, motsvarande 40 mm högvärdigt värmeisoleringsmaterial, mellan kl 20⁰⁰ och 06⁰⁰ varje dygn under tiden 1 oktober — 30 april.

a) Värmevinst (kWh/m^2)

Antal glas i fönster	Värmevinst (kWh/m^2)		
	Malmö 1967/68	Stockholm 1945/46	Luleå 1964/65
2	60	66	85
3	38	41	52
4	26	28	36

b) Diskonterat värde av värmevinst (kr/m^2)

Antal glas i fönster	Värde vid 20 öre/ kWh			Värde vid 30 öre/ kWh		
	Malmö	Stockholm	Luleå	Malmö	Stockholm	Luleå
2	276	303	390	414	452	586
3	174	188	239	262	282	358
4	119	129	165	180	192	248

Under natten har fönster betydande värmeförluster på grund av sitt höga mörker-k-värde. Något tillskott genom instrålning av dagsljus förekommer då ej. I stället har man under klara nätter en långvågig utstrålning från fönstrets utsida mot himlen, som vid molnfrihet har flera tiotals grader lägre temperatur än uteluften. En naturlig åtgärd är då att förse fönstren med en extra värmeisolering under natten. Denna värmeisolering behöver ej vara genomskiktlig — snarare kan det vara en fördel att den är ogenomskiktlig, eftersom den då kan hindra insyn.

Beräkningar visar att en extra värmeisolering med värmemotståndet $m = 1 \text{ } ^\circ\text{C}, m^2/W$, vilket motsvarar ca 40 mm högvärdigt värmeisoleringsmaterial, kan ge betydande energibesparing. Detta visas i tabell a, där det förutsatts att nattisoleringen används varje dygn mellan kl 20⁰⁰ och 06⁰⁰ under tiden 1 oktober t o m 30 april. Man ser av tabellen att nattisolering av tvåglasfönster i Stockholm ger en årlig värmevinst av 66 kWh per m^2 glasarea. Denna siffra är praktiskt taget oberoende av fönstrets orientering ty luckorna används nästan enbart under mörker. Det kan vara intressant att jämföra nattisoleringens energibesparing med den besparing som erhålls av ett tredje glas, dvs 3 i stället för 2 glas. Enligt tabell a, sid 212 skulle ett tredje glas ha gett en värmevinst på 74–85 kWh/m^2 beroende på fönstrets orientering. Nattisoleringen har således lägre effekt än det tredje glaset. Om nattisolering används på treglasfönster så blir värmebesparingseffekten ungefär densamma som med ett fjärde glas.

De angivna värmevinsterna har beräknats utan hänsyn till långvågig utstrålning under klara nätter. Vid utvändig isolering blir vinsten större än vad som anges i tabellen.

I tabell b visas också det diskonterade värdet av värmevinsten vid två värden på "dagens energipris". Utnyttningstiden har valts till 30 år och diskonteringsfaktorn till 22,96.

8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER

Vertikalställda persienner

Persienner mellan bågarna i kopplade fönster kan i Sverige närmast betraktas som standard. Om dessa persienners blad ställs vertikalt kan de ge förbättrad värmeisolering hos fönstret samtidigt som de naturligtvis avskärmar ljus och hindrar genomsiktligheten hos fönstret. Detta kan vara en fördel under natten.

Adamson & Höglund, 1957, har mätt värmemotståndet på kopplade treglasfönster med persienner. Värmemotståndet mättes med värmeflödesmätare:

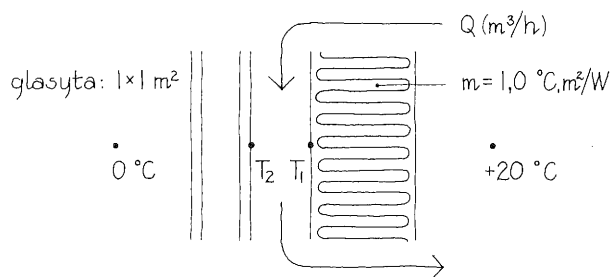
Fönster	Värmemotstånd $^{\circ}\text{C},\text{m}^2/\text{W}$				
	upptill m_I	mitten m_{II}	nedtill m_{III}	medel- tal m_m	$m_I - m_{III}$
Kopplat treglasfönster (1 luft)	0,50	0,39	0,34	0,41	0,16
Dito med horisontalställd persienn	0,43	0,35	0,34	0,37	0,09
Dito med vertikalställd persienn	0,60	0,51	0,42	0,51	0,18

Man ser att värmemotståndet för ett kopplat treglasfönster är större upptill (m_I) än nedtill (m_{III}). Detta beror på konvektion i luftspalterna. Horisontalställda persienner minskar denna konvektion ($m_I - m_{III}$) från 0,16 till 0,09 $^{\circ}\text{C},\text{m}^2/\text{W}$, men sänker det genomsnittliga värmemotståndet. Vertikalställda persienner ökar det genomsnittliga värmemotståndet från $m_m = 0,41$ till 0,51 $^{\circ}\text{C},\text{m}^2/\text{W}$. Om persiennen skulle delat upp ena luftspalten i två spalter borde m_m ha varit 0,60, dvs lika med fyrglasfönster. Full uppdelning i två spalter har således ej uppnåtts med den vertikalställda persiennen.

Man kan naturligtvis tänka sig att utföra persienner så att de i vertikalställt läge bättre delar upp luftspalten mellan bågarna i två spalter. Man kan också utföra dem blanka och ytterligare öka värmemotståndet. Värmemotstånd upp mot 1,0 $^{\circ}\text{C},\text{m}^2/\text{W}$ borde vara möjligt vid treglasfönster.

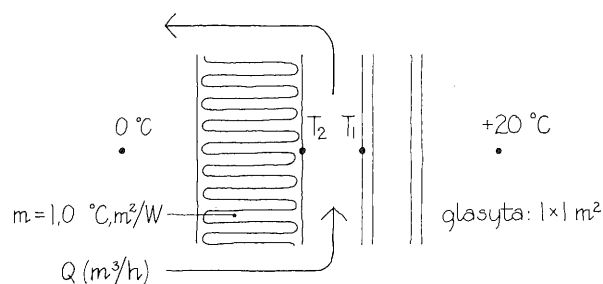
8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER

Konstruktiva synpunkter på nattisolering



Tab 8.2.2 Otäthet vid invändig nattisolering

Q m³/h	T ₁ °C	T ₂ °C	k W/°C·m²
0	4,2	3,1	0,73
0,36	5,8	3,4	0,81
0,72	6,2	3,7	0,88
1,44	6,9	4,3	1,02
2,88	8,2	5,3	1,26



Otäthet vid utvärdig nattisolering.

Q m³/h	T ₁ °C	T ₂ °C	k W/°C·m²
0	16,7	14,5	0,69
0,36	16,3	14,0	0,76
0,72	16,0	13,6	0,83
1,44	15,4	12,8	0,97
2,88	14,3	11,5	1,19

De beräknade värmevinster bygger på att nattisoleringen anbringades varje kväll klockan 20⁰⁰ och togs bort på morgonen klockan 06⁰⁰. Dessutom förutsattes att isoleringen är helt tät kring sina kanter så att luft ej kan passera in och ut från spalten mellan isolering och glas. Daglig skötsel torde kräva någon form av automatik. Om isoleringen ej anbringas varje natt så blir värmevinster lägre än som redovisats i tabellen. Skulle nattisoleringen vara kvar även på dagen så reduceras värmevinster på grund av dagsljusinstrålning. Dessutom kan man genom strålningens absorption på isoleringens utsida, om denna appliceras på fönstrets insida, få mycket höga temperaturer i spalten. Detta kommer att behandlas närmare nedan under Säsongsisolering av fönster.

Otätheter vid nattisoleringens kanter påverkar dess värmeisolerande förmåga. Om nattisoleringen anbringas på rumssidan så skulle man vid fullständig täthet få ett sammanlagt k-värde för glas + isolering av $k = 0,73 \text{ W/°C·m}^2$. Skulle 1,44 m³/h av rumsluften få passera mellan glaset och isoleringen, så kommer k-värdet att ökas till 1,02 W/°C·m². Luftmängden 1,44 m³/h motsvarar en lufthastighet av 0,2 m/s i en 2 mm springa upp till och ned till mellan isolering och glas. Detta är en måttlig otäthet. Ytterligare besvärande är att rumsluften sannolikt kommer att kondensera på glasytan, vars temperatur blir ca 4 °C när utetemperatur är 0 °C.

Vid utvärdig nattisolering undviks kondensproblemet, eftersom spalten tillförs uteluft. Försämringen av den värmeisolerande förmågan kvarstår dock. Således kommer k-värdet att öka i samma utsträckning som för invändig isolering, nämligen från ca 0,7 till 1,0 W/°C·m², om 1,44 m³/h av uteluft får passera mellan isolering och glas.

Täthetsproblemet och de höga temperaturerna vid icke borttagen isolering under soliga dagar synes ha förbisatts i fråga om många av de produkter och produktidéer som placerats på marknaden inom och utom Sverige.

8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER

Säsongsisolering av fönster

I stället för nattisolering av en byggnads fönster kan man tänka sig att förse vissa av fönstren med en extra värmeisolering under vintern. Om värmeisoleringen är icke-transparent för ljusstrålning förloras samtidigt solvärmens från instrålningen. Därför bör sådan säsongsisolering endast vara anbringad så länge som detta ger en nettobesparing. Av praktiska skäl anbringas lämpligen värmeisoleringen på fönstrets insida. Den kan göras tilltalande genom textilklädsel eller genom att tapet anbringas på dess rumssida. Man kan också säsongsisolera genom att en genomsiktig isolering fästs mellan glasen i ett kopplat fönster. I sådana fall blir ljusstrålningsreduktionen liten.

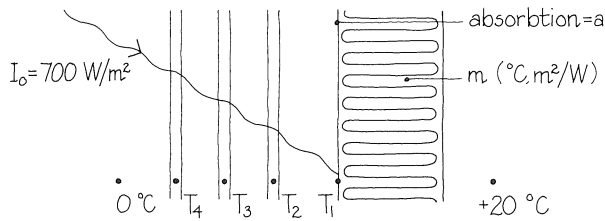
Om en skiva av högvärdigt värmeisoleringsmaterial ($\lambda = 0,04 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$), så reduceras *mörker-k-värdet* betydligt, även om tjockleken på isoleringen (d) är förhållandevis liten:

d (mm)	k ($\text{W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$)		
	2 glas	3 glas	4 glas
20	0,98	0,85	0,75
40	0,66	0,60	0,54
60	0,50	0,46	0,43
80	0,40	0,37	0,35
100	0,33	0,31	0,30
120	0,28	0,27	0,26

Liksom vid nattisolering är det synnerligen viktigt att värmeisoleringen görs tät kring sina ränder för att förhindra att inneluft passerar in mellan isoleringen och glaset och där kondenserar. Det kan också vara nödvändigt att förse isoleringen med en ångspärr på rumssidan för att förhindra att ånga tränger in i isoleringen och kondenserar inuti densamma.

Ett annat konstruktivt problem uppstår under dagar med solinstrålning genom glaset mot isoleringen. Genom absorption kommer då isoleringens utsida att uppnå höga temperaturer, vilka dels påverkar isoleringen, dels ger höga temperaturer på glaset.

8.2 NATT- OCH SÄSONGISISOLERING AV FÖNSTER Temperaturer på grund av solinstrålning

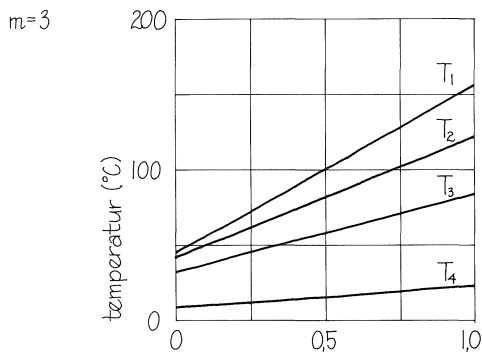


När solstrålning passerar glas så absorberas en del av densamma i glasmassan, en del reflekteras och en del transmitteras. Större delen av strålningen transmitteras genom glaset och träffar säsongsisoleringen på fönstrets insida. Beroende på isoleringens absorptionsegenskaper kommer en del av denna strålning att absorberas i isoleringens yta och resten reflekteras tillbaka mot fönstret.

Den strålning som absorberas ger upphov till en temperaturhöjning i skiktet eller ytan. Storleken av denna temperaturhöjning beror på möjligheterna att föra bort värmen från skiktet eller ytan.

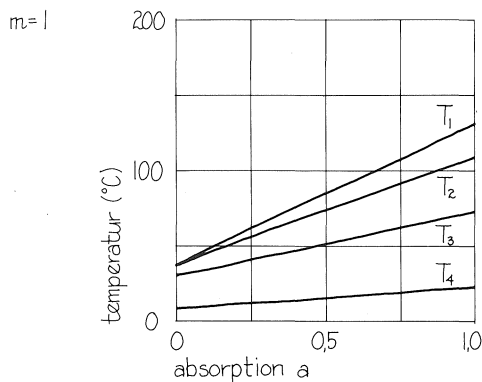
Vid treglasfönster, som på insidan försetts med en isolering med $m = 3 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ har temperaturerna i glas och på isoleringens utsida beräknats för det fall att instrålningen på vertikal yta är $I_0 = 700 \text{ W/m}^2$. Denna instrålning gäller för klara dagar under vintern. Om absorptionen på isoleringens utsida är $a = 1$, dvs all strålning absorberas, så blir:

temperaturen på isoleringens utsida,	$T_1 = 150 \text{ } ^\circ\text{C}$
temperaturen på inre glaset,	$T_2 = 120 \text{ } ^\circ\text{C}$
temperaturen på mellanglaset,	$T_3 = 85 \text{ } ^\circ\text{C}$
temperaturen på ytterglaset,	$T_4 = 25 \text{ } ^\circ\text{C}$



Utetemperaturen har då förutsatts vara $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ och rumstemperaturen $+20 \text{ } ^\circ\text{C}$. Det är uppenbart att så höga temperaturer är oacceptabla. Även om *isoleringens utsida är helt vit*, dvs $a = 0,2$, så blir temperaturerna höga, nämligen $T_1 = 65 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $T_2 = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$. Det är tveklaktigt om en treglas-isolerruta klarar denna höga temperatur.

En minskad värmeisolering $m = 1,0$ hos isoleringen ger lägre temperaturer ($T_1 = 56 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $T_2 = 52 \text{ } ^\circ\text{C}$). En tvåglasruta ger också lägre temperaturer. Med $a = 0,2$ (vit yta) och $m = 3$ blir $T_1 = 54 \text{ } ^\circ\text{C}$ och $T_2 = 39 \text{ } ^\circ\text{C}$. Detta är rimliga temperaturer.



Temperaturer på glas och isolering vid solinstrålning $I = 700 \text{ W/m}^2$
($+20 \text{ } ^\circ\text{C}$ inne och $0 \text{ } ^\circ\text{C}$ ute).

8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER

Värmevinst med säsongsisolering

Genom datorberäkningar har fastställts den värmebesparing som kan uppnås genom att förse treglasfönster med en extra isolering, så att det sammanlagda k-värdet blir $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. I tabellen visas värmevinsten för olika fönsterorientering på tre skilda orter i Sverige. I tabellen anges månad för månad den värmevinst per m^2 glasarea (+) resp den värmeförlust (—), som erhålls på grund av den extra värmeisoleringen.

Av tabellen framgår att man för söderorienterade fönster i Stockholm har en värmevinst under november (21 kWh/m^2), december (31 kWh/m^2), januari (6 kWh/m^2) och februari (5 kWh/m^2), dvs totalt 63 kWh per m^2 glasarea under november—februari. I Malmö blir den sammanlagda värmevinsten koncentrerad till januari månad medan den i Luleå erhålls under månaderna oktober—februari. Värmevinsten är starkt beroende av soligheten under det aktuella beräkningsåret och i tabellen angivna siffror gäller för Malmö 1967/68, Stockholm 1945/46 och Luleå 1964/65, vilka år bedömts som ganska normala för orten i fråga.

Den sammanlagda värmevinsten per m^2 glasarea blir för söderorienterade fönster:

Malmö	21 kWh/m ² (december—januari)
Stockholm	63 kWh/m ² (november—februari)
Luleå	115 kWh/m ² (oktober—februari)

För öster- och västerorienterade fönster erhålls:

Malmö	57 kWh/m ² (november—februari)
Stockholm ca	81 kWh/m ² (oktober—mars)
Luleå ca	131 kWh/m ² (oktober—mars)

och för norrorienterade fönster:

Malmö	84 kWh/m ² (oktober—mars)
Stockholm	113 kWh/m ² (oktober—mars)
Luleå	171 kWh/m ² (september—april)

Månatlig värmevinst i kWh per m^2 glasyta genom värmeisolering av treglasfönster så att $k = 0,28 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ erhålls:

Månad	Värmevinst vid norr-fönster			Värmevinst vid öster-fönster		
	Malmö	Stock-holm	Luleå	Malmö	Stock-holm	Luleå
07	0	0	0	0	0	0
08	0	-1	-4	0	0	-4
09	-2	-1	+5	-3	-6	-7
10	+1	+9	+13	-3	+1	+10
11	+12	+18	+24	+9	+16	+20
12	+21	+24	+31	+18	+23	+30
01	+23	+24	+36	+21	+21	+34
02	+18	+22	+29	+9	+17	+26
03	+9	+16	+25	-3	+2	+10
04	-1	-1	+8	-8	-11	-8
05	-10	-4	-8	-11	-7	-25
06	0	0	0	0	0	0

Månad	Värmevinst vid väster-fönster			Värmevinst vid söder-fönster		
	Malmö	Stock-holm	Luleå	Malmö	Stock-holm	Luleå
07	0	0	0	0	0	0
08	0	0	-4	0	0	-11
09	-4	-6	-6	-7	-16	-29
10	-3	+1	+10	-16	-26	+4
11	+9	+17	+22	-9	+21	+16
12	+18	+23	+31	+1	+31	+51
01	+21	+21	+35	+20	+6	+42
02	+9	+17	+23	-26	+5	+2
03	-2	+3	+10	-21	-20	-28
04	-8	-11	-8	-28	-36	-33
05	-11	-6	-25	-29	-18	-60
06	0	0	0	0	0	-2

8.2 NATT- OCH SÄSONGSISOLERING AV FÖNSTER Lönsamhet vid säsongsisolering

Värde av värmevinst med säsongsisolering av treglasfönster ($n = 15$ år, $r = 4\%$, $q = 2\%$).

Söderfönster

Ort	Värde (kr/m ²) vid	
	20 öre/ kWh	30 öre/ kWh
Malmö	55	82
Stockholm	166	248
Luleå	302	454

Öster- och västerfönster

Ort	Värde (kr/m ²) vid	
	20 öre/ kWh	30 öre/ kWh
Malmö	150	224
Stockholm	213	320
Luleå	344	516

Norrfönster

Ort	Värde (kr/m ²) vid	
	20 öre/ kWh	30 öre/ kWh
Malmö	221	332
Stockholm	297	446
Luleå	449	674

Man sparar uppenbarligen värme genom att under en del av uppvärmningssäsongen förse fönster med en tilläggsisolering. Värdet av denna energibesparing kan beräknas genom att diskontera den årliga värmevinsten. Härfor behöver man välja värden på

ränta r
dagens energipris k_e (kr/kWh)
årlig energiprisökning q
utnyttjningstid n (år)

För räntan kan vi välja samma värde som prop 1977/78:76 valt, nämligen en realränta av 4% och en årlig realprisökning på energi av 2%. Utnyttjningstiden kan vara svår att ange. Eftersom isoleringen skall sättas upp och tas ned varje år har n valts till 15 år. Som dagens energipris har valts dels 0,20 kr/kWh, dels 0,30 kr/kWh.

I tabellen visas nuvärdet av energibesparingen för olika orientering av treglasfönster. Liksom tidigare förutsätts att tilläggsisolering + fönster ger ett k -värde av 0,28 W/°C,m². Detta innebär att tilläggsisoleringen måste ha ett värmemotstånd av $m = 3$ °C, m²/W, vilket motsvarar 120 mm högvärdigt isoleringsmaterial, t ex mineralull eller cellplast. Kostnaden för att framställa en lätt applicerbar säsongsisolering beror på krav på utseende och på egen arbetsinsats. Enbart isoleringsmaterialet torde kosta 30–60 kr/m², räknat per färdig lucka.

För norrfönster kommer man upp i mycket höga värden på värmevinsten. Sannolikt kan en säsongsisolering vara avbetald på ett par år.

Sammanfattningsvis kan sägas att säsongsisolering torde vara lönsam för alla norr-, öster- och västerorienterade fönster samt även för södervända fönster, med viss reservation för den sydligaste delen av Sverige.

8.3 GLASADE RUM

Instrålning

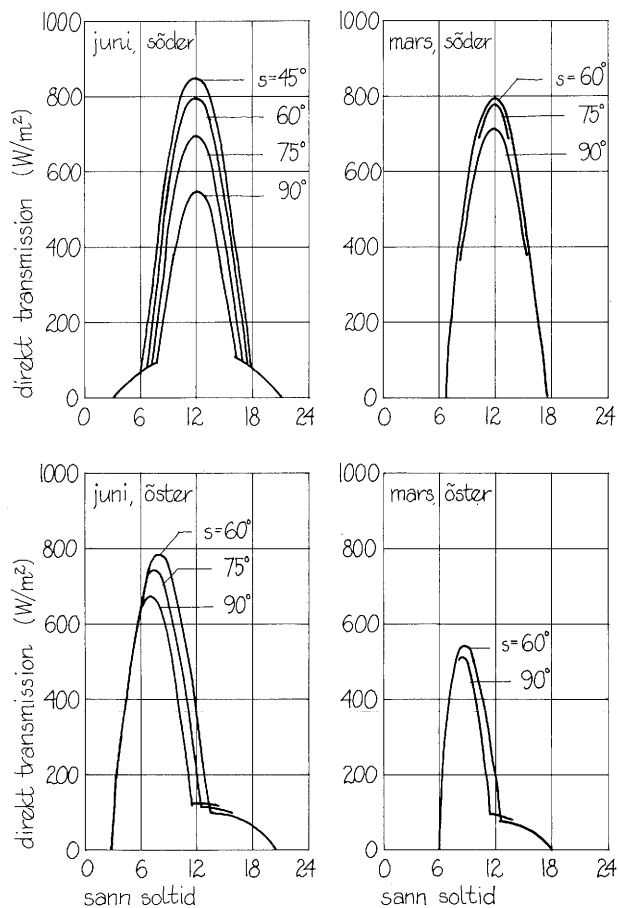
Benämningen glasade rum för tankarna till växthus och gammaldags glasverandor. Dessa utnyttjar solen som primär värmekälla och endast undantagsvis tillför man extra värme för att t ex förhindra att växter förfrysar. I detta avsnitt skall samma princip vara vägledande. Således förutsätts att *solen är den enda värmekällan och att byggnaden får utformas med hänsyn härtill*. I de fall man önskar normal rumstemperatur i det glasade rummet krävs liksom i andra rum treglasfönster eller transparent material med liknande värmeisolering.

Det glasade rummet är främst tänkt som ett utrymme, som kan utnyttjas under den varmare delen av året och således öka ut bostadsytan under denna del. I gengäld skulle den resterande bostadsytan kunna göras något mindre än normalt. Det glasade rummet är alltså anslutet till bostadsutrymmet, t ex i direkt kontakt med vardagsrummet, genom fönsterdörr och fönster.

Det glasade rummet bör utformas så att solstrålningen maximalt utnyttjas under vår och höst för att höja temperaturen utöver uteluftens temperatur.

Av kostnadsskäl utförs glasade rum i regel enkelglasade, med glas och profiler för kommersiella växthus. Värmeförlusterna blir betydande vid enkelglas och man har inom trädgårdsnäringen börjat övergå till konstruktioner med dubbla plastkonstruktioner. Dessa blir oftast ogenomsiktliga och är därför olämpliga för glasade rum.

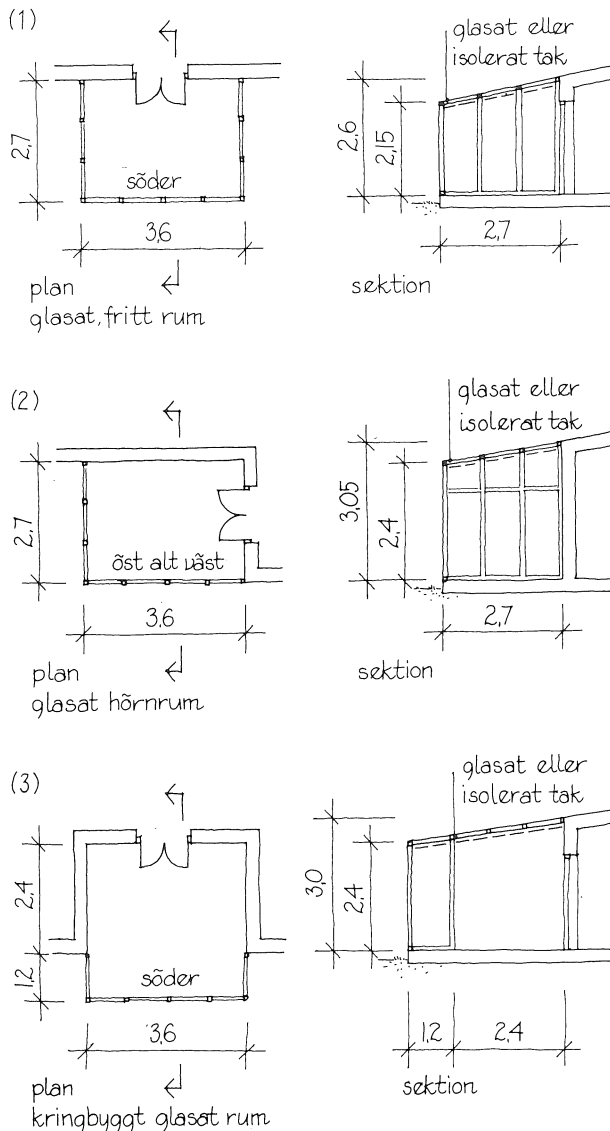
I figuren visas instrålningen genom enkelglas för mars och juni i två riktningar, söder och öster. Man ser att för en söderorienterad glasyta får man under juni den största instrålningen när glaset lutar $s = 45^\circ$ mot horisontalplanet. Ungefär samma instrålning erhålls för $s = 60^\circ$. Vertikal glasyta har endast halva instrålningen vilket kan vara en fördel. I mars månad är skillnaden mindre och maximal instrålning erhålls för $s = 60^\circ$. Vid öster- (och väster-) orienterade glas vinner man inte mycket på att luta glaset.



Instrålning genom ett glas vid olika lutning s mot horisontalplanet.

8.3 GLASADE RUM

Datasimulering av några rumstyper



Skiss på simulerade glasade rum.

Glasade rum kan användas dels som en utökad bostadsyta dels som ett ouppvämt växtrum. Temperaturen i det glasade rummet under årets olika tider är således av vital betydelse. För att ge en uppfattning om dennas beroende av olika parametrar som t ex antal glas i det glasade rummet, takkonstruktionen, ventilationen osv, har tre typer av glasade rum simulerats med datorprogrammet DEROB-LTH. Detta program ger en noggrann simulering (timme för timme) av värmebalansen i rummet.

De tre rumstyper, som studerats, visas i figuren. Det är dels ett rum med *tre glasade sidor* och den fjärde gemensam med huset (1), dels ett rum placerat i ett hörn och med *två glasade sidor* (2) och dels ett kringbyggt rum med *en glasad sida* och två sidor med liten andel av glas (3). I alla tre typerna kan taket i det glasade rummet vara antingen av glas eller utfört som ett värmeisolerat tak med stort värmemotstånd. Mellan huset och det glasade rummet är tänkt en dubbel fönsterdörr.

Simuleringarna har utförts med klimatdata för Stockholm 1971. I figuren på nästa sida visas lufttemperaturerna i de olika glasade rummen för en extrem sommardag, den 5 juli 1971. Denna dag ingår i en period med varma soliga dygn och under det aktuella dygnet var maximitemperaturen 27 °C. Figur a nästa sida visar lufttemperaturen för enkelglasade rum med ventilationen = 1 luftväxling i timmen, motsvarande endast infiltration genom otätheter. Om taket utförs glasat så blir under detta dygn den maximala lufttemperaturen i rummet med tre glasade sidor (1) så hög som 51 °C. Hörnrummet med den långa glasväggen mot väster (2) får ändå högre temperatur, max 55 °C, och när den långa glasväggen är orienterad åt öster (3) blir temperaturen max 63 °C. Det kringbyggda glasrummet (4) får den högsta temperaturen, 70 °C. Det är uppenbart att i fallet (1) har man nytta av de stora värmeförlusterna genom de enkelglasade väggarna för att hålla nere temperaturen i det glasade rummet.

8.3 GLASADE RUM

Temperaturer under soligt sommarygn

Om taket utförs värmeisolerat så undviker man en stor del av solinstrålningen samtidigt som man minskar värmeförlusterna ut genom taket. I rummet med tre glasade sidor blir, som figur b (övre) visar, den maximala temperaturen under dygnet 43 °C, dvs en reduktion med 8 °C i förhållande till fallet med glasat tak. För hörnrummen medför ett värmeisolerat tak en reduktion på ca 10 °C och för det kringbyggda rummet ca 15 °C.

Om taket skulle göras mindre välisolerat men fortfarande icke-transparent för solstrålningen så reduceras maximitemperaturerna ytterligare. Med endast en tunn vit skiva utan nämnvärt värmemotstånd skulle maximitemperaturerna bli

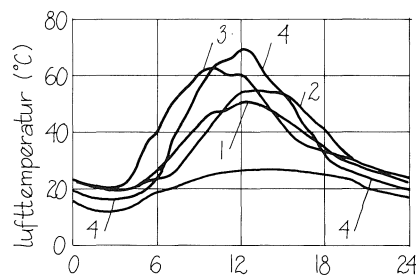
rum med tre glasade sidor: $T = 38\text{ °C}$
 hörnrum åt väster: $T = 42\text{ °C}$
 hörnrum åt öster: $T = 47\text{ °C}$
 kringbyggt glasat rum: $T = 46\text{ °C}$

Utförs de glasade rummen med två glas ökar temperaturerna, som den nedre figuren visar. Orsaken är naturligtvis att de dubbelglasade ytor har mindre värmeförluster än de enkelglasade. Med glasat tak kan man få så höga temperaturer som 80 °C.

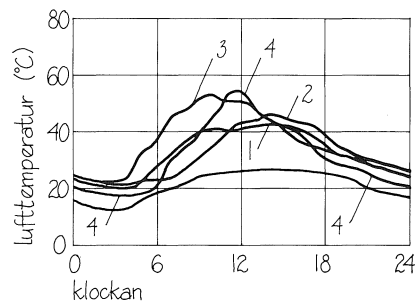
De ovan beräknade temperaturerna är naturligtvis ej exakta. De beror på hur mycket växter man har i rummet, hur stor värmelagrande massa man har utöver golvet samt hur stor evaporativ kylning man får genom avdunstning från växter och jord. Vid de beskrivna datorberäkningarna har antagandena gjorts så att den högsta temperaturen skulle uppnås. Därför kan temperaturkurvorna i figurerna betraktas som *absolut högsta temperaturnivå för respektive variant*.

Det är uppenbart att man måste antingen reducera instrålningen eller öka värmeförlusterna genom ökad ventilation under soliga sommarygn om de glasade rummen skall bli användbara.

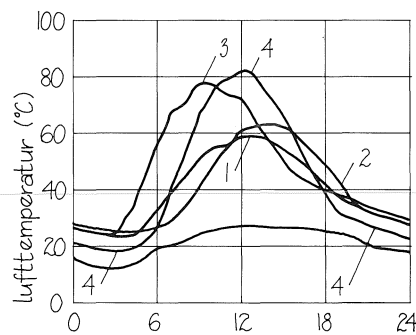
1-glas
glasat tak



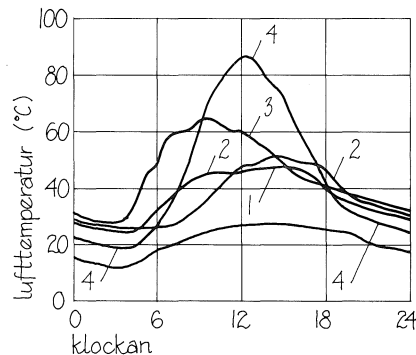
1-glas
isolerat tak



2-glas
glasat tak



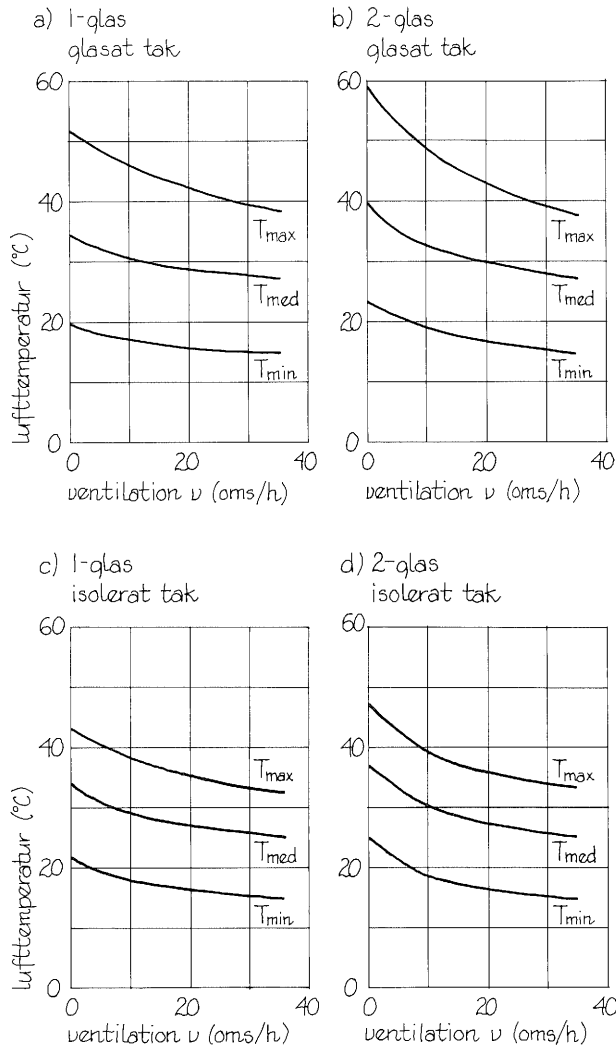
2-glas
isolerat tak



Lufttemperatur i glasade rum under extrem sommarygn i Stockholm 1971-07-05, en luftväxling per timme.

1 = Glasat, fritt rum åt söder, 2 = Glasat hörnrum åt väster, 3 = Hörnrum åt öster, 4 = Kringbyggt glasrum åt söder.

8.3 GLASADE RUM Temperaturer under soligt sommardygnet (forts)



Lufttemperatur i glasat, fritt rum åt söder under extrem sommardag. Stockholm 1971-07-05. Inverkan av ventilation, v , luftomsättningar per timme.

Ventilationen kan ökas om man ventilerar med hjälp av luckor. Dessa bör sättas lågt och högt så att bästa drag erhålls. Genom en fri area på 1 m^2 för respektive till- och frånluftöppning kan man tillföra mellan 500 och 2 000 m^3 uteluft per timme, beroende på temperaturskillnaden mellan det glasade rummet och ute. Denna ventilation ger mellan 20 och 80 luftomsättningar per timme för de ovan behandlade glasade rummen.

I figuren visas maximala dygnstemperaturens variation med ökad luftomsättning för det extremt varma och soliga sommardygnet i Stockholm. Figur a gäller ett enkelglasat rum med tre glasade sidor och med glasat tak. Man ser att utan ventilation skulle maximala temperaturen bli $52 \text{ }^\circ\text{C}$. Om ventilationen ökas till 30 oms/h så minskar den maximala temperaturen till $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Skulle rummet varit dubbelglasat (figur b) så hade det oventilerade rummet fått en maximal temperatur av $59 \text{ }^\circ\text{C}$ och samma rum med 30 oms/h skulle få $39 \text{ }^\circ\text{C}$. Det dubbelglasade rummet får alltså betydligt högre temperatur än det enkelglasade om rummet är oventilerat, men med kraftig ventilation (30 oms/h) blir temperaturen densamma i enkel- och dubbelglasade rum, = $39 \text{ }^\circ\text{C}$.

För rum med tre glasade sidor och värmeisolerat tak visas motsvarande i figurer c och d. Vid 30 oms/h kommer man då ner i ca $33 \text{ }^\circ\text{C}$ som maximal lufttemperatur under det extremt varma och soliga dygnet.

Under sommaren har man alltså problem med solinstrålningen därför att den ger alltför höga lufttemperaturer i de glasade rummen om inte solskydd och ökad ventilation tillgrips. Någon svårighet att komma ned i acceptabla temperaturer genom lämpliga solskydd och en ventilation med ca 30 oms/h synes normalt inte föreligga. Härigenom kan det glasade uppvärmda rummet delvis utnyttjas under uppvärmningssäsongen.

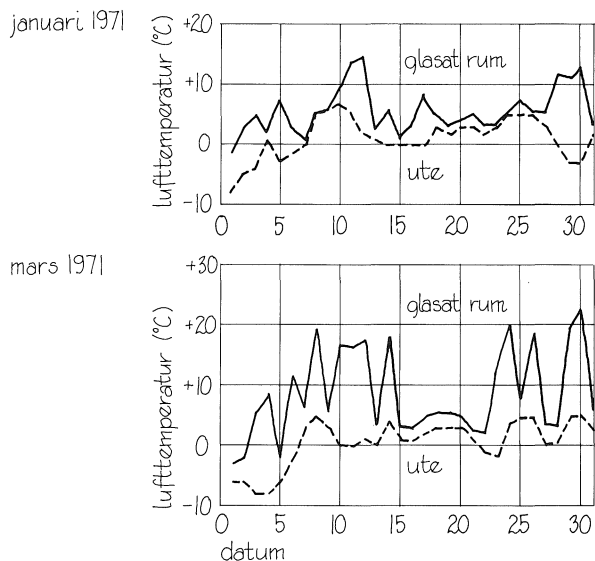
8.3 GLASADE RUM

Utnyttjande av glasade rum

Solinstrålningen ger under vintern betydande värmetillskott, som framgår av figuren, där lufttemperaturerna i ett enkelglasat rum med tre glasväggar och värmeisolerat tak visas. Av figuren framgår att man under soliga perioder redan i januari har en temperaturhöjning i det glasade rummet på närmare 20 °C. I mars månad kan man under flera dagar sitta ute i rummet som då når temperaturer närmare +20 °C. I tabell a har för det enkelglasade rummet med tre glasväggar (1 luftoms/h) de maximala lufttemperaturerna under dygnet samlats i temperaturintervall. Man ser att under januari har man 5 dygn med en temperatur mellan +10 och +15 °C. I februari har man två dygn med maximal temperatur mellan +15 och +20 °C. I mars månad har man 9 dygn med maximal temperatur högre än +15 °C och i april månad har antalet dygn med maximal temperatur högre än +15 °C stigit till 21 dygn. Redan under april har man tre dygn med maximal temperatur mellan +30 och +35 °C. Under maj–september får man problem med höga temperaturer, varför solskydd och/eller ökad ventilation måste tillgripas.

Man skulle kunna tänka sig att ventilationen under tiden maj–september ökades till 30 luftomsättningar per timme genom att luckor öppnas och lämnas öppna under hela tidsperioden. Tabell b visar att man då får rimliga temperaturförhållanden under hela sommaren. Luckorna stängs åter kring den 1 oktober och man får under oktober 21 dygn med maximal temperatur högre än +15 °C.

Det är intressant att notera att man kan få rimliga temperaturer genom att lämna ventilationsluckor öppna hela tiden under maj–september. Ett trettio-tal dygn kommer visserligen temperaturen att överskrida 30 °C men då kan man genom solskyddsgardinen skärma av det glasade taket och ev söderväggen. Under juli och augusti kan solskyddsgardinerna lämpligen vara fördragna hela tiden, varvid daglig skötsel undviks.



Maximal dygnstemperatur i enkelglasat rum med tre glasväggar och värmeisolerat tak. Luftomsättning = 1 oms/h.

a) Antal dygn med angiven maximal dygnstemperatur för enkelglasat rum med tre glasade väggar och glasat tak. Luftomsättning = 1 oms/h.

Mån	Maximal dygnstemperatur (°C)					
	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	>35
01	5	0	0	0	0	0
02	8	2	0	0	0	0
03	2	5	4	0	0	0
04	3	5	8	5	3	0
05	2	2	2	4	5	15
06	0	1	2	3	8	16
07	0	1	1	5	3	21
08	0	1	3	7	4	16
09	3	7	5	8	7	0
10	8	6	8	7	0	0
11	10	1	2	0	0	0
12	7	1	0	0	0	0

b) Antal dygn med angiven maximal dygnstemperatur för enkelglasat rum med tre glasade väggar och glasat tak. Luftomsättning = 30 oms/h.

Mån	Maximal dygnstemperatur (°C)					
	10–15	15–20	20–25	25–30	30–35	>35
05	3	5	5	12	5	0
06	0	3	8	12	6	1
07	1	1	6	10	10	3
08	0	2	11	8	10	0
09	8	9	12	1	0	0

8.3 GLASADE RUM Energibesparing

Månadsmedeltemperaturer ute och inne med tre glasade väggar och glasat tak. Luftomsättning = 1 oms/h.

Mån	Månadsmedeltemperatur (°C)		
	Ute	I glasat rum	
		1-glas	2-glas
01	-1,3	0,9	1,7
02	-2,1	1,1	2,4
03	-2,7	1,9	3,8
04	1,4	9,3	12,1
05	8,2	19,6	23,5
06	11,8	23,1	27,0
07	15,1	25,2	28,8
08	14,1	23,0	26,2
09	8,7	15,0	17,1
10	6,4	10,8	12,5
11	0,5	3,2	4,3
12	0,5	2,8	3,7

Temperaturskillnad mellan glasat rum och ute, uppmätt i Smålands Taberg-projektet.

Månad	Temperaturdifferens
81-09	4,2
-10	3,3
-11	2,3
-12	3,3
82-01	3,2
-02	3,7
-03	3,3
-04	6,1
-05	4,9

I tabellen visas månadsmedeltemperaturen i ett rum med tre enkel- resp dubbelglasade väggar och glasat tak. Rummet har antagits ha stängda luckor. Man ser att medeltemperaturerna blir betydligt högre än ute. *Energibesparingen* genom att huset utanför en del av fasaden får en högre temperatur blir beroende av de specifika värmeförlusterna mellan huset och det glasade rummet. Dessa blir med endast en fönsterdörr mellan huset och det glasade rummet $G = 7 \text{ W/}^\circ\text{C}$ och för ett fall med mycket glas mellan huset och det glasade rummet $G = 16 \text{ W/}^\circ\text{C}$. För dessa två alternativ blir energibesparingen under tiden oktober—april 139 resp 317 kWh för enkelglasat rum.

Man bör emellertid hålla i minnet att solinstrålningen skulle kunnat komma huvudbyggnadens uppvärmning tillgodo genom instrålning genom de glasade partier som vetter mot det glasade rummet. Generellt kan man våga antagandet att energibesparingen genom glasade rum blir försumbar om inte det glasade rummet har speciella egenskaper.

Detta bekräftas av mätningar i glasade rum i Smålands Taberg (se kapitel 10). Där har man uppnått de temperaturvinster i förhållande till utetemperatur som visas i den nedre tabellen.

8.4 SOLSKYDD

Behovet av solskydd

Vi har tidigare konstaterat att stora, oskärmade glasareor åt söder ger mindre årligt värmebehov än små glasareor, men samtidigt medför att man får höga inomhustemperaturer under sommaren. Detta visas också i figuren för Malmö, Stockholm och Luleå. Figuren visar dels det årliga värmebehovet W (kWh) dels temperaturen T_{100} för övervåningen i ett tvåvånings radhus. T_{100} är den temperatur, vilken över-skrids 100 timmar under beräkningsåret.

Figuren visar att värmevinsten genom att man ökar den *södervända glasarean* (treglasfönster) från 0 till 21 m² blir för

Malmö	2 181 kWh/år
Stockholm	1 665 kWh/år
Luleå	1 833 kWh/år

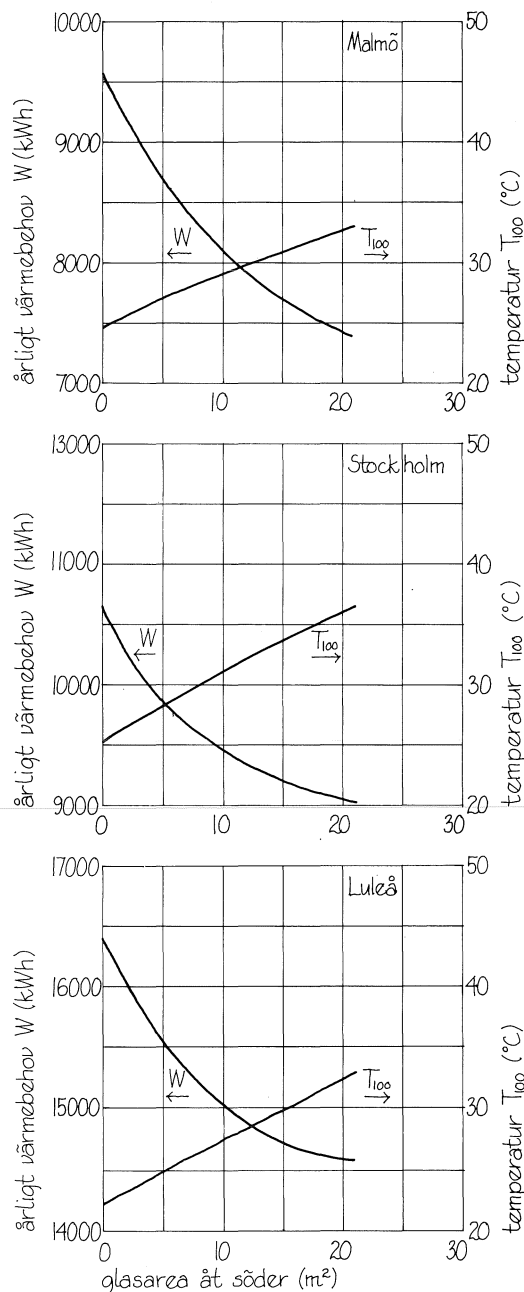
Ökningen för temperaturen T_{100} blir då i

Malmö	8,4 °C
Stockholm	11,2 °C
Luleå	11,0 °C

Öster- och västervända fönster ger ännu högre inomhustemperaturer än söderfönster. Värmetillskottet från solen sammanfaller nämligen med höga utomhustemperaturer och resulterar i höga inomhustemperaturer under sommaren. För radhuset med 10,46 m² glas i huvudfasaden och 4,49 m² i motsatt fasad erhålls i Stockholm vid

huvudfasad åt norr:	$T_{100} = 29,4$ °C
huvudfasad åt öster:	= 34,2 °C
huvudfasad åt väster:	= 34,2 °C
huvudfasad åt söder:	= 31,2 °C

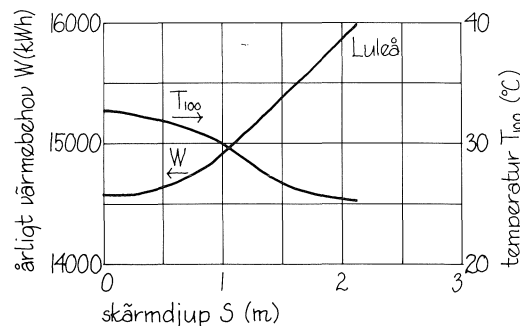
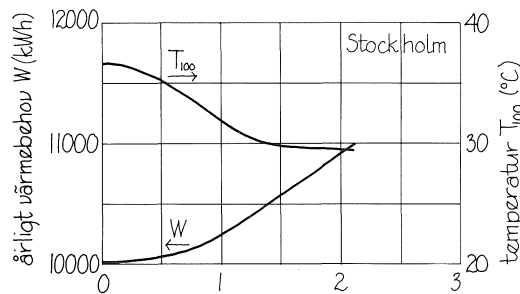
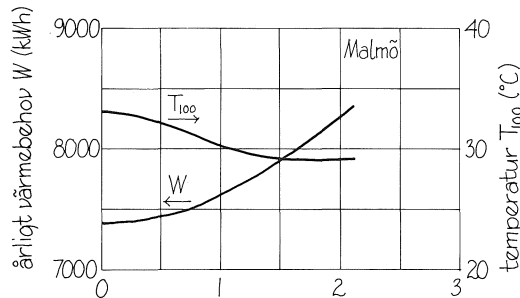
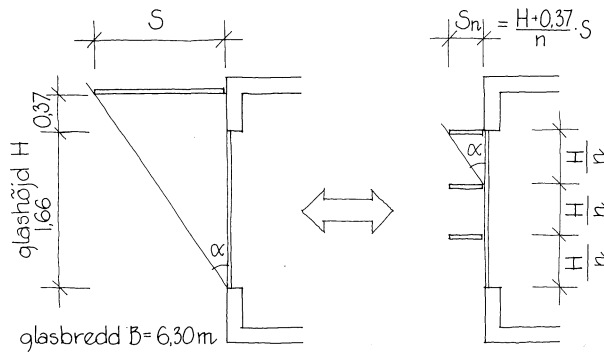
Det är uppenbart att man måste förse stora fönster med någon form av solskydd.



Årligt värmebehov W (kWh) och temperatur T_{100} (°C) vid oskärmat treglasfönster åt söder. Temperaturen T_{100} anger den temperatur, vilken överskrids 100 timmar per år.

8.4 SOLSKYDD

Fasta, horisontella skärmar



Söderfönster kan solskyddas med horisontella skärmar. Under sommaren med sitt höga solstånd ger en horisontell skärm en effektiv skuggning av fönstret. Man kan utföra den horisontella skärmningen på olika sätt, som figuren visar. Den kan appliceras såsom en djup skärm i bjälklagshöjd eller som flera skärmar utanför fönstret. Avskärmning i bjälklagshöjd kan göras med hjälp av taksprång eller balkonger. I sådana fall kan avskärmningen ske utan tilläggskostnad, om man ändå av annat skäl tänkt sig ett stort taksprång eller en balkong. Fallet med flera skärmar utanför fönstret får nog enbart tillskrivas solskyddet och bör därför belasta detsamma med sin kostnad.

I figuren visas inverkan av en fast, horisontell skärmning på årsvärmebehovet W (kWh) och temperaturen T_{100} , vilken överskrids 100 timmar per år i övervakningen på det tidigare beskrivna radhuset. Det är helt uppenbart att den horisontella skärmen ovan söderfönster ger en reduktion i T_{100} , men den ger samtidigt ett ökat årsvärmebehov. Den horisontella skärmen skuggar nämligen en del av himlen, vilket resulterar i mindre instrålning och därav följande större årsvärmebehov.

Det framgår av figuren att det knappast är lönt att göra skärmen ovanför söderfönstret djupare än:

Malmö	$S_{\max} = 1,2$ m
Stockholm	$S_{\max} = 1,5$ m
Luleå	$S_{\max} = 1,8$ m

eftersom T_{100} knappast minskar vid större S , medan däremot årsvärmebehovet ökar kraftigt.

Horisontella skärmar är praktiskt taget värdelösa för öster- och västerfönster. För stora fönster i huvudfasaden med horisontell skärm $S = 1,5$ m i bjälklagshöjd blir vid österfönster $T_{100} = 36,2$ °C, vid västerfönster $T_{100} = 36,4$ °C, medan vid söderfönster $T_{100} = 29,6$ °C.

Årligt värmebehov W (kWh) och temperatur T_{100} (°C) som funktion av skärmdjupet S (m) vid stora söderfönster med tre glas (20,94 m²). Temperaturen T_{100} anger den temperatur, vilken överskrides 100 timmar per år.

8.4 SOLSKYDD

Fasta, vertikala skärmar

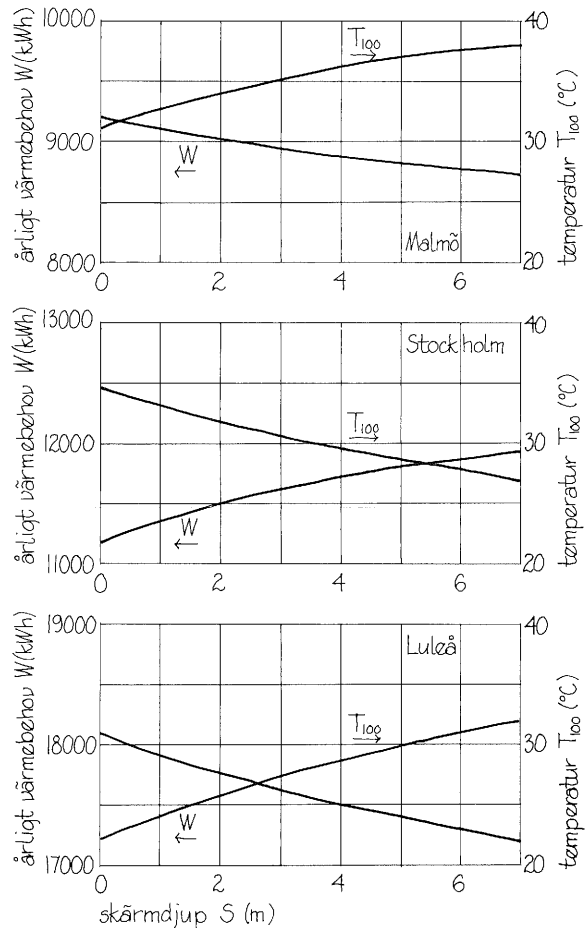
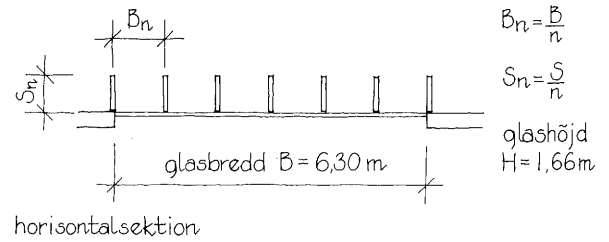
För öster- och västerfönster är vertikala skärmar lämpligaste skuggningsanordning. Vid smala fönster kan man placera skärmarna vid fönstrens vertikalsidor. Vid bredare fönster måste skärmarna sättas framför glaset som figuren visar. I figuren visas också hur årsvärmebehovet varierar med skärmdjupet S samt hur temperaturen T_{100} , dvs den temperatur som överskrids 100 timmar per år, varierar med skärmdjupet S . När man placerar flera skärmar framför glasytan så krävs skärmdjupet $S_n = S/n$, där n anger i hur många delar man uppdelat fönsterbredden — avståndet mellan skärmarna är då $B_n = B/n$.

Genom att man ökar skärmdjupet S_n ($n = 6$) från 0 till 1,2 m vid $B_n = 1,05$ m så minskar T_{100} vid västerfönster med ca 2,5 °C i Malmö, med ca 4 °C i Stockholm och med ca 4 °C i Luleå. Samtidigt ökar det årliga värmebehovet med ca 8% i Malmö, 7% i Stockholm och 6% i Luleå.

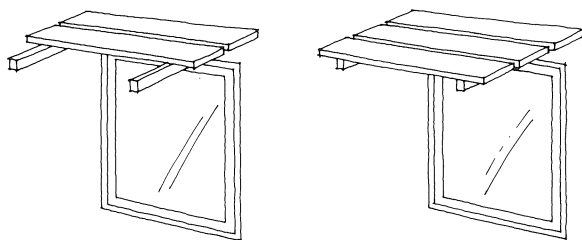
De vertikala skärmarna har således en förhållandevis *liten inverkan* på de höga inomhustemperaturerna och man kan ifrågasätta deras lämplighet som solskydd.

Diagrammen i figuren avser västerfönster. Om fönstren i stället orienterats åt öster så skulle de årliga värmebehoven bli desamma medan temperaturerna skulle reduceras med några tiondels grader.

Om man placerat vertikala skärmar framför ett 6,3 m brett och 1,66 m högt *söderfönster* (glasyta) så skulle temperaturen T_{100} sänkas med ca 4,5 °C vid $S_n = 1,2$ m ($n = 6$). Samtidigt ökar det årliga värmebehovet ca 15%. Jämförs dessa värden med värdena i föregående avsnitt för horisontella skärmar så framgår det klart att vertikala skärmar ger väsentligt sämre solskydd för söderfönster än horisontella skärmar.

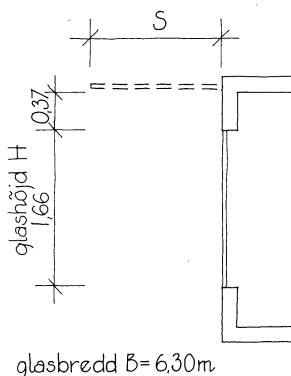


8.4 SOLSKYDD Rörliga skärmar



Rörligt skärmdjup S .

Månad	S (m)		
	Malmö	Stockholm	Luleå
07	1,5	1,5	1,5
08	1,5	1,5	1,5
09	1,5	1,5	0,9
10	0	0	0
11	0	0	0
12	0	0	0
01	0	0	0
02	0	0	0
03	0,9	0,9	0
04	0,9	0,9	0,9
05	0,9	1,5	0,9
06	1,5	1,5	1,5



Årsvärmebehov W (kWh) och temperatur T_{100} (överskrider 100 timmar per år).

Ort	Kvantitet	$S =$		
		0 m	1,5 m fast	0–1,5 m rörlig
Malmö	W	7 395	7 967	7 589
	T_{100}	33,0	29,3	29,3
Stockholm	W	10 023	10 597	10 321
	T_{100}	36,4	29,6	29,6
Luleå	W	14 594	15 436	14 904
	T_{100}	32,9	26,8	26,9

Vi har i föregående avsnitt kunnat konstatera att fasta skärmar som solskydd medför att årsvärmebehovet ökar i jämförelse med fall utan skärmar. En naturlig tanke är då att göra skärmen rörlig så att man använder den på sommaren men tar bort den under vintern. Man kan naturligtvis tänka sig att skärmen rörs ut och in automatiskt, styrt på t ex inomhustemperaturen. Sådana anordningar blir både dyrbara och klimat känsliga. Bättre är att ändra på skärmen säsongsvis.

I figuren visas en rörlig skärm ovanför ett söderfönster. Skärmen antas förändrad säsongsvis mellan lägena $S = 0$, $S = 0,9$ och $S = 1,5$ m i enlighet med övre tabellen för de tre orterna Malmö, Stockholm och Luleå. Avskärmningarna i tabellen är valda med utgångspunkt från datorberäkningar avseende olika skärmdjup.

I nedre tabellen visas årsvärmebehovet W (kWh) och temperaturen T_{100} , vilken överskrider 100 timmar per år i övervakningen i det tidigare beskrivna radhuset, för dels *oskärmade söderfönster* ($S = 0$), dels *fönster med fast skärm* ($S = 1,5$ m), dels ock *med rörlig skärm* ($S = 0$ – $1,5$ m) enligt tabellen. Man ser att den rörliga skärmen kan reducera temperaturen T_{100} lika mycket som en fast skärm, men ger ett lägre årsvärmebehov.

Rörliga skärmar, som ändras säsongsvis, skulle kunna vara en bra form av solskydd och utgör ett lämpligt område för uppfinningar. Detta gäller särskilt för rörliga skärmar på öster- och västerfönster.

Viktigt är att man måste ägna de rörliga skärmarna samma arkitektoniska omsorg som byggnaden i övrigt.

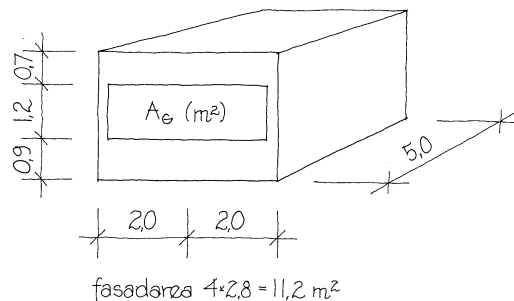
8.4 SOLSKYDD

Solskyddsglas

Under 1960- och 1970-talet har kontorsbyggnader ofta försetts med stora fönster. Det uppstod ett slags internationell arkitektur, vilken torde ha haft sitt ursprung i amerikanska skyskrapor med varje plan utgörande ett storkontor. Behovet av solskydd blev påtagligt och ett antal glastyper med solskyddande effekt fick användning. En del av dessa var av absorberande typ, dvs glasmassans absorption ökades genom inblandning av metalloxider. Dessa glas blev på grund av sin ökade absorption varma vid solstrålning och tillförde sekundärt värme till det bakomliggande rummet. Man införde därför metallbelagda glas på marknaden. Metaller har goda reflektionsegenskaper och om metallskiktet görs mycket tunt så kan det delvis bli transmittande för ljustrålning. Det var framför allt guld, krom och nickel som kom till användning för reflekterande solskyddsglas. Sådana solskyddsglas transmittar ca 20–40% av den infallande instrålningen och dess inverkan på inomhustemperaturen blev högst påtaglig.

Den minskade instrålningen medförde naturligtvis att uppvärmningsbehovet ökade i förhållande till fönster med vanligt glas. Tekniken uppstod emellertid i USA och fick sin främsta användning där och i länder med liknande klimat, dvs med varma somrar och förhållandevis kortvariga vintrar. Det ökade uppvärmningsbehovet var då försumbart i förhållande till kylningsbehovet, särskilt när energikostnaden för uppvärmning var låg.

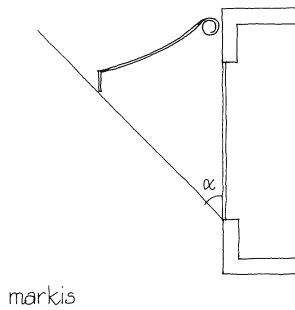
Förhållandet har nu blivit ett annat när energikostnaden för uppvärmning har mångdubblats. Då blir det av intresse att fastställa solskyddsglasens inverkan på årsvärmebehovet. Därför har ett kontorsrum datorberäknats (se Adamson och Backman, 1975). Rummet är 4 m brett och 5 m djupt. Det är befolkat med två personer under kontorstid och ventileras med 80 m³/h. I tabellen visas årsvärmebehovet vid olika tvåglasfönster, vilkas glasandel av fasadytan är 0,4. Uppenbart är att solskyddsglasens inverkan på årsvärmebehovet måste beaktas.



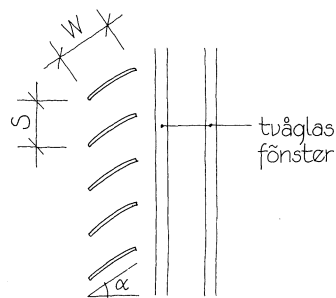
Årsvärmebehov W (kWh) för kontorsrum i Stockholm. Personvärme $m = 300 \text{ W}$ under arbetsdagar 08⁰⁰–16⁰⁰. Uppvärmning till +22 °C. Tvåglasfönster med glasarea $A_G = 0,4$ av fasadytan (11,2 m²).

Tvåglasruta med		Orientering	Glasandel A_G	W
Yttre glas	Inre glas			
3 mm maskinglas (MG)	3 mm MG	Öster	0,4	4 060
3 mm MG med nickel	3 mm MG	Öster	0,4	4 280
5 mm MG med guld	5 mm MG	Öster	0,4	4 000
3 mm maskinglas (MG)	3 mm MG	Söder	0,4	3 310
3 mm MG med nickel	3 mm MG	Söder	0,4	3 870
5 mm MG med guld	5 mm MG	Söder	0,4	3 640

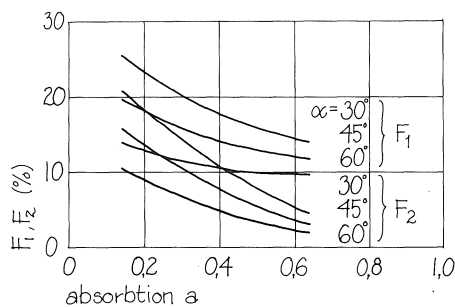
8.4 SOLSKYDD Markiser och utvändiga persienner



markis



utvändig persienn



Transmissionsfaktorn F_1 (total värmestruktion) och F_2 (direkt strålningstransmission) för utvändiga persienner som funktion av lamellans absorption a och lamellvinkeln α ($W/S = 1, 2$). Enligt Brown och Isfält, 1974.

Bland rörliga utvändiga solskydd utgör markiser och persienner en viktig grupp. Villkoret för att de skall fullgöra sin uppgift att vara solskydd under soliga varma dagar och lämna fönstren oskärmade under dagar, då instrålningen kan nyttiggöras för uppvärmning, är dock att de sköts dagligen. Solskyddande markiser har ofta väv, som är ogenomsläpplig för ljusstrålning, men som absorberar densamma. Därför blir det varmt under markisen, om man inte har ventilationspringor i dess överkant. Utan ventilation kan man få ca 10°C högre temperatur under markisen än i den omgivande luften.

Utvändiga persienner kan utföras av lameller med olika färg. Eftersom färgen starkt påverkar absorptionen av ljusstrålningen, så måste denna väljas med hänsyn härtill. Brown och Isfält, 1974, har genom datorberäkningar och försök studerat persienners solskyddande egenskaper. Därvid har även absorptionen a hos lameller uppmätts:

Färg	Synligt ljus	Hela solspektrum
vit	$a = 0,13$	$a = 0,26$
gräddgul	0,35	0,39
blå	0,59	0,50
svart	0,96	0,96

För utvändiga persienner har beräknats dels transmissionsfaktorn F_1 , som anger den totalt transmitterade energin i förhållande till den totalt transmitterade energin genom ett oskärmat referensfönster bestående av två glas, dels transmissionsfaktorn F_2 , som anger den direkt transmitterade strålningens energi i förhållande till den totalt transmitterade energin för referensfönstret. Utvändiga persienner avskärmar, som figuren visar, huvuddelen av instrålningen och endast 10–20% transmitteras i förhållande till ett tvåglasfönster.

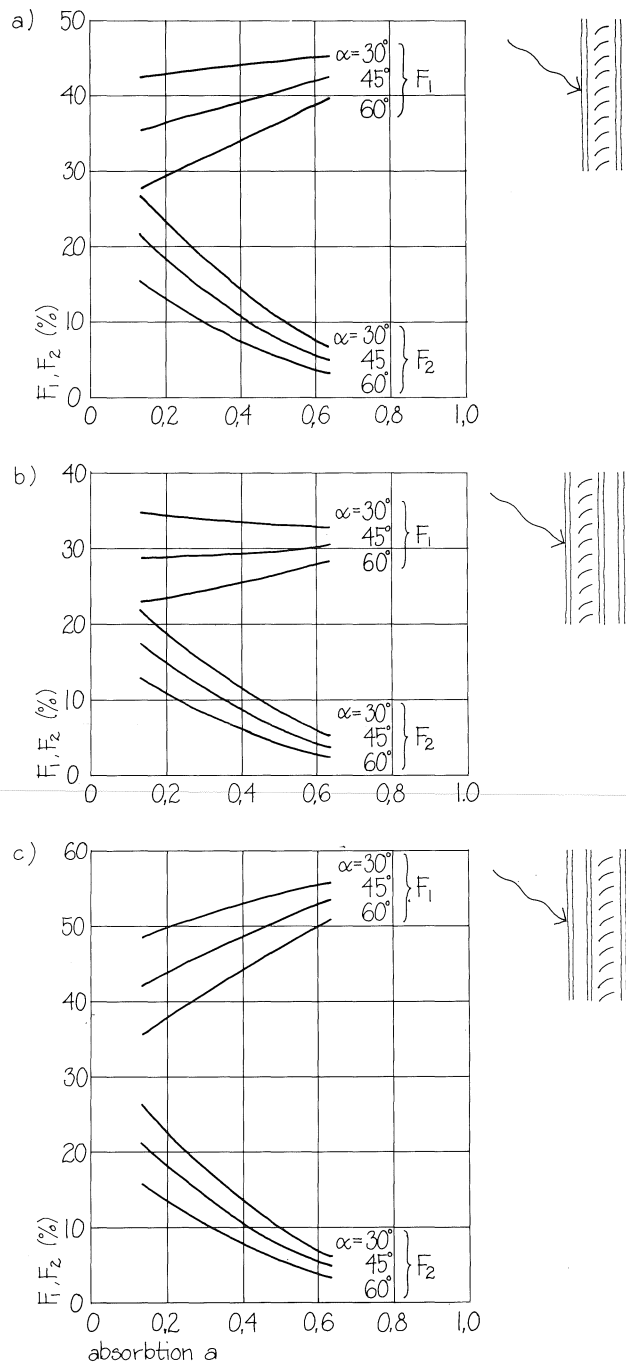
8.4 SOLSKYDD

Persienner mellan glas

Den vanligaste placeringen av persienner är mellan rutorna. I figur a visas för tvåglasfönster transmissionsfaktorerna F_1 och F_2 för olika lamellvinkel α och olika absorption a hos lamellerna. Man ser att för 45° lamellutning blir $F_1 = 0,36$ om absorptionen är 0,2, dvs en vit lamell, medan den blir $F_1 = 0,42$ vid en mörk lamell med $a = 0,6$. Detta innebär att den totala värmetransmissionen är 36% resp 42% av den totala värmetransmissionen för ett oskärmat tvåglasfönster. Av direkt strålning transmitteras endast 19% ($F_2 = 0,19$) vid vit lamell och 5% ($F_2 = 0,05$) vid mörk lamell med $a = 0,6$. De senare siffrorna ger ett begrepp om hur stor del av den synliga strålningen som avskärmas. Om F_2 är av storleksordningen 0,05–0,1 blir det ganska mörkt inomhus.

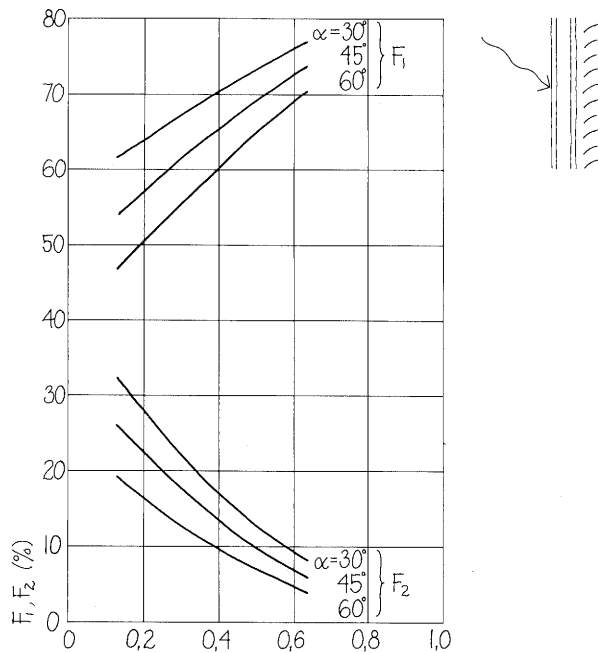
För treglasfönster kan persiennen placeras antingen mellan de yttre rutorna eller mellan de inre rutorna. Det förra fallet visas i figur b. Man ser att den totala värmetransmissionen vid lamellutningen 45° blir ca 30% ($F_1 = 0,30$) av värmetransmissionen för ett oskärmat tvåglasfönster. Ett oskärmat treglasfönster har $F_1 = 0,91$, dvs 91% av transmissionen för ett tvåglasfönster. Om persiennen i stället placerats mellan de inre rutorna så blir, som figur c visar, $F_1 = 0,45$ – $0,52$, dvs högre än i fallet med persiennerna mellan de yttre rutorna. Den strålningsenergi som absorberas i lamellerna har lättare att transporteras in i rummet om persiennen är applicerad mellan de inre rutorna än om den satts mellan de båda yttre rutorna.

Sammanfattningsvis kan sägas att persienner mellan rutorna absorberar en stor del av instrålningen, mera för mörka lameller än för vita. Vid persienner i tvåglasfönster och vid persienner mellan de yttre rutorna i treglasfönster transmitteras endast 30–40% av den totala värmetransmissionen genom ett oskärmat tvåglasfönster. Detta kan vara avgörande för solvärmeutnyttjande, och det torde krävas upplysning för att brukare *ej i onödan skall ha persiennerna i nedfällt och skärmande läge.*



Transmissionsfaktorn F_1 (total värmetransmission) och F_2 (direkt strålningstransmission) för persienn mellan rutor som funktion av lamellytans absorption a och lamellvinkeln α ($W/S = 1,2$). Enligt Brown och Isfält, 1974.

8.4 SOLSKYDD Invändiga persienn



Om persienn placeras innanför fönster så ökas transmissionsfaktorn F_1 , som framgår av figuren. För en persienn med ljusgrå lameller ($a = 0,4$), som ställts 45° , blir för *tvåglasfönster* den totala värmetransmissionen

vid utvärdig persienn	$F_1 = 0,15$
vid persienn mellan glas	$= 0,39$
vid invändig persienn	$= 0,66$

Ju närmare rummet persiennen är placerad desto mer av strålningens energi tillförs rummet. Detta är ur solskyddssynpunkt en nackdel. Om man ser till den direkta instrålningen så blir för samma fall transmissionen:

vid utvärdig persienn	$F_2 = 0,08$
vid persienn mellan glas	$= 0,10$
vid invändig persienn	$= 0,14$

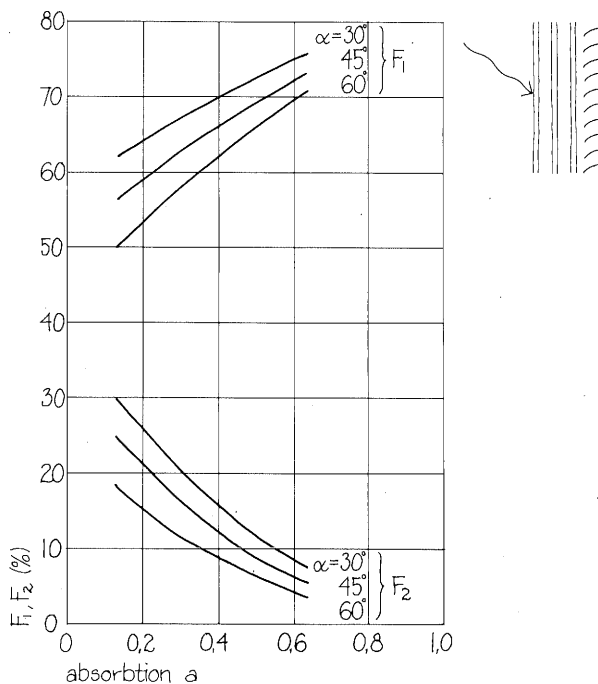
Vid invändig persienn blir som synes den direkta instrålningen större än vid utvärdig persienn eller vid persienn mellan rutorna.

För *treglasfönster* blir motsvarande jämförelse för totala värmetransmissionen:

vid utvärdig persienn	$F_1 = 0,11$
vid persienn mellan yttre rutor	$= 0,30$
vid persienn mellan inre rutor	$= 0,49$
vid invändig persienn	$= 0,66$

och för den direkta instrålningen:

vid utvärdig persienn	$F_2 = 0,06$
vid persienn mellan yttre rutor	$= 0,09$
vid persienn mellan inre rutor	$= 0,10$
vid invändig persienn	$= 0,12$



Transmissionsfaktorn F_1 (total värmetransmission) och F_2 (direkt strålningstransmission) för invändig persienn som funktion av lamellytans absorption a och lamellvinkeln α ($W/S = 1,2$). Enligt Brown och Isfält, 1974.

8.4 SOLSKYDD

Invändiga gardiner

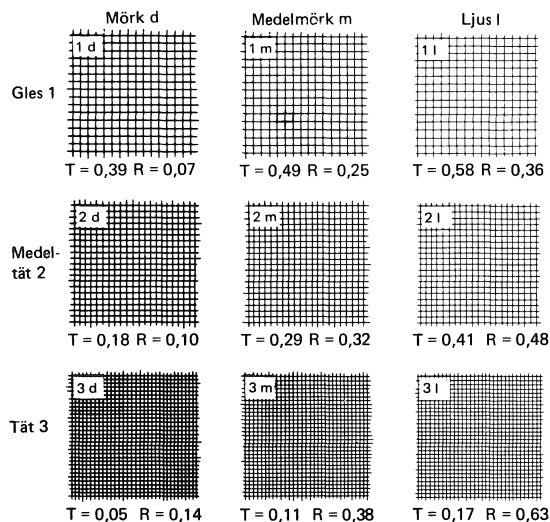
Invändiga gardiner kan utnyttjas som solskydd. Man kan indela gardintyget efter gleshet och färg. Båda egenskaperna påverkar tygets transmissions-, reflektions- och absorptionsegenskaper. Liksom tidigare är summan av transmissions-, reflektions- och absorptionsförmågan = 1. Keyes, 1967, har gjort vidstående indelning av gardintyg, med tillhörande värden på transmissionsförmåga (kallad T) och reflektionsförmåga (kallad R).

Brown och Isfält, 1974, har beräknat gardiners avskärmande effekt. Därvid har antagits att spalten mellan gardin och fönster är helt oventilerad, dvs tät kring kanterna och utan ventilation genom väven. Transmissionsfaktorerna F_1 , som anger total värmetransmission i förhållande till den totala värmetransmissionen för ett oskärmat tvåglasfönster, samt F_2 , som anger den direkta instrålningen i förhållande till den totala värmetransmissionen genom tvåglasfönster, visas i figuren.

Om gardiner är fördragna under hela året så påverkar detta såväl det årliga värmebehovet W (kWh) som rumslufttemperaturen, t ex T_{100} , vilken är den temperatur som överskrids 100 timmar per år. Detta visas i tabellen, där jämförelse görs med tre- och fyrglasfönster. Endast vit, gles gardin med oventilerad spalt ger lägre temperatur än normalt treglasfönster medan mörk, gles gardin med oventilerad spalt ger högre värmebehov än treglasfönster.

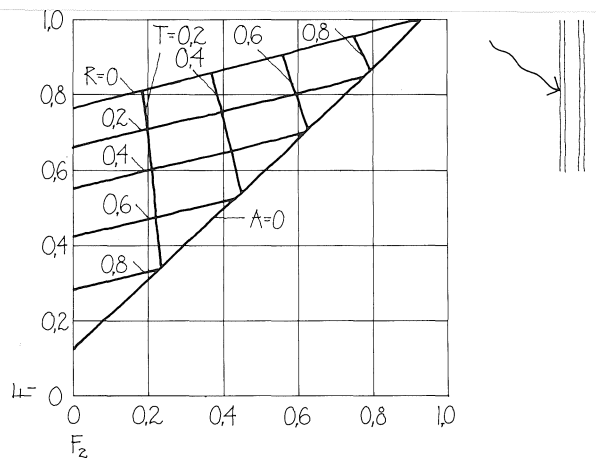
Årligt värmebehov W och temperatur T_{100} , som överskrids 100 timmar per år i övervåningen i radhus. Fönsteryta åt söder = 20,92 m², horisontell skärm S = 1,5 m.

Fönster	W kWh	T_{100} °C
3-glasfönster utan gardin	10 922	29,4
4-glasfönster utan gardin	10 029	29,4
3-glasfönster med invändig gardin		
vit, gles väv, oventilerad spalt	10 852	27,8
dito, ventilerad spalt	11 554	29,3
mörk, gles väv, oventilerad spalt	10 287	29,4
dito, ventilerad spalt	11 287	29,4



Indelning av gardinväv i nio olika klasser. Varje klass karakteriseras av vävens täthet och garnets färg och betecknas med en siffra för tätheten och en bokstav för färgen.

Under respektive rutor i figuren anges medelvärden av transmissions- och reflexionsfaktorer. (Efter Keyes, 1967).



Transmissionsfaktorer F_1 (total värmetransmission) och F_2 (direkt strålningstransmission) för invändig gardin. Enligt Brown och Isfält, 1974.

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG

Årliga värmeförluster vid solinstrålning på ytterytan

Tidigare har visats att de årliga värmeförlusterna genom en yttervägg eller ett tak kan beräknas ur:

$$W_{\text{år}} = k \cdot \frac{Q}{1\,000} \quad (\text{kWh/m}^2)$$

där k är byggnadsdelens k -värde i $\text{W}/^\circ\text{C},\text{m}^2$ och Q är

$$Q = \int_{\text{år}} (T_i - T_u) dt \quad \text{för } (T_i - T_u) > 0$$

När man har gratisvärme tillgängligt, kan man räkna med en *ekvivalent innetemperatur* $T_{i,\text{ekv}}$, som är lägre än den verkliga innetemperaturen T_i . Utsätts byggnadsdelens utsida för sol- och himmelsstrålning kan man räkna med en *ekvivalent utetemperatur* $T_{u,\text{ekv}}$ i stället för den verkliga utetemperaturen T_u . Man får då ett ekvivalent Q -värde:

$$Q_{\text{ekv}} = \int_{\text{år}} (T_{i,\text{ekv}} - T_{u,\text{ekv}}) dt \quad \text{för } (T_{i,\text{ekv}} - T_{u,\text{ekv}}) > 0$$

Den ekvivalenta utetemperaturen beräknas ur

$$T_{u,\text{ekv}} = T_u + \frac{a \cdot I}{\alpha_u}$$

där T_u = utetemperatur ($^\circ\text{C}$)
 a = absorptionsfaktor för ytterytan
 I = instrålning på ytterytan (W/m^2)
 α_u = värmeövergången vid ytterytan ($\text{W}/^\circ\text{C},\text{m}^2$)

Normalt sätts $\alpha_u = 20 \text{ W}/^\circ\text{C},\text{m}^2$.

I tabellen visas det ekvivalenta Q -värdet för tre orter under 1971, för tre absorptionsfaktorer a och för olika orientering av ytterytan. Den ekvivalenta innetemperaturen har givits tre värden, $T_{i,\text{ekv}} = 20, 16$ och 12°C . Årsvärmeförlusterna blir då:

$$W_{\text{år}} = \frac{k \cdot Q_{\text{ekv}}}{1\,000} \quad (\text{kWh/m}^2)$$

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG

Årliga värmeförluster vid solinstrålning på ytterytan (forts)

Malmö, 1971, $T_i = 20^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	98	97	96	95	94
0,5	94	93	91	88	87
0,8	91	90	87	85	84

Malmö, 1971, $T_i = 16^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	68	67	66	65	65
0,5	65	64	63	61	60
0,8	63	62	60	58	58

Malmö, 1971, $T_i = 12^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	42	42	41	40	40
0,5	40	40	39	38	37
0,8	39	39	38	36	36

Stockholm, 1971, $T_i = 20^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	115	114	112	111	111
0,5	111	109	106	104	103
0,8	107	106	102	99	98

Stockholm, 1971, $T_i = 16^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	84	83	82	81	81
0,5	81	80	78	76	75
0,8	79	78	75	72	72

Stockholm, 1971, $T_i = 12^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	58	57	56	55	55
0,5	56	55	54	52	51
0,8	54	53	52	49	49

Umeå, 1971, $T_i = 20^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	151	149	147	146	146
0,5	146	144	140	137	137
0,8	142	139	135	131	131

Umeå, 1971, $T_i = 16^\circ\text{C}$

a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	118	117	115	114	114
0,5	115	113	110	107	107
0,8	112	110	106	103	103

Umeå, 1971, $T_i = 12^\circ\text{C}$

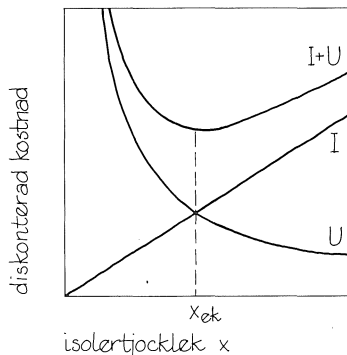
a	Q_{ekv} i 1000-tals $^\circ\text{C} \cdot \text{h}$				
	N	NV NO	V O	SV SO	S
0,2	88	88	86	85	85
0,5	86	85	83	80	80
0,8	84	83	80	77	77

Ekvivalent Q -värde.

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAGE Ekonomiskt k-värde

Ytterväggars, yttertaks och vindsbjälklags k-värden bör väljas med hänsyn till lönsamhetskrav. De faktorer, som då bestämmer k-värdet, är:

- Värmeisoleringsförmågan (λ_i W/°C,m²)
- Värmeisoleringskostnaden (K_i kr/m² per m tjockleksökning)
- Räntan på investeringskostnaden (r)
- Investerings utnyttningstid (n år)
- Dagens energipris efter energiomvandling inom byggnaden (e kr/kWh)
- Årlig energiprisökning (s)
- Det ekvivalenta Q-värdet (Q_{ekv} °C · h)



$$k_{ek} = \frac{\lambda}{x_{ek}}$$

$$I = K_i \cdot x$$

$$U = p \frac{\lambda}{x} \cdot e \frac{Q_{ekv}}{1000}$$

Det ekonomiska k-värdet definieras då som det k-värde där den sista ökningen (oändligt liten) av isolertjockleken nått och jämnt uppfyller givna värden på ovanstående faktorer. Detta ekonomiska k-värde blir:

$$k_{ek} = \sqrt{\frac{\lambda_i \cdot K_i \cdot 1\,000}{p \cdot e \cdot Q_{ekv}}} \quad (\text{W/°C,m}^2)$$

där

$$p = \frac{1 - \left(\frac{1+s}{1+r}\right)^n}{\left(\frac{r-s}{1+r}\right)}$$

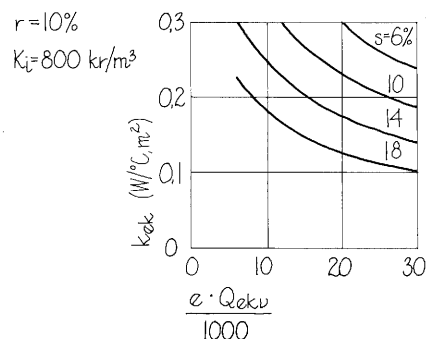
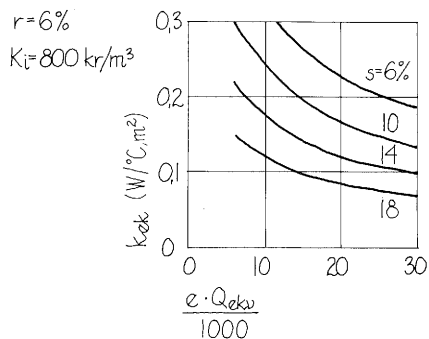
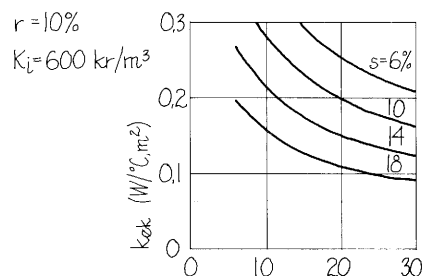
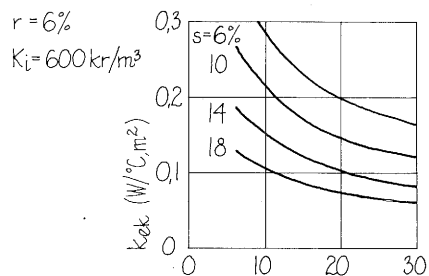
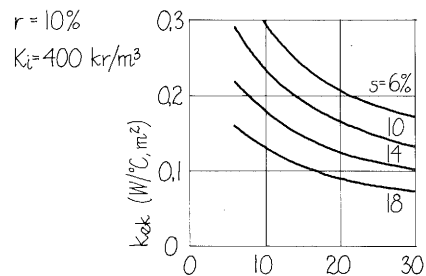
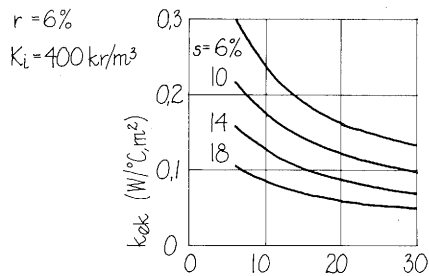
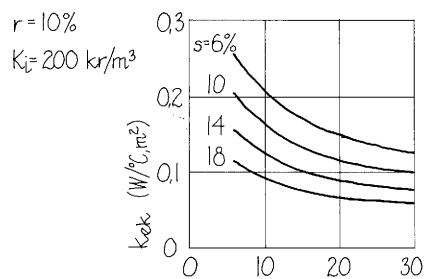
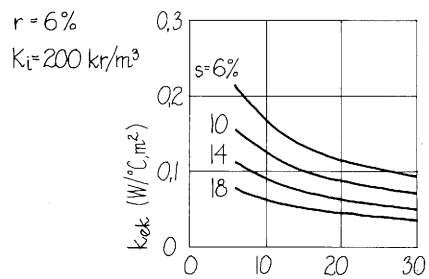
Om man väljer värden på värmeisoleringsförmågan λ_i , isoleringskostnaden K_i , räntan r samt utnyttningstiden n , så kan man göra upp diagram med

$$k_{ek}, s \text{ och } \frac{e \cdot Q_{ekv}}{1\,000}$$

som variabler. Sådana diagram visas i figuren. Värmeisoleringsförmågan har satts till $\lambda_i = 0,04$ W/°C,m² motsvarande t ex mineralull samt utnyttjandetiden till $n = 30$ år. Räntan har givits två värden, $r = 6\%$ och $r = 10\%$, och isoleringskostnaden har givits fyra värden, nämligen $K_i = 200, 400, 600$ och 800 kr/m² per m tjockleksökning.

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG

Ekonomiskt k-värde (forts)

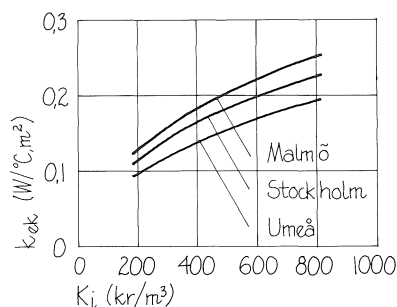


Ekonomiskt k-värde. Diagram.

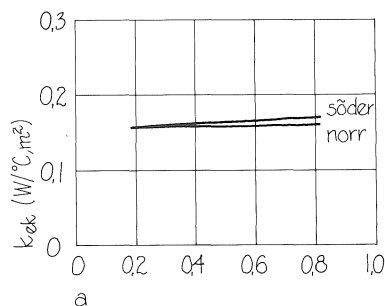
8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG

Det ekonomiska k-värdets känslighet

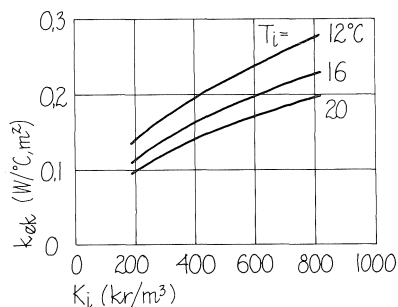
- a)
väster
 $T_i = 16\text{ °C}$
 $e = 0,15\text{ kr/kWh}$
 $r = 10\%$
 $s = 14\%$
 $a = 0,5$



- b)
Stockholm
 $T_i = 16\text{ °C}$
 $e = 0,15\text{ kr/kWh}$
 $r = 10\%$
 $s = 14\%$
 $K_i = 400\text{ kr/m}^3$



- c)
Stockholm
väster
 $e = 0,15\text{ kr/kWh}$
 $r = 10\%$
 $s = 14\%$
 $a = 0,5$



Isoleringskostnads, orienteringens, absorptionens och "gratisvärme" (val av T_i) inverkan på ekonomiskt k-värde (k_{ek}).

För att ge ett begrepp om hur de olika faktorerna påverkar det ekonomiska k-värdet, skall dessa faktorer varieras systematiskt, dvs en s k känslighetsstudie genomförs.

I figur a visas hur det ekonomiska k-värdet, k_{ek} , varierar med isoleringskostnaden K_i (kr/m² per meter isoleringstjocklek, dvs kr/m³). Tre kurvor visas, nämligen för Malmö, Stockholm och Umeå. Man ser att isoleringskostnaden har ganska stor inverkan på k_{ek} . En *fyrubbling* av K_i ger en *fördubbling* av det ekonomiska k-värdet. Den geografiska belägenheten har också en inverkan. I Umeå blir det ekonomiska k-värdet 0,75 av det värde som erhålls för Malmö. Detta innebär att isoleringstjockleken i Umeå bör vara 33% större än den i Malmö. Vid jämförelsen har räntan på det investerade kapitalet satts till $r = 10\%$, dagens energipris till $e = 0,15$ kr/kWh och den årliga energiprisökningen till $s = 14\%$. "Gratisvärme" från sol, personer och elektriska apparater har antagits motsvara 4 °C i rumstemperatur, dvs T_j har satts till 16 °C vid bestämmandet av Q_{ekv} .

Inverkan av väggens orientering och dess absorptionsförmåga framgår av figur b. Man ser att dessa båda faktorer har en *liten* inverkan på det ekonomiska k-värdet. Ökningen i k_{ek} för en söderorienterad vägg i förhållande till en norrorienterad vägg blir inte mer än ca 7% även om väggen har en mycket mörk ytteryta ($a = 0,8$).

"Gratisvärmen" inomhus har en ganska stor inverkan på det ekonomiska k-värdet, som framgår av figur c. Väljs $T_j = 20\text{ °C}$, dvs utan någon som helst gratisvärme, blir för $K_i = 400\text{ kr/m}^3$ det ekonomiska k-värdet 0,139 W/°C·m². Med gratisvärme motsvarande $T_i = 16\text{ °C}$ blir $k_{ek} = 0,161$ och med $T_j = 12\text{ °C}$ blir $k_{ek} = 0,192\text{ W/°C·m}^2$. Den ekvivalenta isoleringstjockleken d_{ekv} , dvs med hela väggen omräknad till isolering enligt nedre figuren på nästa sida, blir med $\lambda = 0,04\text{ W/°C·m}^2$ (mineralull) för $T_j = 20\text{ °C}$: $d_{ekv} = 0,34\text{ m}$, för $T_j = 16\text{ °C}$: $d_{ekv} = 0,31\text{ m}$ och för $T_j = 12\text{ °C}$ blir $d_{ekv} = 0,26\text{ m}$.

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLÄG

Det ekonomiska k-värdets känslighet (forts)

Räntan på det investerade kapitalet har en ganska stor inverkan på det ekonomiska k-värdet. Om man, t ex på grund av räntesubvention, endast behöver betala 6% ränta i stället för 10% och isoleringskostnaden $K_i = 400 \text{ kr/m}^3$ så bör man välja $k = 0,116 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ i stället för $k = 0,162 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$ som erhålls för $r = 10\%$. Detta innebär att den ekvivalenta isoleringstjockleken d_{ekv} enligt nedre figuren bör väljas 0,37 m i stället för 0,30 m, om $\lambda = 0,04 \text{ W/}^\circ\text{C,m}$.

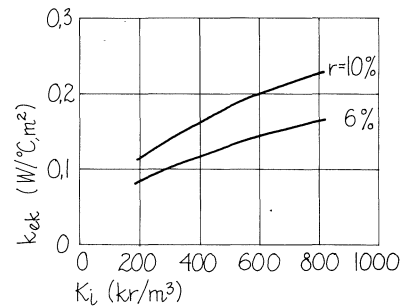
Störst inverkan har dagens energipris e och dess årliga ökning s . Väljs dagens energipris $e = 0,25 \text{ kr/kWh}$ i stället för $e = 0,10 \text{ kr/kWh}$ och den årliga energiprisökningen sätts till $s = 14\%$ så minskar det ekonomiska k-värdet från $k_{ek} = 0,196$ till $k_{ek} = 0,124 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Detta motsvarar en ökning av den ekvivalenta isoleringstjockleken vid $\lambda = 0,04 \text{ W/}^\circ\text{C,m}$ från 0,26 m till 0,36 m.

Sätts dagens energipris till $e = 0,15 \text{ kr/kWh}$ men den årliga ökningstakten sätts till 10% i stället för 14% så ökar det ekonomiska k-värdet från $k_{ek} = 0,161$ till $k_{ek} = 0,216 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$, dvs den ekvivalenta isoleringstjockleken minskar från 0,30 till 0,23 m.

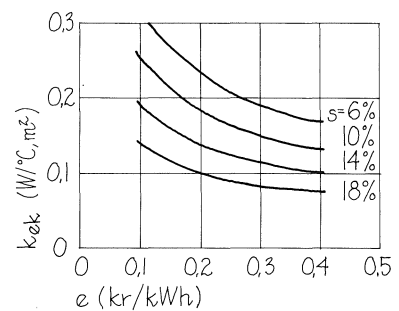
Det ekonomiska k-värdet är således

- mycket känsligt för:
 - dagens energipris
 - energiprisets årliga ökning
- måttligt känsligt för:
 - isoleringskostnaden
 - räntan
 - ortens läge
 - "gratisvärme"
- relativt okänsligt för:
 - orientering
 - absorptionsförmåga

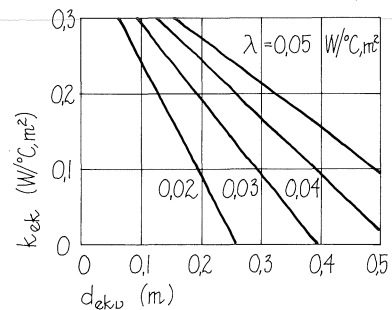
a)
Stockholm
väster
 $T_i = 16^\circ\text{C}$
 $e = 0,15 \text{ kr/kWh}$
 $s = 14\%$
 $a = 0,5$



b)
Stockholm
väster
 $T_i = 16^\circ\text{C}$
 $r = 10\%$
 $a = 0,5$
 $K_i = 400 \text{ kr/m}^3$

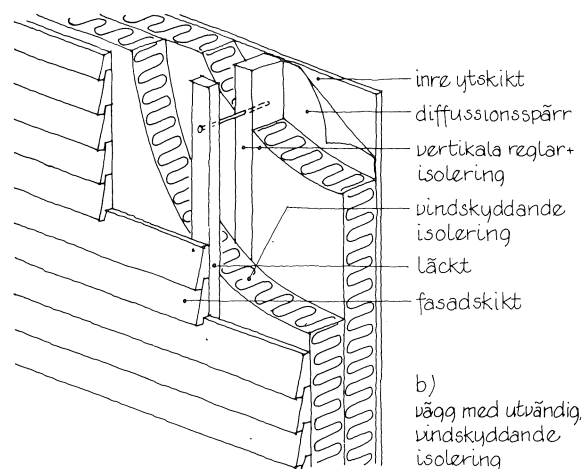
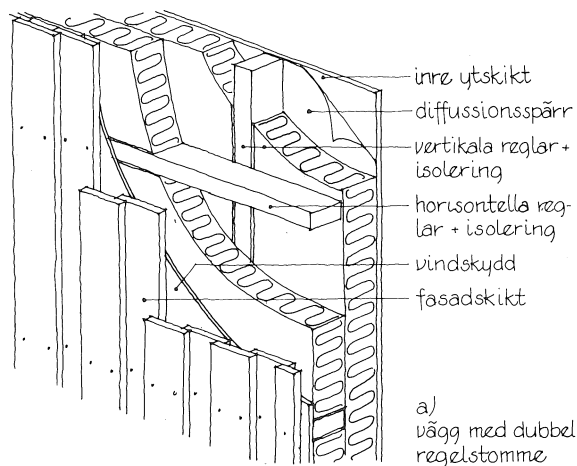


Ränta, energipris och energiprishöjningars inverkan på ekonomiskt k-värde (k_{ek}).



Ekvivalent isolertjocklek d_{ek} för massiv vägg (tak) med k-värdet = k_{ek} .

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG Regelväggar



Regelväggar.

Ekonomisk isoleringstjocklek $d_{ek}(m)$ för dubbel regelvägg.

$K_i = 400 \text{ kr/m}^2$, $e = 0,20 \text{ kr/kWh}$, $r = 10\%$.

Ort	$d_{ek}(m)$ för					
	$T_i = 16^\circ\text{C}$			$T_i = 12^\circ\text{C}$		
	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$
Malmö	0,23	0,31	0,42	0,18	0,24	0,33
Stockholm	0,26	0,34	0,47	0,21	0,29	0,39
Umeå	0,31	0,41	0,56	0,27	0,35	0,48

I regelväggar är avståndet mellan reglarna normalt 600 mm. Reglarnas bredd är oftast 45 mm (2" hyvlat virke) och tjockleken normalt 120 mm (5" hyvlat virke). Det är naturligtvis möjligt att öka reglarnas tjocklek utöver 120 mm för att medge större isoleringstjocklekar, men detta blir ganska kostsamt. Man väljer därför ofta att dubblera regelstommen så att man på utsidan eller insidan anbringar liggande regler med mellanliggande isolering på sätt som visas i figur a.

Ett annat sätt att öka värmeisoleringen i en vägg med regelstomme visas i figur b. Utanför den bärande regelstommen med vertikala 120 mm regler appliceras en mineralullsskiva, som har sådan täthet att den inte påverkas av vind. En sådan skiva är dyrare än de skivor, som anbringas mellan regler i en regelstomme. Utanför mineralullsskivan anbringas en läkt som fäste för den yttre fasadbeklädnaden, såvida denna ej består av ett murat skikt. Läkten skruvas genom mineralullsskivan fast vid den stående regeln.

Vid båda ovan beskrivna konstruktioner blir kostnaden för den ökade isoleringen i storleksordningen $K_i = 400 \text{ kr/m}^2$ per meter isoleringstjocklek (kr/m^3) inklusive kringkostnader vid tak, grundläggning och fönster, 1980. Med hänsyn till köldbryggor vid regler räknas med $\lambda = 0,057 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}$. "Gratisvärme" antas finnas tillgängligt i sådan utsträckning att man kan räkna med $T_i = 16^\circ\text{C}$ och 12°C vid fastställandet av Q_{ekv} . Det har vidare förutsatts att fasaden är väster-(öster-)orienterad och har absorptionen $a = 0,5$. För fastställandet av den ekonomiska isoleringstjockleken d_{ek} har det vidare antagits att räntan är 10% och att dagens energipris är 0,20 kr/kWh . Det har också förutsatts att investeringskostnaden amorteras i form av ett 30-årigt annuitetslån.

Av tabellen framgår att med $s = 14\%$ årlig ökning av energipriset bör man vid lågenergihus välja 250 mm isolering i södra Sverige och 350 mm i norra Sverige.

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG Specialregelväggar

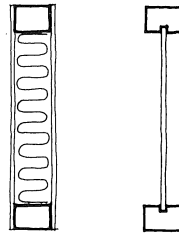
Väggar med genomgående reglar eller med dubbel regelstomme har uppenbarligen nackdelen dels att reglarna utgör köldbryggor, dels att kostnaden för ökning av isoleringstjockleken i hög grad påverkas av kostnaden för att göra regelverket tjockare. Man har därför konstruerat specialreglar, se figur a, vilka utförs som I-balkar eller lådbalkar. Tjockleksökningen för en sådan balk orsakas endast av träfiberskivorna. Man kan räkna med att kostnadsökningen för ökning av isoleringstjockleken blir av storleksordningen $K_i = 200 \text{ kr/m}^3$. Samtidigt kan man räkna med att isolermaterialets värmeledningsförmåga gäller för hela väggen, dvs $\lambda = 0,04 \text{ W/}^\circ\text{C,m}$.

Med samma antaganden som tidigare beträffande ränta, amorteringstid och energipris visas i tabellen den ekonomiska isoleringstjockleken d_{ek} . Man ser att med "gratisvärme" motsvarande $T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ bör man i Stockholm isolera med drygt 400 mm mineralull. Med gratisvärme motsvarande $T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$ blir den ekonomiska isoleringstjockleken 340 mm. Därvid har förutsatts att den årliga energiprisökningen är 14%, dvs 4% utöver räntan.

För lågenergihus kan man räkna med att isoleringstjockleken i södra Sverige bör vara ca 300 mm och i norra Sverige ca 450 mm. Detta motsvarar $k = 0,13$ resp $k = 0,09 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Dessa värden skall jämföras med SBN 80, som för södra Sverige kräver $k = 0,30$ och för norra Sverige $k = 0,25$. Man kan således konstatera att man måste värmeisolera mycket mer än SBN 80 kräver om man eftersträvar ett optimerat hus. Samhällets intresse av att spara energi synes i ringa grad återspeglas av normerna.

Det kan vara intressant att studera hur den årliga energiprisökningen s påverkar den ekonomiska isoleringstjockleken. Om vi väljer Stockholm med $T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$ så blir d_{ek} för $s = 10\%$: $d_{ek} = 0,31 \text{ m}$, för $s = 14\%$: $d_{ek} = 0,41 \text{ m}$ och för $s = 18\%$: $d_{ek} = 0,56 \text{ m}$. *Det är uppenbart att valet av s påverkar isoleringstjockleken mycket.*

Tjocka isoleringar ställer stora krav på ett riktigt arbetsutförande.



a) specialreglar



b) vägg med specialreglar

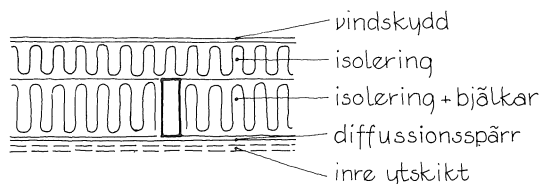
Specialregelvägg.

Ekonomisk isoleringstjocklek $d_{ek}(m)$ för en specialregelvägg.
 $K_i = 200 \text{ kr/m}^3$, $e = 0,20 \text{ kr/kWh}$, $r = 10\%$.

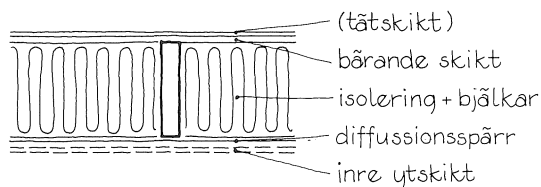
Ort	$d_{ek}(m)$ för					
	$T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$			$T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$		
	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$
Malmö	0,27	0,36	0,50	0,22	0,29	0,39
Stockholm	0,31	0,41	0,56	0,25	0,34	0,46
Umeå	0,36	0,48	0,66	0,32	0,42	0,57

8.5 YTTERVÄGGAR, TAK OCH VINDSBJÄLKLAG

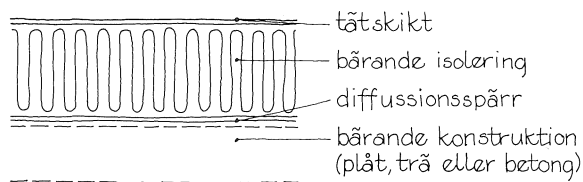
Tak och vindsbjälklag



a) icke gåbart vindsbjälklag



b) gåbart tak eller vindsbjälklag



c) tak med ovanpåliggande isolering

Exempel på tak och vindsbjälklag.

Ekonomisk isoleringstjocklek $d_{ek}(m)$ för tak och gåbart vindsbjälklag.
 $K_j = 600 \text{ kr/m}^3$, $e = 0,20 \text{ kr/kWh}$, $r = 10\%$.

Ort	$d_{ek}(m)$ för					
	$T_i = 16 \text{ }^\circ\text{C}$			$T_i = 12 \text{ }^\circ\text{C}$		
	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$	$s=10\%$	$s=14\%$	$s=18\%$
Malmö	0,16	0,21	0,29	0,13	0,17	0,23
Stockholm	0,18	0,24	0,32	0,14	0,20	0,27
Umeå	0,21	0,28	0,38	0,18	0,24	0,33

När det gäller tak och vindsbjälklag kan man skilja mellan gåbara och icke-gåbara konstruktioner. Som visas i figuren så kräver tak och gåbara vindsbjälklag antingen ett bärande undergolv eller en bärande isolering som kan vara underlag för en golvbeläggning eller för det gåbara tätskiktet på yttergolvet. Isoleringskosten blir också olika. För det icke-gåbara vindsbjälklaget kan man räkna med att K_j blir av storleksordningen 200 kr/m^3 medan tak med ovanpåliggande isolering samt gåbara vindsbjälklag får en isoleringskostnad av storleksordningen $K_j = 600 \text{ kr/m}^3$. Kostnaderna blir naturligtvis beroende på hur konstruktionen i detalj utformas och de beräknade värdena på ekonomisk isoleringskostnad blir därför endast riktvärden.

Eftersom isoleringskostnaden för ett icke-gåbart vindsbjälklag blir av samma storlek som för vägg med specialreglar, gäller tabellen på föregående sida även för det icke-gåbara vindsbjälklaget. Detta innebär att den ekonomiska isoleringstjockleken för sådana bjälklag, använda inom lågenergihus, blir i södra Sverige ca 300 mm och i norra Sverige ca 450 mm . Motsvarande k -värdet blir $k = 0,13$ resp $k = 0,09 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Kravet enligt SBN 80 är för södra Sverige $k = 0,20$ och för norra Sverige $k = 0,17 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Också här undervärderar byggnormen i högsta grad det ekonomiska isoleringsbehovet.

För tak med ovanpåliggande isolering samt gåbara vindsbjälklag framgår den ekonomiska isoleringstjockleken av tabellen. För lågenergihus i södra Sverige torde ca 200 mm isolering vara ekonomiskt medan i norra Sverige det torde vara ekonomiskt att isolera med ca 250 mm . Motsvarande k -värdet blir $k = 0,20$ resp $k = 0,16 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$. Dessa siffror stämmer väl med SBN 80.

8.6 JORDISOLERADE KONSTRUKTIONER

Jordtemperaturer vid fri mark

Om markytan är fri från inverkan av värmekällor såsom uppvärmda byggnader samt utan snötäcke, så bestäms jordtemperaturerna helt av lufttemperaturens årstidsvariation. Denna kan approximeras med en cosinussvängning:

$$T_u = T_o + T_m \cos \omega t \quad (2\pi/\omega = 1 \text{ år})$$

där årsmedeltemperaturen T_o och dess amplitud T_m framgår av tabellen för några orter. Jordtemperaturen visas i övre figuren för sex tidpunkter under året med två månaders tidsmellanrum. Man ser att jordens värmekapacitet har en betydande inverkan på temperaturförloppet. På djupet 6 m har lufttemperaturens svängningar nästan helt dämpats ut, och man har praktiskt taget en konstant temperatur, som är lika med årsmedeltemperaturen. Ju längre ned i jorden desto större blir jordtemperaturens tidsfördröjning i förhållande till lufttemperatursvängningen. Detta visas i nedre figuren. På djupet 5,2 m är tidsfördröjningen sex månader och man har således på detta djup den högsta temperaturen när lufttemperaturen är som lägst.

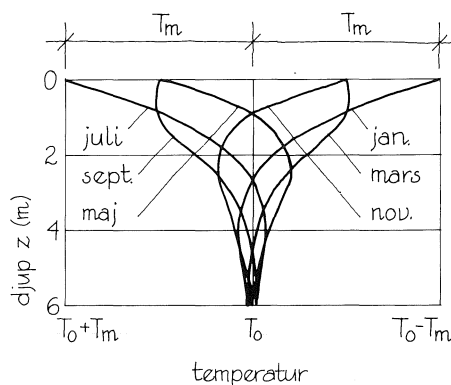
Dygnssvängningarna tränger inte ned mer än ca 0,3 m och kan normalt försummas.

Jorden kan utnyttjas i två hänseenden, nämligen dels som värmeisolering, dels som en upplagrande massa. Om man beräknar värmeflödet genom markytan så finner man att detta värmeflöde är tidsförskjutet med 1,5 månader. Detta kan utnyttjas under en het sommar då jorden kan fungera som en kylande zon kring byggnaden.

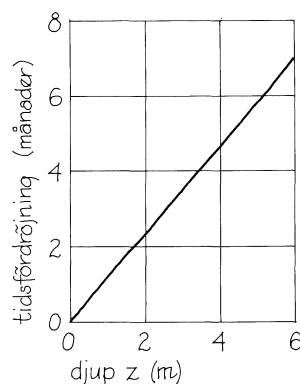
Det bör påpekas att förutsättningen för ovanstående diskussion är att man inte har några intelliganda värmekällor, t ex en uppvärmd byggnad. Skulle en sådan finnas så inverkar denna framför allt på jämviktstemperaturen på djupet 5 m. Det är en allvarlig missuppfattning att jordtemperaturen, även under byggnader, är lika med årsmedeltemperaturen.

Utetemperatur enligt $T_u = T_o + T_m \cos \omega t$, där $(2\pi/\omega = 1 \text{ år})$.

Ort	T_o °C	T_m °C
Malmö	8,0	14,9
Stockholm	6,6	17,6
Örebro	5,8	16,8
Falun	4,5	17,8
Umeå	3,1	18,6
Luleå	1,8	19,8



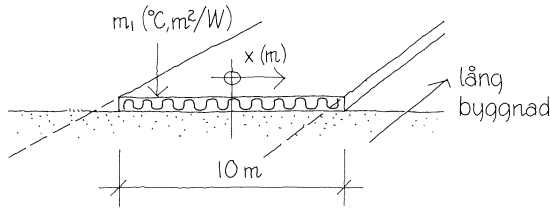
Temperaturförlopp i jord (utetemperaturen max i juli).



Temperatursvängningens tidsfördröjning i månader på olika djup x.

8.6 JORDISOLERADE KONSTRUKTIONER

Bjälklag på jord



Värmeisolerat bjälklag på jord. Lång byggnad.

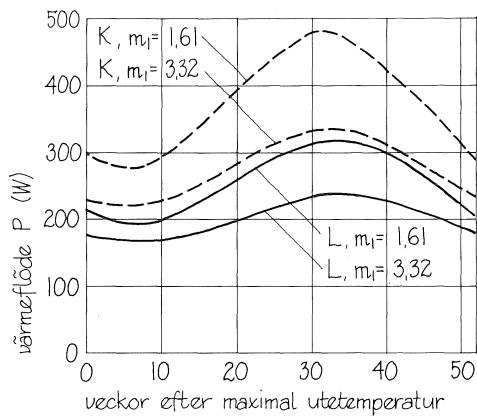
Största och minsta värmefflöde q (W/m^2) för värmeisolerat (m_1 , $^{\circ}C \cdot m^2/W$) bjälklag på jord enligt figuren. Stockholm (Adamson, 1973).

a) $m_1 = 1,08 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$.

q W/m^2	Värmefflöde q (W/m^2) för $x =$ (m)									
	0,50	1,50	2,30	2,85	3,25	3,55	3,85	4,20	4,55	4,85
q_{max}	2,4	2,6	3,3	4,1	5,0	5,9	7,3	9,7	14,2	20,7
q_{min}	1,9	1,9	1,9	1,9	1,8	1,7	1,4	1,0	0	-1,7

b) $m_1 = 2,15 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$

q W/m^2	Värmefflöde q (W/m^2) för $x =$ (m)									
	0,50	1,50	2,30	2,85	3,25	3,55	3,85	4,20	4,55	4,85
q_{max}	2,1	2,3	2,8	3,2	3,8	4,3	5,1	6,3	8,5	11,4
q_{min}	1,7	1,7	1,7	1,6	1,5	1,4	1,2	0,9	0,2	-0,8



Värmefflöde genom golvyta = 100 m^2 med värmemotståndet = $m_1 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$ vid $L =$ Lång byggnad, bredd 10 m ; $K =$ Kvadratisk byggnad, $10 \times 10 \text{ m}$.

Vid grundläggning av en byggnad med en värmeisolerad betongplatta vilande på jord måste värmeströmningen genom golvet passera genom jorden innan den når uteluften. Ju längre väg värmeströmningen har att passera desto mindre blir densamma och desto lägre blir dess årstidsvariation. I tabellen visas det största och det minsta värmefflödet under året genom golvet på en 10 m bred och mycket lång byggnad utsatt för Stockholmsklimat. Bjälklagets värmemotstånd är $m_1 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$. Man kan dra följande slutsatser av tabellen.

Årstidsvariationerna blir försumbara på större avstånd än $2,5 \text{ m}$ från bjälklagets kant.

Bjälklagets värmeisolering påverkar värmefflödet i väsentlig utsträckning endast på de yttersta $2,5 \text{ m}$.

Jordens värmemotstånd på avstånd större än $2,5 \text{ m}$ från bjälklagets kant blir större än $7-8 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$.

Man kan utan tjälproblem värmeisolera en kantförstyvad betongplatta på jord med värmemotståndet upp till $m_1 = 3,3 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$ om övriga villkor i byggnormen SBN 80 är uppfyllda (se Adamson, 1977). I figuren visar värmefflödet genom en 100 m^2 golvyta isolerad med värmemotståndet m_1 . Två sorters byggnad visas, nämligen dels en 10 m bred och mycket lång byggnad (en sektion med längden 10 m) dels en kvadratisk byggnad med golvytan $10 \times 10 \text{ m}$. Följande slutsatser kan dras av figuren.

Den kvadratiske byggnaden har $40-50\%$ större värmefförluster än den långa byggnaden.

Största respektive minsta värmefflödet inträffar 6 veckor efter lägsta respektive högsta utetemperatur.

Värmefflödet under sommaren kan med $200-300 \text{ W}$ utnyttjas som kyleffekt i byggnaden.

Approximativt kan man anta ett konstant värmefflöde under året, åtminstone för $m_1 = 3 \text{ } ^{\circ}C \cdot m^2/W$.

8.6 JORDISOLERADE KONSTRUKTIONER

Motfyllda väggar och källargolv

Jorden utnyttjas som värmeisolering i källare och souterrängvåningar. Datorberäkningar har genomförts för en lång byggnad med källare, se figuren. Som uteklimat har valts Örebro med data enligt tabell på föregående sida. Källaren har förutsatts hålla 20 °C under hela året. I tabellen visas de maximala värmeflödena under året för olika punkter på källarväggen resp källargolvet. Om såväl källarvägg som källargolv lämnas oisolerade ($m_1 = 0$, $m_2 = 0$) så utgör jorden den enda formen av värmeisolering. Man ser då att för $x = 5,00$ och $z = 0,15$ blir värmeflödet mycket stort, $q_{\max} = 111 \text{ W/m}^2$. Värmeströmningens väg genom jorden är endast några dm. Längst ned på den motfyllda väggen blir värmeflödet ej mer än ca 16 W/m^2 och jordens värmeisolering är betydande. Man kan då beräkna ett ekvivalent k -värde motsvarande temperaturskillnaden mellan inne och ute (= 31 °C):

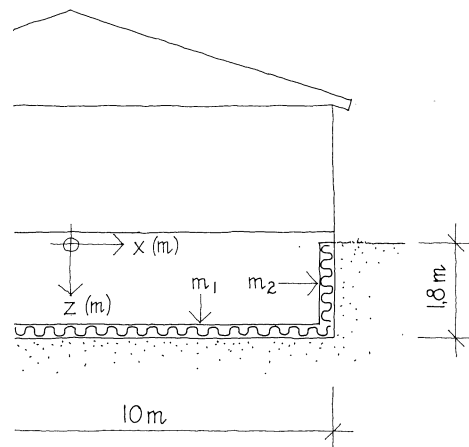
$$k_{\text{ekv}} = 16/31 = 0,5 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$$

Värmeflödena genom källargolvet blir mycket små, även invid källarväggen.

Om man värmeisolerar källarväggen med värmemotståndet $m_2 = 1,29 \text{ }^\circ\text{C,m}^2/\text{W}$ men lämnar golvet oisolerat ($m_1 = 0$) så minskar naturligtvis värmeflödet genom väggen högst betydligt. Samtidigt ökar emellertid värmeflödet genom golvet så att det invid väggen blir nästan dubbelt så stort som vid oisolerad vägg.

Om både vägg och golv värmeisoleras med värmemotståndet $m = 1,29 \text{ }^\circ\text{C,m}^2/\text{W}$ ($=m_1 = m_2$) så minskar även värmeflödet genom golvet högst väsentligt. Intressant att notera är dock att mitt på golvet får man ändå något större värmeflöde än när både vägg och golv var oisolerade.

Jorden har, som visats, en icke oväsentlig värmeisolerande förmåga. *Man måste dock hålla i minnet att det är dyrbart att anbringa jord, om det enda syftet är att värmeisolera.* Då motsvarar 1,5 m jord endast 50 mm mineralull.



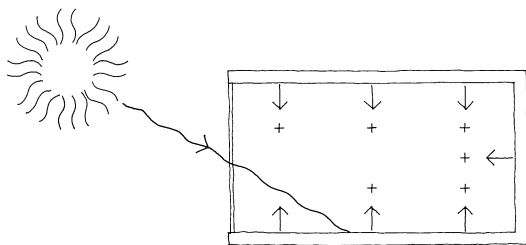
Lång byggnad, bredd 10 m, med källare uppvärmd till 20°C.

Maximalt värmeflöde, q_{\max} (W/m²) genom motfylld vägg (översta delen av tabellen, $x = 5,00$) och golv (understa delen av tabellen, $z = 1,80$). Örebroklimat. Lång byggnad (se figur).

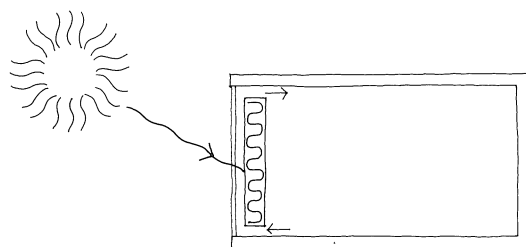
Punkt		q_{\max} (W/m ²) för (x, z)		
x (m)	z (m)	$m_1=0$ $m_2=0$	$m_1=0$ $m_2=1,29$	$m_1=1,29$ $m_2=1,29$
5,00	0,15	111	19,1	19,1
5,00	0,45	50,5	15,1	15,2
5,00	0,75	29,4	11,9	12,1
5,00	1,05	20,5	9,6	10,0
5,00	1,35	16,5	7,0	8,6
5,00	1,65	16,5	6,4	7,5
4,85	1,80	10,0	17,3	5,1
4,55	1,80	5,7	8,6	4,1
4,20	1,80	3,8	5,1	3,4
3,85	1,80	3,0	3,7	2,9
3,55	1,80	2,6	3,1	2,6
3,25	1,80	2,3	2,7	2,4
2,85	1,80	2,0	2,3	2,1
2,30	1,80	1,7	1,9	1,9
1,50	1,80	1,5	1,7	1,7
0,50	1,80	1,4	1,6	1,6

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

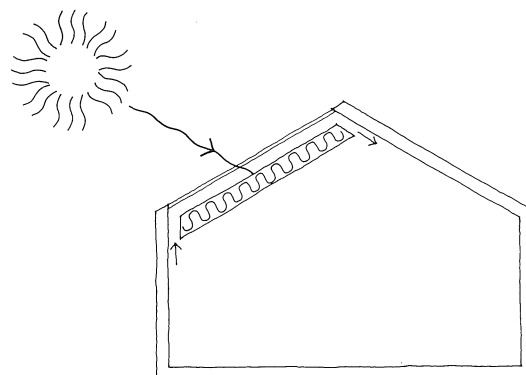
Principer



direkt solinstrålning



solfångande vägg



solfångande tak

Vid direkt instrålning genom fönster in i rum absorberas strålningen till ca 95% i rummets väggar och ombildas i värme. Denna värme transporteras delvis in i väggar, tak och golv medan resten tillförs rumsluften konvektivt. Det enda sättet att reglera den konvektiva värmeförseln från rumsytorna till rumsluften är att förändra värmeförskningen in i väggar, golv och tak eller att förändra den konvektiva värmeöverföringen vid rumsytorna. Båda dessa värmeförskningar bestäms vid projekteringen genom materialval och installationssystem. För reglering fordras antingen solskydd eller kylning.

Ett sätt att reglera solvärmeförseln skulle vara att direkt innanför fönstret absorbera densamma och överföra den till varm luft. Denna varma luft skulle sedan kunna tillföras rummet när så är lämpligt, dvs när man har ett värmebehov. När sådant behov ej föreligger skulle man med ett spjäll stänga lufttillförseln till rummet. Detta är i princip tillämpligt både för ytterväggar och yttertak orienterade i ett soligt väderstreck.

Luften som värms när den passerar förbi den solfångande ytan kan antingen vara *uteluft* som skall värmas före dess införande i rummet eller *rumsluft*, som upphettas och bidrar till rumsuppvärmningen. Om luften ej önskas tillförd rummet så måste detta hindras med ett manuellt eller automatiskt reglerat spjäll. Orsaken till att luften ej önskas tillförd rummet kan vara antingen att den är för varm — rummet behöver ej värmen — eller att den är för kall, dvs den har lägre temperatur än rumsluften. Om spjället stängs kan det bli mycket för varmt i spalten mellan glas och den solfångande ytan. I sådana fall kan spalten behöva ventileras med uteluft genom att spjället öppnas upp till och ned till mellan spalten och det fria.

Solväggar och soltak erbjuder många konstruktiva problem och i detta avsnitt skall en del av dessa uppmärksammas.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

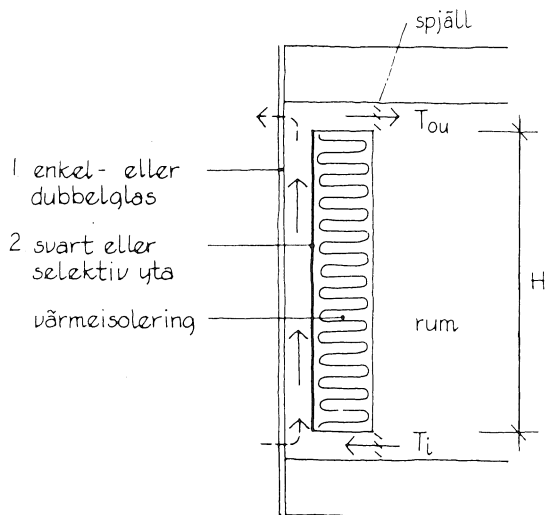
Vägg- och taktyper utan värmelagringsförmåga

Normalt har rum en viss värmelagringsförmåga genom att någon rumsyta består av betong. I sådana fall kan man utföra solväggen eller soltaket utan egen värmelagringsförmåga. Även om den luft som tillförs rummet skulle vara mycket varm så kan den delvis överföras till rumsytornas eget värme-lager.

I figuren visas två typer av rumsluftvärmande solvägg. Typ I består av ett transparent skikt 1 som har till uppgift dels att släppa igenom solstrålningen så att denna kan nå den solfångande ytan 2, dels att vara värmeisolerande genom att hindra värmen från den solfångande ytan att transporteras ut till uteluften. Det transparenta skiktet 1 kan vara av glas eller transparent plast och kan bestå av ett eller två lager – enkel- eller dubbelglasat. Den solfångande ytan skall absorbera så mycket som möjligt av den infallande strålningen, vilket en svart yta gör. Det vore emellertid en fördel om man kunde minska temperaturstrålningen mellan den solfångande ytan och det transparenta skiktet. Detta är möjligt om ett så kallat *selektivt skikt* används som solfångande yta. Ett sådant skikt har egenskapen att absorbera lika bra som en svart yta men emitterar mycket litet temperaturstrålning – ϵ är litet.

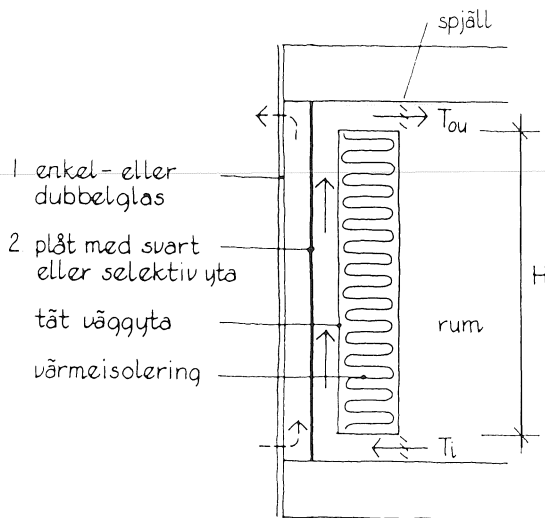
I typ II passerar luften bakom den solfångande ytan. Detta kan ha vissa fördelar, som kommer att visas nedan. Liksom i typ I kan man i typ II använda enkla eller dubbla transparenta lager som skydd mot det fria samt svart eller selektiv yta som solabsorbator.

Rumsluften transporteras förbi den solfångande ytan genom fläktventilation, varvid en lämplig luft-hastighet väljs. Fläkttrycket kan styra spjäll upp till och ned till så att spjällen stängs när fläkten stannas. Samtidigt som fläkten stannas kan man också öppna mellan spalten och det fria för att förhindra överhettning.



- 1 enkel- eller dubbelglas
- 2 svart eller selektiv yta
- värmeisolerering

typ I

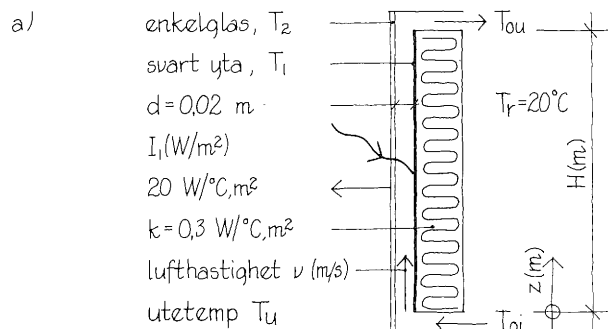


- 1 enkel- eller dubbelglas
- 2 plåt med svart eller selektiv yta
- tät vägg yta
- värmeisolerering

typ II

Rumsluftvärmande solväggar utan värmelagringsförmåga.

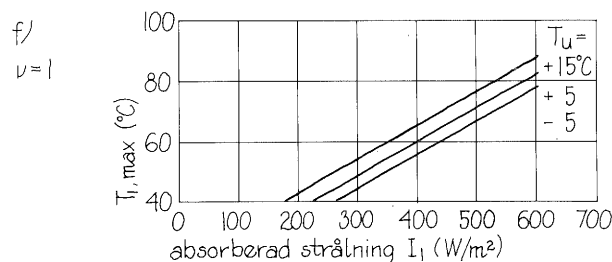
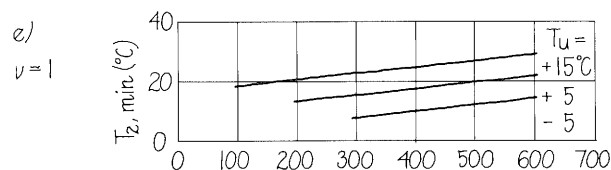
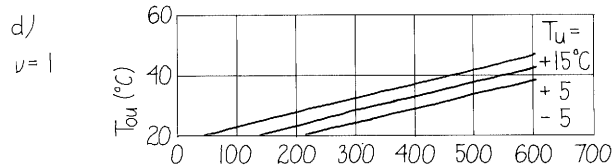
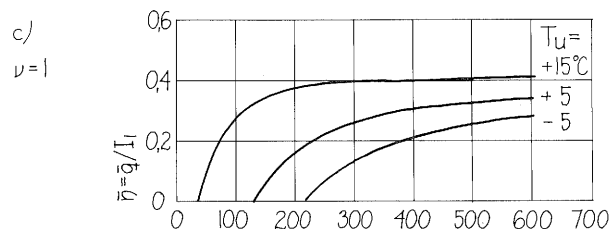
8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION Typ I, enkelglasad med svart yta



b)

T_u ($^\circ C$)	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2
-5	<0	0,13	0,28
+5	<0	0,26	0,34
+15	0,27	0,40	0,41

$H = 2,4$
 $\nu = 1$



I figuren visas en enkelglasad, rumsluftvärmade solvägg med svart absorbatör. Vägghöjden H har valts lika med rumshöjden, dvs $H = 2,4$ m. Avståndet mellan glas och absorbatöryta har valts $d = 0,02$ m för att lufthastigheten inte skall bli för låg, vilket minskar verkningsgraden. På utsidan har värmeövergången satts till $\alpha_u = 20$ $W/^\circ C, m^2$. Instrålningen på absorbatörytan har satts till I_1 W/m^2 och hela instrålningen har ansetts absorberad i ytan.

Av tabellen i figuren framgår genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}$, som utgör kvoten av tillgodogjörd värme i form av värmad rumsluft och hela instrålningen på solabsorbatorn, dvs $\bar{\eta} = \bar{q}/I_1$. Man ser att den genomsnittliga verkningsgraden är starkt beroende av såväl utetemperaturer T_u som instrålningen I_1 . Med $T_u = +5$ $^\circ C$ och $I_1 = 300$ W/m^2 blir $\bar{\eta} = 0,26$. Om utetemperaturer T_u är $+5$ $^\circ C$ så blir som diagram c visar verkningsgraden = 0 när I_1 är mindre än 130 W/m^2 . Detta innebär att solväggen då ej bör nyttjas, dvs fläkten skall stängas av. Detta framgår också av diagram d, som visar den utgående luftens temperatur (upptill) $T_{o,u}$. För $T_u = +5$ $^\circ C$ och $I_1 = 130$ W/m^2 blir $T_{o,u} = +20$ $^\circ C$. Vid lägre instrålning blir $T_{o,u}$ lägre än $+20$ $^\circ C$, dvs rumsluften kyles i solväggen.

Lägsta temperaturen på glasets insida (nedtill) $T_{2, \min}$ anges i diagram e. Man ser att denna blir låg vid låga utetemperaturer. Detta betyder att det föreligger risk för kondensering av rumsluft på glasets insida.

Absorbatorytans temperatur framgår av diagram f. Denna blir maximalt ca 90 $^\circ C$, vilket kan kräva konstruktiva hänsyn.

I samtliga diagram har lufthastigheten satts till $\nu = 1$ m/s , vilket med $d = 0,02$ m innebär 72 m^3/h per m vägg.

Utnyttjad som solvägg eller som soltak ger denna typ risk för rumsluftkondens på glasets insida och en ganska låg genomsnittlig verkningsgrad.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Typ I, enkelglasad med selektiv yta

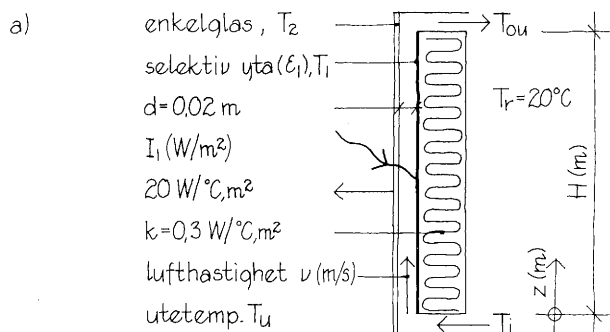
Den enkelglasade solväggen med svart yta visade sig ha låg genomsnittlig verkningsgrad. Orsaken härtill är värmeförlusterna utåt genom det enkla glaset eller plasten. Dessa värmeförluster orsakas främst av temperaturstrålning från absorbdatorytan direkt till glaset. Denna strålning kan kraftigt undertryckas om absorbdatorytan förses med en selektiv beläggning, som kombinerar god absorption med låg emission för långvågig temperaturstrålning.

Figuren visar resultatet av beräkningar, vid vilka emissionsförmågan hos absorbdatorytan satts till $\epsilon_1 = 0,15$. Detta ϵ -värde skall jämföras med $\epsilon = 0,93$ för en svartmålad yta. Tabellen visar att den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}$ har väsentligt förbättrats. För $T_u = +5\text{ }^\circ\text{C}$ och $I_1 = 300\text{ W/m}^2$ blir $\bar{\eta} = 0,48$ mot 0,26 för solväggen med svart absorbdatoryta.

Den lägsta temperaturen på glaset (nedtill) $T_{2,\min}$ blir emellertid ännu lägre än vid fallet med svart yta, som framgår av diagram d. Vid utetemperaturer under $0\text{ }^\circ\text{C}$ blir glastemperaturen lägre än $10\text{ }^\circ\text{C}$, vilket innebär risk för kondensering av rumsluft.

Ett sätt att höja glastemperaturen skulle kunna vara att öka lufthastigheten v . Därför har fall med $v = 4\text{ m/s}$ genomräknats. Som framgår av diagram e så ökar ej glastemperaturen nämnvärt. Dessutom medför $v = 4\text{ m/s}$ att 288 m^3 luft per timme passerar genom solväggen per meter vägg. För 10 meter vägg skulle således $2\,880\text{ m}^3/\text{h}$ passera, vilket för ett normalt småhus skulle innebära ca 10 luftomsättningar per timme. En så stor luftomsättning kan bli svår att genomföra utan drag. Dessutom blir sannolikt energikostnaderna för fläktarbetet beaktansvärda.

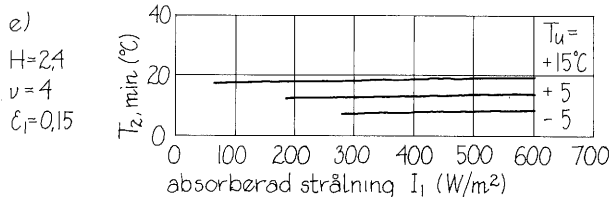
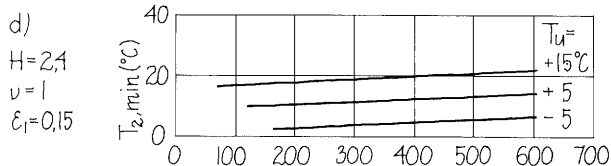
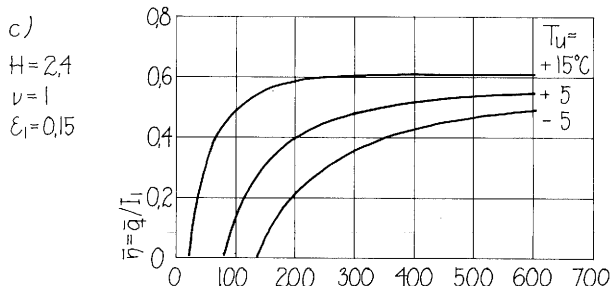
Sammanfattningsvis kan sägas att enkelglasade solväggar och soltak av typ I normalt inte är särskilt väl ägnade för solvärmeutnyttjande i svenskt klimat.



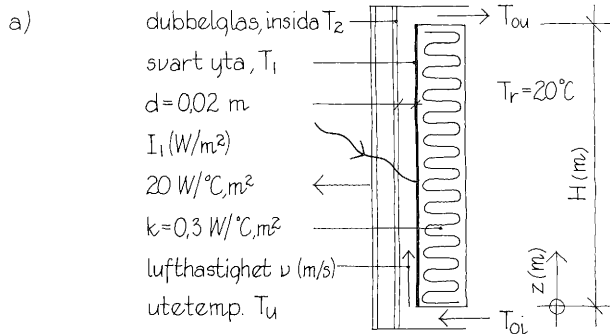
b)

T_u ($^\circ\text{C}$)	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2
-5	< 0	0,36	0,49
+5	0,13	0,48	0,54
+15	0,49	0,60	0,60

$H = 2,4$
 $v = 1$



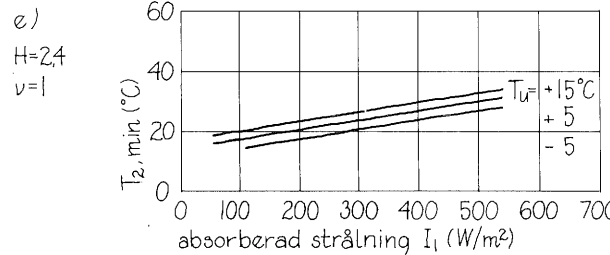
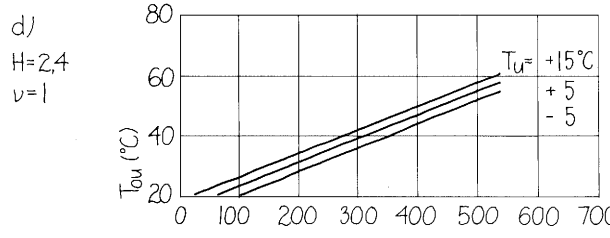
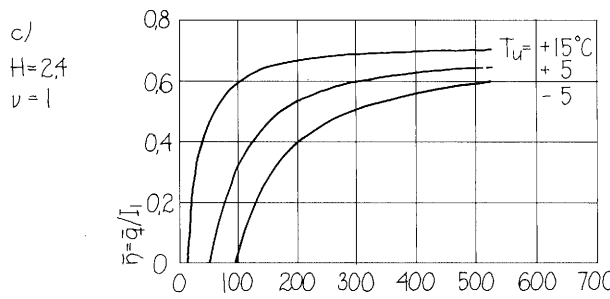
8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION Typ I, dubbelglasad med svart yta



b)

$H = 2,4$
 $v = 1$

$T_u (^\circ\text{C})$	84 W/m^2	$\bar{\eta}$ för $I_1 = 252 \text{ W/m}^2$	504 W/m^2
-5	0	0,47	0,60
+5	0,24	0,58	0,65
+15	0,58	0,69	0,71



Genom dubbelglasning kan verkningsgraden ökas och kondensrisken på glasets insida minskas. I figuren åskådliggörs resultatet av beräkningarna avseende en 2,4 m hög solvägg med svart absorberyta.

Tabell b visar att den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}$ för $v = 1 \text{ m/s}$, $T_u = +5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 252 \text{ W/m}^2$ ökat till 0,58 mot 0,26 för den enkelglasade solväggen med svart yta. Man bör då hålla i minnet att verkningsgraden $\bar{\eta}$ refererar till den strålning I_1 , som absorberas i ytan. Detta innebär att man måste ta hänsyn även till strålningsförlusterna vid transmissionen genom glas, om man önskar beräkna hur stor del av den på glasets utsida infallande strålningen, I_0 , som tillgodogörs. Således är $I_1 = \text{ca } 0,84 \cdot I_0$ för enkelglasning och $I_1 = \text{ca } 0,84^2 \cdot I_0$ för dubbelglasning. För den dubbelglasade solväggen blir då den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}' = \bar{q}/I_0 = 0,84^2 \cdot 0,58 = 0,41$ mot $\bar{\eta}' = 0,84 \cdot 0,26 = 0,22$ för den enkelglasade solväggen.

För lufthastigheten $v = 1 \text{ m/s}$ visas den genomsnittliga verkningsgraden i diagram c. Man ser att även för $T_u = -5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 100 \text{ W/m}^2$ får man ett solvärmeutnyttjande med denna typ av solvägg. Diagram d visar luftens temperatur T_{ou} när den lämnar solväggen upptill vid taket. Vid stor instrålning blir T_{ou} närmare 60°C . Normalt torde så höga tillufttemperaturer till rummet ej vålla problem. Den maximala temperaturen på absorberaren blir närmare 85°C och glasets högsta temperatur ca 60°C . Dessa förhållandevis höga temperaturer måste beaktas vid konstruktion av en solvägg eller ett soltak av detta slag.

Den kondensrisk på glasets insida, som observerades vid den enkelglasade solväggen, kan normalt uteslutas vid en dubbelglasad vägg av typ I med svart yta. Diagram e visar nämligen att vid $v = 1 \text{ m/s}$ blir glastemperaturen $T_{2, \text{min}}$ inte lägre än ca 15°C , vilket i normala fall ej medför ytkondens av rums-luft.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Typ I, dubbelglasad med svart yta (forts)

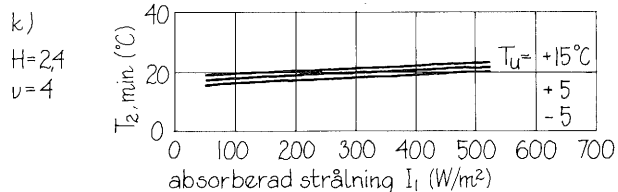
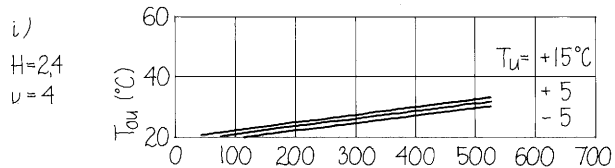
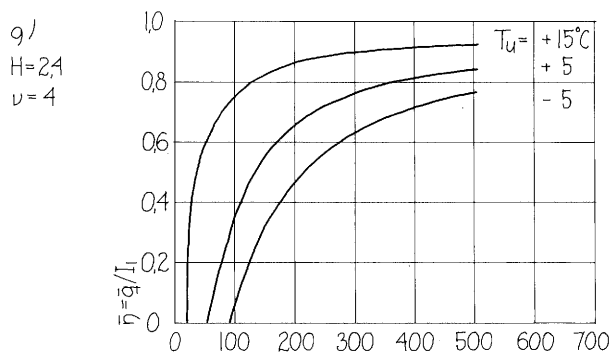
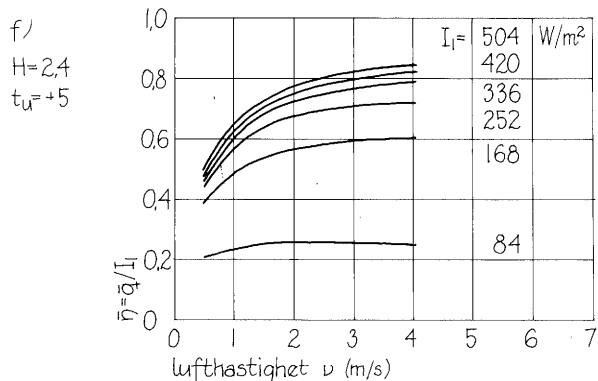
Lufthastighetens v inverkan på den genomsnittliga verkningsgraden visas i diagram f för olika värden på instrålningen I_1 . Man ser att inverkan av lufthastigheten är beaktansvärd i intervallet 0,5–2 m/s. Enligt diagram g så blir den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta} = 0,73$ för $v = 4$ m/s, $T_u = +5$ °C och $I_1 = 252$ W/m², vilket skall jämföras med $\bar{\eta} = 0,58$ för $v = 1$ m/s och samma utetemperaturförhållanden.

När lufthastigheten ökas så kommer naturligtvis den utgående luftens temperatur att minska. Diagram i visar sålunda att lufttemperaturen T_{ou} minskar från ca 60 °C vid $v = 1$ m/s till ca 30 °C vid $v = 4$ m/s.

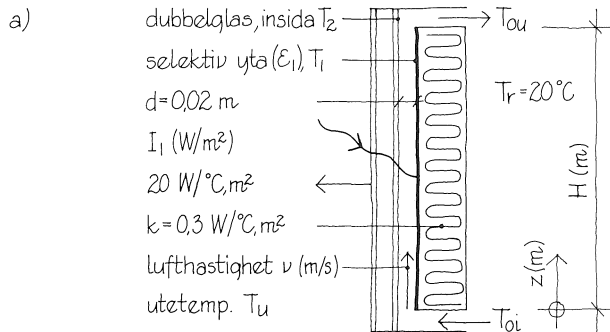
Lägsta glastemperaturen, $T_{2,min}$, blir i stort sett oförändrad vid ökad lufthastighet. Diagram k visar att densamma ligger i intervallet 15–20 °C vid $v = 4$ m/s. Vid denna lufthastighet kommer absorbatortytans temperatur inte att överskrida ca 55 °C vid full instrålning.

Sammanfattningsvis kan man konstatera att dubbelglasade solväggar eller soltak av typ I med svart absorbatortyta ger acceptabla genomsnittliga verkningsgrader. En ökad lufthastighet ökar verkningsgraden något samt sänker såväl tillufttemperaturen till rummet som absorbatortytans temperatur. Därför kan man överväga att öka lufthastigheten till något mer än 1 m/s. Vid $v = 1$ m/s blir luftflödet 72 m³/h per meter solvägg. Med solväggens längd = 10 m så blir luftflödet totalt 720 m³/h, vilket motsvarar ca 2,5 luftväxlingar per timme vid ett normalt radhus. Med $v = 2$ m/s blir antalet luftväxlingar = 5, vilket utan besvär kan åstadkommas. Man måste dock vara medveten om att ökad lufthastighet medför ett ökat fläktarbete och högre energikostnader härför.

Risk för kondensering av rumsluft på glasets insida torde knappast föreligga vid dubbelglasade solväggar av typ I med svart yta, i varje fall inte vid normal rumsanvändning.

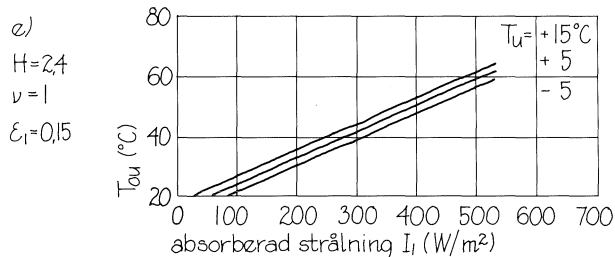
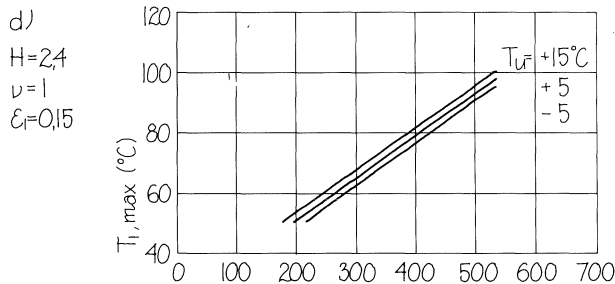
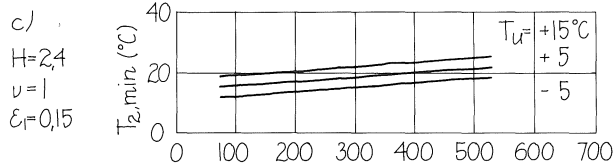


8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION Typ I, dubbelglasad med selektiv yta



b)

T_u ($^\circ\text{C}$)	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	$84 \text{ W}/\text{m}^2$	$252 \text{ W}/\text{m}^2$	$504 \text{ W}/\text{m}^2$
-5	0,04	0,55	0,67
+5	0,34	0,65	0,72
+15	0,66	0,76	0,78



Det är naturligtvis frestande att pröva om man kan förse absorbatorytan med ett selektivt skikt i syfte att öka den genomsnittliga verkningsgraden. Tabell b i figuren visar att för $v = 1 \text{ m/s}$, $T_u = +5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 252 \text{ W}/\text{m}^2$ ger den selektiva ytan med $\epsilon = 0,15$ en genomsnittlig verkningsgrad $\bar{\eta} = 0,65$, vilket skall jämföras med $\bar{\eta} = 0,58$ för en solvägg med svart absorbatoryta. Verkningsgradsförbättringen är ej försumbar.

Den selektiva ytan minskar temperaturstrålningen till glaset i förhållande till en svart yta. Detta medför lägre glastemperaturer, vilket åskådliggörs av diagram c. Vid $\epsilon_1 = 0,15$ kan lägsta glastemperaturen $T_{2,\text{min}}$ bli så låg som ca 12°C , vilket innebär betydande kondensrisk. Även om lufthastigheten ökas blir $T_{2,\text{min}}$ låg.

Låg emissionsförmåga ger hög absorbatortemperatur. Vid $v = 1 \text{ m/s}$ blir denna så hög som 100°C , när $T_u = +15^\circ\text{C}$ och $I_1 = 504 \text{ W}/\text{m}^2$, som framgår av diagram d.

Tilluftstemperaturen T_{ou} ökar några grader när absorbatorytan är selektiv i stället för svart. Vid $T_u = +15^\circ\text{C}$ och $I_1 = 504 \text{ W}/\text{m}^2$ ökar T_{ou} från 58°C vid svart yta till 62°C vid selektiv yta.

Ökas lufthastigheten så kommer naturligtvis absorbatorytans maximala temperatur $T_{1,\text{max}}$ att sjunka liksom även tilluftstemperaturen T_{ou} och glaset maximala temperatur $T_{2,\text{max}}$.

Det kan således konstateras att dubbelglasade solväggar och soltak av typ I med selektiv yta visserligen förbättrar den genomsnittliga verkningsgraden något i förhållande till samma slags väggar och tak med svart yta men man får i gengäld en *kraftigt ökad kondenseringsrisk* på glaset insida vid de klimatiska förhållanden som råder i Sverige.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Typ II, enkelglasad med selektiv yta

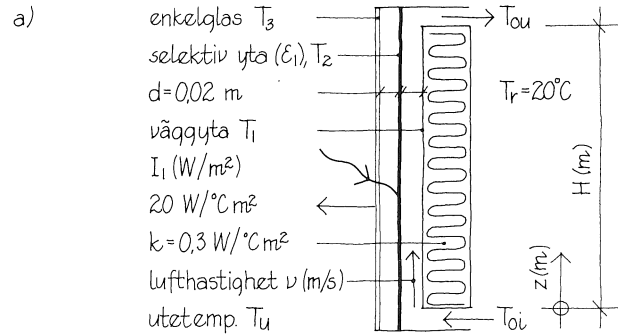
Vi har tidigare konstaterat att såväl enkelglasade som dubbelglasade solväggar av typ I med selektiv absorberaryta ger stor kondenseringsrisk vad beträffar den rumsluft som passerar ytan. Normalt kan detta utsluta möjligheten att utnyttja selektiva absorberatorer i samband med väggar och tak av typ I.

Vid typ II, som i skiss visas i figuren, passerar rumsluften bakom den absorberande ytan, vilken normalt utgörs av en behandlad plåt. Utrymmet mellan absorberatorplåten och det skyddande glaset görs tätt eller ventilerat med uteluft. Kondensering på glasets insida förhindras då på analogt sätt som vid kopplade fönster. Denna typ har dessutom fördelen att rumsluften ej kommer i kontakt med absorberarytan och ev smutsar denna, vilket kan ge oönskad inverkan på t ex emissionsegenskaperna för en selektiv beläggning.

I figuren visas en enkelglasad solvägg av typ II med selektiv absorberaryta. Man ser av tabell b att den genomsnittliga verkningsgraden blir ca 0,6. För utetemperaturen $T_U = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ och instrålningen $I_1 = 300 \text{ W/m}^2$ på absorberarytan blir $\bar{\eta} = 0,58$. Diagram c visar att man har ett solvärmeutnyttjande redan vid instrålningen $I_1 = 70 \text{ W/m}^2$ även om utetemperaturen är $T_U = -5 \text{ }^\circ\text{C}$.

Diagram d visar att man kan få höga temperaturer på absorberatorplåten. Vid $I_1 = 600 \text{ W/m}^2$ och $T_U = 15 \text{ }^\circ\text{C}$ blir absorberatortemperaturen $T_{2,\max} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$. Samtidigt blir temperaturen på den bakomvarande väggen $T_{1,\max} = 85 \text{ }^\circ\text{C}$. Den utgående luften får en temperatur $T_{OU} = 61 \text{ }^\circ\text{C}$, vilket är högt, men torde kunna accepteras.

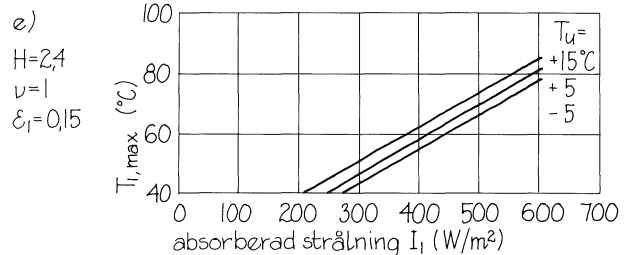
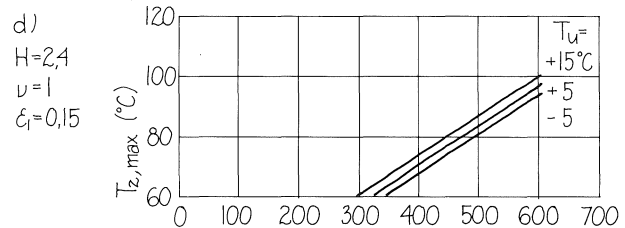
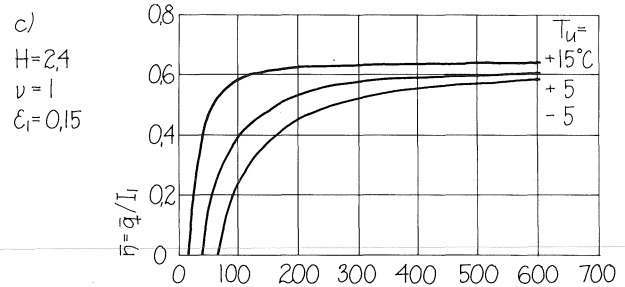
Även om temperaturerna i solväggen blir höga vid full instrålning, så torde det inte erbjuda oöverstigliga konstruktiva hinder för att utveckla en solvägg eller ett soltak enligt typ II med enkelglasning och selektiv absorberaryta. Eventuellt kan lufthastigheten ökas något utöver $v = 1 \text{ m/s}$.



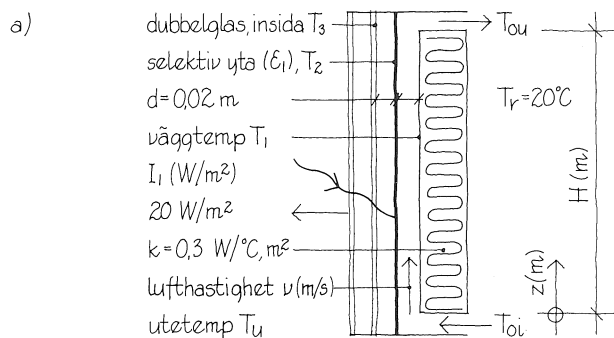
b)

$T_u \text{ (}^\circ\text{C)}$	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2
-5	0,24	0,52	0,59
+5	0,41	0,58	0,61
+15	0,58	0,64	0,64

$H = 2,4$
 $v = 1$
 $\epsilon_1 = 0,15$

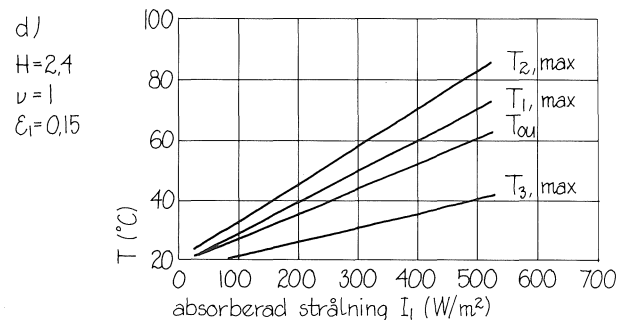
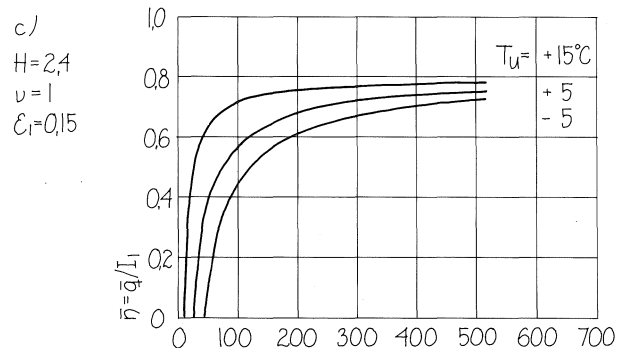


8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION Typ II, dubbelglasad med selektiv yta



b)

$T_{ou} (^\circ\text{C})$	$I_1 \text{ (W/m}^2\text{)}$	$\bar{\eta}$ för $I_1 = 84 \text{ W/m}^2$	$\bar{\eta}$ för $I_1 = 252 \text{ W/m}^2$	$\bar{\eta}$ för $I_1 = 504 \text{ W/m}^2$
-5		0,37	0,66	0,73
+5		0,54	0,71	0,76
+15		0,71	0,77	0,78



Genom dubbelglasning kan man förbättra verkningsgraden för solväggar och soltak enligt typ II. Som framgår av figuren så blir den genomsnittliga verkningsgraden för en sådan vägg med selektiv yta $\bar{\eta} = 0,71$ för $T_{ou} = +5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 252 \text{ W/m}^2$. Om man relaterar den genomsnittliga verkningsgraden till instrålningen mot glasets utsida, I_0 , så blir verkningsgraden $\bar{\eta}' = \text{ca } 0,84^2 \cdot 0,71 = 0,50$. Denna verkningsgrad skall jämföras med den genomsnittliga verkningsgraden för en enkelglasad vägg, vilken enligt figuren på föregående sida är $\bar{\eta} = 0,58$ för $T_{ou} = +5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 300 \text{ W/m}^2$. Refererat till I_0 erhålls då $\bar{\eta}' = \text{ca } 0,84 \cdot 0,58 = 0,49$. Förbättringen av den genomsnittliga verkningsgraden relaterad till instrålningen på glasets utsida, I_0 , är således liten — från 0,49 till 0,50. Det kan ifrågasättas om värmevinsten kan betala den tillkommande kostnaden för dubbelglasning i jämförelse med enkelglasning.

I diagram d visas de maximala temperaturerna vid utetemperatur $T_{ou} = +15^\circ\text{C}$. Man ser att vid $I_1 = 504 \text{ W/m}^2$ motsvarande $I_0 = 504/0,84^2 = 714 \text{ W/m}^2$ på glasets utsida, blir absorbatorytans temperatur $T_{2, \text{max}} = 84^\circ\text{C}$, väggtemperaturen $T_{1, \text{max}} = 71^\circ\text{C}$ och den utgående luftens temperatur (vid taket) $T_{ou} = 61^\circ\text{C}$. Detta är ungefär samma temperaturer som erhöles vid enkelglasning och $I_1 = 600 \text{ W/m}^2$, dvs $I_0 = 600/0,84 = 714 \text{ W/m}^2$.

Sammanfattningsvis kan alltså konstateras att dubbelglasade solväggar och soltak enligt typ II med selektiv absorbatoryta ger så få fördelar i jämförelse med motsvarande väggar och tak med endast enkelglasning att de knappast kan förväntas motsvara de ökade investeringskostnaderna.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION "Verkningsgradskurvor"

Vid experimentell bestämning av solfångares solenergiutnyttjande använder man sig i regel av parametrarna:

$$\eta = q/I_0$$

$$(T_0 - T_U)/I_0$$

Verkningsgraden η utgör alltså förhållandet mellan det uppmätta värmetillskottet q till det genomströmmande mediet (vatten eller luft) och den infallande strålningen I_0 . Den andra parametern utgör skillnaden mellan mediets temperatur T_0 och utetemperaturen T_U , dividerad med den infallande strålningen I_0 . Temperaturskillnaden $(T_0 - T_U)$ är ett mått på värmeförlusterna genom glaset. Det vore naturligt att som mediets temperatur välja medelvärdet mellan dess ingående och utgående temperatur. Det visar sig emellertid att man lika väl kan använda den ingående temperaturen hos mediet. Detta ger fördelar när man skall tillämpa verkningsgradskurvan för beräkning av solvärmetillskottet. För rumsluftvärmade väggar eller tak sätts därför T_0 lika med rumsluftens temperatur T_r .

De i tidigare avsnitt beräknade värdena har inriktats i ett diagram med

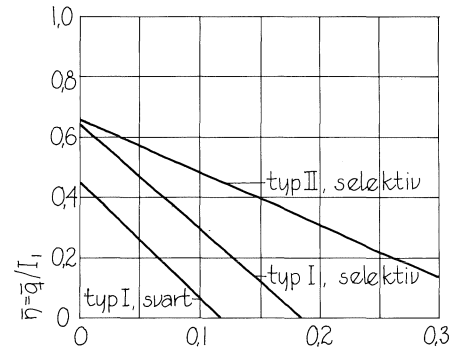
$$\bar{\eta} = \bar{q}/I_1$$

$$(T_r - T_U)/I_1$$

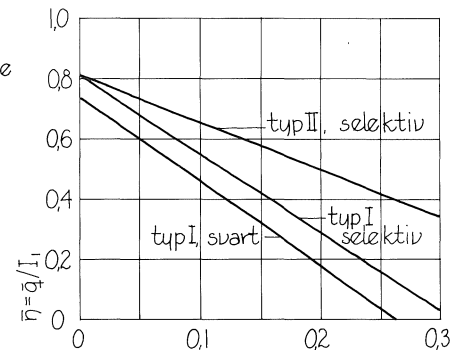
på den vertikala resp horisontella axeln. I_1 är då den på kollektorytan absorberade strålningen. "Verkningsgradskurvorna" blir då räta linjer med en korrelationskoefficient bättre än 0,99 — i regel bättre än 0,999. De visas i figuren. Med kändedom om I_1 , som kan beräknas ur I_0 och antal glas, och utetemperaturen kan verkningsgraden avläsas ur diagrammet.

"Verkningsgradskurvor" kan också bestämmas genom försök.

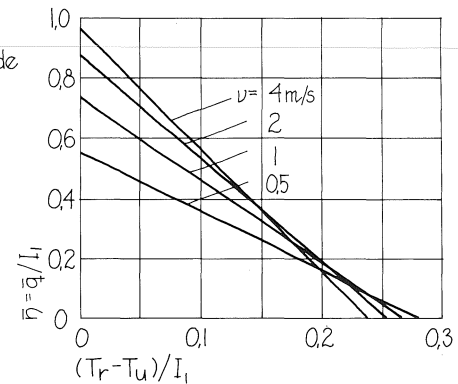
a)
enkelglasade
 $v = 1 \text{ m/s}$



b)
dubbelglasade
 $v = 1 \text{ m/s}$



c)
dubbelglasade
typ I, svart



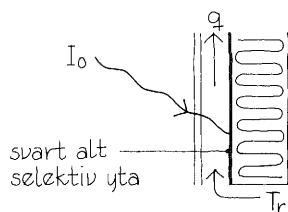
Verkningsgrad $\bar{\eta} = \bar{q}/I_1$ som funktion av $(T_r - T_U)/I_1$.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

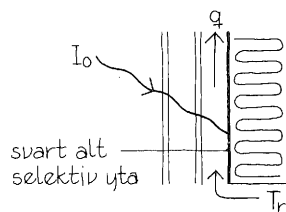
Genomsnittlig verkningsgrad under månad

Genomsnittlig verkningsgrad $\bar{\eta}' = \Sigma q / \Sigma I_0$ under olika månader för rumsluftvärmande solvägg ($H = 2,4 \text{ m}$) mot söder i Stockholm 1971 ($v = 1 \text{ m/s}$).

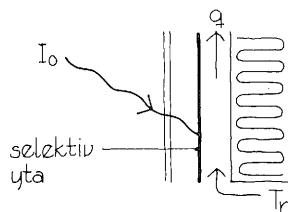
Månad	Enkelglasad		Dubbelglasad			
	Typ I svart yta	Typ I selektiv yta	Typ II selektiv yta	Typ I svart yta	Typ I selektiv yta	Typ II selektiv yta
1971-01	0,09	0,13	0,44	0,35	0,40	0,44
-02	0,08	0,13	0,42	0,32	0,37	0,42
-03	0,07	0,12	0,40	0,30	0,34	0,40
-04	0,09	0,15	0,42	0,31	0,37	0,40
-05	0,13	0,19	0,46	0,39	0,42	0,43
-06	0,14	0,21	0,47	0,40	0,44	0,43
-07	0,17	0,23	0,50	0,44	0,47	0,46
-08	0,16	0,22	0,50	0,44	0,48	0,47
-09	0,12	0,19	0,46	0,39	0,43	0,44
-10	0,11	0,18	0,48	0,39	0,44	0,47
-11	0,09	0,15	0,45	0,36	0,41	0,45
-12	0,08	0,14	0,43	0,34	0,39	0,43



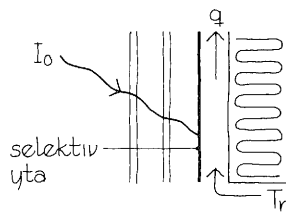
typ I, enkelglasad



typ I, dubbelglasad



typ II, enkelglasad



typ II, dubbelglasad

En solvägg eller ett soltak kan utnyttjas för rumsuppvärmning, när dess temperaturtillskott är större än 0. Härför erfordras att instrålningen har ett visst värde, vilket är avhängigt av väggens eller takets konstruktion och av utetemperaturen. För att ge en uppfattning om utnyttjningsbar solvärme har de olika konstruktionstyperna för solväggar datorberäknats timme för timme under året och utnyttjningsbar solvärme under årets månader har dividerats med månadssumman av instrålningen på väggen. Således har en genomsnittlig verkningsgrad $\bar{\eta}'$ under månaden bestämts.

Vid datorberäkningarna har det förutsatts att solväggen ventileras endast när den kan ge ett värmetillskott, dvs när rumsluften får ett temperaturtillskott efter passage genom solväggen. Beräkningarna avser en söderorienterad vägg i Stockholm med det uteklimat som gällde 1971.

Tabellen visar att de enkelglasade väggarna av typ I ger mycket låga verkningsgrader under uppvärmningssäsongen. Den enkelglasade solväggen av typ II ger liksom samtliga dubbelglasade konstruktioner rimliga verkningsgrader. Bäst är den enkelglasade solväggen av typ II med selektiv yta. Lika bra som denna är den dubbelglasade väggen av samma typ, men det torde ej vara någon mening att utnyttja dubbelglasning när enkelglasning ger samma resultat. Orsaken till att den dubbelglasade väggen ej ger bättre verkningsgrad är att det extra glaset absorberar en del av instrålningen. Den dubbelglasade väggen av typ I med selektiv yta ger något lägre verkningsgrad och motsvarande vägg med svart yta ytterligare något lägre verkningsgrad.

Det bör observeras att solväggens k-värde under natten är lika med väggens mörker-k-värde. På dagen ger väggen dessutom ett mindre värmetillskott till rummet genom att dess insida får något högre temperatur än rumsluften.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Utnyttjningsbar solvärme under månad

Om man skall fatta beslut rörande utnyttjande av solvägg eller soltak i en byggnad behöver man uppgift om hur mycket solvärme som väggen eller taket kan leverera till byggnaden. Nämnade datorberäkningar ger besked härom. I tabellen visas den utnyttjningsbara solvärmens för olika väggtyper under årets månader — Stockholm 1971.

Den enkelglasade väggen av typ II med selektiv yta förmår att avleverera 172 kWh/m² under månaderna oktober till och med april. Detta är ett aktningvärt värmetilskott. Med 20 m² söderorienterad solvägg av nämnd typ skulle man kunna tillföra ca 3 500 kWh under uppvärmningssäsongen. Den dubbelglasade solväggen av typ I med selektiv yta ger något lägre solvärmeutnyttjande, 155 kWh/m² under oktober—april.

Vid utformningen av lågenergihus kan man genom en förnuftig utformning av ytterväggar, fönster och tak komma ned i låga värmeförluster, varför värmetilskott av storleksordningen 3 000—4 000 kWh blir av väsentlig betydelse.

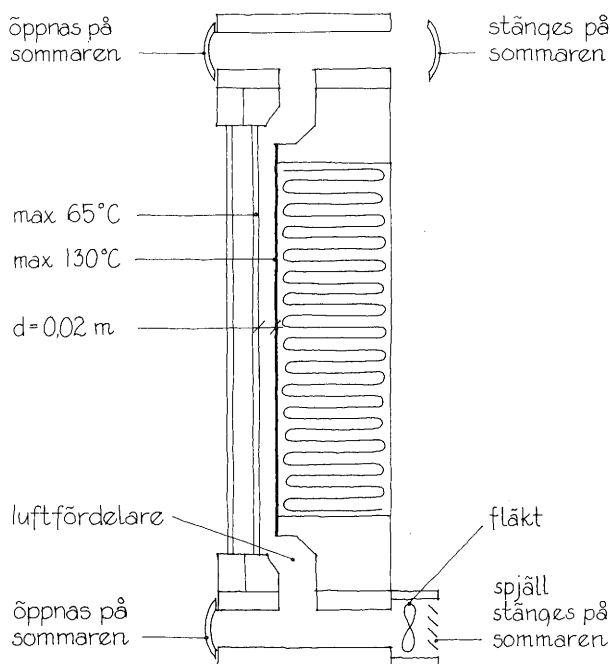
Under sommaren och delvis under vår och höst behövs inget värmetilskott. Snarare kommer värmetilskottet att vara till nackdel, eftersom rumstemperaturerna blir för höga. Man måste då stänga av rumsluftens ventilation genom väggen. För att inte solväggens temperaturer då skall bli alltför höga bör densamma ventileras med uteluft. Detta bör kunna ske med självdrag. *Om man ej sommarventilerar med uteluft kan absorbdarytans temperatur nå 200 °C.*

Utnyttjningsbar solvärme (kWh/m²) för olika månader för rumsluftvärmade solvägg (H = 2,4 m) mot söder i Stockholm.

Månad	Enkelglasad			Dubbelglasad		
	Typ I svart yta	Typ I selektiv yta	Typ II selektiv yta	Typ I svart yta	Typ I selektiv yta	Typ II selektiv yta
1971—01	3	5	16	13	14	16
—02	4	6	19	15	17	19
—03	5	9	29	22	25	29
—04	8	14	38	30	34	37
—05	15	23	55	46	51	52
—06	15	22	50	43	47	47
—07	18	25	54	48	51	50
—08	17	24	54	48	52	51
—09	10	15	37	31	34	35
—10	9	14	37	31	35	37
—11	5	7	22	18	20	22
—12	2	4	11	9	10	11
Σ 10—04	36	59	172	138	155	171

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Konstruktiva synpunkter på typ I, dubbelglasad med selektiv yta



Problemskiss för dubbelglasad solvägg typ I med selektiv yta och mekanisk ventilation.

Den dubbelglasade solväggen eller soltaket av typ I med selektiv absorбатыryta erbjuder en del problem, som måste finna sina konstruktiva lösningar. Således får absorбатыrytan under soliga dagar en temperatur, som uppnår 130 °C. Detta ställer stora krav på den bakomvarande väggen och dess material. Trä får inte vara i direkt kontakt med absorбатыrplåten utan måste skyddas så att dess temperatur inte överskrider ca 70 °C. Värmeisoleringsmaterial måste tåla ca 130 °C, vilket utesluter vissa värmeisoleringsmaterial av plast. Absorбатыrplåten kommer att längdutvidgas på grund av temperaturen och man måste räkna med 4–5 mm förlängning.

Det inre glaset kommer under soliga dagar att uppnå 60–65 °C. Man bör överväga att placera de båda glasen i separata bågar. Avståndet mellan glas och absorбатыryta bör ej överstiga 0,02 m. En ökning till 0,06 m ger en verkningsgradsförsämring med ca 15%.

Den selektiva ytan kommer i kontakt med rums-luften, vilket kan påverka dess selektiva egenskaper. Man kan tänka sig att filtrera luften. Å andra sidan blir försämringen av dess selektiva egenskaper ej större än vad som motsvaras av en svart yta. Detta medför ej större verkningsgradsförsämring än ca 10% och innebär inte någon större katastrof.

Den mekaniska ventilationen måste utformas så att ett jämnt luftflöde erhålls längs väggen. Dessutom måste man tillse att man inte får ett omvänt flöde på natten, vilket kan kräva ett spjäll eller ett särskilt luftflödesmotstånd.

På sommaren, då man inte önskar värmestillskott från solväggen eller soltaket, så *måste man öppna en sommarventilation*. Annars kommer temperaturerna på absorбатыrytan och glaset att ytterligare öka. Denna ventilation kan göras i form av självdrag eller med fläktventilation. I det senare fallet får man en extra ventilation av byggnaden.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Konstruktiva synpunkter på typ II, enkelglasad med selektiv yta

Den enkelglasade solväggen eller soltaket av typ II med selektiv ytbeläggning på absorbatoren har liknande problem som väggen och taket enligt typ I. De skiljer sig dock på några väsentliga punkter.

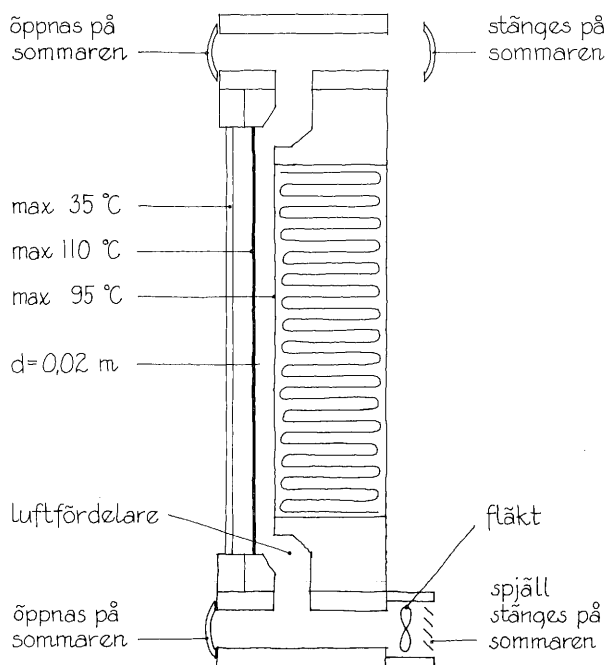
Den selektiva absorбатыorytan befinner sig i typ II helt skild från rumsluften och utsätts inte för samma risk för nedbrytning som vid typ I. Den selektiva ytan är mycket känslig för vatten (gäller idag använda ytbeläggningar), vilket kräver att det *yttre glaset med dess båge är vattentätt. Detta gäller särskilt vid soltak, där glasytan är lutande.* Påpekandet gäller naturligtvis både typ I och typ II.

En annan skillnad mellan den dubbelglasade väggen av typ I och den enkelglasade väggen av typ II gäller temperaturerna. Vid typ II skulle absorбатыorytan i Stockholm 1971 få en högsta temperatur av 110 °C mot 130 °C vid typ I. Väggen bakom absorбатыorytan blir vid typ II högst 95 °C mot 130 °C vid typ I. Denna sänkning av väggtemperaturen underlättar den konstruktiva lösningen.

Sommarventilation är nödvändig vid typ II liksom vid typ I. Samma gäller bakdragsspjäll.

Sammanfattningsvis kan sägas att den enkelglasade väggen eller taket av typ II med selektiv yta synes ge något mindre konstruktiva problem än den dubbelglasade av typ I med selektiv absorбатыoryta. Den enkelglasade väggen eller taket av typ II innehåller dessutom ett glasskikt mindre, vilket borde ge ekonomiska fördelar.

Man skulle kunna låta rumsluften i typ II passera på båda sidor om absorбатыorplåten, vilket dock återinför problemet med den selektiva beläggningens hållbarhet. Det torde dock ge vissa fördelar med hänsyn till temperaturer och verkningsgrad. Man kan också tänka sig att korrugera absorбатыorytan, vilket ger liknande fördelar.



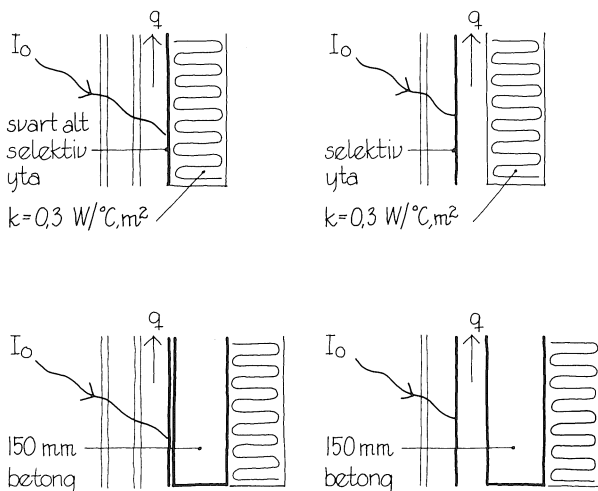
Problemskiss för enkelglasad solvägg för typ II med selektiv yta och mekanisk ventilation.

8.7 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED MEKANISK VENTILATION

Solväggar och soltak med värmelagring

Genomsnittlig verkningsgrad $\bar{\eta}' = \Sigma q / \Sigma I_0$ under olika månader för rumsluftvärmende solvägg med och utan värmelagring (betong). $H = 2,4 \text{ m}$, $v = 1 \text{ m/s}$, söderorientering, Stockholm 1971.

Månad	Dubbelglasad, typ I svart yta		Dubbelglasad, typ I selektiv yta		Enkelglasad, typ II selektiv yta	
	Utan betong	Med betong	Utan betong	Med betong	Utan betong	Med betong
1971—01	0,35	0,08	0,40	0,09	0,44	0,20
—02	0,32	0,10	0,37	0,13	0,42	0,21
—03	0,30	0,12	0,34	0,16	0,40	0,24
—04	0,31	0,18	0,37	0,23	0,40	0,31
—05	0,39	0,32	0,42	0,36	0,43	0,41
—06	0,40	0,36	0,44	0,40	0,43	0,44
—07	0,44	0,41	0,47	0,45	0,46	0,48
—08	0,44	0,40	0,48	0,44	0,47	0,47
—09	0,39	0,28	0,43	0,33	0,44	0,39
—10	0,39	0,23	0,44	0,28	0,47	0,35
—11	0,36	0,12	0,41	0,15	0,45	0,25
—12	0,34	0,03	0,39	0,04	0,43	0,15



Det har tidigare konstaterats att de rumsluftvärmende solväggarna och soltaken utan värmelagringsförmåga får höga temperaturer, vilka kan ge konstruktiva problem. Ett sätt att sänka dessa temperaturer skulle kunna vara att införa ett värmelagrande skikt bakom absorATORYTAN. Således har för den dubbelglasade väggen av typ I och den enkelglasade väggen av typ II genomförts datorberäkningar med ett 150 mm betongskikt på väggens utsida — se tabellen. Datorberäkningarna avser söderorienterad solvägg i Stockholm 1971. De förutsätter att väggen endast ventileras när densamma kan ge ett värmetillskott till rummet. Utan ventilation fungerar solväggen som en vanlig vägg.

I tabellen visas den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}'$ under årets olika månader. En jämförelse med motsvarande verkningsgrad för väggar utan värmelagring visar att verkningsgraden sjunker mycket när värmelagringen, dvs 150 mm betong, införs. Detta beror på att temperaturerna i solväggen kraftigt sänks, vilket minskar väggens värmetillskott.

En jämförelse mellan temperaturer i väggar med och utan betong visar att för den dubbelglasade väggen av typ I med selektiv yta minskar absorATORYTANS högsta temperatur från 130 °C utan värmelagring till 65 °C vid värmelagring i 150 mm betong. För den enkelglasade väggen av typ II med selektiv yta minskar absorATORYTANS högsta temperatur från 110 °C till 90 °C och den bakomvarande väggens högsta temperatur från 95 °C till 50 °C.

Beräkningarna synes ge vid handen att det i det svenska klimatet inte ger tillräckliga fördelar att införa värmelagring i solväggar och soltak på det sätt som visas i tabellen.

8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

Självdragskrafter

Om man släpper in varm luft i en vertikal kanal (skorsten) så stiger luften uppåt. Hastigheten på luften är större ju varmare luften är. Drivkraften är tätthetskillnaden mellan den varma luften och den omgivande, kallare luften, dvs tryckskillnaden blir:

$$-\Delta p = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

där T_2 är den varma luftens temperatur (i Kelvin), T_1 är omgivningens temperatur (i Kelvin), H är skorstens höjd, ρ är luftens täthet vid T_1 och $g = 9,82 \text{ m/s}^2$.

Värmer man luften på dess väg uppåt så att dess temperatur ökar från T_1 till T_2 så blir tryckskillnaden uppe resp nere hälften av den ovan angivna. Har man inget motstånd i kanalen eller vid inlopp och utlopp så blir tryckskillnaden lika med hastighetstrycket, dvs

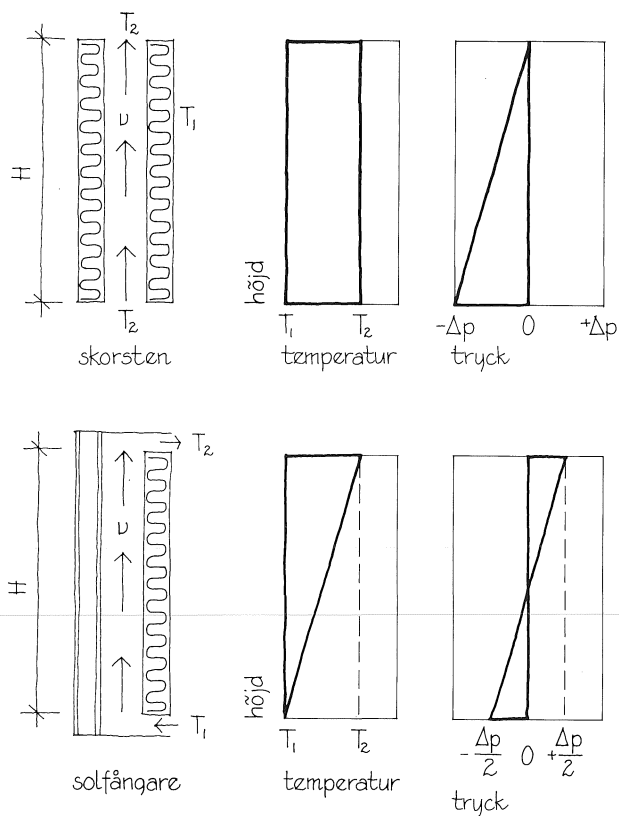
$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} = \frac{T_2 - T_1}{2 \cdot T_1} \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

Har man ett motstånd i kanalen (spalten) samt dess inlopp och utlopp så blir formeln:

$$\rho \cdot \frac{v^2}{2} = a \cdot \frac{T_2 - T_1}{2 \cdot T_1} \cdot H \cdot \rho \cdot g$$

Om inlopps- och utloppsöppningarna är ca halva kanalarean (spaltarean) kan man sätta $a = 0,64$.

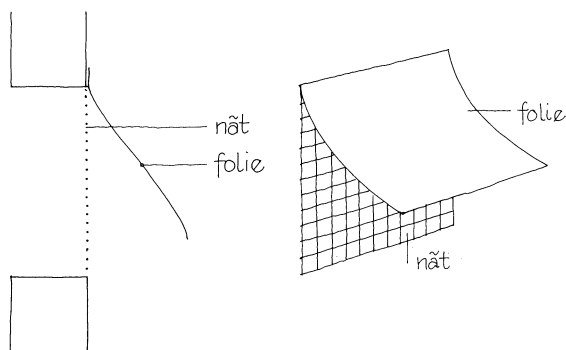
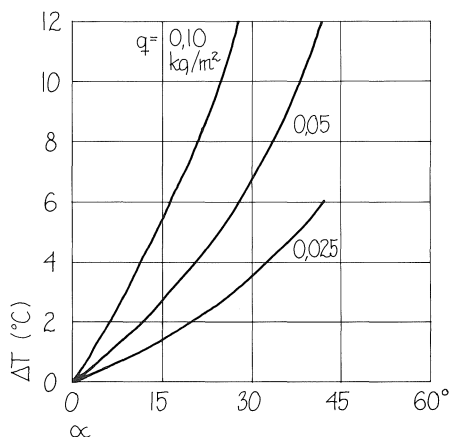
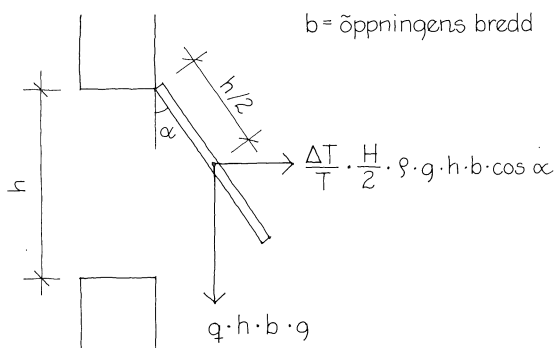
I föregående avsnitt har vi vid mekanisk ventilation räknat med ett antal värden på v och har då erhållit temperaturskillnaden ($T_2 - T_1$) dvs ($T_{OU} - T_i$). Genom att applicera ovanstående uttryck på dessa värden kan lufthastigheten i spalten vid självdragsventilation bestämmas. Den blir vid låg instrålning ca 0,5 m/s och vid hög instrålning ca 1–1,5 m/s.



Tryckförhållanden i skorsten resp solfångande vägg.

8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

Bakdragsspjäll



Bakdragsspjäll vid självdragsventilerad solvägg.

Vid självdragsventilerad solvägg eller soltak måste man ha ett automatiskt bakdragsspjäll, som hindrar att rumsluften om natten passerar in genom den övre öppningen, kyls ned i spalten och återvänder till rummet med lägre temperatur än rumsluftens temperatur. Om man vill utnyttja självdragskrafterna, dvs övertrycket i den övre öppningen på grund av uppvärmningen av luften i spalten, så måste man hålla i minnet att dessa självdragskrafter är mycket små. Vid 5° temperaturhöjning i spalten blir övertrycket:

$$\frac{\Delta p}{2} = \frac{T_2 - T_1}{T_1} \cdot \frac{H}{2} \cdot \rho \cdot g = \frac{5}{293} \cdot 1,2 \cdot 1,2 \cdot 9,82 = 0,24 \text{ N/m}^2$$

Om vi tänker oss att bakdragsspjället utförs som en folie, fastsatt i öppningens överkant, så blir den erforderliga temperaturhöjningen i spalten (ΔT) för att folien skall öppna sig i vinkeln α :

$$\Delta T = \frac{2 \cdot q \cdot T_r}{H \cdot \rho} \cdot \frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha}$$

där q = foliens vikt per m^2 , T_r = rumsluftens temperatur (i Kelvin), H = väggens höjd och ρ = luftens täthet.

För att utloppsöppningen för luften skall bli tillräckligt stor för att medge ett tillräckligt luftflöde bör vinkeln α hållas större än 30° och väggöppningens area vara lika med spaltens horisontella tvärsnittsarea.

För att folien skall kunna sluta till vid risk för baksug så måste öppningen förses med ett tunt nät, som hindrar folien att tryckas utåt. Som en extra säkerhet kan folie också appliceras på den nedre öppningens utsida.

Man kan naturligtvis konstruera mera sofistikerade bakdragsspjäll men de ovan diskuterade synes verka tillfredsställande i de fall de använts, särskilt då i USA.

8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

Solvägg, typ I, dubbelglasad med selektiv yta

Av de rumsluftvärmade konstruktionerna med mekanisk ventilation visade sig typ I, dubbelglasad med selektiv absorbatoryta, vara en av de bästa. Denna konstruktion har också studerats med självdragsventilation. Väggen har försetts med öppningar upptill och nedtill mellan väggens solfångande spalt och rummet. Dessa öppningar har givits en area, som är *hälften av genomströmningsarean i spalten*, dvs $0,5 \cdot 0,02 \cdot 1 = 0,01 \text{ m}^2/\text{m}$. Detta ger en lufthastighet i spalten:

$$v = 0,8 \frac{H \cdot g \cdot (T_{ou} - T_{oi})}{T_{oi}}$$

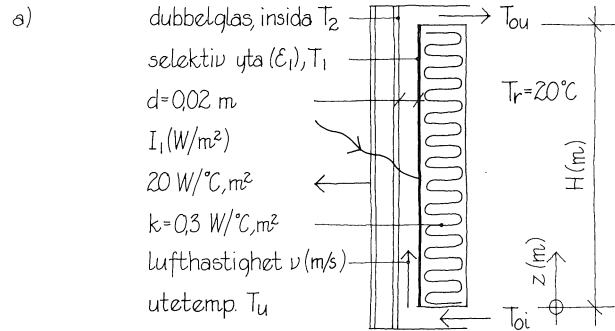
där $(T_{ou} - T_{oi})$ är temperaturhöjningen i väggen, $T_{oi} = T_r =$ rumsluftens temperatur (K) och H är väggens höjd.

I figuren visas resultatet av beräkningar. Tabellen b visar den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta} = \bar{q}/I_1$ för en 2,4 m hög vägg. Relateras verkningsgraden i stället till den på utsidan infallande strålningen I_0 , vilken approximativt kan sättas till $I_0 = I_1/0,84^2$, blir denna

$$\bar{\eta}_1 = \frac{\bar{q}}{I_0} = \frac{\bar{\eta} \cdot I_1}{I_0} = 0,84^2 \cdot \bar{\eta}$$

dvs för $T_u = +5 \text{ }^\circ\text{C}$ och $I_0 = 252/0,84^2 = 357 \text{ W/m}^2$ blir $\bar{\eta}_1 = 0,84^2 \cdot 0,64 = 0,45$.

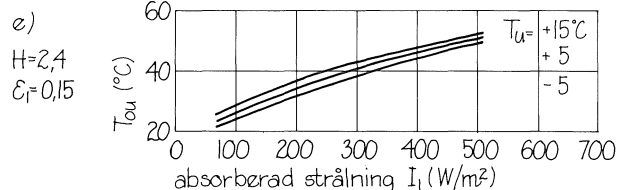
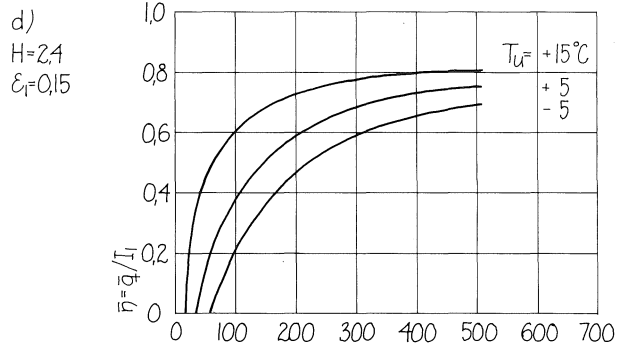
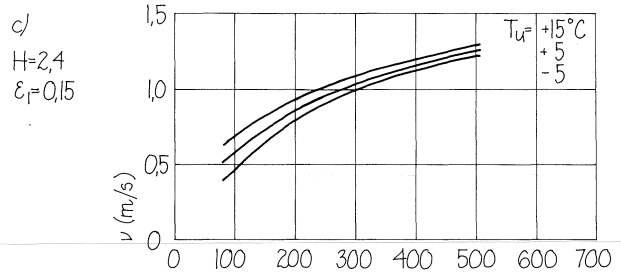
I figuren visas lufthastigheten v som funktion av utetemperaturen T_u och den absorberade strålningen I_1 . För I_1 större än 300 W/m^2 blir v något högre än 1 m/s och för I_1 mindre än 300 W/m^2 blir v något lägre än 1 m/s . Detta förklarar varför verkningsgraderna i tabell b är mycket lika dem som erhöles i figuren sid 264 för mekanisk ventilation med $v = 1 \text{ m/s}$. *De slutsatser som dragits för den mekaniskt ventilerade väggen med samma konstruktion gäller uppenbarligen också för den självdragsventilerade väggen.*



b)

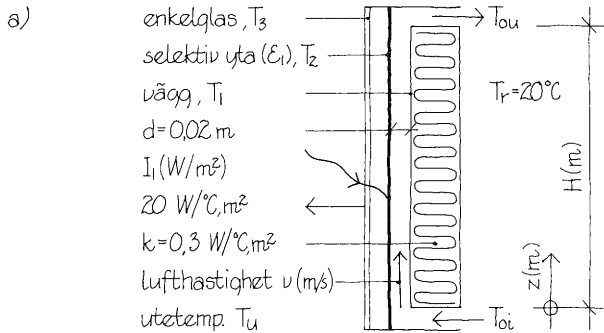
$T_u (^\circ\text{C})$	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	84 W/m^2	252 W/m^2	504 W/m^2
-5	0,13	0,53	0,69
+5	0,33	0,64	0,75
+15	0,59	0,76	0,81

$H = 2,4$
 $\epsilon_1 = 0,15$



8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

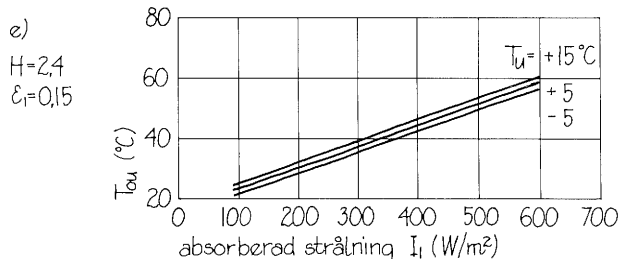
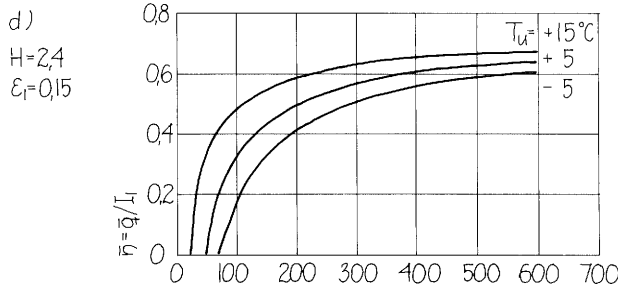
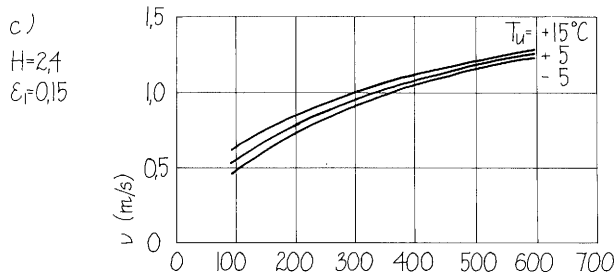
Solvägg, typ II, enkelglasad med selektiv yta



b)

$T_u (\text{°C})$	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	$100 \text{ W}/\text{m}^2$	$300 \text{ W}/\text{m}^2$	$600 \text{ W}/\text{m}^2$
-5	0,19	0,51	0,61
+5	0,34	0,57	0,64
+15	0,50	0,64	0,67

$H = 2,4$
 $\epsilon_1 = 0,15$



Enkelglasad solvägg av typ II med selektiv absorbertyta och mekanisk ventilation visade sig vara en av de bästa rumsluftvärmande konstruktionerna. För ses denna väggtyp med självdragsventilation med öppningar upptill och nedtill med en area = $0,01 \text{ m}^2$ per m väggglämd, så erhålls genomsnittliga verkningsgrader för en 2,4 m hög vägg enligt tabell b i figuren. Denna blir för utetemperaturen $T_u = +5^\circ\text{C}$ och absorberad strålning $I_1 = 300 \text{ W}/\text{m}^2$ enligt tabellen $\bar{\eta} = 0,57$. Detta kan jämföras med värdet enligt tabell b i figur sid 264, vilket är $\bar{\eta} = 0,58$. Detta senare värde gäller för lufthastigheten i spalten $v = 1 \text{ m}/\text{s}$. Som framgår av diagram c i figuren så blir lufthastigheten för den självdragsventilerade väggen mycket nära $1 \text{ m}/\text{s}$ vid $T_u = +5^\circ\text{C}$ och $I_1 = 300 \text{ W}/\text{m}^2$. Diagrammet visar också att för absorberad strålning I_1 större än $300 \text{ W}/\text{m}^2$ blir hastigheten v något högre än $1 \text{ m}/\text{s}$ och vid I_1 mindre än $300 \text{ W}/\text{m}^2$ blir hastigheten något lägre än $1 \text{ m}/\text{s}$.

Relateras den genomsnittliga verkningsgraden i stället till den infallande instrålningen I_0 , där I_0 approximativt kan sättas $I_0 = I_1/0,84$ för en enkelglasad solvägg, så blir denna

$$\bar{\eta}_1 = \frac{\bar{q}}{I_0} = \frac{\bar{\eta} \cdot I_1}{I_0} = 0,84 \cdot \bar{\eta}$$

För $T_u = +5^\circ\text{C}$ och $I_0 = 300/0,84 = 357 \text{ W}/\text{m}^2$ blir $\bar{\eta}_1 = 0,84 \cdot 0,57 = 0,48$. Detta kan jämföras med motsvarande värde för den dubbelglasade solväggen av typ I med selektiv yta, vilket blev $\bar{\eta}_1 = 0,45$. Typen II med enkelglasning är således något effektivare än typen I med dubbelglasning. Samma resultat erhöles vid mekanisk ventilation.

Eftersom lufthastigheten i spalten blir nära $1 \text{ m}/\text{s}$ så kan samma slutsatser dras för självdragsventilerad vägg som för mekaniskt ventilerad vägg med $v = 1 \text{ m}/\text{s}$.

8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

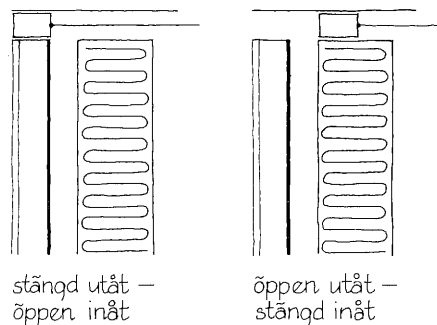
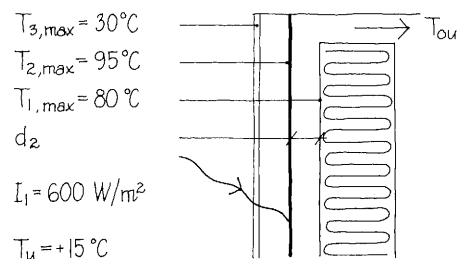
Konstruktiva synpunkter på solväggen av typ II

En solvägg måste fungera tillfredsställande både då den är ventilerad och när ventilationen är avstängd.

Vid *ventilation* med rumsluft blir glastemperaturen aldrig högre än 30 °C, vilket utesluter problem med glaset. Den selektiva ytan får emellertid vid stark instrålning så hög temperatur som 95 °C, i extremfall kanske något mer, vilket kan ge problem på grund av längdutvidgning samt ljudproblem. Väggtemperaturen kan under samma omständigheter bli 80 °C eller något mer, vilket kräver särskild uppmärksamhet vid väggens konstruktion. Vid stark solstrålning kommer väggens mot rummet vända sida att bli 2–3 °C varmare än rumsluften. Detta medför att rummet mottar ca 20 W/m² i extra värmeförsel.

När värmeförsel från solväggen ej önskas så kan självdragsventilationen stängas av mera permanent med en lucka. Temperaturen i väggen blir då mycket högre under soliga dagar än vad som erhöles vid ventilationen. Den selektiva ytan och väggytan mot spalten kan mycket väl få temperaturer upp mot 200 °C. Detta ger så stora konstruktiva problem att man måste förutsätta att spalten ventileras med uteluft i sådant fall. Väggen måste alltså förses med luckor, som öppnar väggens spalt mot det fria, när ventilationen mot rummet stängs. Man kan naturligtvis tänka sig att luckorna öppnas och stängs automatiskt med någon motor. Detta strider dock mot den naturliga ventilationens idé.

Spaltbredden har tidigare förutsatts vara $d_2 = 0,02$ m. Om man av konstruktiva skäl önskar öka spaltbredden, så medför detta som tabellen visar att lufthastigheten v minskar, verkningsgraden $\bar{\eta}$ minskar något och lufttemperaturen vid utloppet T_{OU} minskar avsevärt. Det senare kan ge problem för bakdragsspjällets funktion.

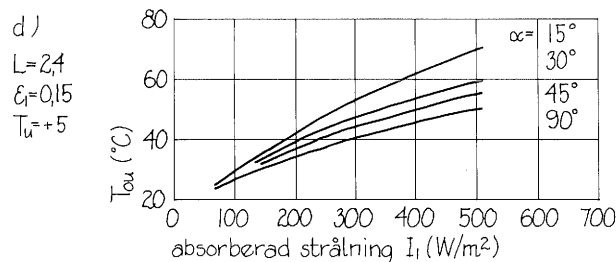
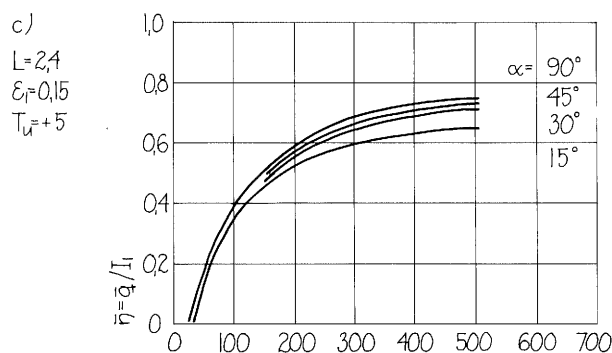
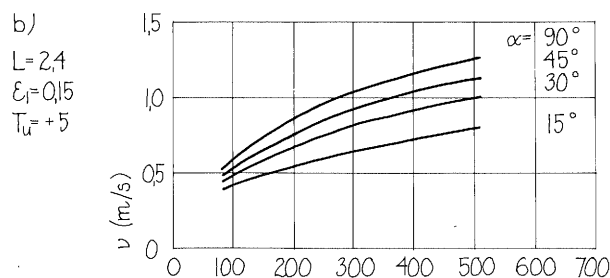
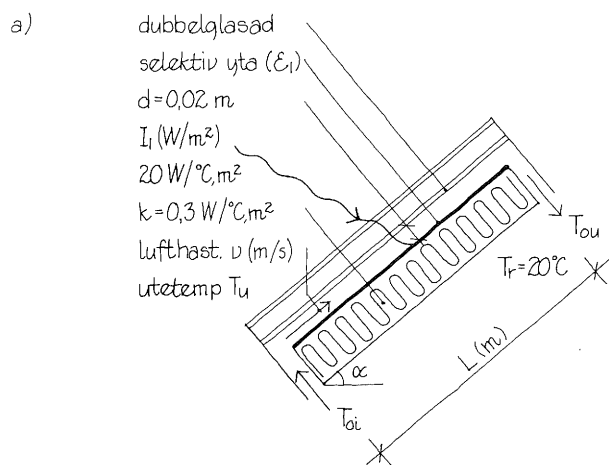


Inverkan av spaltbredd d_2 vid självdragsventilerad vägg ($H = 2,4$ m, $T_u = +15$ °C).

I_1 W/m ²	v (m/s)		$\bar{\eta} = \bar{q}/I_1$		T_{OU} (°C)	
	$d_2 = 0,02$ m	$d_2 = 0,06$ m	$d_2 = 0,02$ m	$d_2 = 0,06$ m	$d_2 = 0,02$ m	$d_2 = 0,06$ m
100	0,56	0,34	0,34	0,30	26,0	22,3
300	0,97	0,63	0,57	0,52	38,3	27,8
600	1,25	0,85	0,64	0,60	50,5	34,1

8.8 RUMSLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK MED SJÄLVDRAGSVENTILATION

Soltak, typ I, dubbelglasat med selektiv yta



Ett självdragsventilerat soltak får mindre drivande höjd H än motsvarande solvägg. Om soltakets längd, dvs den sträcka på vilken luften värms, betecknas med L enligt figuren, så blir den drivande höjden:

$$H = L \cdot \sin \alpha$$

där α är takets lutning.

I figur b visas lufthastigheten v i spalten som funktion av vinkeln α för utetemperaturen $T_u = +5\text{ }^\circ\text{C}$ och varierande absorberad strålning I_1 på absorbatortytan. Man ser att för vinkeln α större än 30° blir hastigheten v inte lägre än 80% av hastigheten för den vertikala väggen.

Den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}$ för det 2,4 m långa taket visas i figur c som funktion av vinkeln α . Inverkan av lutningen är förvånansvärt liten. För vinklar större än 30° blir inverkan på den genomsnittliga verkningsgraden ej mer än några procent. Förklaringen härtill framgår av figur d, som visar den utgående luftens temperatur T_{OU} . Man ser att minskad vinkel α ger ökad temperatur T_{OU} , vilket beror på att lufthastigheten i spalten minskar med minskad vinkel. Lägre lufthastighet ger en ökad uppvärmning av luften i spalten.

Ett soltak med en lutning större än 30° ger nästan samma verkningsgrad som en vertikal solvägg. Soltaket kan emellertid ge ett sämre solvärmeutnyttjande under vintern, eftersom detsamma kan ge mindre transmitterad strålning genom glaset på grund av ogynnsammare instrålningvinklar.

Vid soltak måste man transportera ned luften från rummets övre spetsiga del, då i annat fall en värme kudde bildas och hindrar självdragsventilationen. Soltaket med självdragsventilation innehåller flera konstruktiva problem, vilka kräver fullskaleförsök för utvärdering av tänkbara lösningar.

8.9 TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK

Vägg- och taktyper utan värmelagring

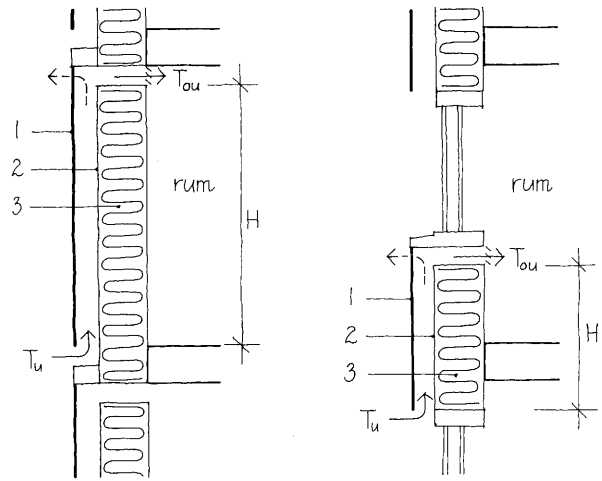
En solväggs eller ett soltaks solvärmeutnyttjande beror till stor del på det tillförda mediets temperatur. Om den luft, som skall värmas, har hög temperatur blir verkningsgraden hos solfångandet låg men om luftens temperatur är låg så får man ett högre solvärmeutnyttjande. *Solvärmning av en byggnads tilluft borde därför ge ett gott solvärmeutnyttjande.*

I figuren visas några typer av tilluftvärmande solväggar. Principerna är också tillämpbara på soltak. Den enklaste formen av solvägg är en svart plåtfasad, bakom vars plåt tilluften får passera och uppvärmas. I figur a visas dels en våningshög tilluftvärmande vägg dels en tilluftvärmande bröstning mellan två våningar.

Ett sätt att förbättra solvärmeutnyttjandet är att minska väggens värmeförluster mot det fria. Därför kan man, som figuren b visar, anbringa ett glas utanför den solfångande ytan. I detta fall kan den absorberande ytan vara svart eller ha en selektiv ytbeläggning, eftersom den skyddas av glasets. Den kan dock behöva skyddas mot nedsmutsning genom något filter nedtill, där tilluften släpps in.

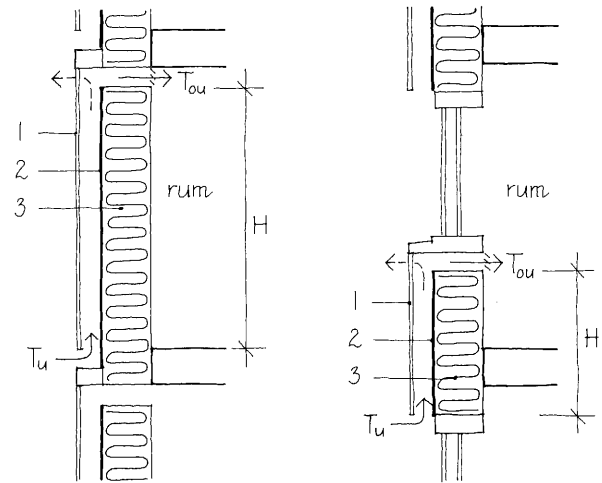
Solväggarna i figuren saknar värmekapacitet. Man kan naturligtvis tänka sig att förse dem med en värmekapacitet mellan den absorberande ytan och den värmeisolerande väggen, t ex en betongskiva. Det har emellertid tidigare visats för rumsluftvärmande väggar att ett sådant införande av en värmekapacitet minskar verkningsgraden hos väggen, varför det ej heller är aktuellt att tillämpa vid tilluftvärmande väggar.

Tilluftvärmande väggar fungerar som solfångare när dagsljus föreligger och ventilation krävs. De synes därför vara särskilt lämpliga för kontor, skolor och andra lokaler som endast utnyttjas under arbetstid. Ventilationsbehovet överensstämmer då tidsmässigt med sol- och himmelsstrålningens tillgänglighet.



a) tilluftsvärmande svart plåtvägg

1 = plåt
2 = vindskydd
3 = värmeisolering

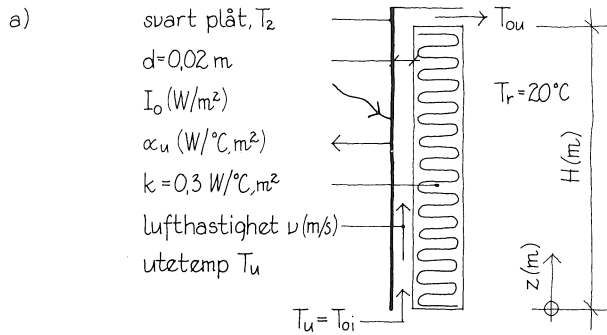


b) tilluftsvärmande glasad solvägg

1 = enkel eller dubbelglasning
2 = svart eller selektiv yta
3 = värmeisolering

Tilluftvärmande plåtväggar.

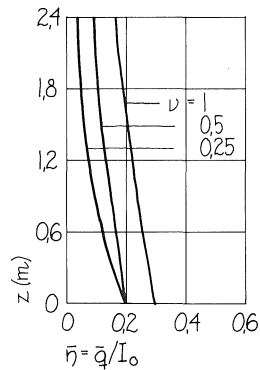
8.9 TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK Plåtvägg



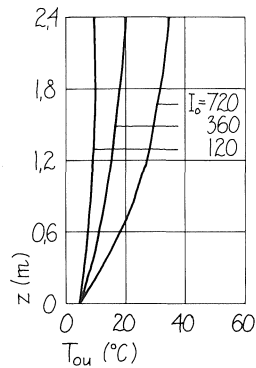
b)

	T_u ($^\circ C$)	$\bar{\eta}$ för $I_o=$		
		100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2
$H=2,4$	-5	0,105	0,095	0,093
$v=0,25$	+5	0,097	0,092	0,091
$\alpha_u=20$	+15	0,090	0,088	0,088

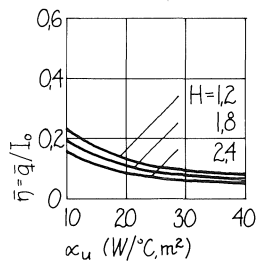
c) $I_o=360$, $T_u=+5$, $\alpha_u=20$



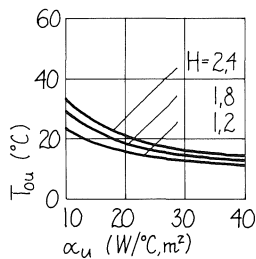
d) $T_u=+5$, $v=0,25$, $\alpha_u=20$



e) $I_o=360$, $T_u=+5$, $v=0,25$



f) $I_o=360$, $T_u=+5$, $v=0,25$



I figur a visas en tilluftvärmande plåtvägg. På plåtens utsida absorberas strålningen I_o , vilken värmer upp densamma. Värme avges från plåten mot det fria. Denna värmeavgivning sker dels i form av temperaturstrålning dels i form av konvektion. Den senare är starkt beroende av lufthastigheten på plåtens utsida. Normalt räknar man med att den sammanlagda värmeavgivningen α_u är som säsongsgenomsnitt $\alpha_u = 20$ $W/^\circ C, m^2$. Lufthastigheten v i väggens spalt är beroende av spaltens bredd d och av den tilluftsmängd som behövs i byggnaden. Vid $d = 0,02$ m blir lufthastigheten i normala fall av storleksordningen $v = 0,25 - 0,5$ m/s , motsvarande 18–36 m^3/h per meter vägg.

Av tabell b framgår att den genomsnittliga verkningsgraden för en 2,4 m hög vägg blir med $v = 0,25$ m/s i storleksordningen $\bar{\eta} = 0,1$, praktiskt taget oberoende av uttemperaturen T_u och av den absorberade strålningen I_o . Detta är en låg verkningsgrad, men i gengäld har solfångandet skett utan större ingrepp i den normala väggkonstruktionen. Intressant är också att verkningsgraden bibehålls vid låga uttemperaturer och liten instrålning.

I diagram c visas hur verkningsgraden varierar längs väggens höjd, z , räknat från golvet. Man ser att verkningsgraden för $v = 0,25$ sjunker kraftigt med ökat z . Redan efter 1,2–1,8 m är den mycket låg. För större lufthastigheter v minskar inte verkningsgraden lika mycket vid ökande z . Vid $z = 0$ erhålls samma värde för $v = 0,25$ och $v = 0,5$ medan $v = 1$ m/s visar ett högre η . Detta beror på att strömningen vid beräkningen ändrats från laminär till turbulent. Temperaturen T_{ou} vid toppen av en 2,4 m hög vägg blir vid $I_o = 720$ $W/^\circ C, m^2$, dvs vid solstrålning, så hög som 40 $^\circ C$, vilket visas i diagram d.

Inverkan av värmeavgivningen på plåtens utsida α_u visas i diagrammen e och f. Både den genomsnittliga verkningsgraden $\bar{\eta}$ och temperaturen T_{ou} vid spaltens topp är starkt beroende av α_u .

8.9 TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK

Enkelglasad med svart yta

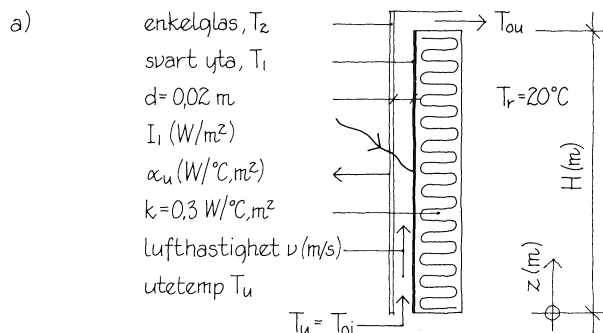
Den oskyddade svarta plåtväggen visade sig vara mycket känslig för luftrörelser på dess utsida. Det är därför naturligt att undersöka effekten av att glasa in densamma på sätt som figuren visar. Tabell b visar den genomsnittliga verkningsgraden för en 2,4 m hög vägg vid lufthastigheten $v = 0,25$ m/s. Denna blir $\bar{\eta} = \text{ca } 0,2$. Den är, liksom vid den oskyddade plåtväggen, praktiskt taget oberoende av utetemperaturen T_u och absorberad instrålning I_1 . För den enkelglasade väggen blir dock verkningsgraden dubbelt så hög som för den oskyddade plåtväggen.

Verkningsgradens variation i z-led, dvs längs väggens höjd, framgår av diagram c. Vid lufthastigheten $v = 0,25$ m/s blir verkningsgraden starkt beroende av z och man ser att det knappast lönar sig att göra H större än 1,8 m. Högre lufthastigheter ger mindre beroende av z.

Temperaturen vid väggens topp, T_{OU} , blir också beroende av lufthastigheten i spalten. Diagram d visar att en ökad lufthastighet minskar tillufttemperaturen T_{OU} .

Temperaturen T_{OU} blir vid stor instrålning närmare 70 °C när lufthastigheten $v = 0,25$ m/s, som framgår av diagram e. Även vid mycket låga instrålningar blir tillufttemperaturen högre än +20 °C. Det är då en förutsättning att lufthastigheten i spalten är låg. Väggtypen är således *mycket lämplig som tilluftvärmande vägg*.

Vid stark instrålning kan plåtens temperatur bli 90 °C och glasytans ca 35 °C. Även om plåten skyddas med ett enkelglas så blir väggen känslig för luftrörelser på dess utsida, som visas i diagram f. Detta beror på att glasningen har mycket lågt värmemotstånd. Att förse väggen med ytterligare ett glas är en väg att förbättra verkningsgraden. Ett annat sätt är att skapa en skyddad omgivning utanför väggen.

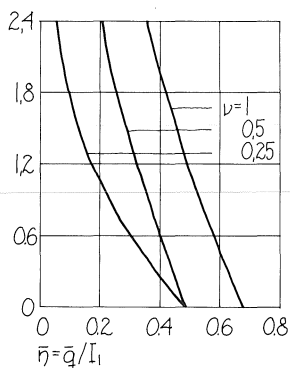


b)

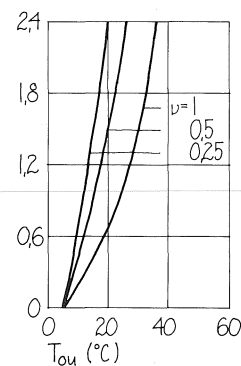
T_u (°C)	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$		
	100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2
-5	0,26	0,23	0,20
+5	0,24	0,21	0,19
+15	0,22	0,20	0,18

$H = 2,4$
 $v = 0,25$
 $\alpha_u = 20$

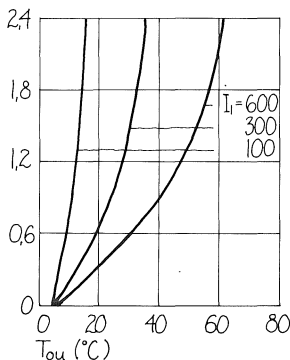
c) $I_1 = 300$, $T_u = +5$, $\alpha_u = 20$



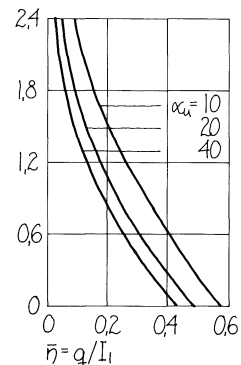
d) $I_1 = 300$, $T_u = +5$, $\alpha_u = 20$



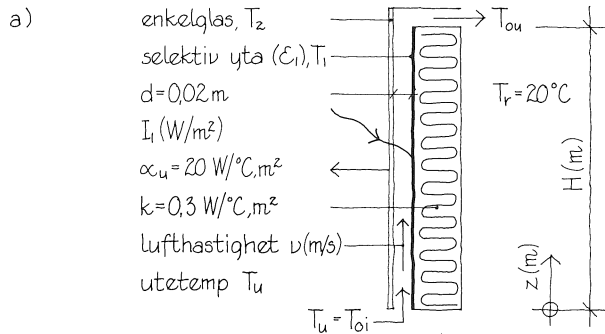
e) $T_u = +5$, $v = 0,25$, $\alpha_u = 20$



f) $T_u = +5$, $I_1 = 300$, $v = 0,25$



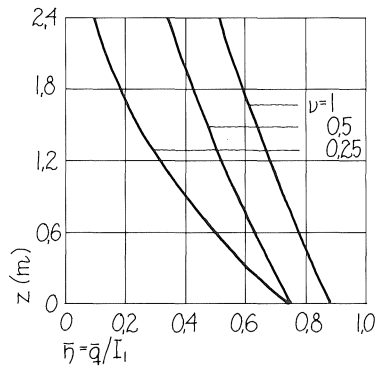
8.9 TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK Enkelglasad med selektiv yta



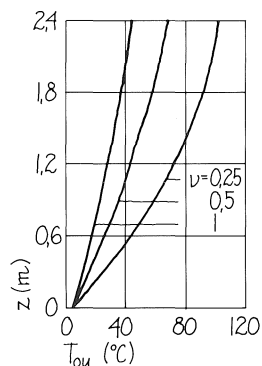
b)

$T_u (^\circ\text{C})$	$\bar{\eta}$ för $I_1 =$			
	100 W/m^2	300 W/m^2	600 W/m^2	
$H=2,4$	-5	0,44	0,38	0,32
$v=0,25$	+5	0,41	0,36	0,31
$\epsilon_r=0,15$	+15	0,38	0,34	0,29

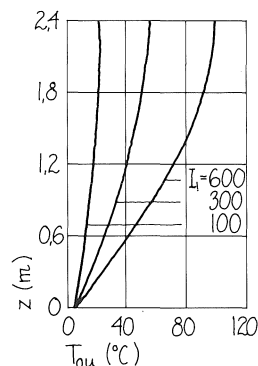
c) $I_1=300$, $T_u=+5$, $\epsilon_1=0,15$



d) $I_1=600$, $T_u=+5$, $\epsilon_1=0,15$



e) $T_u=+5$, $v=0,25$, $\epsilon_1=0,15$



Verkningsgraden för en enkelglasad tilluftvärmande vägg kan förbättras genom att den absorberande ytan förses med en selektiv beläggning med emisjonen ϵ_1 för temperaturstrålning. Som framgår av tabell b så får en 2,4 m hög vägg då en genomsnittlig verkningsgrad $\bar{\eta} = 0,35-0,40$, om lufthastigheten i spalten är $v = 0,25 \text{ m/s}$ — motsvarande verkningsgrad var för den svarta ytan: $\bar{\eta} = 0,2$.

Diagram d visar att lufttemperaturen i väggens topp, T_{ou} , vid stark solstrålning ($I_1 = 600 \text{ W/m}^2$) blir upp mot 100°C när lufthastigheten i spalten är $v = 0,25 \text{ m/s}$. Ökas lufthastigheten så minskar naturligtvis T_{ou} — tillufttemperaturen.

Även vid mycket låg absorberad instrålning I_1 blir tillufttemperaturen högre än $+20^\circ\text{C}$, som framgår av diagram e. Förutsättningen är dock att $v = 0,25 \text{ m/s}$.

Vid stark solinstrålning kommer plåten att få mycket höga temperaturer, upp mot 180°C . Detta kan skapa stora konstruktiva problem. Temperaturen kan naturligtvis sänkas om lufthastigheten ökas. Detta kan dock omöjliggöras av att tilluftmängden då blir onödigt stor. En möjlighet är att samtidigt öka lufthastigheten v och minska spaltbredden d till mindre än $0,02 \text{ m}$. Även detta kan medföra konstruktiva problem. Glastemperaturen blir vid stark solstrålning ej högre än ca 35°C .

Ytterligare ett konstruktivt problem kan föreligga. Selektiva beläggningar är ofta känsliga för fukt och smuts. Detta kan kräva speciella åtgärder vid tilluftvärmande väggar eller tak, t ex filter. Man kan också tillämpa konstruktionsprincip II, visad i avsnitt 8.7. Också då är filter nödvändig.

En lösning är att tillföra uteluften i en spalt mellan solabsorbatorn och väggen, på sätt som visats för typ II i avsnitt 8.7.

8.9 TILLUFTVÄRMANDE SOLVÄGGAR OCH SOLTAK

Utnyttjningsbar solvärme under månad

Vid val av komponenter för ett lågenergihus måste man veta hur mycket solvärme som olika vägg- och taktyper kan avleverera. Därför har datorberäkningar genomförts för Stockholms uteklimat under 1971. Beräkningarna har genomförts timme för timme under hela året. I tabellen visas den utnyttjningsbara solvärmens för de tidigare behandlade väggtyperna, nämligen svart plåtvägg, enkelglasad vägg med svart yta samt enkelglasad vägg med selektiv yta. Väggarna har förutsatts vara söderorienterade.

Under månaderna *oktober t o m april* blir den utnyttjningsbara solvärmens:

för svart plåtvägg: 26 kWh/m²
för enkelglasad vägg med svart yta: 65 kWh/m²
för enkelglasad vägg med selektiv yta: 93 kWh/m²

För 20 m² solvägg mot söder skulle således en enkelglasad vägg med svart yta kunna avge 1 300 kWh per uppvärmningssäsong medan väggen med selektiv yta borde kunna tillföra närmare 1 800 kWh. Detta kan tyckas vara små tillskott men man bör beakta att de kan tillämpas på byggnader med endast uppvärmning under arbetstid. I sådana fall kan ovanstående tillskott bli av betydelse.

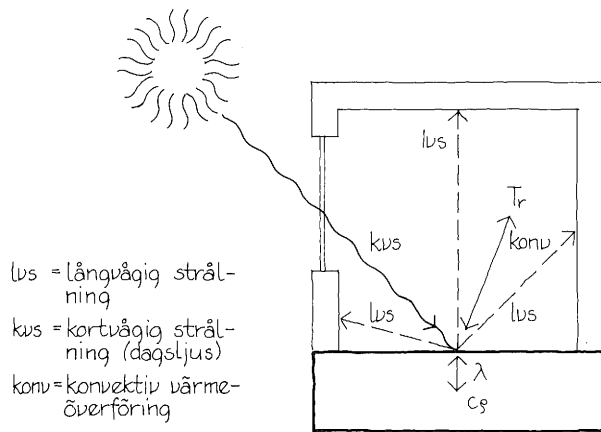
De tilluftvärmade solväggarna och soltaken kräver i regel *måttliga tilläggskostnader* i förhållande till väggar och tak utan solvärmeutnyttjande. Därför kan de vara lönsamma även med ovanstående förhållandevis låga solvärmeutnyttjande.

De *konstruktiva problem* som erhålls vid enkelglasade väggar och tak med svart eller selektiv yta, t ex höga plåttemperaturer, erforderlig sommarventilation, bakdragsspjäll när ventilationen stängs av osv, har tidigare berörts under avsnitten 8.7 och 8.8. Lösningarna gäller i tillämpliga delar även för de tilluftvärmade väggarna och taken.

Utnyttjningsbar solvärme (kWh/m²) för olika månader för tilluftvärmade solvägg (H = 2,4 m) mot söder i Stockholm.

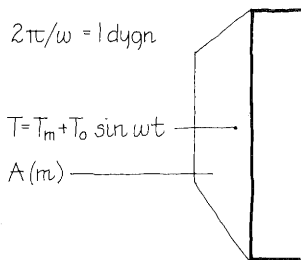
Månad	Plåtvägg	Enkelglasad vägg	
		med svart yta	med selektiv yta
1971—01	2	6	8
—02	3	7	10
—03	4	11	16
—04	6	14	21
—05	11	19	27
—06	10	17	25
—07	11	18	25
—08	11	18	25
—09	7	13	19
—10	7	14	20
—11	3	9	12
—12	1	4	6

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER Olika byggnadsdelars värmelagrande förmåga



Solinstrålning genom fönster reflekteras internt i rummet för att slutligen till allra största delen (mer än 90%) absorberas i rumsytorna. Den värme som således tillförts ytan transporteras sedan vidare dels in i byggnadsdelen genom *värmelagring* för att där lagras, dels genom *temperaturstrålning* till omgivande ytor i rummet, vilka har lägre temperatur än den aktuella ytan, och dels till rumsluften genom *konvektion*. Hur mycket som transporteras på de tre sätten beror på:

värmelagringsegenskaper (λ)
värmekapacitetsegenskaper (c_p)
temperaturstrålningsegenskaper (ϵ)
konvektiv värmeöverföringsförmåga (α_k)
rumsdimensioner
temperaturer hos luft och ytor

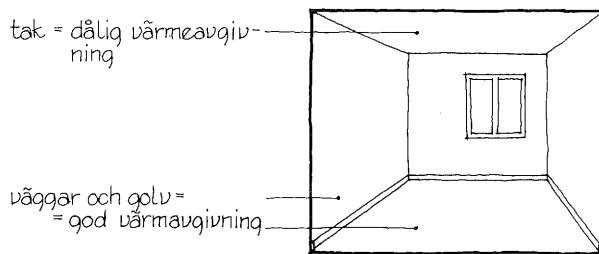


Om ytan på en *tjock* vägg (area = $A \text{ m}^2$) ges en temperatur, som svänger med amplituden T_0 under dygnet — dvs skillnaden mellan högsta och lägsta temperaturen under dygnet är $2T_0$ — så kan väggen lagra resp avge värmemängden:

$$W = L_d A T_0$$

där L_d är värmelagrings-(värmeförlovs-)förmågan för dygnssvängning. Den *värmelagrande* förmågan är

för betong: $L_d = 112 \text{ Wh/}^\circ\text{C, m}^2$
för tegel ($\rho = 1\,300 \text{ kg/m}^3$): $49 \text{ Wh/}^\circ\text{C, m}^2$
för gasbetong ($\rho = 500 \text{ kg/m}^3$): $17 \text{ Wh/}^\circ\text{C, m}^2$



Den *konvektiva värmeavgivningen* beror på α_k , som varierar med ytans läge. För temperaturskillnader mellan yta och luft på ca 4°C blir vid

värmeförlovs från varmt tak: $\alpha_k = 1,8 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$
varmt golv: $3,5 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$
varm vägg: $2,6 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$

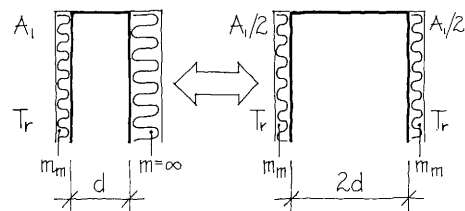
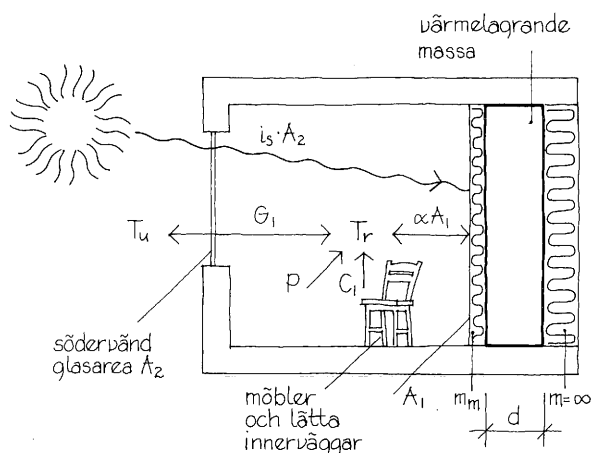
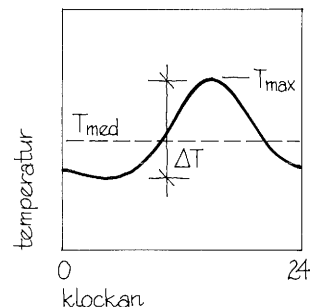
8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Rumstemperatursvängning under soliga somrardagar

De olika byggnadsdelarnas värmelagrande förmåga hjälper till att dämpa temperaturhöjningen inomhus under soliga dagar. Om man har ett flertal soliga dagar i följd så når man ett periodiskt tillstånd där inomhustemperaturen upprepar sig dygn efter dygn. Under soliga somrardagar har man i regel ingen annan värmeförsel än solinstrålning och ev annan "gratisvärme". Rumstemperaturen blir då huvudsakligast beroende av solinstrålningen och lufttemperaturen kommer att svänga kring ett *dygnsmedelvärde* T_m och skillnaden mellan högsta och lägsta temperatur under dygnet blir ΔT . Då gäller att

den värmelagrande förmågan ej kan påverka medeltemperaturen T_m utan endast temperatursvängningen ΔT .

I syfte att studera hur olika faktorer påverkar temperatursvängningen under dygnet har en byggnad schematiserats i enlighet med figuren. Transmissions- och ventilationsförlusterna anges med G_1 ($W/^\circ C$). Rummets värmelagring antas representerad av en byggnadsdel med ytan A_1 . Solinstrålningen genom treglasfönster åt söder, $i_s A_2$, antas absorberad i ytan A_1 . Den värmelagrande massan antas på rumsidan värmeisolerad med värmemotståndet m_m ($^\circ C, m^2/W$). På dess motsatta sida antas den vara värmeisolerad med ett oändligt värmemotstånd, vilket innebär att ingen värme kan passera dess baksida. Om massans tjocklek är d (m) så är denna konstruktion likvärdig med en byggnadsdel med halva ytan ($A_1/2$) och dubbla tjockleken ($2d$) och med rumsluft på båda sidor. Den värmelagrande byggnadsdelen med ytan A_1 står i värmeutbyte med rumsluften genom αA_1 , där α vid beräkningar normalt satts till $7 W/^\circ C, m^2$. Till rumsluften är kopplad en lättare massa bestående av lätta innerväggar, inredning och möbler. Denna lätta massa har värmekapaciteten C_1 . Rumsluften skulle också kunna tillföras värme konvektivt med P (W) men P sätts här = 0 eftersom studien avser soliga junidagar, vid vilka utetemperatur satts konstant $T_U = 15^\circ C$.

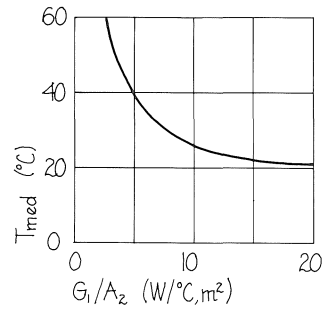


Schematisk byggnad med värmelagrande massa (bjälklag och tunga väggar).

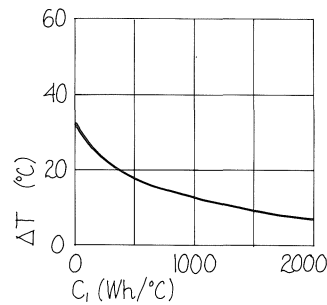
8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Medeltemperatur, dygnsvägning och maximitemperatur

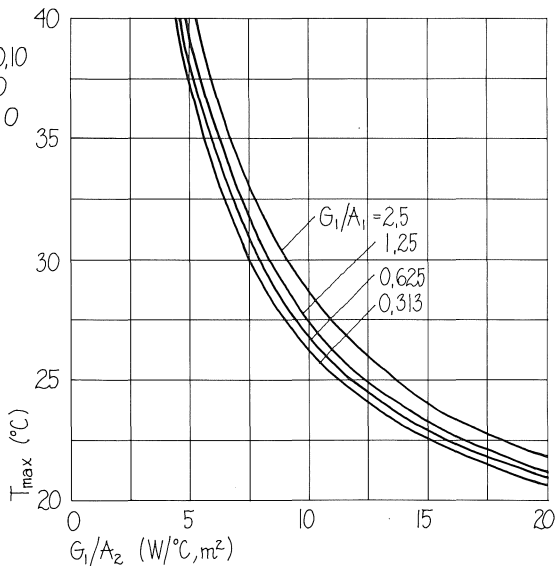
- a)
 $G_1/A_1 = 1,25$
 $d = 0,10$
 $C_1 = 0$
 $m_m = 0$



- b)
 $G_1 = 125$
 $A_1 = 0$
 $A_2 = 12,5$



- c)
 $d = 0,10$
 $C_1 = 0$
 $m_m = 0$



Temperatur under soliga sommardagar.

Vi skall studera ett *enplans småhus med 100 m² bostadsyta* och väljer då upprepade soliga junidagar. Dygnsmedeltemperaturen T_M blir då beroende dels av transmissions- och ventilationsförlusterna G_1 ($W/°C$) dels av den södervända glasytans storlek A_2 . Medeltemperaturen blir entydigt bestämd av G_1/A_2 och således oberoende av värmelagringen, se figur a. För $G_1 = 125 W/°C$, vilket motsvarar SBN 80, blir för en oskuggad glasyta $A_2 = 12,5 m^2$ medeltemperaturen $T_M = 25,9 °C$ och för $A_2 = 25 m^2$ blir $T_M = 36,7 °C$. Ett extremt energisnålt hus får $G_1 = ca 62,5 W/°C$. Med $A_2 = 12,5 m^2$ blir $T_M = 36,7 °C$ och för $A_2 = 25 m^2$ blir medeltemperaturen så hög som $T_M = 58,4 °C$. *Stora oskärnade glasytor i extremt energisnåla hus utan dämpande massa resulterar således i mycket höga dygnsmedeltemperaturer.*

Temperatursvängningen under dygnet, ΔT , blir beroende av G_1 , A_1 , A_2 , C_1 , d och m_m (se figur föregående sida). Antar vi att $A_1 = 0$ — dvs det finns ingen värmelagrande massa — så blir enligt figur b för $A_2 = 12,5 m^2$ (glasarea åt söder) och $C_1 = 0$ (inga lätta innerväggar, inredning eller möbler) temperatursvängningen mycket stor, $\Delta T = 31 °C$. Ett hus är emellertid aldrig helt utan värmekapacitet. Med $C_1 = 1 000 Wh/°C$, vilket motsvarar normal inredning och möbler, blir $\Delta T = 12 °C$, vilket också är mycket. *Hus med detta utförande har alltså behov av en värmelagrande massa.*

Normalt är man mest intresserad för den högsta rumstemperaturen under dygnet, T_{max} . För upprepade soliga junidag visas denna i figur c för fallet med $C_1 = 0$ och med $m_m = 0$, dvs med oisolerad betongyta på den värmelagrande massan. För ett givet värde på G_1/A_2 , t ex $G_1/A_2 = 8$, vilket innebär t ex ett hus med $G_1 = 125 W/°C$ och en södervänd glasyta $A_2 = 15,6 m^2$ blir

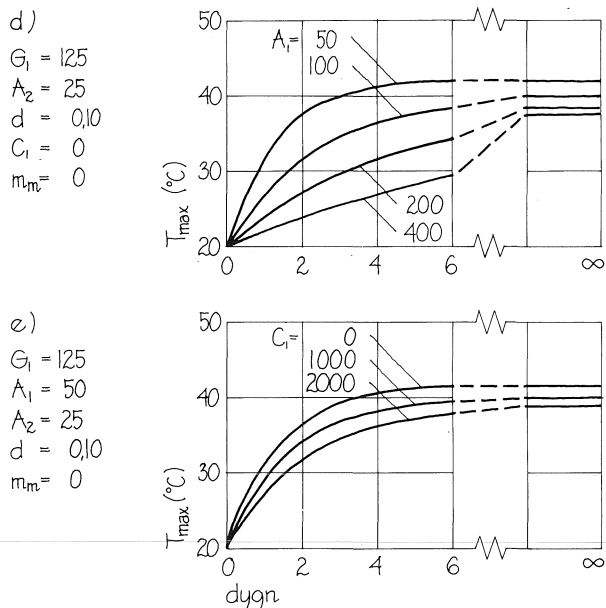
$$\begin{aligned}
 T_{max} &= 29,5 °C \text{ för } G_1/A_1 = 0,625, \text{ dvs } A_1 = 200 m^2 \\
 &= 30,5 °C \quad \quad \quad = 1,25 \quad \quad \quad = 100 m^2 \\
 &= 31,9 °C \quad \quad \quad = 2,5 \quad \quad \quad = 50 m^2
 \end{aligned}$$

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Temperaturhöjning under soliga dygn

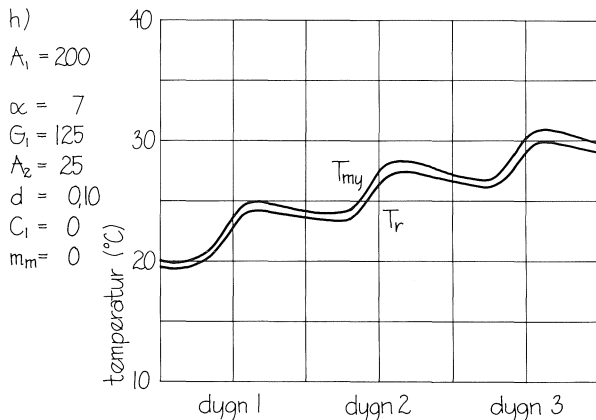
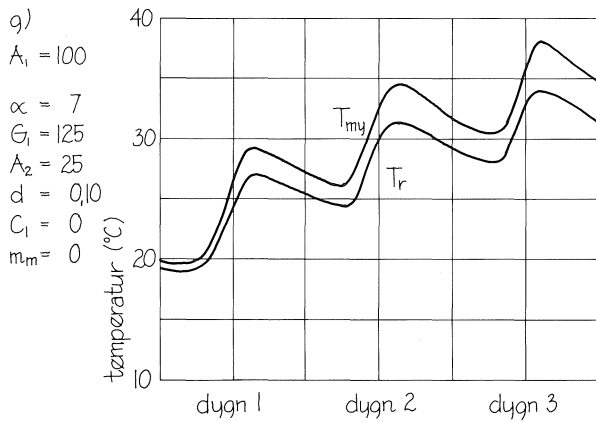
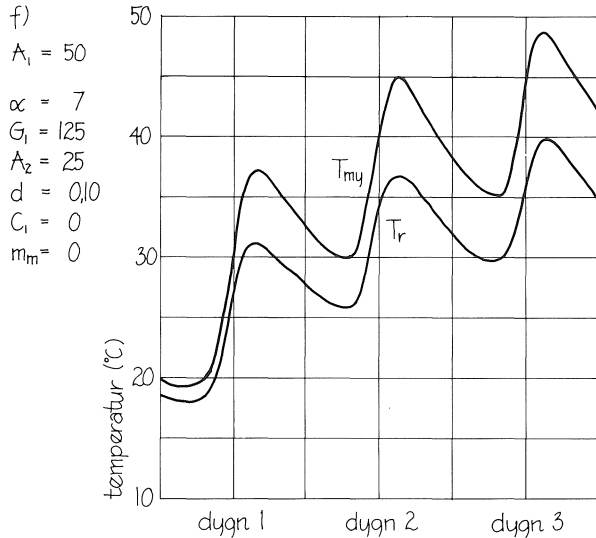
Den värmelagrande massan påverkar maximitemperaturen. Om en mulen period följs av soliga dygn under sommaren så kommer maximitemperaturen under de följande dyggen att öka för att efter många dygn närma sig ett högsta värde, vilket egentligen inte nås förrän efter oändligt antal dygn. Det antas att *alla temperaturer* i det tidigare beskrivna småhuset är $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ klockan 00 för dygn 1. Maximitemperaturens höjning de första sex dyggen samt efter oändligt antal dygn visas i figur d. Figuren avser $G_1 = 125\text{ W}/^{\circ}\text{C}$ och $A_2 = 25\text{ m}^2$. Huset antas utan inredning och möbler ($C_1 = 0$) och den värmelagrande massan med arean A_1 utgörs av betong med $d = 0,10\text{ m}$; d enligt figur sid 284. Man ser att maximitemperaturen efter oändligt antal soliga dygn når $T_{\text{max}} = 37,5^{\circ}\text{C}$ för $A_1 = 400\text{ m}^2$ och $T_{\text{max}} = 42,1^{\circ}\text{C}$ för $A_1 = 50\text{ m}^2$. Skillnaden är inte särskilt stor. Ser man till uppvärmningsförloppet blir emellertid skillnaden stor. Efter sex dygn har huset med $A_1 = 400\text{ m}^2$ en maximitemperatur $T_{\text{max}} = 29,5^{\circ}\text{C}$ medan $A_1 = 50\text{ m}^2$ ger $T_{\text{max}} = 41,9^{\circ}\text{C}$. Den större massan ($A_1 = 400$) förmår att lagra mycket mer värme och rumsluftens temperatur stiger därför saktare än vid den mindre massan.

Lätta innerväggar, inredning och möbler påverkar naturligtvis också uppvärmningsförloppet när en mulen period följs av soliga dagar. I figur e visas maximitemperaturen T_{max} vid tre olika värden på C_1 , nämligen 0, 1 000 och 2 000 $\text{Wh}/^{\circ}\text{C}$. Liksom tidigare har det antagits att $G_1 = 125\text{ W}/^{\circ}\text{C}$ och $A_2 = 25\text{ m}^2$, motsvarande ett 100 m^2 enplans småhus enligt SBN 80 och med en oskuggad glasarea åt söder $A_2 = 25\text{ m}^2$. Den värmelagrande betongmassans yta har satts till $A_1 = 50\text{ m}^2$ och dess tjocklek, till $d = 0,10\text{ m}$ (d enligt figur). Lätta innerväggar, inredning och möbler (C_1) har som framgår av figuren en viss inverkan på maximitemperaturen. Vid större yta A_1 är dock denna inverkan obetydlig.



Temperatur under soliga sommardagar. C_1 = värmelagrande förmåga hos innerväggar, inredning och möbler i $\text{Wh}/^{\circ}\text{C}$.

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER Temperaturhöjning under soliga dygn (forts)



I figurerna f—h visas temperaturhöjningen under de tre första soliga dygna efter en mulen period i juni månad. Figur f avser ett fall, där den värmelagrande massan har en yta $A_1 = 50 \text{ m}^2$. Liksom i tidigare fall förutsätts värmeförlusterna vara $G_1 = 125 \text{ W/}^\circ\text{C}$ och den oskärnade glasytan åt söder $A_2 = 25 \text{ m}^2$. Massan antas utgöras av betong med tjockleken $d = 0,10 \text{ m}$. Man ser av figur f att massan snabbt får en hög yttemperatur T_{my} . Detta beror på att dess yta är liten och att hela solstrålningen tillförs ytan. Vidare har massan hos lätta innerväggar och möbler satts till $C_1 = 0$, vilket också bidrar till de höga rumstemperaturerna. Redan under det andra soliga dygnet blir rumsluftens temperatur så hög som $T_r = 37 \text{ }^\circ\text{C}$ och massans yttemperatur $T_{my} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$. I närheten av massan blir den operativa temperaturen mycket hög.

Ökas den värmelagrande massans yta till $A_1 = 100 \text{ m}^2$, motsvarande t ex ett betonggolv, så ökas rumstemperaturerna ej så snabbt. Under tredje dygnet blir rumsluftens temperatur maximalt $T_r = 34 \text{ }^\circ\text{C}$ och massans yttemperatur maximalt $T_{my} = 38 \text{ }^\circ\text{C}$. Detta är emellertid alltför höga temperaturer för normala bruksförhållanden. Vid en yta hos den värmelagrande massan på $A_1 = 200 \text{ m}^2$ blir rumsluftstemperaturen under tredje dygnet maximalt $30 \text{ }^\circ\text{C}$ och yttemperaturen $31 \text{ }^\circ\text{C}$. Den större ytan sänker rumsluftens temperatur samtidigt som differensen mellan luft- och yttemperatur minskar.

Värmeutbytet mellan massans yta och rumsluften, dvs αA_1 , inverkar naturligtvis på såväl maximal yttemperatur $T_{y,max}$ som maximal rumslufttemperatur $T_{r,max}$. För det 6:e dygnet blir dessa ($G_1 = 125$, $A_1 = 100$, $A_2 = 16,7$, $d = 0,10$, $R_m = 0$)

	$\alpha =$	$T_{y,max} =$	$T_{r,max} =$
$C_1 = 0 \text{ Wh/}^\circ\text{C}:$	$3 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$	$36,1 \text{ }^\circ\text{C}$	$29,9 \text{ }^\circ\text{C}$
$= 0$	$11 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$	$32,8$	$31,0$
$C_1 = 2 \text{ 000 Wh/}^\circ\text{C}:$	$3 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$	$35,3 \text{ }^\circ\text{C}$	$28,5 \text{ }^\circ\text{C}$
$= 2 \text{ 000}$	$11 \text{ W/}^\circ\text{C,m}^2$	$31,7$	$29,7$

Inverkan är som synes måttlig. Vid beräkningar har valts $\alpha = 7$.

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Inverkan av betongarea

I figurerna i—o visas maximal dygnstemperatur T_{\max} dels under 6:e soliga dygnet efter en mulen period dels efter oändligt antal soliga dygn under sommarförhållanden. Maximitemperaturen T_{\max} har avsatts som funktion av G_1/A_2 , dvs transmissions- och ventilationsförlusterna G_1 ($W/^\circ C$) i förhållande till den oskuggade södervända glasarean A_2 (m^2). Kurvor visas för olika värden på G_1/A_1 , där A_1 är den värmelagrande betongens area. Man kan notera att efter oändligt antal soliga dygn är maximitemperaturen inte särskilt känslig för variationer i G_1/A_1 . Detta gäller särskilt för fall med inredning och möbler ($C_1 = 1\ 000$ och $2\ 000$). Den värmelagrande massans area har då förhållandevis liten betydelse.

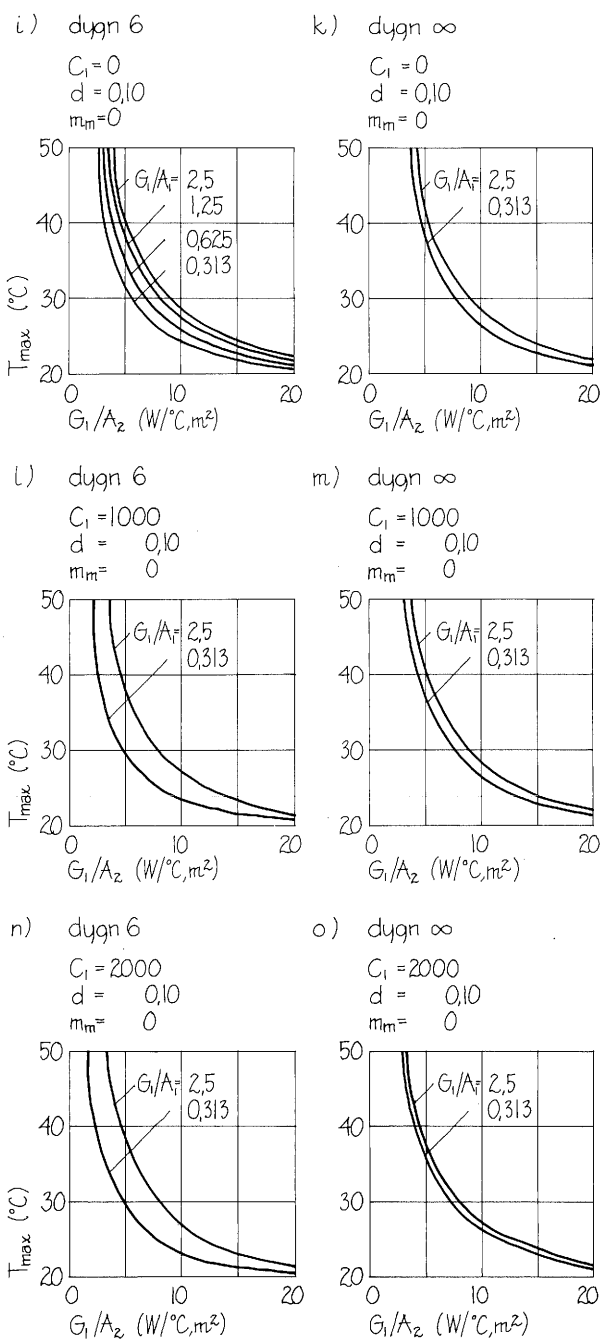
Maximitemperaturen under 6:e soliga dygnet efter en mulen period är emellertid starkt beroende av G_1/A_1 . En dubbling av massans area A_1 medför en sänkning av T_{\max} med upp till $3\ ^\circ C$.

Betongareans inverkan på maximitemperaturen skall belysas genom några exempel:

Ett extremt energisnålt hus med $100\ m^2$ bostadsyta har transmissions- och ventilationsförluster i storleksordningen hälften av vad som erhålls vid hus byggda enligt SBN 80. I det senare fallet blir $G_1 = 125\ W/^\circ C$ och ett extremt energisnålt hus får alltså $G_1 = 62,5\ W/^\circ C$. Som jämförelse kan tas ett hus byggt före oljekrisen 1973. Då var transmissions- och ventilationsförlusterna för ett $100\ m^2$ hus ca $G_1 = 250\ W/^\circ C$.

Antar vi att småhuset har lätta innerväggar, inredning och möbler, motsvarande $C_1 = 1\ 000\ Wh/^\circ C$ och $A_1 = 100\ m^2$ betonggolvet med tjockleken $d = 0,10\ m$, så blir maximitemperaturen efter 6:e soliga dygnet, vid

	Glasarea: $A_2 = 12,5\ m^2$	$A_2 = 25\ m^2$
Extremt energisnålt hus	$T_{\max} = 32\ ^\circ C$	$T_{\max} = 48\ ^\circ C$
SBN 80-hus	$= 26\ ^\circ C$	$= 36\ ^\circ C$
Hus, byggt före 1973	$= 21\ ^\circ C$	$= 26\ ^\circ C$

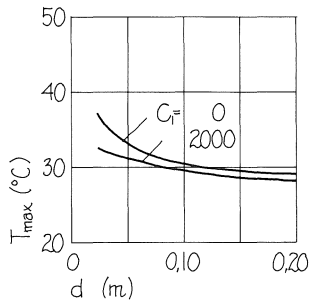


Temperatur under soliga sommardagar.

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER Inverkan av betongtjocklek och ytisolering

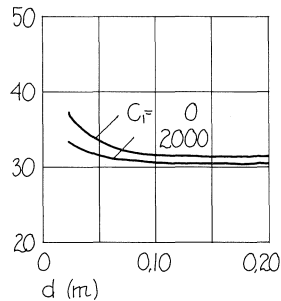
p) dygn 6

$$\begin{aligned} G_1 &= 125 \\ A_1 &= 100 \\ A_2 &= 16,7 \\ m_m &= 0 \end{aligned}$$



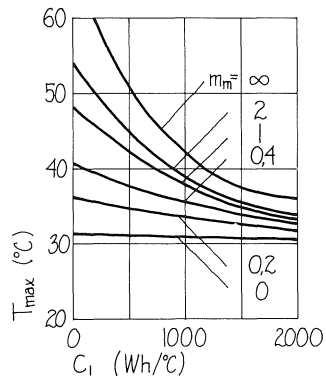
q) dygn ∞

$$\begin{aligned} G_1 &= 125 \\ A_1 &= 100 \\ A_2 &= 16,7 \\ m_m &= 0 \end{aligned}$$



r) dygn 6

$$\begin{aligned} G_1 &= 125 \\ A_1 &= 100 \\ A_2 &= 16,7 \\ d &= 0,10 \end{aligned}$$



Temperatur under soliga sommardagar, m_m = värmemotstånd av isolering på den värmelagrande massans yta.

Den värmelagrande betongmassans tjocklek d (d enligt figur sid 284) har också betydelse för maximitemperaturens storlek. Efter oändligt antal soliga somrardygna följande på en mulen period visas maximitemperaturen T_{max} i figur q. Figuren gäller för $G_1 = 125 \text{ W/}^\circ\text{C}$ (SBN 80) och betongarean $A_1 = 100 \text{ m}^2$ samt $A_2 = 16,67 \text{ m}^2$. Man ser att betongtjockleken har liten inverkan för d större än 0,10 m. Under uppvärmningsperioden, när soliga dygn efterträder en mulen period, inverkar betongtjockleken mer, vilket framgår av figur p, vilken gäller för det 6:e soliga dygnet. Man ser att även betongtjocklekar större än $d = 0,10 \text{ m}$ har inverkan på maximitemperaturen. *Stora betongtjocklekar förmår att lagra upp solvärme under flera dygn utan att rumstemperaturen stiger alltför mycket.*

Om den värmelagrande massan förses med en värmeisolering med värmemotståndet m_m så kommer den värmelagrande förmågan att delvis sättas ur spel. I figur r visas maximitemperaturen för olika ytisolering m_m ($^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$). Figuren gäller för $G_1 = 125 \text{ W/}^\circ\text{C}$, $A_1 = 100 \text{ m}^2$, $A_2 = 16,67 \text{ m}^2$ och $d = 0,10 \text{ m}$. Man ser att redan för $m_m = 0,2$ blir värmeisoleringens inverkan av betydelse. Vid $m_m = \infty$ är den värmelagrande förmågan helt satt ur spel. För att man skall kunna utnyttja den värmelagrande betongmassan bör dess ytisolering göras så liten som möjligt, helst ej mer än $m_m = 0,10 \text{ }^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$.

En ytisolering $m_m = 0,10 \text{ }^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$ erhålls genom t ex

- 4 mm kork
- 6 mm träfiberskiva
- 6 mm heltäckningsmatta
- 16 mm ekparkett

I de fall, där den värmelagrande massan skall utnyttjas, spelar ytmaterialet stor roll. *Golvmaterial måste t ex väljas även med tanke på dess värmemotstånd.*

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Vit eller svart betongyta?

I två identiska rum, vilka har extremt god värmeisolerings, god ventilation (2 luftväxlingar per timme) och stora södervända glasytor, har färgen på de betongplattor, som vilar på det extremt värmeisolerade golvbjälklaget, varierats mellan svart och vitt. Således har under en provningsperiod i augusti och september månad, då väderleken varit mycket solig, det ena rummet försetts med 100 mm betongplattor med vit yta mot rummet och det andra rummet med 100 mm betongplattor med svart yta mot rummet. *Lufttemperaturens dygnsvariation var $\Delta T = 17\text{ }^\circ\text{C}$ vid vitt golv och $\Delta T = 11\text{ }^\circ\text{C}$ vid svart golv.* Andra försök i tvillingrummen visar att grå betong (100 mm) på främre halva golvytan (intill fönstret) ger ca $3\text{ }^\circ\text{C}$ lägre lufttemperatur än grå betong på bakre halva golvytan.

Liknande erfarenhet har erhållits vid de datorberäkningar rörande tvåvånings radhus, vilka tidigare berörts. I en del beräkningsfall har förutsatts att övervåningen har betonggolv och lätt takkonstruktion. Golvet har givits två olika reflektionskoefficienter, $r = 0,75$ (vit yta) och $r = 0,05$ (svart yta). Söderfasaden har stora glasytor. Under ett soligt marsdygn varierar *lufttemperaturen* i övervåningen:

vid vitt golv: $T_{\max} = 27,0\text{ }^\circ\text{C}$ $T_{\min} = 20,0\text{ }^\circ\text{C}$ $\Delta T = 7,0\text{ }^\circ\text{C}$
vid svart golv: $= 26,2\text{ }^\circ\text{C}$ $= 20,4\text{ }^\circ\text{C}$ $= 5,8\text{ }^\circ\text{C}$

Golvtemperaturen har beräknats till:

vid vitt golv: $T_{\max} = 26,1\text{ }^\circ\text{C}$ $T_{\min} = 22,0\text{ }^\circ\text{C}$
vid svart golv: $= 27,0\text{ }^\circ\text{C}$ $= 22,4\text{ }^\circ\text{C}$

Den lägre lufttemperaturen vid svart golv motverkas således av att golvtemperaturen blir högre. Den operativa temperaturen kan förväntas bli ganska lika i de båda alternativen och *färgen på golvet har liten inverkan på rumsklimatet.*

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Värmelagringens inverkan på årsvärmebehovet

För ett tvåvånings radhus har årsvärmebehovet datorberäknats vid varierande material i mellanbjälklag och med varierande värmeisolering på golvytan, se Adamson & Efring, 1979a. Golvytan i vardera planet är $7,2 \times 10,2 \text{ m}^2$, där 10,2 är husdjupet. Söderfasaden har utformats på två sätt, dels med glasytan $1,06 \times 3,15 \text{ m}^2$ i vardera planet, dels med glasytan $1,66 \times 6,30 \text{ m}^2$ i vardera planet. I det senare fallet har fönstren skuggats med en horisontell skärm, som sticker ut 1,5 m från fasadlivet. Norrfasaden har försetts med små fönster, den sammanlagda glasytan är $4,5 \text{ m}^2$. Taket har förutsatts vara av mineralullsisolerad träkonstruktion och bottenbjälklaget av 100 mm betong på värmeisolering som vilar på marken. Mellanbjälklaget har tänkts som tre alternativ, 200 mm betong, 200 mm gasbetong och 200 mm träkonstruktion. Värmetillförseln har förutsatts styrd genom *rumstermostat*.

I övre tabellen visas det beräknade årsvärmebehovet för Stockholmsklimat. Man ser att ett lättare bjälklag ger ett ökat årsvärmebehov, men att ökningen blir liten. Detta beror på att fördelen med det tunga bjälklagets värmelagring är koncentrerad till vår och höst då värmebehovet är litet. Ökningen i årsvärmebehovet är endast ett par procent. Denna slutsats bekräftas av andra datorberäkningar avseende flerbostadshus, där fasadkonstruktionen varierats. Om fasadväggen ändras från en mycket tung betongvägg till en lätt utfackningsvägg så ökar årsvärmebehovet helt obetydligt.

I nämnda radhus har golvet försetts med en värmeisolering med motståndet m_m . Mellanbjälklaget har då förutsatts vara av 200 mm betong och båda våningarna har således betonggolvt. Årsvärmebehovets beroende av m_m visas i nedre tabellen. Man ser att för $m_m = 0,4 \text{ } ^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ så har årsvärmebehovet ökat med 1% i förhållande till helt frilagd golvyta.

Slutsatsen blir att *den värmelagrande förmågan har mycket liten inverkan på årsvärmebehovet i termostatstyrda bostadshus.*

Årsvärmebehov vid radhus med mellanbjälklag av olika material.

Södervänd glasarea per våning	Mellan- bjälklag av	Årsvärmebehov	
		kWh/år	Ökning %
1,06 x 3,15	Betong	10 878	0
1,06 x 3,15	Gasbetong	10 991	1,0
1,06 x 3,15	Trä	11 013	1,2
1,66 x 6,30	Betong	10 922	0
1,66 x 6,30	Gasbetong	11 176	2,3
1,66 x 6,30	Trä	11 188	2,4

Årsvärmebehov vid radhus med betonggolvet värmeisolerat med värmemotståndet m_m .

Södervänd glasarea per våning	Värmemot- stånd m_m på betonggolvet yta $^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$	Årsvärmebehov	
		kWh/år	Ökning %
1,66 x 6,30	0	10 922	0
1,66 x 6,30	0,05	10 933	0,1
1,66 x 6,30	0,10	10 951	0,3
1,66 x 6,30	0,20	10 990	0,6
1,66 x 6,30	0,40	11 028	1,0

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Natt- och veckoslutssänkning av rumstemperaturen

För att spara uppvärmningsenergi tillåts ofta rumstemperaturen sjunka under natten. Vid kontor och andra arbetslokaler kan rumstemperaturen också tillåtas sjunka under veckosluten, eftersom värmeförlusterna från ett rum approximativt kan skrivas

$$P_{\text{förlust}} = G_1(T_i - T_u)$$

där G_1 är transmissions- och ventilationsförlusterna ($\text{W}/^\circ\text{C}$) samt $(T_i - T_u)$ är temperaturskillnaden mellan inne och ute. Ju snabbare innetemperaturen T_i sjunker sedan uppvärmningen upphört eller justerats ned desto större blir energibesparingen.

Den nämnda schematiserade byggnaden med ca 100 m^2 uppvärmd golvyta har studerats i avseende på temperatursänkning genom att olika faktorer varierats. Således har de värmelagrande delarnas yta (A_1), dess tjocklek (d), dess material, dess värmesivering på ytan (m_m) samt övriga inre byggnadsdelars (icke-bärande väggar och inredning) och möbels värmekapacitet C_1 varierats. Resultatet av beräkningarna visas i tabellen där rumsluftens temperatur efter 2, 8 och 24 timmar anges. Före uppvärmningens avslutande har hela byggnaden ($G_1 = 125 \text{ W}/^\circ\text{C}$) antagits ha 20°C och utetemperaturen har satts till 0°C .

Om byggnaden helt saknar inre värmekapacitet ($C_1 = 0$) så kommer vid $A_1 = 100 \text{ m}^2$ rumslufttemperaturen att efter 2 timmar ha sjunkit till $15,8^\circ\text{C}$, efter 8 timmar till $14,1^\circ\text{C}$ och efter 24 timmar till $10,5^\circ\text{C}$ (se jämförelse A). Det snabba temperaturfallet i början beror på att värmeavgivningen från ytan, $\alpha \cdot A_1$, inte är tillräcklig varför rumslufttemperaturen sjunker momentant när uppvärmningen avbryts. Om ytan A_1 görs 200 m^2 så blir temperaturen efter 2 timmar $17,0^\circ\text{C}$ och om den görs 400 m^2 så blir temperaturen efter 2 timmar hela $17,7^\circ\text{C}$. Efter det momentana temperaturfallet vid uppvärmningens avbrytande sker temperaturfallet ganska sakta: en grad på 6–12 timmar.

Rumsluftens och massytans temperatursänkning sedan uppvärmningen avbrutits (schematiserad byggnad enligt figur). Utetemperaturen = 0°C och rumstemperatur före avbrottet + 20°C .
 $\alpha = 7 \text{ W}/^\circ\text{C}, \text{m}^2$, $G_1 = 125 \text{ W}/^\circ\text{C}$.

Jämförelse	Massa			C_1 $^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$	Lufttemp efter			Yttemp efter ¹		
	A_1 m^2	d m	m_m $^\circ\text{Cm}^2/\text{W}$		2 tim	8 tim	24 tim	2 tim	8 tim	24 tim
A	100	0,10	0	0	15,8	14,1	10,5	18,7	16,7	12,4
	200	0,10	0	0	17,0	15,1	10,9	18,6	16,5	11,9
	300	0,10	0	0	17,5	15,4	11,1	18,5	16,4	11,8
	400	0,10	0	0	17,7	15,6	11,2	18,5	16,3	11,7
B	100	0,10	0	0	15,8	14,1	10,5	18,7	16,7	12,4
	100	0,10	0	1 000	17,4	15,0	11,5	19,3	17,4	13,3
	100	0,10	0	2 000	18,3	15,8	12,3	19,5	17,9	14,1
C	100	0,05	0	0	15,4	12,4	6,9	18,3	14,7	8,1
	100	0,10	0	0	15,8	14,1	10,5	18,7	16,7	12,4
	100	0,15	0	0	16,2	14,5	11,7	18,7	17,2	13,9
D	100	0,10	0	0	15,8	14,1	10,5	18,7	16,7	12,4
	100	0,10	0,2	0	13,1	11,9	9,3	15,5	14,1	11,1
	100	0,10	0,4	0	11,1	10,3	8,3	13,2	12,2	9,9
	100	0,10	1,0	0	7,9	7,5	6,5	9,3	8,8	7,6

¹ Yttemperatur på ytisoleringen.

8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER Natt- och veckoslutssänkning på rumstemperaturen (forts)

En byggnad innehåller praktiskt taget alltid lättare byggnadsdelar såsom icke-bärande innerväggar och inredning samt möbler kopplade till rumsluften, se figur sid 284. Jämförelsen B i tabellen visar inverkan av denna inre, lätta massa, som antagits ha kapaciteten $C_1 = 1\ 000$ och $2\ 000\ \text{Wh}/^\circ\text{C}$. För $A_1 = 100\ \text{m}^2$ så innebär denna lätta massa att rumslufttemperaturen efter två timmar ökar från $15,8^\circ\text{C}$ vid $C_1 = 0$ till $17,4^\circ\text{C}$ vid $C_1 = 1\ 000$ och till $18,3^\circ\text{C}$ vid $C_1 = 2\ 000\ \text{Wh}/^\circ\text{C}$. Efter 8 och 24 timmar blir dock skillnaden mindre.

Inverkan av massans tjocklek d visas av jämförelsen C i tabellen, där $d = 0,05, 0,10$ och $0,15\ \text{m}$. Efter mindre än 8 timmar blir skillnaden i rumslufttemperatur mellan $d = 0,10$ och $d = 0,15\ \text{m}$ mycket liten.

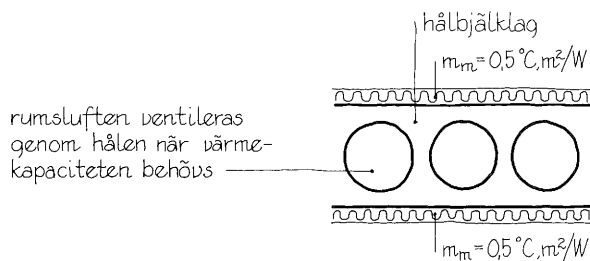
För att få stor effekt av nattsänkning kan man tänka sig att värmeisolera massans yta. Detta visas i jämförelsen D i tabellen. Man ser att ett värmemotstånd på $m_m = 0,4\ ^\circ\text{C},\text{m}^2/\text{W}$ på massans yta sätter denna praktiskt taget ur funktion. Om massan istället görs av gasbetong eller trä så sjunker rumslufttemperaturen snabbare än vid betong. Detta är en fördel ur nattsänkningssynpunkt.

För att *temperaturen snabbt skall kunna förändras* genom variation i värmeförseln bör:

massans area göras liten eller dess yta värmeisolerad, om massan utgörs av betong, eller utförs av gasbetong

inre lätta byggnadsdelar och möbler görs med så liten massa och så liten area som möjligt

höga sommartemperaturer undvikas genom att massa kopplas in under sommaren, t ex ett hålbjälklag (med isolerade ytor).



8.10 BYGGNADEN SOM VÄRMELAGER

Några tumregler

För att *dämpa temperaturhöjningen under en följd av soliga sommandagar* så att rumstemperaturen i hus med oskuggade söderfönster inte överskrider 29 °C efter 6 dygn krävs vid

extremt energisnåla hus:

$$d \cdot A_1/A_2 = 1,5 \text{ (m)}$$

hus enligt SBN 80:

$$d \cdot A_1/A_2 = 0,75 \text{ (m)}$$

Beteckningar visas i figur sid 284. Extremt energisnåla hus antas ha värmeförluster = 0,625 W/°C per m² bostadsyta medan hus enligt SBN 80 antas ha värmeförluster = 1,25 W/°C per m² bostadsyta.

Betongytan skall i möjligaste mån lämnas oisolerad och eventuell beläggning bör ha ett värmemotstånd ej överskridande:

$$m_m = 0,1 \text{ °C,m}^2/\text{W}$$

Detta motsvarar 4 mm kork, 6 mm heltäckningsmatta eller 16 mm ekparkett.

För att nå god effekt på *nattsänkning av rumstemperaturen* bör:

inredning och möbler göras lätta

ökning av betongtjocklek, upp till $d = 0,20$, premieras före ökning av betongarea.

Det bör observeras att tumregeln för att uppnå nattsänkning delvis motsäger tumreglerna för att dämpa temperaturhöjning under soliga sommandagar. Det gäller att forma en lämplig kompromiss.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Vattenmagasin

Vatten är ett utmärkt värmelagringsmedium, eftersom det har högt specifikt värme och dessutom är extremt billigt. Den enda kostnaden utgör förvaringskärlet och de pumpar med regleringsanordningar som är nödvändiga. Den värmelagrande förmågan är förutom av volymen beroende av den temperaturdifferens som kan utnyttjas. Den senare är beroende av det tillförda vattnets temperatur och av erforderlig temperatur på det utnyttjade vattnet. Om t ex det tillförda vattnet kommer från en solfångare så är det dyrare att utvinna vatten av hög temperatur än vatten av lägre temperatur — solfångarna blir dyrare. Å andra sidan är det billigare att värma ett hus med vatten av hög temperatur än vatten av lägre temperatur. I det senare fallet krävs större värmeöverförande ytor. Dimensioneringen av ett vattenmagasin knutet till solfångare och utnyttjat för uppvärmning blir således beroende av såväl solfångarnas effektivitet som uppvärmningssystemet. Man kan öka ett vattenmagasins värmelagringsförmåga genom att utnyttja en värmepump som kan höja vattentemperaturen till ca 50 °C från temperaturer ned till 0 °C. Värmepumpen kräver dock energi.

I vissa fall har man stora mängder "gratisvärme" under dagen, vilka då kan ge kylbehov. Genom kylning under dagen med värmepump kan man lagra 50-gradigt vatten för att under natten eller morgonen utnyttjas för uppvärmning. Detta kan vara aktuellt på kontor och andra lokaler med stor personalbeläggning och/eller stor elförbrukning för apparater.

Principiellt är värmelagring i vattenmagasin enkel. Man kan emellertid utnyttja skiktningseffekter så att man har tillgång till högre vattentemperaturer i tankens topp än hela vattenmassans temperatur. Detta kräver emellertid omsorg vid konstruktionen av vattenmagasinet. Å andra sidan kan det vara svårt att helt ladda ett sådant magasin.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Vattenmagasin (forts)

Lagringskapaciteten för ett värmemagasin är:

$$W_1 = 1,163 \cdot V \cdot \Delta T \quad (\text{kWh})$$

där V är volymen i m^3 och ΔT är temperaturhöjningen utöver utnyttjningstemperaturen. Vid $\Delta T = 50 \text{ }^\circ\text{C}$ blir $W_1 = 58 \text{ kWh/m}^3$.

Antar vi att kostnaden för vattenmagasinet inklusive pumpar och regleranordningar är K_m kr per m^3 vattenmagasin och att magasinet utnyttjas n gånger per år under 25 år så blir enligt energisparmetoden lagringskostnaden:

$$k_1 = \frac{K_m}{n \cdot 25 \cdot 58} \quad (\text{kr/kWh})$$

Med $K_m = 6\,000 \text{ kr/m}^3$ och $n = 10$ gånger per år blir lagringskostnaden:

$$k_1 = 0,41 \text{ kr/kWh}$$

Det krävs således att lagringsförmågan utnyttjas många gånger per år för att inte lagringskostnaden skall bli alltför hög.

Omvänt kan man visa att vid säsongslagring, dvs $n = 1$, och med en lagringskostnad av $0,10 \text{ kr/kWh}$ får inte magasineringens kostnaden vara högre än:

$$K_m = 0,10 \cdot 1 \cdot 25 \cdot 58 = 145 \text{ kr/m}^3$$

En så låg magasineringens kostnad kan endast bli möjlig vid mycket stora magasin.

Ibland kan man utnyttja ett redan befintligt lager, varvid naturligtvis lagringskostnaden kan hållas nere. Sådana fall kan vara bassänger vilka under delar av året används för annat ändamål, t ex swimmingpools.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Korttids- och långtidslagring

Värmelagring i en byggnad kan ha två syften. Dels kan syftet vara att *lagra upp sk gratisvärme för att undvika för höga rumstemperaturer*, dels kan syftet vara att *lagra upp värme för att utnyttjas för uppvärmning vid ett senare tillfälle*. Det förra fallet är huvudsakligast ett rumskomfortproblem. Flera soliga dagar kan ge höga rumstemperaturer på sommaren om inte byggnaden har någon värmelagrande förmåga. I föregående kapitel har byggnadens egen värmelagringsförmåga studerats. Denna typ av värmelagring kan betraktas som korttidslagring och kan omfatta upp till en veckas värmelagring.

När man önskar lagra upp värme för senare användning kan man skilja mellan korttidslagring och långtidslagring. I det senare fallet är kanske säsongslagring intressantast, t ex lagring av solvärme från sommar till vinter. För att ge en uppfattning om lagringsbehovet så kan det nämnas att inomdygnslagring i ett småhus oftast rör sig om 20–40 kWh, veckolagring om 250–500 kWh och säsongslagring om 5 000–10 000 kWh. Om värmelagringen sker i vatten med en temperaturhöjning av 50 °C så motsvarar detta följande vattenvolymer:

inomdygnslagring:	0,35— 0,7 m ³
veckolagring:	4,3 — 8,6 m ³
säsongslagring:	86 — 172 m ³

Det är naturligt att intresset i första hand inriktar sig på korttidslagring eftersom den dels kan lösa ett komfortproblem dels kan ge ett bättre utnyttjande av solenergin under uppvärmningssäsongen.

Säsongslagring måste sannolikt ordnas för större byggnadsgrupper och knyts till värmecentraler, vilka kan helt eller delvis vara solvärmdda. Sådana anläggningar behandlas inte i denna bok.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Vattentuber i rum

I de fall när byggnaden själv saknar tillräcklig värmelagringsförmåga, t ex vid hus av enbart trä, kan man förse husen med vattentuber i rummen. Detta har utnyttjats i USA, särskilt då i den soliga sydvästra delen. Man kan då ställa tuberna antingen innanför fönstren eller i rummets bakre del. I det senare fallet når den reflekterade strålningen tuberna och effekten på rumsklimatet blir något sämre. Liksom i förra kapitlet där solstrålningen antogs helt absorberad i den värmelagrande massans yta antas vid vattentuberna att strålningen absorberas i dessas yta. Genom konvektion inuti tuberna kan man anta att hela vattenmassan inuti tuben har samma temperatur.

Om man ställer tuber med diametern $2r$ eller kvadratiska tuber med sidan $2r$ med avståndet r sinsemellan så kommer förhållandet volym/mantelarea att vara

$$V/A = r/2$$

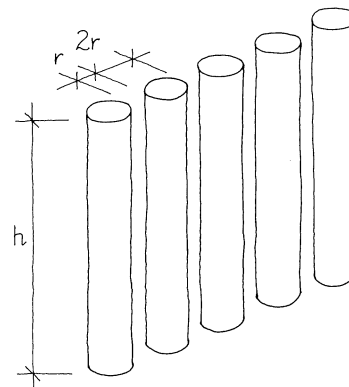
vilket i fortsättningen kommer att kallas d_{ekv} . Arealen per längdmeter fasad blir

$$\text{vid cirkulära tuber: } \frac{2\pi h}{3}$$

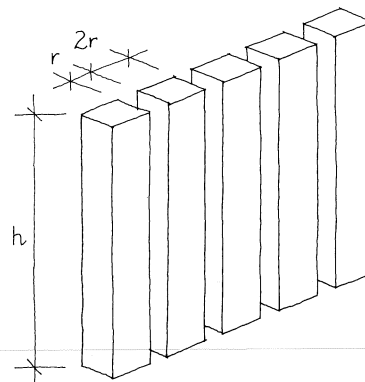
$$\text{vid kvadratiska tuber: } \frac{8h}{3}$$

där h är tubernas höjd.

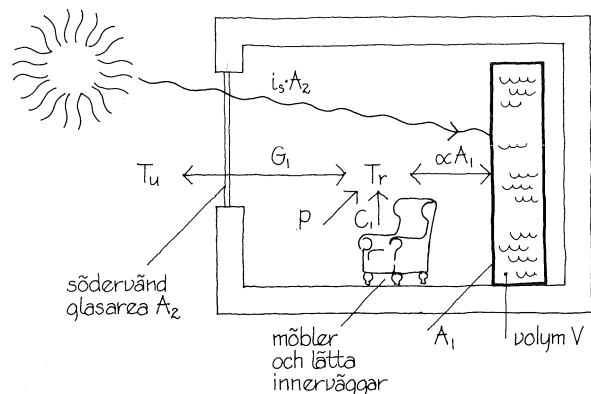
Beräkningar av rumstemperaturen har utförts med en schematiserad byggnad i enlighet med figuren. Simuleringsmodellen är i princip densamma som tidigare använts för en värmelagrande fast massa, figur sid 284. Lätta inre byggnadsdelar och möbler har simulerats med en värmekapacitet C_1 kopplad till rumsluften med temperaturen T_r .



$$\text{volym : area} \\ V/A = r/2 = d_{ekv}$$



$$\text{volym : area} \\ V/A = r/2 = d_{ekv}$$



Schematiserad byggnad med värmelagrande vattentuber.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Vattentuber – temperaturer under soliga dygn

Efter en mulen sommarperiod antas alla temperaturer i en byggnad vara 20 °C. Därefter antas en solig period med full solstrålning dygn efter dygn. All solstrålning, $i_s \cdot A_2$ ($A_2 =$ glasarean), absorberas i vattentubernas yta och medför att vattentemperaturen stiger. Rumsluften kommer att tillföras värme från tubernas mantelyta med

$$\alpha \cdot A_1 = \alpha \cdot \frac{V}{d_{ekv}}$$

där α sätts till 7 W/°C,m².

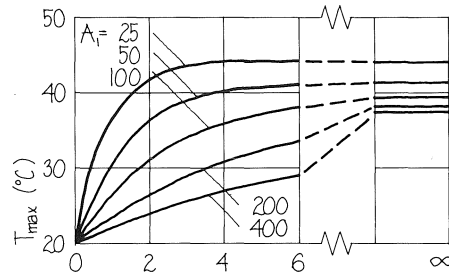
I figur a visas hur den maximala lufttemperaturen under dygnet ökar dygn efter dygn. Man ser att för tuber med mantelytan $A_1 = 25$ m² i en byggnad med värmeförlusterna $G_1 = 125$ W/°C, glasarean åt söder $A_2 = 25$ m², $C_1 = 0$ (ingen inre lätt massa) samt $d_{ekv} = 0,05$ (2 r = 0,2 m) ökar T_{max} under första dygnet till 36 °C, under andra dygnet till 42 °C, osv. Efter oändligt antal dygn blir $T_{max} = 44$ °C. Med mantelarean $A_1 = 100$ m² blir temperaturen efter sex dygn ej högre än 38 °C, vilket måste betraktas som rimligt vid denna stora glasarea.

I figur b visas inverkan av inre massa C_1 . I detta fall har valts mantelarean $A_1 = 100$ m², medan övriga data är samma som vid figuren a. Man ser att den inre massan har liten inverkan på T_{max} . Skillnaden mellan $C_1 = 0$ och $C_1 = 2\,000$ Wh/°C är inte större än 3 °C efter sex dygn.

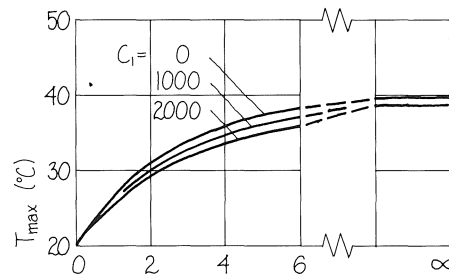
Det kan vara av intresse att notera hur stor längd som vattentuberna kräver. Vid $A_1 = 100$ m² blir antalet längdmeter vid 2,2 m höga tuber

vid cirkulära tuber: 21,7 m
vid kvadratiska tuber: 17,0 m

a)
 $C_1 = 0$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$
 $d_{ekv} = 0,05$



b)
 $A_1 = 100$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$
 $d_{ekv} = 0,05$



Temperaturhöjning under soliga sommarygn efter mulen period, $\alpha = 7$ W/°C, m². $C_1 =$ förmåga hos innerväggar, inredning och möbler i Wh/°C.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Vattentuber – temperaturer under soliga dygn (forts)

I figurerna c–f visas inflytandet av d_{ekv} ($= r/2$) på T_{max} dels efter sex soliga dygn dels efter oändligt antal upprepade soliga dygn. Figurerna avser värmeförlusterna $G_1 = 125 \text{ W/}^\circ\text{C}$ och glasarean åt söder $A_2 = 25 \text{ m}^2$. I figurerna c och d har vattentubernas mantelarea satts till $A_1 = 25 \text{ m}^2$. Man ser att ökande tubdimension d_{ekv} sänker T_{max} . Efter sex dygn blir vid $d_{ekv} = 0,125 \text{ m}$ ($2 r = 0,5 \text{ m}$) för $C_1 = 1\,000 \text{ Wh/}^\circ\text{C}$ maximitemperaturen $T_{max} = 37 \text{ }^\circ\text{C}$.

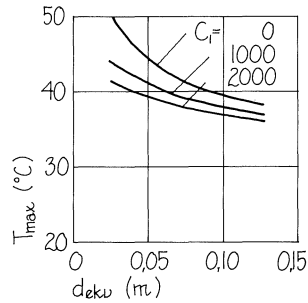
Om mantelarean ökas till $A_1 = 100 \text{ m}^2$, som visas i figurerna e och f, så minskar T_{max} i förhållande till de tidigare figurerna, där A_1 var 25 m^2 . Efter sex dygn blir, med den inre massan $C_1 = 1\,000 \text{ Wh/}^\circ\text{C}$, maximitemperaturen $T_{max} = 31 \text{ }^\circ\text{C}$ när $d_{ekv} = 0,125 \text{ m}$ ($2 r = 0,5 \text{ m}$). Tubdiametern $0,5 \text{ m}$ är aktningvärd och kommer sannolikt att vålla arkitektoniska problem. I USA verkar tubdiametern $0,3 \text{ m}$ att ha blivit något av en standard. Med $2 r = 0,3 \text{ m}$, dvs $d_{ekv} = 0,075$, blir för $A_1 = 100 \text{ m}^2$ maximitemperaturen efter sex dygn $T_{max} = 34 \text{ }^\circ\text{C}$.

I de fall då det inte är möjligt att låta betong i bjälklag och innerväggar fungera som värmelagring synes vattentuber kunna utgöra ett alternativ. Det bör observeras att samtliga diagram i figuren avser *oskärmda söderfönster*. I praktiken har man alltid en viss skärmning genom omgivning och gardiner.

Om vattentuber placeras direkt innanför fönster kan man erhålla en del icke önskvärda effekter som bländning, känsla av instängdhet osv. Man bör i sådana fall förvissa sig om att detta accepteras av brukarna. Samtidigt bör man ha i minnet att en temperatureffekt också erhålls om tuberna placeras vid innervägg, se längre fram i tabellen sid 309.

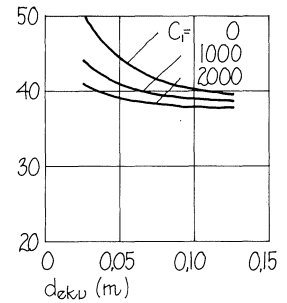
c) dygn 6

$A_1 = 25$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$



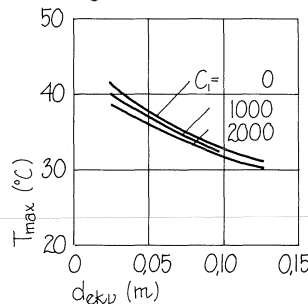
d) dygn ∞

$A_1 = 25$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$



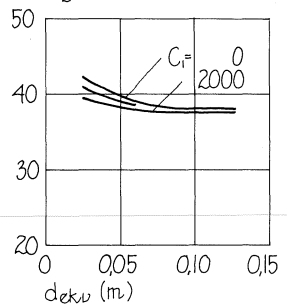
e) dygn 6

$A_1 = 100$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$



f) dygn ∞

$A_1 = 100$
 $G_1 = 125$
 $A_2 = 25$



Temperaturhöjning under soliga sommardygn efter mullen period, $\alpha = 7 \text{ W/}^\circ\text{C, m}^2$ (forts). C_1 = förmåga hos innerväggar, inredning och möbler i $\text{Wh/}^\circ\text{C}$.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Jämförelse mellan betongmassa och vattentuber

Jämförelse mellan värmelagrande betongmassa och vattentuber ($\alpha = 7$ W/°C·m²).

a) Betongmassa

Värme- förlus- ter	Glas- area mot söder	Betong- area	Betong- tjock- lek	Inre väggar m m	C ₁ Wh/°C	T _{max}	
						efter 6 dygn	efter ∞ dygn
G ₁ W/°C	A ₂ m ²	A ₁ m ²	d m				
125	25	50	0,10	0	41,9	42,1	
125	25	100	0,10	0	38,5	39,8	
125	25	200	0,10	0	34,2	38,4	

b) Vattentuber

Värme- förlus- ter	Glas- area mot söder	Vatten- tubers area	Ekviva- lent d ¹	Inre väggar m m	C ₁ Wh/°C	T _{max}	
						efter 6 dygn	efter ∞ dygn
G ₁ W/°C	A ₂ m ²	A ₁ m ²	d _{ekv} m				
125	25	50	0,05	0	41,0	41,3	
125	25	100	0,05	0	37,8	39,3	
125	25	200	0,05	0	33,6	38,1	

¹ d_{ekv} enligt figur sid 298.

Värmelagring kan ske i betongmassa, i vägg och bjälklag eller separat i vattentuber, som står i rummet. I tabellen visas en jämförelse mellan dessa båda fall. Därvid har valts några fall med varierande area hos betongen resp vattentuberna. Glasarean åt söder har valts A₂ = 25 m², vilket är extremt stor glasarea, t ex 12,5 m glas med höjden 2,0 m. Detta återspeglas också av maximala rumstemperaturen T_{max}. För G₁ = 125 W/°C och 200 m² betong med tjockleken 0,1 m (se figur sid 284) blir T_{max} efter sex dygn 34,2°C.

Om man placerar in vattentuber med d_{ekv} = 0,05, t ex runda tuber med diametern 2 r = 0,20 m, så ger för G₁ = 125 W/°C och A₂ = 25 m² en tubarea av A₁ = 200 m² en maximal temperatur efter sex dygn på T_{max} = 33,6 °C. Detta är mycket nära vad som erhöles med 200 m² betongmassa. Fördehlen med vattentuberna är att man kan utvinna mer yta per längdenhet. Med cirkulära tuber med höjden 2,2 m blir ytan per meter (tuberna placeras med avståndet r, dvs halva diametern, mellan varandra):

$$\frac{2\pi h}{3} = 4,6 \text{ m}^2/\text{m}$$

Arean A₁ = 200 m² kräver således en längd av 43 m, vilket kan vara nog så svårt att placera ut i ett hus. Man bör emellertid hålla i minnet att den oskuggade glasarean åt söder valts *extremt stor*.

Som en *slutsats* kan sägas:

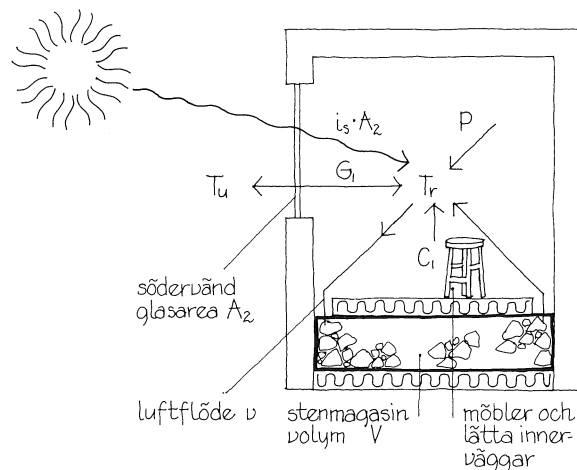
Vattentuber med en diameter eller sidlängd av ca 0,2 m kräver lika stor värmeupptagande/värmeavgivande area som betongmassa med tjockleken d = 0,10 m (d enligt figur sid 284).

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Stenmagasin

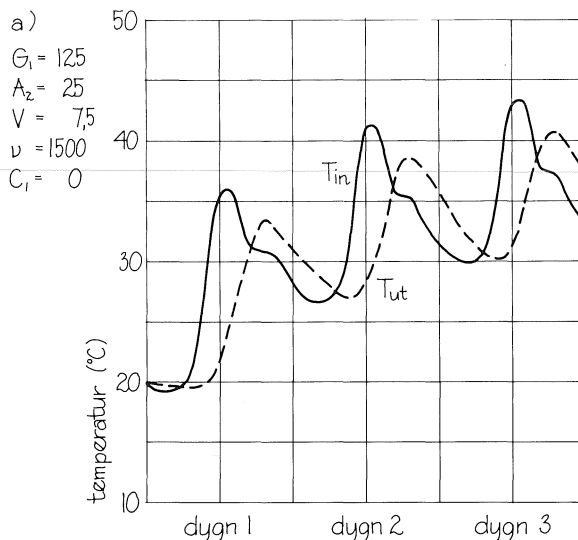
Ett annat sätt att lagra upp överskottsvärme från t ex solinstrålning är utnyttjande av stenmagasin. Ett sådant stenmagasin består av singel med en stenstorlek av ca 50 mm mellan vilka luft kan passera. Rumsluften leds till stenmagasinet och fördelas över dess yta. Den får sedan passera genom stenmagasinet som då värms upp av luften, vilken förutsätts vara varmare än stenmagasinet. Som övre figuren schematiskt visar kan man anta att den instrålade solenergin tillförs rumsluften. Till densamma kopplas lätta innerväggar och inredning, vars massa antas ha värmekapaciteten C_1 (Wh/°C). Till rumsluften förs även "gratisvärme" från personer och elektriska apparater samt eventuell uppvärmning (P). Rumsluften passerar genom stenmagasinet med volymen V (m³) och luftflödet antas vara v (m³/h). Rummet (huset) antas ha transmissions- och ventilationsförluster, som är G_1 (W/°C), och en södervänd glasarea A_2 (m²).

I nedre figuren visas lufttemperaturerna före och efter stenmagasinet när byggnaden utsätts för upprepade soliga dygn efter en mulen period i juni månad. Kurvorna baserar sig på den nämnda simuleringsmodellen, varvid antagits att $G_1 = 125$ W/°C, $A_2 = 25$ m², $V = 7,5$ m³, $v = 1\,500$ m³/h och $C_1 = 0$. Beräkningsfallet har extremt stor södervänd glasarea, nämligen 25 m². Man ser av figuren att lufttemperaturen till magasinet, vilken är lika med lufttemperaturen i rummet, redan första dygnet går upp till 36 °C och efter tre dygn når 43 °C. Detta kan jämföras med figur g, sid 287, där ett hus med samma glasarea åt söder försetts med en betongmassa med arean $A_1 = 100$ m². I detta fall stiger rumsluftens temperatur under första dygnet till 27°C och efter tre dygn till ca 34°C.

Ett stenmagasin får således höga temperaturer redan första dygnet. Förklaringen härtill är att vid stenmagasinet värms luften direkt av solinstrålningen medan vid betongmassan tillförs strålningen direkt till massan och påverkar lufttemperaturen först i andra hand.

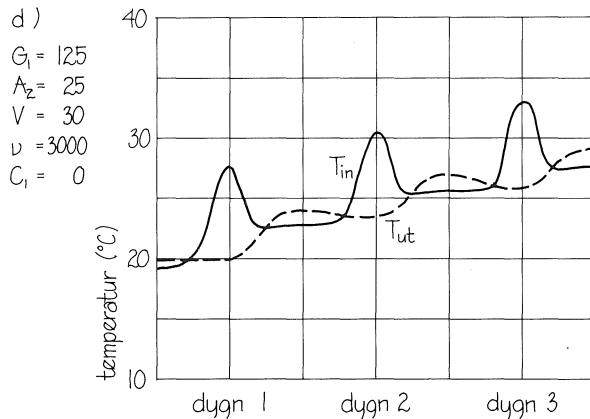
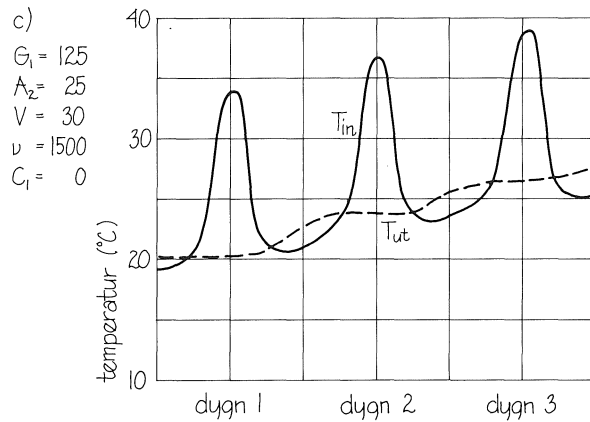
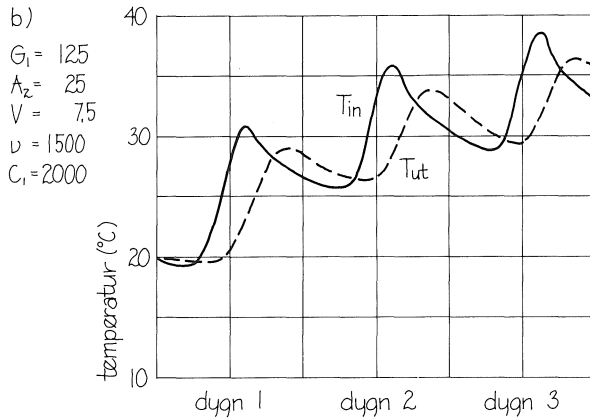


Schematisk byggnad med stenmagasin och lätt inre massa.



Lufttemperatur in till stenmagasin T_{in} (= rumsluftens temperatur) och utifrån magasin T_{ut} vid soliga dygn efter mulen period (V = magasinets volym i m³, v = luftflöde i m³/h och C_1 = värmelagring hos innerväggar mm i Wh/°C).

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Stenmagasin (forts)



Lufttemperatur in till stenmagasin T_{in} (= rumslufttemperatur) och ut från magasin T_{ut} vid soliga dygn efter mullen period.

Om man återgår till figur a så ser man att det är en tidsförskjutning mellan den ingående och utgående luftens temperatur. Under dagen, när rumsluftens temperatur är som högst, så får luften efter stenmagasinet ca 12 °C lägre temperatur än rumsluften. Detta kan ge drag om inte lufttillförseln till rummet anordnas på ett riktigt sätt. En annan väsentlig nackdel är att nattemperaturerna för rumsluften (= T_{in}) blir ganska höga.

Byggnaden, relaterad till figur a, har inga innerväggar eller möbler. Antar vi att sådana förekommer och att dessa har ganska stor värmekapacitet, $C_1 = 2\,000$ Wh/°C, så får vi temperaturer enligt figur b. Maximitemperaturen (T_{in}) minskar under första dygnet från 36 °C vid $C_1 = 0$ (figur a) till 31 °C. Skillnaden mellan T_{in} och T_{ut} mitt på dagen minskar också från 12 °C till 6 °C.

Ökar stenmagasinets volym från $V = 7,5$ m³ (figur a) till $V = 30$ m³ vid figur c så minskar de maximala rumstemperaturerna (T_{in}) något medan de utgående temperaturerna minskar kraftigt. Skillnaden mellan T_{in} och T_{ut} blir maximalt så hög som 14 °C. Fördelen är dock att nattemperaturerna blir låga.

I figur d har luftflödet v ökats till $v = 3\,000$ m³/h. Då minskar rumstemperaturen (= T_{in}) kraftigt liksom även skillnaden mellan T_{in} och T_{ut} . Man kan konstatera att ökat luftflöde har en mycket gynnsam inverkan på rumsklimatet.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas

att stenmagasin har nackdelen att få ta hand om den varma rumsluften i stället för solinstrålningen

att ökad volym hos stenmagasinet inte nämnvärt sänker rumstemperaturen

att ökat luftflöde ger bättre inre klimat, men att lämpliga luftflöden blir mycket stora.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Stenmagasin – inverkan av volym och luftflöde

Lätta innerväggar, inredning och möbler simuleras genom en värmekapacitet C_1 (Wh/°C) direkt knuten till rumsluften. Värdet $C_1 = 1\,000$ motsvarar innerväggar, inredning och möbler med en vikt av ca 2 000 kg. I figur a visas hur maximala rumslufttemperaturen förändras under de sex första dygnen. Som tidigare konstaterats stiger maximitemperaturen under dygnet upp till höga värden redan efter andra eller tredje dygnet. Värmekapaciteten hos innerväggar, inredning och möbler har en ganska stor inverkan under de första dygnen för att sedan bli mindre. Om stenmagasin används i klimat med upprepade soliga dygn under flera veckor så blir T_{\max} mycket hög, även med betydande inre värmekapacitet C_1 .

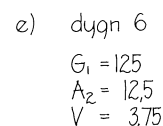
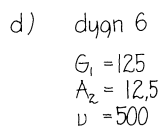
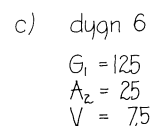
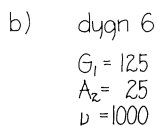
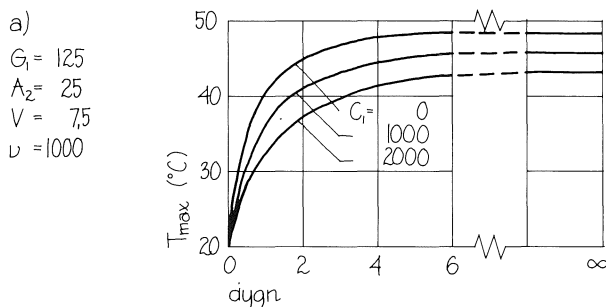
Inverkan av stenmagasinets volym visas i figurer b och d. Den förstnämnda figuren avser en extremt stor södervänd glasarea $A_2 = 25\text{ m}^2$ medan figur d avser glasarean $A_2 = 12,5\text{ m}^2$, vilket också detta är en förhållandevis stor södervänd glasarea. Man ser att det inte lönar sig att öka stenmagasinets volym särskilt mycket.

Luftflödet genom stenmagasinet inverkar på maximitemperaturen under dygnet. I figurer c och e visas luftflödets inverkan för glasarean åt söder $A_2 = 25$ resp $12,5\text{ m}^2$. Särskilt vid $C_1 = 0$ blir luftflödets inverkan stor, medan den vid $C_1 = 1\,000$ och $2\,000$ Wh/°C blir mera måttlig. Man kan säga att det lönar sig att öka luftflödet till $v/A_2 = 40\text{ m}^3/\text{h}$ per m^2 södervänd glasarea.

Slutsatser rörande utnyttjandet av stenmagasin för att begränsa temperaturökningen under ett antal upprepade soliga sommardygn blir:

Stenmagasin för kylning av rumsluften under soliga dygn ger förhållandevis l i t e n i n v e r k a n på den maximala rumslufttemperaturen under dygnet.

Maximitemperaturer under soliga dygn efter en mulen period, när rumsluften passerar ett stenmagasin.



8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Värmelagring i salhydrater

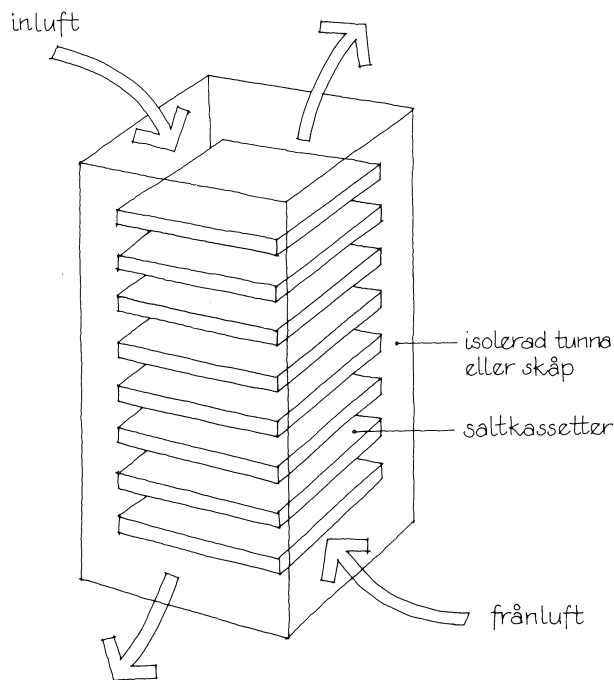
Man kan utnyttja olika kemiska ämnens fasomvandlingsenergi för att lagra och frigöra värme. Sådana kemiska ämnen är t ex salhydrater, bland vilka man kan finna föreningar med lämpliga fasomvandlingstemperaturer och högt smältvärme per volymenhet. Det är främst två salhydrater som är aktuella på grund av sitt förhållandevis låga pris:

Glaubersalt ($\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$), som varit föremål för forskning under de senaste 40 åren. Genom lämplig inblandning av andra ämnen har man justerat omvandlingstemperaturen från $32\text{ }^\circ\text{C}$ ned till önskad temperatur, t ex $23\text{ }^\circ\text{C}$. Samtidigt har man forskat fram metoder att undvika skiktning, vilken försämrar fasomvandlingen vid upprepade omvandlingar. Fortfarande används glaubersalt lämpligast i centimetertunna horisontella skikt. I ren form har glaubersalt en fasomvandlingstemperatur = $32\text{ }^\circ\text{C}$ och ett smältvärme = 251 kJ/kg . Kommersiella produkter i form av takplattor och tunna påsar med salt finns idag på marknaden i både USA och Sverige.

Kalciumkloridhexahydrat ($\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) kan framställas ur vägsalt. Saltet har liknande skiktningssproblem som glaubersalt, vilka dock kan bemästras genom tillsatser. Under kylning kan också förekomma, vilket också kan förhindras genom tillsatser. En omfattande forskning äger rum vid institutionen för fysikalisk kemi (Gunnar Wetterblad) vid KTH och hos Björn Karlsson, LiTH, i syfte att finna fram till praktiskt användbara lagringssätt och lämpliga tillsatser. I ren form har saltet en fasomvandlingstemperatur = $30\text{ }^\circ\text{C}$, som dock kan justeras nedåt genom tillsatser. Smältvärmets är 170 kJ/kg . Kalciumkloridhexahydrat finns kommersiellt i bl a tuber.

Salternas lagringstäthet är ca 105 kWh/m^3 för $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ och ca 80 kWh/m^3 för $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$.

Det inkapslade saltet kan direkt sättas i kontakt med rumsluften eller kan man värmexchallera mellan luften och ett flytande medium som kommer i kontakt med saltet.



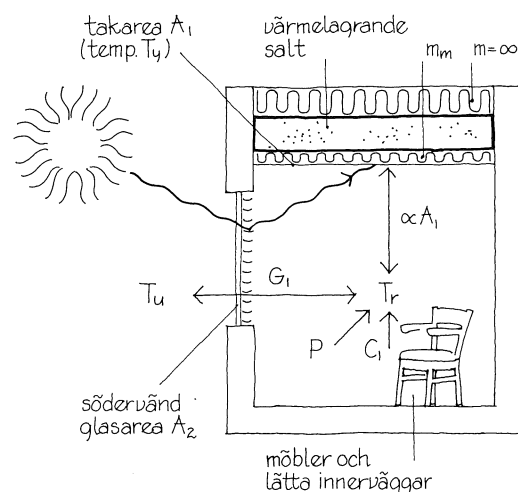
8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Saltlager i tak

Glaubersalt som värmelagrande medium har studerats i USA under flera tiotal år. Det är främst dr Maria Telkes som gjort en banbrytande insats. Först på de senaste åren har man fått fram system, vilka synes fylla kommersiella krav på användbarhet och långtidsstabilitet. Omfattande långtidsprovningar har genomförts och man är av den uppfattningen att större delen av värmelagringsförmågan är kvar även efter 1 000 fasomvandlingscykler. Detta i sin tur är ett minimikrav eftersom man kan förvänta sig ett 100-tal årliga fasomvandlingar, särskilt om fasomvandlingstemperaturen väljs låg, i närheten av normal rumstemperatur. Som kommer att visas längre fram är det emellertid inte lämpligt att välja så låg fasomvandlingstemperatur. *Snare är det lämpligt att välja omvandlingstemperaturen kring 29 °C i svenskt klimat.* Antalet fasomvandlingar under året begränsas då, vilket ger längre användningstid.

Hus med saltlager har uppförts och provats. Bland de mera kända är Dover House i Dover, Mass., byggt 1948, M.I.T. Solar Building 5 vid Massachusetts Institute of Technology, Boston, Mass., (Tim Johnson) byggt 1977 och, i Sverige, Climatorhuset, Skövde, byggt 1979.

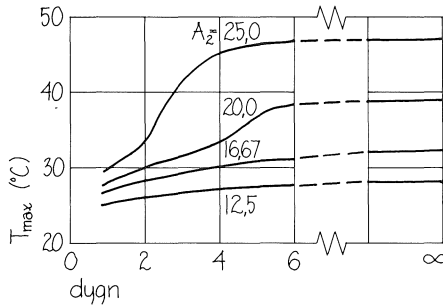
I syfte att studera hur olika faktorer inverkar på värmelagringen i salt i innertak har en schematiserad byggnad simulerats. Figuren visar den schematiserade byggnaden. Det värmelagrande saltet antas isolerat på sin ovansida så att inget värmeflöde sker uppåt. På undersidan ligger saltet på ett undertak, vars värmemotstånd satts till m_m ($^{\circ}\text{C},\text{m}^2/\text{W}$). Mellan takytan och rumsluften sker ett värmeutbyte $\alpha \cdot A_1$, där A_1 är takarean. Eftersom värmeutbytet delvis sker genom strålning till lätta innerväggar, inredning och möbler sätts α normalt till $5 \text{ W}/^{\circ}\text{C},\text{m}^2$. Lätta innerväggar m står som figuren visar i direkt kontakt med rumsluften med temperaturen T_r . Värmeutbytet mellan rumsluften och uteluften är G_1 $\text{W}/^{\circ}\text{C}$, innefattande transmissions- och ventilationsförluster. Solinstrålning, $i_s \cdot A_2$ tillförs direkt till takytan. A_2 är den södervända glasytan.



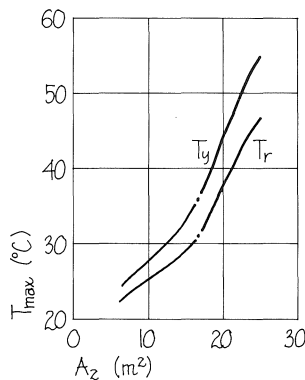
Schematisk byggnad med värmelagrande salt i innertak. Värmelagringen sker mellan temperaturen T_{S1} och T_{S2} och lagringen är I_s Wh per m^2 takyta.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Saltlager i tak – olika faktorerers inverkan

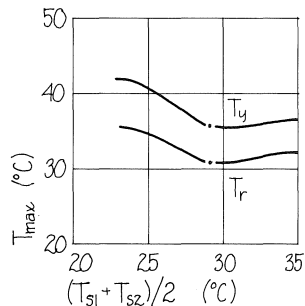
a)
 $G_1 = 125$
 $A_1 = 100$
 $C_1 = 1000$
 $m_m = 0,1$
 $l_s = 600$
 $T_{s1} = 24$
 $T_{sz} = 34$



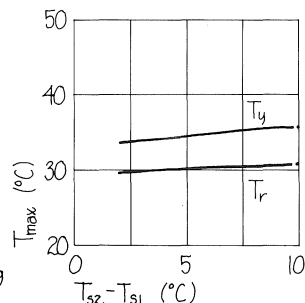
b)
 dygn 6
 $G_1 = 125$
 $A_1 = 100$
 $C_1 = 1000$
 $m_m = 0,1$
 $l_s = 600$
 $T_{s1} = 24$
 $T_{sz} = 34$



c)
 dygn 6
 $G_1 = 125$
 $A_1 = 100$
 $A_z = 16,67$
 $C_1 = 1000$
 $m_m = 0,1$
 $l_s = 600$
 $T_{sz} - T_{s1} = 10$



d)
 dygn 6
 $G_1 = 125$
 $A_1 = 100$
 $A_z = 16,67$
 $C_1 = 1000$
 $m_m = 0,1$
 $l_s = 600$
 $(T_{s1} + T_{sz})/2 = 29$



I figur a visas hur maximala rumslufttemperaturen stiger dygn för dygn för ett hus med förlusterna $G_1 = 125$ W/°C och en takyta (= golvytan) av $A_1 = 100$ m². Huset har antagits med inre väggar och inredning motsvarande 1 000 Wh/°C. Saltmagasinet i taket har en värmelagringsförmåga av $l_s = 600$ Wh per m² takyta och fasomvandlingen antas äga rum mellan 24 °C och 34 °C. Värmemotståndet mellan saltmagasinet och takytan har antagits till $m_m = 0,1$ °C,m²/W, motsvarande ca $\frac{1}{2}$ takbräder.

Man ser av figur a att en glasyta av $A_2 = 25$ m² åt söder redan det tredje dygnet ger mycket höga rumslufttemperaturer. Värmelagringsförmågan är utnyttjad redan efter det andra dygnet och rumslufttemperaturen stiger därför snabbt. Vid $A_2 = 20$ m² är värmelagringsförmågan utnyttjad redan efter det fjärde dygnet. Om glasytan åt söder begränsas till $A_2 = 16,67$ m² så kan värmelagringsförmågan helt utnyttjas och efter sex dygn är inte maximala rumslufttemperaturen högre än 31 °C. Denna glasarea representerar ca 21 m² fönsteryta och är alltså mycket stor, t ex 12 meter fönster med höjden 1,8 m. Inverkan av glasarean under dygn 6 visas också i figur b, där även takytans temperatur T_y visas. Denna blir ca 5 °C högre än rumsluftens temperatur, vilket påverkar den operativa temperaturen.

Inverkan av fasomvandlingstemperaturen visas i figur c. Man ser att det lämpligaste medelvärdet mellan lägsta och högsta temperatur inom vilka fasomvandlingen sker lämpligen väljs till 29 °C. Om temperaturdifferensen mellan högsta och lägsta temperatur, inom vilken fasomvandling sker, minskas från 10 °C som antagits i de tidigare refererade figurerna till 4 °C, så visar figur d att inverkan blir marginell. Skillnaden mellan taktemperaturen T_y och rumsluftens temperatur T_r blir praktiskt taget opåverkad av fasomvandlingstemperaturen.

Inverkan av saltlager i tak på maximala temperaturen.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING

Saltlager i tak – olika faktorer inverkan (forts)

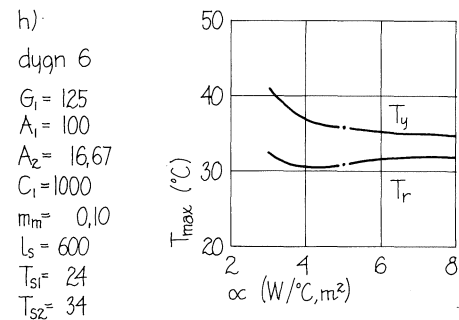
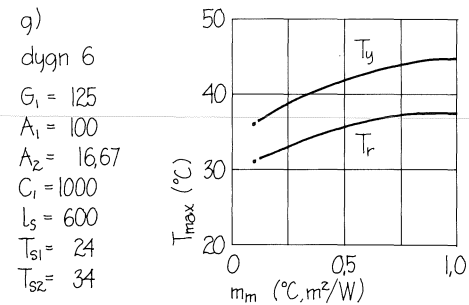
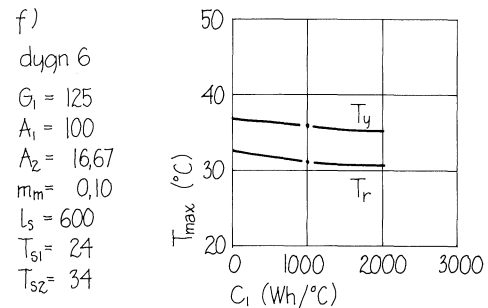
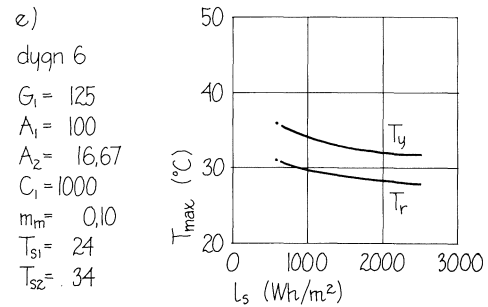
Saltlagrets värmelagringsförmåga l_s per m^2 takyta påverkar naturligtvis också de maximala temperaturerna på takytan och i rumsluften. Om för det valda basfallet l_s ökas från 600 Wh/m^2 till $2\,400 \text{ Wh/m}^2$ så minskar under dygn 6, som figur e visar, den maximala rumslufttemperaturen från $31 \text{ }^\circ\text{C}$ till $28 \text{ }^\circ\text{C}$. Takytans temperatur sjunker också med ca $3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Ökad värmelagringsförmåga hos innerväggar och inredning minskar också de maximala temperaturerna. Denna minskning (figur f) blir dock mycket liten.

Värmemotståndet mellan saltlagret och takytan har stor inverkan på de maximala temperaturerna under dygn 6, som visas i figur g. Skulle värmemotståndet ökas från $0,1$ till $0,4 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$ så ökar för det valda basfallet den maximala rumslufttemperaturen från $31 \text{ }^\circ\text{C}$ till $35 \text{ }^\circ\text{C}$. Också den maximala taktemperaturen ökar, från $36 \text{ }^\circ\text{C}$ till $41 \text{ }^\circ\text{C}$. Det är således av yttersta vikt att *innertaket ges så lågt värmemotstånd som möjligt* och att saltlagret är i god kontakt med innertaket.

I det valda basfallet har värmeövergången mellan yta och luft satts till $\alpha = 5 \text{ W/}^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2$. Detta värde kan tänkas för ett normalt ventilerat rum och innefattar den sammanlagda värmeöverföringen inklusive strålningsöverföring till innerväggar och inredning. Man kan tänka sig att öka α -värdet genom styrd ventilation som ökar lufthastigheten vid takytan. Då ökar, som figur h visar, den maximala rumslufttemperaturen samtidigt som den maximala taktemperaturen sänks. Den operativa temperaturen blir således ganska opåverkad.

Sammanfattningsvis kan alltså sägas att *saltlager i innertaket kan utnyttjas för hus med liten inre värmekapacitet (inga betongkonstruktioner)*. Med hela taket täckt med saltpåsar med $l_s = 600 \text{ Wh/m}^2$ takyta kan man ha praktiskt taget hela söderfasaden uppglasad och oskärmd. Viktigt är dock att fasomvandlingstemperaturen väljs rätt.

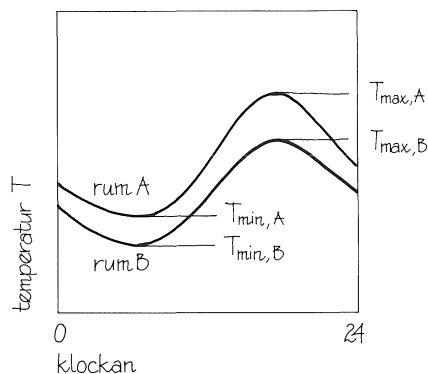


Inverkan av saltlager i tak på maximala temperaturen.

8.11 SEPARAT VÄRMELAGRING Jämförande försök i tvillingrum

Resultat av temperaturmätningar i två identiska rum (tvillingrum) där värmelagringen varierats. Beteckningar enligt figuren.

Rum A			Rum B		
Värmelager	$T_{m,A}$	ΔT_A	Värmelager	$T_{m,B}$	ΔT_B
Ingen betong på golvet	21,4	17,2	Ingen betong på golvet. Vattenbehållare med svart utsida vid fönster	19,2	6,0
	maj	maj		maj	maj
100 mm betong på golvet (grå yta)	26,0	11,6	Ingen betong på golvet. Vattenbehållare med svart utsida vid fönster	25,5	6,9
	april	april		april	april
100 mm betong på golvet (grå yta)	25,7	5,7	Ingen betong på golvet. Vattenbehållare med svart utsida vid bakvägg	26,5	7,2
	juni	juni		juni	juni
100 mm betong på golvet (grå yta)	28,2	10,6	50 mm betong på golvet (grå yta)	29,1	12,6
	juli	juli		juli	juli
100 mm betong på golvet (grå yta)	29,1	13,6	Ingen betong på golvet (grå yta). 1 lager salt i taket, vit takyta med reflekterande persienn	31,2	19,1
	sept	sept		sept	sept



$$T_m = \frac{T_{\max} + T_{\min}}{2}$$

$$\Delta T = T_{\max} - T_{\min}$$

I de tidigare nämnda tvillingrummen, vilka är identiska med stora glasrutor mot söder och med en kontrollerad ventilation med 2 luftväxlingar per timme, har temperaturmätningar utförts vid olika värmelagring i de två rummen. Lufttemperaturen T har mätts mitt i rummen och figuren visar definitionen av medeltemperaturen T_m och temperaturamplituden ΔT .

Tabellen visar jämförelser mellan olika värmelagringssystem i de båda rummen. Man ser att i det första fallet har rum A ingen speciell värmelagring medan rum B har svarta vattenbehållare innanför fönstret. Dessa vattenbehållare har diametern = 230 mm och en total vattenvolym på 760 liter. Rummet A får en medeltemperatur = 21,4 °C och en amplitud = 11,7 °C. Rummet B får en medeltemperatur = 19,2 °C och en amplitud = 6,0 °C. Värmelagringen har således en mycket stor inverkan på amplituden. Även medeltemperaturen påverkas genom att vattenbehållarna delvis hindrar instrålningen i rum B.

En jämförelse mellan rum A med 100 mm grå betong på golvet och rum B med svarta vattenbehållare innanför fönstret visar att de senare ger avsevärt lägre amplitud och något lägre medeltemperatur. Om de svarta vattenbehållarna placeras framför den bakre väggen i rum B så blir amplituden något större än i rum A med 100 mm betong på golvet. Medeltemperaturen blir också något större i rum B än i rum A. *Vattenbehållare i bakkant blir ungefär likvärdigt med 100 mm betong på golvet.*

I tabellen visas också jämförelse mellan betong på golvet och 1 lager glaubersalt i undertak med vit takyta. Man har en persienn som reflekterar solstrålningen upp mot takytan. Fallet blir *inte fullt likvärdigt med 100 mm betong.*

Definition av T_m och ΔT .

8.12 VÄRMEVÄXLARE

Principer för värmeväxling

Uppvärmning av ventilationsluft utgör en betydande post i en byggnads värmeförbrukning. Man kan grovt säga att i bostäder svarar den för ca 1/3 av uppvärmningsbehovet. För kontor och andra lokaler med stor personbelastning svarar den för en ändå större del. Återvinning av värme från frånluften är således en väsentlig energibesparingsuppgift. Värmeväxlare utgör därvid en viktig komponent.

I figuren visas de tre värmeväxlingsprinciperna:

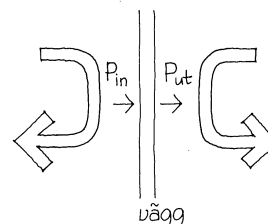
Direkt rekuperativ värmeväxling
Indirekt rekuperativ värmeväxling
Regenerativ värmeväxling

Vid den *direkt rekuperativa* värmeväxlingen leds frånluften på ena sidan av ett ledande material medan tilluften leds på den andra sidan. Värme kommer då att ledas över från den varma frånluften till den kalla tilluften. Från- och tilluftkanalerna måste alltså kopplas till värmeväxlaren. Vid den *indirekta rekuperativa* värmeväxlingen behöver från- och tilluftkanalerna ej kopplas till samma apparat. Värmen från frånluften förs nämligen först över till ett transportmedium, t ex en vätska, som transporteras till tilluftsaggregatet där värmen växlar över till tilluften. Vid den rekuperativa värmeväxlingen kommer de båda luftströmmarna ej i kontakt med varandra.

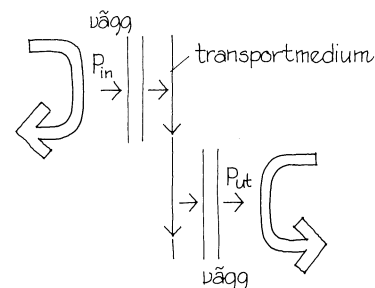
Den *regenerativa värmeväxlingen* bygger på principen att den varma frånluften först värmer upp en massa, varefter tilluften i nästa fas kommer i kontakt med massan och värms upp. Man regenererar massan. I detta fall kommer de båda luftströmmarna i kontakt med samma massa och ämnen kan alltså överföras. Bland annat kan fukt växlas över från frånluften till tilluften.

Värmeväxlare används även i andra sammanhang, t ex för värmeväxling mellan flytande medier samt mellan gaser och flytande medier.

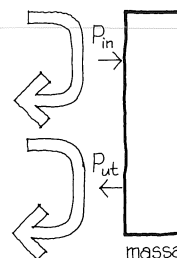
a)
direkt rekuperativ
värmeväxling



b)
indirekt rekuperativ
värmeväxling

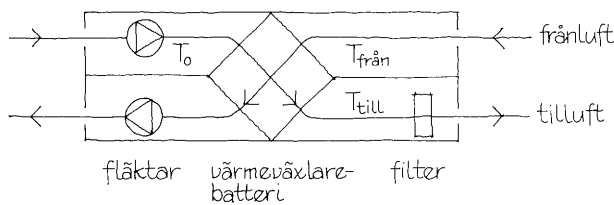
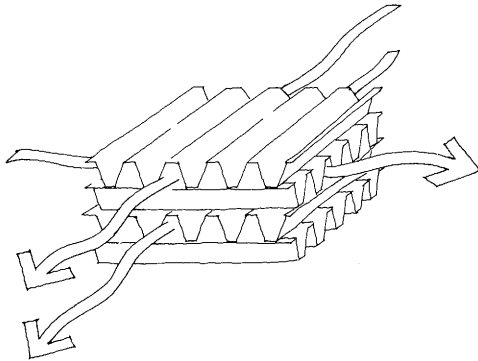


c)
regenerativ
värmeväxling

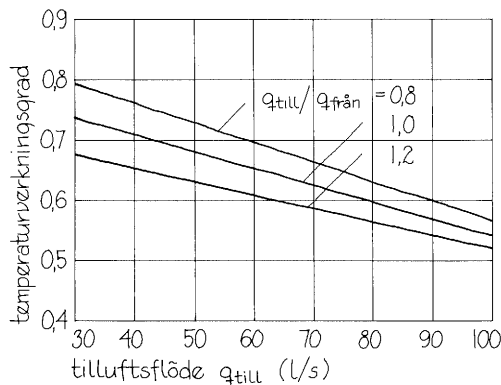


Värmeväxlingsprinciper.

8.12 VÄRMEVÄXLARE Plattvärmväxlare



Plattvärmväxlare av korsströmsprincip.



Temperaturverkningsgrad för plattvärmväxlare. Exempel för ett fabrikat avsett för småhus.

Den vanligaste direkta rekuperativa värmväxlaren är plattvärmväxlaren av korsströmsprincip. Ett stort antal fabrikat finns i marknaden, både för småhus och för flerbostadshus. Normalt utförs desamma av korrugerade metallplåtar av aluminium eller stål med plana plåtar som mellanlägg. De korrugerade plåtarna läggs omväxlande i två vinkelräta riktningar så att god värmeöverföring erhålls, se övre figuren. Även andra material, som plast, förekommer i värmväxlaredelen. I övrigt består värmväxlare-aggregatet av till- och frånluftfläktar samt filter.

Verkningsgraden hos ett värmväxlarebatteri uttrycks i regel som temperaturverkningsgraden, dvs graden av temperaturhöjning på tilluften. Temperaturverkningsgraden är

$$\eta_t = \frac{T_{till} - T_0}{T_{från} - T_0}$$

där T_{till} är tillufttemperaturen efter aggregatet, $T_{från}$ är frånluftens temperatur före aggregatet samt T_0 friskluftens temperatur efter fläkten (se övre figuren). Det är väsentligt att T_0 ej räknas före tilluftfläkten, då i så fall fläktens uppvärmning av tilluften felaktigt kommer med i temperaturverkningsgraden.

I nedre figuren visas ett temperaturverkningsgradsdiagram för ett fabrikat. Andra fabrikat kan se ut på ett liknande sätt men ge något annorlunda verkningsgrad. Man ser att verkningsgraden förutom av tilluftflödet är beroende av förhållandet mellan tilluftflödet och frånluftflödet. Om detta är lågt ökar verkningsgraden, men i gengäld växlas ej all tilluft. Eftersom detta flöde är lägre än frånluftflödet så sugas tilluft in i byggnaden på annat sätt än genom värmväxlaren. Totalverkningsgraden sjunker då. Oftast justeras tilluften till 80% av frånluftens beroende av den lägre temperaturen (= mindre volym) hos tilluften. Verkningsgraden skulle då bli kring 0,7.

8.12 VÄRMEVÄXLARE

Plattvärmeväxlare, drift

För att en plattvärmeväxlare skall fungera krävs under vissa klimatiska förhållanden att densamma avfrosta. Detta är nödvändigt när lägsta utetemperatur är under 0 °C. Vid måttliga frosttemperaturer, t ex ej lägre än -5 °C, kan man avfrosta genom att uteluftflödet kortvarigt reduceras. Detta kan ske automatiskt. Vid lägre "lågsta utetemperatur" måste en termostatreglerad elvärmare inmonteras, eventuellt i kombination med reducerat uteluftflöde.

Under sommaren önskar man ej ha värmeväxling, eftersom problemet då ofta är att man vill ha stora specifika värmeförluster för att minska övertemperaturerna. Värmeväxlaren bör då sättas ur funktion, vilket kan ske genom en förbiledning försedd med spjäll eller genom att värmeväxlarebatteriet byts ut mot en förbigångsinsats. Spjället på förbigångsledningen kan naturligtvis göras *automatiskt* och styras på rumstemperaturen, men detta är *ej nödvändigt*. I tabellen visas några beräkningsfall för en radhuslägenhet med stora, skuggade söderfönster. Man ser att med normal luftomsättning blir värmebehovet 9 117 kWh/år. Den temperatur T_{100} , vilken överskrids 100 timmar per år, blir för övervakningen 29,2 °C. Om man värmeväxlar till- och från luften med en temperaturverkningsgrad = 0,6 så minskar det årliga värmebehovet till 5 559 kWh/år. Temperaturen T_{100} ökar emellertid till 32,7 °C. Om man förbikopplar värmeväxlaren mellan 1 maj och 30 sept så minskar T_{100} till 29,3 °C och värmebehovet blir 5 837 kWh/år. Väljs istället tiden 1 juni—30 sept så blir värmebehovet 5 617 kWh/år, dvs endast 1,5% större än vid värmeväxling under hela året, medan T_{100} blir 29,3 °C, dvs 0,1 °C högre än vid fallet utan värmeväxling.

På basis av tabellen och andra beräkningar redovisade i Adamson, 1979a, kan man våga påståendet att *förbiledningsspjäll eller förbiledningsinsats kan skiftas två gånger per år*. Tidpunkten väljs av projektören med hänsyn tagen till husets värmebalans.

Årligt värmebehov och temperatur T_{100}^2 för radhus med och utan värmeväxlare.

Antal värmda oms/h	Under tiden	Årligt värmebehov kWh	Temperatur T_{100}^2	
			1:a vån	2:a vån
0,5	hela året	9 117	28,9	29,2
0,2 ¹⁾	hela året	5 559	32,4	32,7
0,2 ¹⁾	1 okt—30 april	5 837	28,9	29,3
0,5	1 maj—31 sept			
0,2 ¹⁾	1 okt—31 maj	5 617	28,9	29,3
0,5	1 juni—31 sept			

1) $W_{FTX} = \frac{0,2}{0,5} \cdot W_F$

2) T_{100} är den temperatur som överskreds 100 timmar i Stockholm 1971.

8.12 VÄRMEVÄXLARE Plattvärmeväxlare, totalverkningsgrad

Systemverkningsgraden för ett FT-system (från- och tilluft) med värmeväxlare beror på ett flertal faktorer:

värmeväxlareinsatsens verkningsgrad
erforderlig fläktenergi för tilluftfläkt
energiförbrukning för avfrostning
byggnadens täthet, som ger icke-värmeväxlat luftutbyte
fönster- och dörrventilation, som ger icke-värmeväxlat luftutbyte
ventilationskanalernas täthet, som kan ge icke-värmeväxlad tilluft och frånluft

För att få en uppfattning om den totala verkningsgraden hos ett FTX-system (FT-system med värmeväxling) kan man jämföra lika byggnader med FTX-system och med F-system (frånluft) eller FT-system och för dessa bestämma det årliga uppvärmningsbehovet. Det är därvid väsentligt att luftomsättningen i de båda hustyperna är lika. Om jämförelsen avser F-system blir totalverkningsgraden:

$$\eta_{\text{tot}} = \frac{W_F - W_{\text{FTX}} - W_{\text{tf}} - W_{\text{avf}}}{W_F}$$

där

W_F = energin som vid F-system årligen måste tillföras för att tilluften skall bli lägst 20 °C

W_{FTX} = energin som vid FTX-system årligen måste tillföras för att tilluften skall bli lägst 20 °C

W_{tf} = årlig energiförbrukning för tilluftfläkt

W_{avf} = årlig energiförbrukning för avfrostning

Totalverkningsgraden torde normalt ligga kring 0,4–0,5 i system med plattvärmeväxlare.

Jämförelse har ibland gjorts mellan FTX-ventilerade hus och liknande hus med S-system. Därvid har man ansett sig finna att värmeväxlingen ej ger energibesparing. Detta är emellertid ett felslut eftersom luftomsättningen ej är lika.

8.12 VÄRMEVÄXLARE

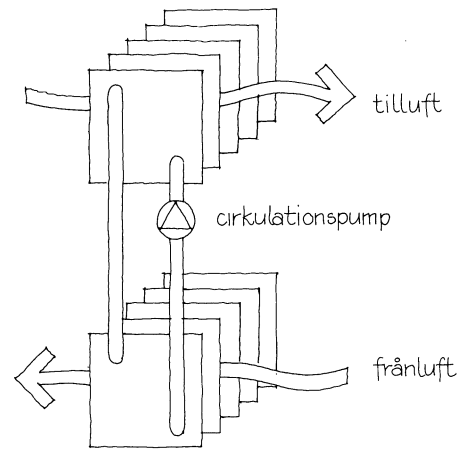
Indirekt rekuperativ värmeväxlare

I stora byggnader kan det bli svårt och dyrbart att sammanföra till- och frånluftkanalerna till en värmeväxlare. Man kan då överföra värmen i frånluften till ett värmebärande medium, oftast en vätska, genom ett frånluftbatteri i frånluftkanalen, och sedan transportera mediet i ledning till tilluftkanalen, där mediet får avlämna värmen i ett tilluftbatteri, se övre figuren. Batterierna i kanalerna är av lamelltyp. Det värmebärande mediet är i regel vatten med tillsats av ett fryspunktnedsättande medel, vanligen glykol.

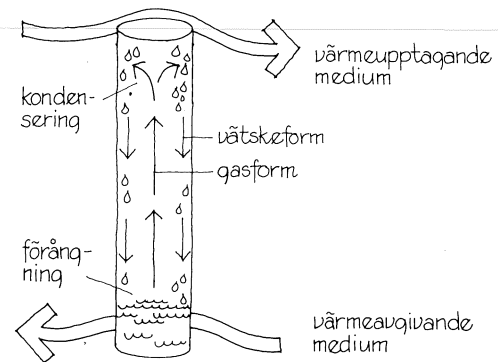
Förutom att full frihet att dra tilluft- och frånluftkanalerna uppnås, har vätskekopplade värmeväxlingssystem fördelen att inga ämnen genom otätheter kan överföras från frånluft till tilluft. Detta är möjligt vid plattvärmeväxlare genom otätheter i aggregatet.

Verkningsgraden hos vätskekopplad värmeväxling beror på dimensioneringen av batterierna. Större batterier ger ökad värmeöverföring men blir i gengäld dyrare. Systemet måste således optimeras. Normalt torde totalverkningsgraderna ligga kring 0,4–0,5.

Ett annat indirekt rekuperativt värmeväxlingssystem utgör s k *värmerör* (heat pipe). Vid dessa låter man mediet med värmeöverskott förångas en vätska som för över värmen till mediet med värmeunderskott, där den förångade vätskan kondenserar. Utförs detta som ett vertikalt rör så måste ledningen med det värmeavgivande mediet ligga underst, som nedre figuren visar. Vid detta rekuperativa system måste kanalerna eller ledningarna föras till ett aggregat. Värmerör används för värmeväxling av gaser och vätskor. I det senare fallet kan nämnas värmeväxling mellan avloppsvatten och förvärmning av förbrukningsvarmvatten. Värmerör används också för att överföra värme från en solfångareyta till en vätska.



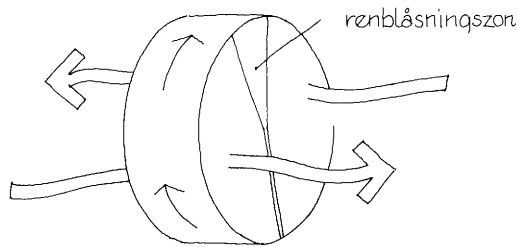
Principskiss av ett vätskekopplat system med korsströmsvärmeväxlare.



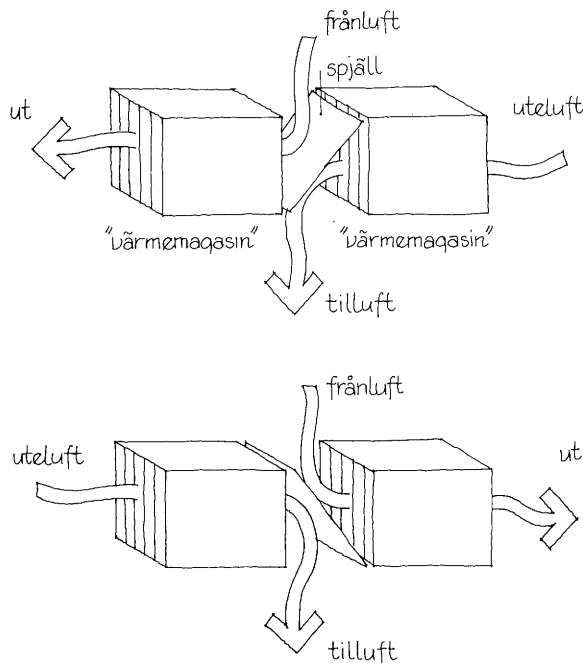
Principskiss av värmerör.

8.12 VÄRMEVÄXLARE

Regenerativa värmeväxlare



Roterande värmeväxlare.



Regenerativ värmeväxling med två värmemagasin.

Regenerativ värmeväxling har sedan länge åstadkommit med roterande värmeväxlare, se övre figuren. Rotorn består av ett mycket stort antal kanaler som först kommer i kontakt med den värmeavgivande luften, värms upp och därefter genom rotation kommer i kontakt med den värmeupptagande luften där värmen avges. Rotorkanalerna kan ha väggar av ett hygroskopiskt material, t ex ett saltimpregnerat papper, eller av metall, t ex aluminium. I det förra fallet kan såväl torr värme som fukt växlas, medan i det senare fallet endast torr värme växlas. Mellan tilluft- och frånluftsektorn på rotorn har man en renblåsningssektor.

Temperaturverkningsgraden är hög för roterande växlare, kring 0,8 är ett vanligt uppgivet värde. Vid normal drift åtgår en del drivenergi för rotationen och för tilluftfläkten, men uppvärmningsenergin för avfrostning blir enligt fabrikantuppgift mindre än vid plattvärmeväxlare. Totalverkningsgraden för ett helt system inklusive läckluft i kanaler och byggnad blir emellertid knappast högre än 0,6–0,7.

Ett annat regenerativt värmeväxlingssystem visas i nedre figuren. Till- och frånluften leds vid detta system omväxlande mellan två värmemagasin och spjället, som reglerar luftströmmarna, skiftas automatiskt. Temperaturverkningsgraden är ca 0,8 medan totalverkningsgraden knappast torde bli högre än 0,6–0,7.

Vid de båda nämnda regenerativa värmeväxlingssystemen kan verkningsgraden lätt justeras så att den under sommaren kan sättas = 0. Detta sker genom att stoppa rotorn resp ställa spjället i konstant läge.

De regenerativa värmeväxlarna har nackdelen att de kan föra över lukt mellan frånluften och tilluften. Därför rekommenderas normalt inte att frånluft från t ex kök får passer genom växlaren.

8.13 FÖRBRÄNNINGSENHETER

Oljeeldning i äldre hus

Olja har sedan senaste världskriget varit det dominerande bränslet i förbränningsanläggningar. Det bränsle som tillförs en förbränningsanläggning kan inte utnyttjas till hela sitt värmeinnehåll. Man har flera slag av förluster, som minskar det nyttiggjorda värmeutbytet, nämligen:

rökgasförluster

isoleringsförluster från pannans isolerade delar

strålningsförluster från pannans oisolerade delar, särskilt då luckor (förlusterna uppstår både genom konvektion och strålning, men de senare dominerar)

luftläckageförluster under oljeaggregatets stillestånd (luft passerar genom pannan under stillestånd och blir då uppvärmd).

Dessa poster utgör förluster för förbränningsenheten, men behöver inte därför gå helt förlorade. Om förbränningsenheten är förlagd innanför den uppvärmda byggnaden kan de tre första förlustposterna delvis tillföras byggnaden och tillgodogöras för husets uppvärmning under uppvärmningssäsongen.

För stora förbränningsenheter kan utrustningen utformas för högt värmeutbyte mellan bränslets värmeinnehåll och uppvärmt distributionsmedium, oftast vatten. Man har ofta möjligheter att sätta in flera pannenheter för olika driftsfall.

Petersson och Lillienberg, 1984, har analyserat verkningsgraden för oljeeldning i småhus och flerbostadshus. I äldre småhus med relativt stort värmebehov bör goda anläggningar kunna uppnå 70–80 % årsverkningsgrad. I småhus med låga värmebehov kan man inte uppnå så höga årsverkningsgrader.

8.13 FÖRBRÄNNINGSENHETER

Förbränningsenheter i nya småhus

Vid oljeeldning i småhus kan man inte spruta in mycket små mängder olja för förbränning i pannan. Man kan vid vanliga brännare ej spruta in mindre olja än ca 1,5 kg per timme. Detta ger en värmeeffekt av ca 15 kW, vilket är långt mer än det normala effektbehovet i ett lågenergismåhus, som under vintern normalt ej behöver mer än 3–6 kW. Brännaren kommer att gå endast 20–40% av tiden, vilket medför lägre genomsnittlig verkningsgrad än om gångtiden varit längre. Oljetillflödet begränsas också av att rökstemperaturen ej får bli för låg och orsaka kondens i skorstenen. Under sommaren, då värmebehovet endast bestäms av varmvattenförbrukningen, blir gångtiden mycket kort och verkningsgraden extremt låg. Vid oljeeldning i energisnåla småhus blir årsverkningsgraden knappast högre än 60%.

Vid vedeldning i äldre småhus kan man uppnå årsverkningsgrader på 70–80% medan man vid energisnåla småhus knappast kommer högre än 60–70%, se Petersson och Lillienberg, 1984.

Vid vattenradiatorsystem med gas- eller eluppvärmning kan man även vid energisnåla småhus uppnå höga årsverkningsgrader, vid gas ca 90% och vid el ca 95% (Petersson och Lillienberg, 1984). Det är emellertid viktigt att varmvattenberedaren är mycket väl värmeisolerad och placerad inom uppvärmt utrymme. Detta gäller också för värmesystem med direktverkande elvärmeradiatorer. Även här värms förbrukningsvarmvattnet i en varmvattenberedare, som alltså måste vara väl värmeisolerad.

8.13 FÖRBRÄNNINGSENHETER

Braskaminer

Konsumentverket, 1981, har genom Statens provningsanstalt låtit prova ett antal vedeldade sk braskaminer avsedda för småhus. En braskamin kan fylla flera syften. Den kan vara en inom bostadsutrymmet centralt placerad uppvärmningsanläggning, som förser hela huset med erforderlig värme. Värmen distribueras inom huset i form av varm luft eller varmt vatten. I det förra fallet kan distributionen ske genom egenkonvektion i huset så att den varma luften från kaminen följer taket, passerar genom ventiler in i övriga rum och återförs till kaminen genom öppna dörrar eller ventiler invid golv. Den varma luften under takytan värmer dessutom upp den samma och man får en temperaturstrålning från takytan mot andra rumsytor, framför allt golvet. Dessa ytor värms av temperaturstrålningen.

En braskamin kan också vara ett uppvärmningskomplement för att förbränna tillgängligt bränsle, för att ta extrema belastningar under kalla perioder eller för att användas under kristider då endast ved finns att tillgå.

I tabellen visas testvärden för en del av de provade braskaminerna — endast sådana med en verkningsgrad över 0,65 har medtagits. Från Konsumentverkets skrift återges följande rörande provningsmetoderna och provningsresultatens betydelse:

”Effektivitet vid 10 timmars eldning

Veden lades i brasan med ca en halvtimmes mellanrum under tio timmar (i kakelugnen varannan timme). Verkningsgraden och effekten mättes under åtta timmar, när värmen var relativt konstant.

Verkningsgraden är ett mått på hur stor del av vedens energiinnehåll som kaminen kan avge som värme till rumsluften. Om verkningsgraden är hög, utnyttjas veden på ett bra sätt.

Data för braskaminer enligt Konsumentverket, 1981.

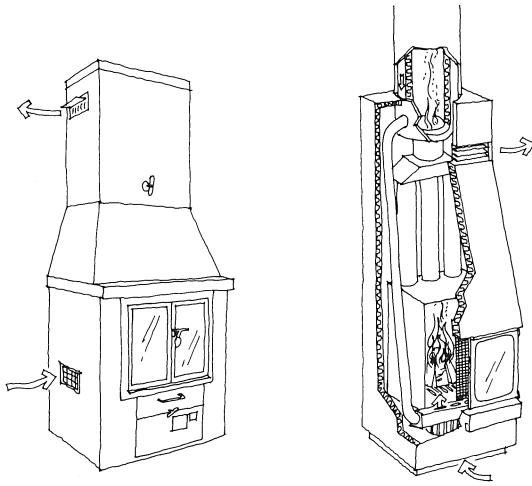
Fabrikat:	Combi-therm HLA	Futura	Impuls 110
Värmesystem ¹	VLK (h=1,6)	VLK (h=0,5)	VLK (h=1,5)
Täta glasluckor	ja	ej helt	relativt
Förbränningsluft från	ute	rum	rum
Medeleffekt (10 tim), kW	9—10	8—8,5	8,5
Verkningsgrad (10 tim)	0,75—0,80	0,70	0,65—0,70
Energi från 2 brasor, kWh	40	40	50
Vedmängd för 2 brasor, kg	13	14	16
Avsvaln.tid efter 2 brasor, tim	4	9	5,5
Temp på luckor, °C	175	185	175
Temp på rökgaser m fläkt, °C	380	215	235
Dito med stillast.fläkt, °C	420	335	300

Fabrikat:	Martin	Kakelugn	Borgspisen mod.100
Värmesystem ¹	Egenkonv.	Stråln.konv.	Stråln.konv.
Täta glasluckor	ja	nej	relativt
Förbränningsluft från	rum	rum	rum
Medeleffekt (10 tim), kW	9—9,5	3,5	9,5
Verkningsgrad (10 tim)	0,65—0,70	0,65	0,65
Energi från 2 brasor, kWh	35—40	35	45—50
Vedmängd för 2 brasor, kg	14	12	17
Avsvaln.tid efter 2 brasor, tim	6	20	9
Temp på luckor, °C	190	310	220
Temp på rökgaser m fläkt, °C	365	215	275
Dito med stillast. fläkt, °C			

Fabrikat:	Energi-spisen	Husqvarna Warm-Wind	Bison 350
Värmesystem ¹	Vattenvärme	VLK (h=1,7)	VLK (h=2,0)
Täta glasluckor	ja	ja	ja
Förbränningsluft från	rum el ute	rum el ute	rum el ute
Medeleffekt (10 tim), kW	9	7,5	8,5—9,2
Verkningsgrad (10 tim)	0,70	0,70	0,70
Energi från 2 brasor, kWh	50	31,5	44
Vedmängd för 2 brasor, kg	18	11	16,6
Avsvaln.tid efter 2 brasor, tim	4	7,3	6,3
Temp på luckor, °C	<90	94	185—215
Temp på rökgaser m fläkt, °C			
Dito med stillast. fläkt, °C	260	210	

¹ VLK (h=) = varmluftkamin med utsläpp h meter över golv.

8.13 FÖRBRÄNNINGSENHETER Braskaminer (forts)



Effekten är ett mått på hur mycket värme man kan få av en kamin per tidsenhet, dvs hur mycket utrymme den kan värma upp. Effekten kan bli hög även i en kamin med låg verkningsgrad, men då måste man elda mer ved än i en kamin med hög verkningsgrad.

Verkningsgraden och effekten sjunker cirka tio procent om fläkten stängs av på de kaminer som normalt används med fläkten påslagen.

Effektivitet vid 2-braseldning

Två brasor eldades direkt efter varandra. Den andra brasan lades på glöden från den första. Ungefär 75% av eldstaden fylldes med ved där så var möjligt.

Vedmängd, avsvälningstid och avgiven energi ger ett mått på kaminens egenskaper om man eldar till exempel två brasor på morgonen och två på kvällen.

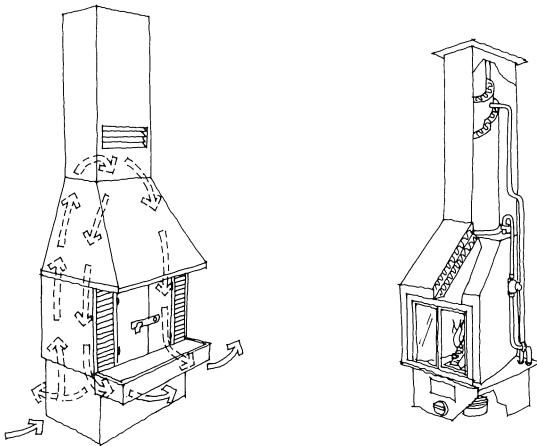
Avgiven energi. Den energi som brasorna ger, från tändningen tills att kaminens effekt har sjunkit till 500 W.

Vedmängd. Det antal kilo ved som har eldats i de två brasorna.

Avsvälningstid. Tiden från att den andra brasan lades in till dess att kaminen svalnat så mycket att effekten sjunkit till 500 W.

Kort avsvälningstid visar att kaminen är sämre på att lagra värme, men också att den snabbt ger värme. Lång avsvälningstid betyder att kaminen ger värme under lång tid och att det tar längre tid att värma upp rummet där den står. Avsvälningstiden är ett mått på kaminens egenskaper.

Hur välisolerat och tätt huset är betyder sedan mycket för hur länge värmen stannar inomhus."



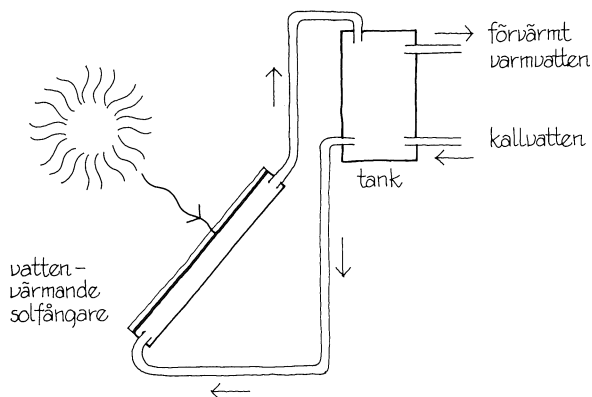
8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

Principer

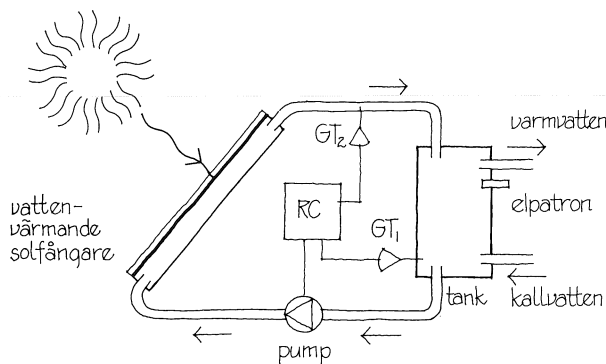
I en bostad förbrukas ca 200–300 liter 50-gradigt varmvatten per dygn. Förbrukningen varierar naturligtvis starkt från hushåll till hushåll beroende på familjens sammansättning, men också på årstid och veckodag. Förbrukningsvarmvattnet kan delvis uppvärmas med hjälp av solstrålning. I övre figuren visas ett förenklat schema för solvärmning av varmvatten. Systemet är ett s k själv-cirkulationssystem. I solfångaren uppvärms vatten, som på grund av själv-cirkulationskrafter förs upp till tankens övre del. Från tankens undre del tappas vatten som tillförs solfångarens undre del. För att själv-cirkulationen skall fungera måste tanken vara placerad högre än solfångaren. Själv-cirkulerande solvarmvattensystem utförs i regel i en enhet, som innehåller såväl solfångare som tank. I regel blir uppvärmningen ej tillräcklig för att uppnå 50 °C, vilket är den temperatur man normalt önskar på varmvattnet. Man måste därför eftervärma vattnet från tanken.

Själv-cirkulerande solvarmvattensystem måste i regel tappas när frysrisk föreligger, dvs under vintermånaderna. Risk för kokning finns i regel ej eftersom solfångarnas verkningsgrad ej är särskilt hög. Det kan nämnas att försök med en 2 m² solfångarenhet har visat att det är möjligt att värma ca 500 liter kallvatten per dygn till 30 °C under sommaren. Om man önskar 40 °C så minskas mängden till ca 200 liter per dygn.

Många gånger är det inte möjligt att placera tanken ovanför solfångaren, varför vattenflödet måste drivas med en pump, som nedre figuren visar. Pumpen startas och stoppas av en reglercentral RC. Denna reglercentral jämför temperaturgivarna GT₁ och GT₂. Om GT₂ är ett antal grader varmare än GT₁ så startas pumpen och är påslagen så länge detta villkor är uppfyllt. I tankens övre del kan man föra in en elpatron, som eftervärmer till önskad temperatur. Det är viktigt att inlopp och utlopp i tanken utformas på riktigt sätt så att man får en skiktning i tanken med varmt vatten i dess övre del och svalt vatten i dess undre del.



Principskiss till själv-cirkulerande solvarmvattensystem.



Principskiss till pumpdrivet solvarmvattensystem.

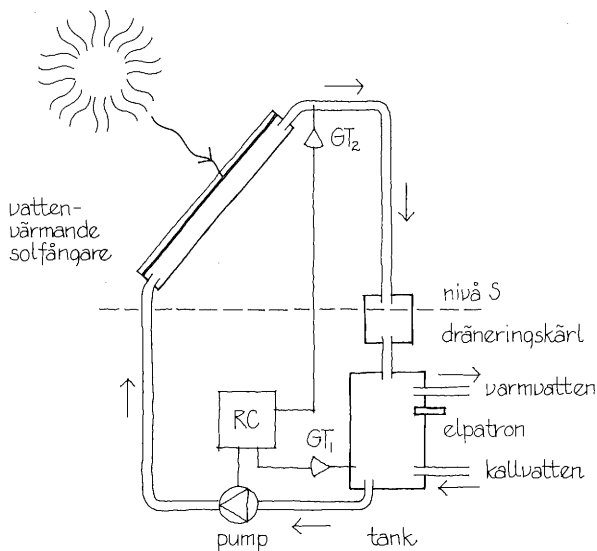
8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN Frys- och kokskydd

I klimat som Sveriges måste man ta hänsyn till frysrisken. Denna omfattar inte bara de direkta vintermånaderna, ty frysning kan förekomma under klara nätter på vår och höst. Med god kvalitet på solfångarna blir verkningsgraden ofta så hög att kokning kan förekomma. Även i sådana fall måste man vidta åtgärder så att systemet ej tar skada.

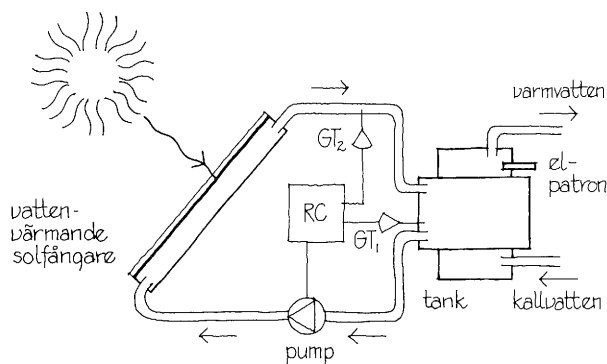
Ett vanligt system för att förhindra frysning och kokning är ett dränerande system. Solfångaren är då placerad ovanför ett dräneringskärl, som i sin tur är placerat ovanför tanken, se övre figuren. Reglercentralen kontrollerar då som tidigare temperaturerna GT_1 och GT_2 och startar pumpen vid inställd temperaturskillnad mellan GT_2 och GT_1 . När pumpen är i drift passerar vattnet solfångaren och går ned i dräneringskärl och vidare ned till tankens övre del. När pumpen stannar sjunker vattnet i solfångarna ned till nivå S, visad i figuren. Dräneringskärl är så dimensionerat att den vattenmängd, som finns i solfångarna och deras anslutningsledningar, får plats i kärlet. Solfångarna är då dränerade. Dräneringskärl måste naturligtvis vara placerat på frostfritt ställe.

Ett annat sätt att åstadkomma frys- och kokskydd är att ersätta vattnet med en annan vätska, t ex en blandning av etylenglykol (30–40%) och vatten. Tanken måste då utföras som dubbelmantlad, dvs som en värmeväxlare. I den yttre delen passerar då etylenglykollösningen, medan i den inre delen vattnet får passera. Denna värmeväxling medför att man förlorar en del av systemets verkningsgrad, vilket kommer att belysas längre fram. Vätskan i solfångarekretsen kan även utgöras av annat än glykollösningar, t ex silikonolja, vilka har mycket hög kokpunkt.

I de ovan visade systemen har eftervärmningen av varmvattnet skett med elpatron i tanken. Man kan också ha en särskild varmvattenberedare som matas med förvämt varmvatten och eftervärms med el eller hetvatten.



Dränerande, direkt system.



Indirekt system med värmeväxling.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

En amerikansk jämförelse mellan sex olika system

Vid National Bureau of Standards utanför Washington DC, USA, har sex olika solvarmvattensystem jämförts, se Liu & Fanney, 1980. Systemen, som skisserats i figuren, omfattade:

- Direkt (dränerande) vattensystem med en tank.
- Direkt (dränerande) vattensystem med dubbla tankar.
- Indirekt vattensystem med dubbelmantlad tank.
- Indirekt vattensystem med dubbelmantlad tank samt eftervärmningstank.
- Luftsolfångare med värmeväxlare (luft/vatten) och dubbla tankar.
- Självcirkulerande vattensystem med en tank.

Provingen har pågått under ett år, från juli 1978 till och med juni 1979. Man har bl a bestämt den andel av varmvattnet som försörjts genom solanläggningen (solandelen S). Därvid har man antagit att varmvattenförbrukningen är 265 liter 49-gradigt vatten per dygn. Fördelningen över dygnet är en standardiserad belastningsprofil, vilken visas i övre figuren sid 328.

Solandelen kan skrivas

$$S = 1 - \frac{W_s}{W_k}$$

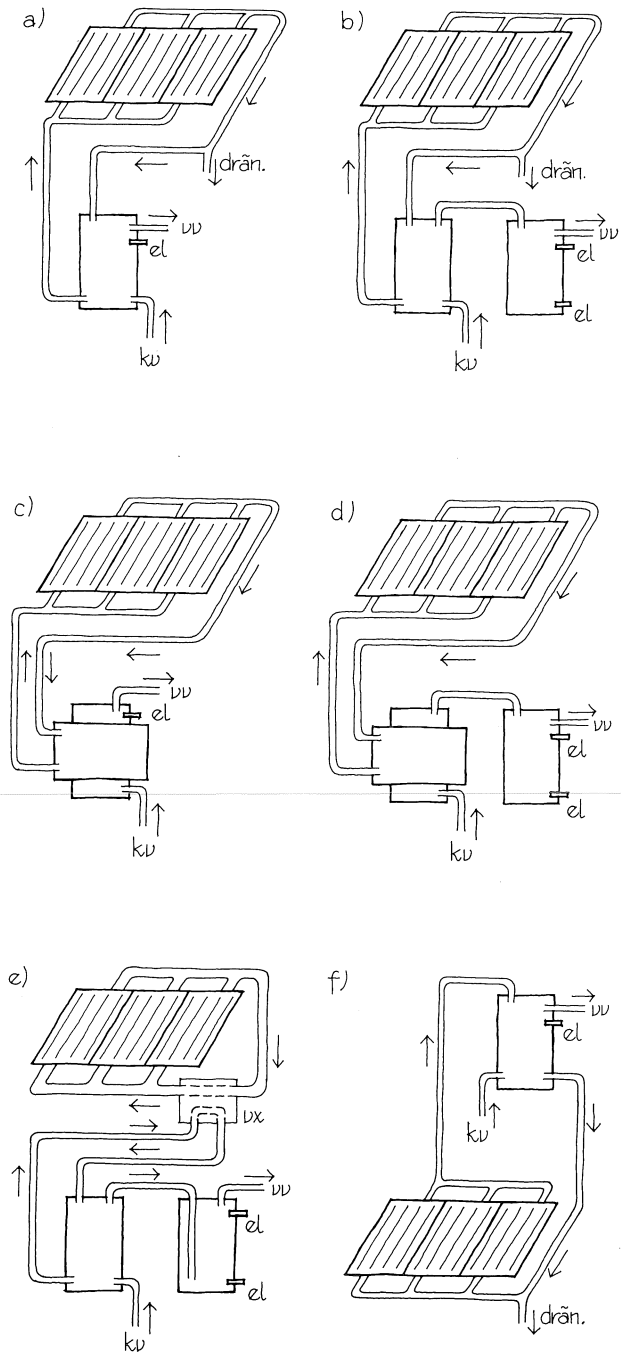
där

W_s = energiförbrukningen vid solvarmvattensystemet

W_k = energiförbrukningen vid konventionellt system

Man kan också lägga till energin, som i solvärmedelen förbrukas av pumpar, fläktar etc, W_p . Då minskar solandelen till

$$S_{tot} = 1 - \frac{W_s + W_p}{W_k}$$

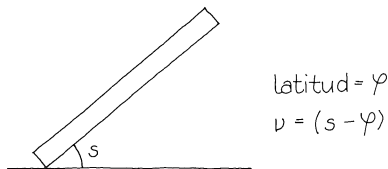


Sex olika solvarmvattensystem (Liu & Fanney, 1980).

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN De sex systemen

Vid samtliga sex system har solfångarna lutats 39° mot horisontalplanet. Nämnas bör att Washington DC ligger på latitud 39°N . Lutningen är alltså densamma som latituden, dvs $v = 0$.

Det direkta (dränerande) vattensystemet med en tank hade två solfångare om vardera $1,44\text{ m}^2$ absorbtoryta. Solfångarna är enkelglasade av glas med låg järnhalt samt antireflexbehandlade. Absorbatorytan är selektiv (svart krom), dvs högabsorberande samtidigt som den har låg emission av temperaturstrålning. Tanken har en volym av 310 liter, vilket ger 108 liter per m^2 solfångaryta. I toppen av tanken är en elpatron på 4,5 kW placerad. Tanken är värmeisolerad med 50 mm glasull. I den övre delen finns en termostat som maximerar temperaturen till 60°C . En blandningsventil reglerar ned temperaturen hos förbrukningsvarmvattnet till 49°C . En reglercentral sätter igång pumpen när temperaturskillnaden mellan absorbtorytan och tankens nedre del är större än 9°C . En temperaturdifferens mindre än ca 2°C stoppar pumpen. Vattenflödet genom absorbtorn är 1,7 liter/min. Reglercentralen öppnar även två magnetventiler för att dränera systemet när frysrisk föreligger, dvs vid utetemperatur lägre än ca $+3^\circ\text{C}$. Systemet dräneras även vid strömavbrott.



Det direkta systemet med dubbla tankar hade tre solfångare om totalt $4,32\text{ m}^2$ absorbtoryta. Förvärmningstanken är identisk med tanken i det beskrivna entanksystemet, med undantag av att elpatronen kopplats bort. Eftervärmningstanken har en volym på 159 liter. Den har två elpatroner, en i den övre delen av tanken och en i den nedre delen. Båda tankarna är värmeisolerade med 50 mm glasull. En skillnad mellan entank- och tvåtanksystemet är att det senare har förvärmningstankvolymen 72 liter per m^2 absorbtoryta.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

De sex systemen (forts)

Det indirekta vattensystemet med en dubbelmantlad tank har en tankvolym på 310 liter. Värmeväxlararean är 1,58 m². Hela tanken är värmeisolerad med 75 mm glasull. Eftervärmningen sker med en 4,5 kW elpatron i den övre delen av tanken. Systemet har tre solfångare om tillsammans 4,32 m² absorberareyta. Systemet är på solfångaresidan fyllt med en etylenglykolblandning med 40 viktprocent glykol.

Det indirekta vattensystemet med dubbla tankar är identiskt med det beskrivna systemet med undantag av att eftervärmningen sker i en tank om 159 liter, värmd med en 4,5 kW elpatron i övre delen och en liknande patron i den nedre delen.

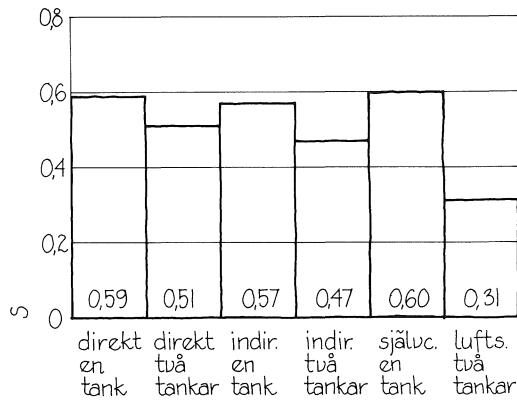
Luftsystemet utnyttjar fyra solfångare med tillsammans 6,12 m² absorberareyta. Solfångarna är dubbelglasade med en icke-selektiv absorberareyta. Luften passerar i kanaler bakom absorberarytan. Reglercentralen sätter igång luftfläkten när temperaturskillnaden mellan luften i solfångarekanalen och tanken är större än 20 °C. Den stängs av när temperaturskillnaden är mindre än 11 °C.

I det självcirkulerande vattensystemet har tanken volymen 250 liter, dvs 50 liter per m² absorberareyta. Den senare är liksom vid entanksystemet 4,32 m². Eftervärmningen sker med en 4,5 kW elpatron i tankens övre del. Frysning förhindras genom dränering på samma sätt som vid de direkta systemen. På solfångaresidan bör rördiametern vara 25 mm för att underlätta självcirkulationen.

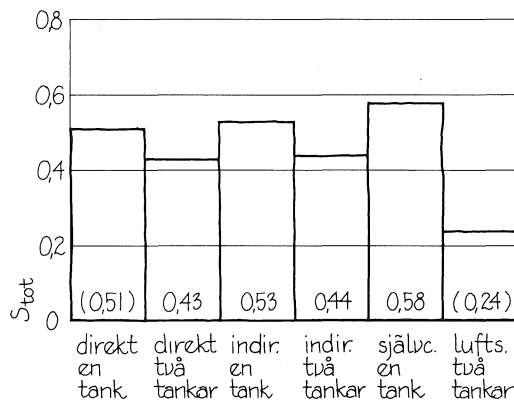
Den konventionella varmvattenvärmningen, med vilken de sex systemen jämförs, förutsätts ha en tank på 159 liter och värmeförluster av 3,1 kWh/dygn.

Det kan nämnas att jämförelse också har gjorts med olika beräkningsmetoder, bl a TRNSYS-programmet. Det visade sig bl a att detta liksom övriga beräkningsmetoder övervärderar solvärmeutnyttjandet under vintern, men att god överensstämmelse erhålls på årsbasis.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN Uppmätt solandel



Solandel S (korrigerad till lika absorbatoryta för alla systemen).



Solandel S_{tot} (korrigerad till lika absorbatoryta för alla systemen, andel inom parentes är osäker).

Under året uppmätt solandel S framgår av övre figuren. Figuren innehåller korrigerade värden på solandelen, eftersom två av systemen hade annan absorbatoryta än de andra fyra. Således har det direkta systemet med en tank korrigerats från två solfångare till tre genom en teoretisk beräkning. Likaledes har luftsolfångarnas absorbatoryta reducerats och solandelen korrigerats.

I nedre figuren visas solandelen S_{tot}, som tar hänsyn till energiförbrukningen för drivande av solvärmedelen av systemet. I denna figur har två värden satts inom parentes. Dessa värden har uppskattats av författaren till denna skrift och ej av Liu & Fanney.

Det framgår klart av de båda figurerna att tvåtank-systemen ger sämre solandel än entanksystemen. Detta beror på att värmeförlusterna från den andra tanken blir så stora att det totalt sett blir en sämre solandel, trots att förvärmningstanken i tvåtankssystemet bör ha mindre värmeförluster än tanken i entanksystemet.

Direktsystemen har något högre solandel S än de indirekta systemen. Tar man hänsyn även till energiförbrukning för pumpar etc så ger de indirekta systemen en något högre solandel S_{tot} än de direkta systemen.

Det självcirkulerande systemet med en tank ger den högsta solandelen. Detta gäller särskilt för S_{tot}, eftersom självcirkulationsystemet har små energiförluster för sin drift.

Luftsolfångaresystemet ger en mycket låg solandel. Det torde vara svårt att jämföra luftsystemet med de andra systemen, eftersom de systemmässigt är så olika. Sannolikt kan ett luftsystem konstrueras på ett lämpligare sätt, vilket både utnyttjandemässigt och kostnadsmässigt förändrar jämförelsen med de andra systemen.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

Vattenvärmande solfångare

En principskiss av en vattenvärmande solfångare visas i övre figuren. Solstrålningen, som träffar solfångarens utsida ($I \text{ W/m}^2$), transmitteras delvis genom den transparenta värmeisoleringen, ofta ett eller två skikt av glas eller plast. Den transmitterade delen ($\tau \cdot I \text{ W/m}^2$) absorberas delvis i absorberarytan ($A \text{ m}^2$), som således tillförs $a \cdot \tau \cdot I \text{ W/m}^2$. En del av den absorberade energin tillförs vattnet bakom absorberarytan medan en del återförs till uteluften genom dels det transparenta skiktet, dels den bakomvarande värmeisoleringen, nämligen $k \cdot (T_V - T_U) \text{ W/m}^2$. Den utvunna energin blir då:

$$P = F_R \cdot A [a \cdot \tau \cdot I - k \cdot (T_V - T_U)] \quad (\text{W})$$

där F_R är en utnyttjningsfaktor och T_V är medeltemperaturen hos vattnet under dess väg genom solfångaren. Verkningsgraden kan då skrivas:

$$\eta = \frac{P}{AI} = F_R a \tau - F_R \frac{k(T_V - T_U)}{I}$$

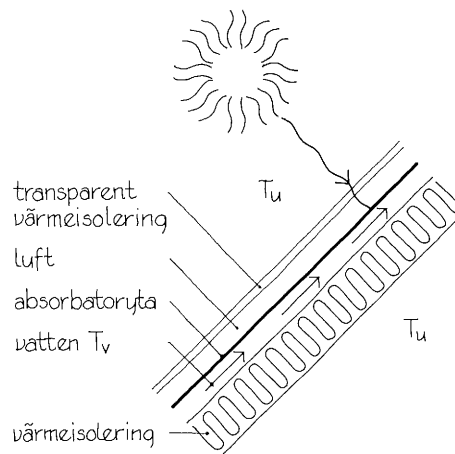
Om man sätter $T_V = T_i$, dvs lika med inloppstemperaturen hos vattnet, och endast behandlar vinkelrät instrålning (normalstrålning) så kan man skriva

$$\eta_n = F_R(a\tau)_n - F_R \frac{k(T_i - T_U)}{I}$$

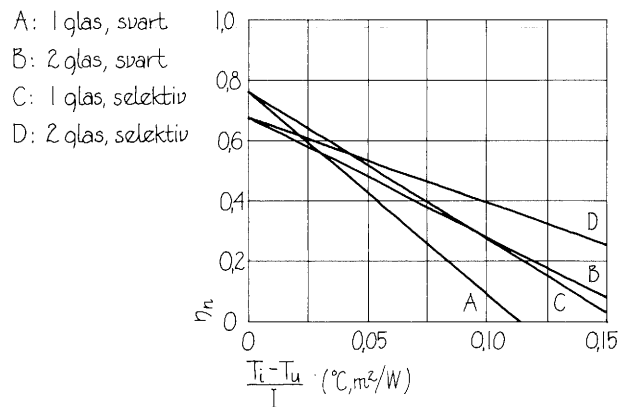
Normalverkningsgraden η_n kan alltså ritas upp i ett diagram med η_n på den vertikala axeln och $(T_i - T_U)/I$ på den horisontella axeln. Då kommer man att få en rät linje, se nedre figuren, med

lutningen: $F_R k$
avskärmningen på den vertikala axeln: $F_R(a\tau)_n$

I nedre figuren visas verkningsgradslinjer för några typiska solfångartyper. Med selektiv yta menas här att densamma absorberar solstrålningen som en svart yta men dess emission av temperaturstrålning till glasytan är liten.



Principskiss av en vattenvärmande solfångare.

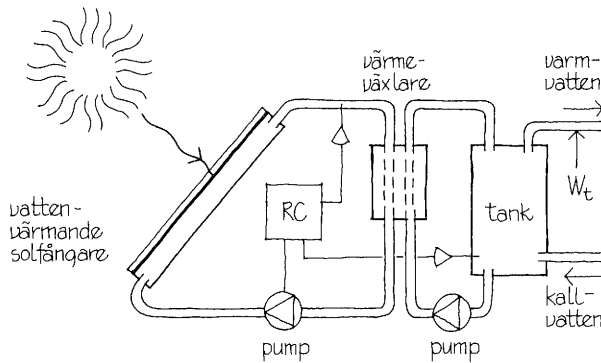


Solfångares verkningsgrad enligt Beckman et al, 1977.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN En känslighetsanalys

Många utländska studier rörande solvärmning av varmvatten är inte tillämpliga på det svenska klimatet. Därför har en känslighetsanalys genomförts med hjälp av datorprogrammet TRNSYS (Kein et al, 1973). Den systemlösning, som lagts till grund för studierna visas i figuren. Det är ett indirekt system där solfångarkretsen är försedd med antifrysätska. Valet av systemlösning innebär inte att denna är den optimala, utan snarare att en lösning måste väljas. Resultaten av känslighetsanalysen går i de flesta fall att tillämpa även på andra systemlösningar.

Det är en mängd faktorer som kan varieras när man vill studera den månatliga och årliga solandelen $S = 1 - W_s/W_k$. Dessa faktorer är bl a:



Systemskiss för känslighetsanalys.

- x solfångartyp
- x solfångarens värmeisolering
- x solfångarens (absorbatorns) area
- x solfångarens lutning (s eller v)
- x solfångarens orientering
- x tankens volym
- x tankens form
- x tankens isolering
- x tankens omgivningstemperatur
- tankens skiktning
- värmväxlarens värmeöverföring
- x pumpkapacitet
- x varmvattentemperaturen
- x varmvattenförbrukningens dygnsvariation
- x klimat och geografiskt läge
- markreflektion
- x horisontavskärmning

Alla faktorer har ej kunnat studeras utan ett val har måst göras. De faktorer som i ovanstående uppräkningslista har försetts med x skall redovisas nedan. Således har t ex tanken förutsatts vara oskiktad och markreflektionen vara = 0.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

Basfallet

När man skall göra en känslighetsanalys kan det vara lämpligt att utvälja ett basfall, från vilket de olika faktorerna varierar. Detta *basfall* har valts till:

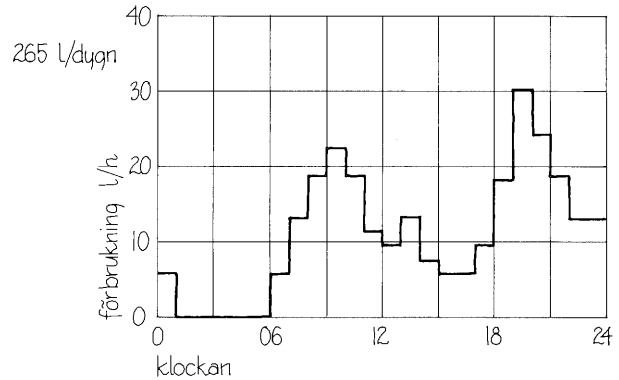
solfångartyp: enkelglasad med selektiv yta
 solfångarens värmeisolering: $m_s = 2,50 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$
 absorberarea: $A = 6 \text{ m}^2$
 lutning: $v = 0$
 orientering: sydost
 tankvolym V: $V/A = 40 \text{ liter/m}^2$
 tankens värmeisolering: $m_t = 5,0 \text{ } ^\circ\text{C}, \text{m}^2/\text{W}$
 tankens omgivningstemp: $20 \text{ } ^\circ\text{C}$
 pumpkapacitet p: $p/A = 1,0 \text{ l/min}, \text{m}^2$
 varmvattentemperatur: $50 \text{ } ^\circ\text{C}$
 dygnsvariation: se figuren
 klimat och geografiskt läge: Stockholm 1971
 horisontavskärmning: 4°

Basfallet har efter en del orienterande beräkningar valts så att det kommer i närheten av ett optimum. Detta är orsaken till att orienteringen åt sydost valts.

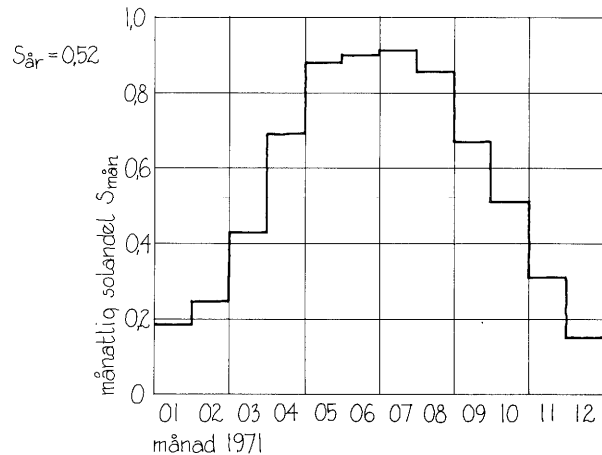
Dygnsvariationen för varmvattenförbrukningen har valts enligt belastningsprofil som föreslagits av Rand Corporation som typisk för en amerikansk familj. Som framgår av övre figuren så förutsätts de förbrukade 265 liter 50-gradigt varmvatten fördelade med huvuddelen förlagd till förmiddagen och kvällen. Utan solvärme skulle denna varmvattenförbrukning motsvara ett energibehov av 5 530 kWh/år. Detta är betydligt större än det energibehov, som man numera antar för småhus i Sverige.

Den antagna horisontavskärmningen är betingad av beräkningskäl. Det är svårt att få riktiga värden på direkt och diffus strålning för små solhöjder.

I nedre figuren visas solandelens variation månad för månad. Den är mycket hög på sommaren, men också förhållandevis hög under uppvärmningssåsongen. Över året blir solandelen 0,52.



Belastningsprofil enligt Rand Corporation.

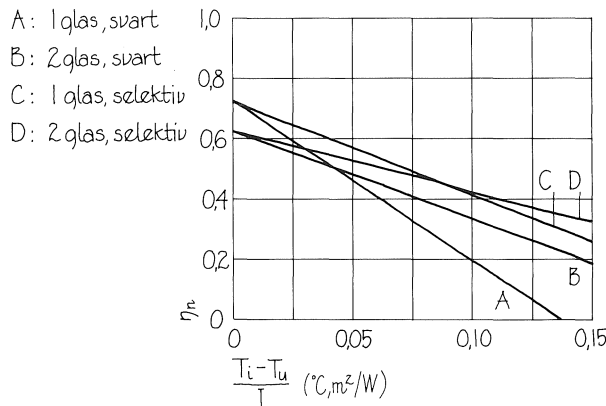


Månatlig solandel $S_{mån}$ för basfallet.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN Solfångaretyp och isolering

Månatlig solandel $S_{mån}$ och årlig solandel $S_{år}$ för olika solfångaretyper. Basfallet. Stockholm.

Månad 1971	$S_{mån}$			
	1 glas		2 glas	
	svart yta	selektiv yta	svart yta	selektiv yta
Jan	0,15	0,17	0,15	0,16
Febr	0,19	0,22	0,20	0,22
Mars	0,33	0,40	0,36	0,40
April	0,55	0,65	0,60	0,66
Maj	0,75	0,85	0,80	0,87
Juni	0,77	0,87	0,82	0,88
Juli	0,88	0,89	0,84	0,89
Aug	0,74	0,83	0,78	0,83
Sept	0,55	0,64	0,58	0,63
Okt	0,42	0,49	0,44	0,47
Nov	0,25	0,29	0,25	0,27
Dec	0,13	0,14	0,13	0,13
$S_{år}$	0,45	0,52	0,48	0,52



Solfångarnas verkningsgrad vid vindhastigheten 4 m/s.

Fyra solfångartyper har studerats, nämligen

- enkelglasade med svart yta ($a = 0,94$)
- enkelglasade med selektiv yta ($a = 0,94$, $\epsilon_1 = 0,15$)
- dubbelglasade med svart yta ($a = 0,94$)
- dubbelglasade med selektiv yta ($a=0,94$, $\epsilon_1=0,15$)

där a är absorptionen och ϵ_1 är emissionen för långvågig temperaturstrålning. De antagna verkningsgradslinjerna framgår av figuren.

I tabellen visas dels den månatliga solandelen $S_{mån}$ dels den årliga solandelen $S_{år}$ för de fyra typerna, med övriga data enligt basfallet. Det är uppenbart att det inte lönar sig att förse solfångarna med dubbla glas när det är fråga om varmvattenuppvärmning. Den vinst man gör vid dubbla glas i form av minskade värmeförluster genom glaset äts helt upp av den minskade instrålning som man får vid dubbla glas i förhållande till enkelt glas. Selektiv yta ökar emellertid solandelen i förhållande till svart yta. Den årliga vinsten kan uppskattas till ca 380 kWh/år eller ca 60 kWh/m², år vid 6 m² absorbatoryta. Med energipriset 0,20 kr/m² blir den årliga vinsten 12 kr/m². Med räntan $r = 10\%$, årlig energiprisökning $s = 14\%$ och utnyttningstiden $n = 15$ år motsvarar detta ett nuvärde av ca 240 kr/m². Detta är långt mer än kostnadsökningen för det selektiva skiktet.

Solfångarna antas i basfallet ha värmeförluster, som motsvarar en isolering bakom absorbatoren av $m_s = 2,50$ °C·m²/W. Den årliga solandelen blir då $S_{år} = 0,52$. Om m_s minskas till $m_s = 1,25$ minskar solandelen till $S_{år} = 0,51$ och om m_s ökas till $m_s = 5,0$ så ökar solandelen till $S_{år} = 0,53$. Solandelen är ganska okänslig för ändring i m_s .

Man kan våga sig på slutsatsen att det är lämpligt med

enkelglasade solfångare med selektiv yta och med ca 100 mm isolering på baksidan.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

Ort och orientering

I tabellen visas dels den månatliga solandelen $S_{mån}$, dels den årliga solandelen $S_{år}$ för *tre orter*, nämligen Malmö, Stockholm och Umeå. Jämförelsen avser basfallet och för samtliga orter har verkliga klimatdata för år 1971 tillämpats vid beräkningarna.

Av tabellen framgår att den årliga solandelen $S_{år}$ blir praktiskt taget densamma för de tre orterna. Den månatliga solandelen $S_{mån}$ skiljer sig emellertid ganska mycket för de tre orterna. För juni månad är solandelen i Malmö inte mer än 0,73, medan den i Stockholm är 0,87 och i Umeå 0,89. Detta beror på att solstrålningsförhållandena var ogynnsamma i Malmö i förhållande till de andra två orterna under aktuell junimånad.

Inverkan av solfångarens orientering, dvs det väderstreck mot vilket solfångaren är riktad, på den årliga solandelen $S_{år}$ visas i figuren. Man ser att i Malmö har man maximal solandel för orientering mot söder, medan orientering åt sydost eller nära sydost är bäst för Stockholm och Umeå. Detta är något förvånande och synes bero på att man i de senare orterna har mera molnighet på eftermiddagarna än på förmiddagarna. En annan, men en mindre dominant orsak, är att större delen av varmvattenförbrukningen är koncentrerad till kvällen.

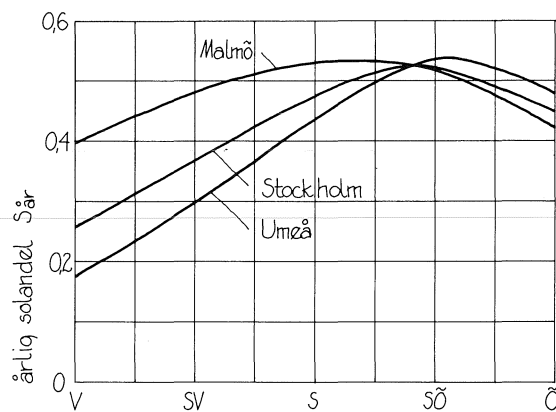
Följande två *slutsatser* kan dras:

Den årliga solandelen är mer eller mindre oberoende av ortens belägenhet för de tre studerade orterna

Söder-sydost synes vara lämpligt väderstreck, åt vilket solfångare bör orienteras.

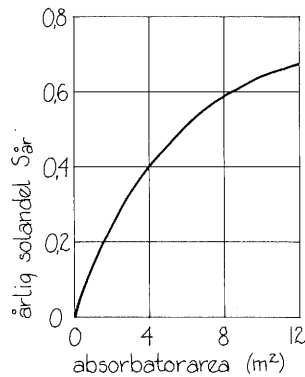
Månatlig solandel $S_{mån}$ och årlig solandel $S_{år}$ för olika orter.

Månad	$S_{mån}$		
	Malmö	Stockholm	Umeå
1971			
Jan	0,14	0,17	0,05
Febr	0,28	0,22	0,24
Mars	0,46	0,40	0,62
April	0,64	0,65	0,80
Maj	0,85	0,85	0,82
Juni	0,73	0,87	0,89
Juli	0,87	0,89	0,90
Aug	0,87	0,83	0,83
Sept	0,67	0,64	0,74
Okt	0,54	0,49	0,48
Nov	0,24	0,29	0,22
Dec	0,13	0,14	0,01
$S_{år}$	0,52	0,52	0,54



Inverkan av det väderstreck, som solfångaren är orienterad mot.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN Area och lutning



Absorbatorareans inverkan på årlig solandel $S_{\text{år}}$. Basfallet. Stockholm.

Lutningens inverkan på årlig solandel, $S_{\text{år}}$, för olika breddgrader. Basfallet. (s = lutning mot horisontalplanet och φ = latitud).

Lutning ($s - \varphi$)	$S_{\text{år}}$		
	Malmö 55,6°N	Stockholm 59,4°N	Umeå 63,8°N
− 30	0,51	0,50	0,52
− 20	0,52	0,52	0,53
− 10	0,52	0,53	0,54
0	0,52	0,52	0,54
+ 10	0,49	0,50	0,52
+ 20	0,46	0,48	0,49
+ 30	0,41	0,43	—
(vertikal)	0,39	0,43	0,46

För basfallet har *absorbatorytans storlek* varierats och den årliga solandelen beräknats. Den visas i figuren. En ökning av absorbatorytan från

2 till 4 m² ger en ökning i $S_{\text{år}}$ med 0,157
4 till 6 m² ger en ökning i $S_{\text{år}}$ med 0,107
6 till 8 m² ger en ökning i $S_{\text{år}}$ med 0,071

Ökningen av absorbatorytan från 2 m² till 4 m² ger en årlig energibesparing av ca 900 kWh, dvs med energipriset 0,20 kr/kWh en årlig besparing av 180 kr/år. Per m² absorbatoryta blir den årliga besparingen 90 kr/m², år. Med räntan $r = 10\%$, den årliga energiprisökningen $s = 14\%$ och utnyttningstiden $n = 15$ år blir tillåten investeringsökning ca 1 800 kr/m². Detta är mera än den verkliga kostnaden per m² solfångareyta. En ökning från 4 m² till 6 m² ger en årlig energibesparing på ca 600 kWh/år. Den tillåtna investeringskostnaden blir ca 1 200 kr/m², vilket också torde vara mer än den verkliga kostnaden. Ytterligare ökning från 6 m² till 8 m² ger en årlig energibesparing av ca 400 kWh/år. Den tillåtna investeringsökningen blir då 800 kr/m², vilket kanske är i underkant av verklig kostnad.

I tabellen visas lutningens inverkan på den årliga solandelen $S_{\text{år}}$. Lutningen s mot horisontalplanet har satts i relation till ortens latitud så att $v = s - \varphi$. Man ser av tabellen att lutningen v kan variera mellan -30° och $+10^\circ$ utan att solandelen väsentligt ändras. Vertikalt anbringade solfångare får en mindre solandel men man bör i praktiska tillämpningar kunna utföra ytan utanför en sådan vertikal solfångare med reflekterande material, t ex kvartsgrus, och därmed väsentligt öka markreflektionen.

Slutsatserna blir:

Solfångarean (absorbatorytan) bör väljas 6–8 m²

Lutningen kan väljas ganska fritt.

8.14 SOLVÄRMT VARMVATTEN

Tankvolym m m

I figuren visas hur *tankvolymen* påverkar den årliga solandelen $S_{\text{år}}$. Man ser av tabellen att det knappast är lönsamt att öka densamma utöver 40 liter per m^2 absorbatoryta. Det torde vara acceptabelt med 20 l/m^2 .

Tankens *värmeisolering* har också varierats från $m = 2,50 \text{ } ^\circ\text{C},m^2/W$ till $m = 10 \text{ } ^\circ\text{C},m^2/W$, vilket motsvarar isoleringstjocklekar från 100 mm till 400 mm mineralull. Den årliga solandelen ökar vid ökad isoleringstjocklek.

I basfallet är *tanken placerad i rumstemperatur*. Med värmeisoleringen $m = 5,0 \text{ } ^\circ\text{C},m^2/W$ så minskas solandelen $S_{\text{år}}$ endast från 0,52 till 0,51 om tanken istället placeras i utetemperaturförhållanden.

En förändring av pumpkapaciteten från 0,5 l/min per m^2 absorbatoryta till 1 $l/min,m^2$ ökar den årliga solandelen från 0,48 till 0,52. Ökning från 1 till 2 $l/min,m^2$ minskar solandelen från 0,52 till 0,51.

Varmvattentemperaturen har också varierats från 40 $^\circ\text{C}$ till 60 $^\circ\text{C}$. Detta medför en ändring i den årliga solandelen från 0,54 till 0,50, alltså ej helt obetydligt.

Varmvattenförbrukningens dygnsvariation har liten inverkan på den årliga solandelen så länge tankvolymen är 40 l/m^2 .

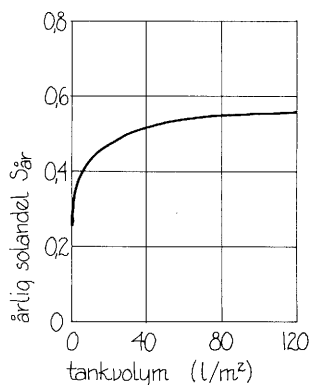
Horisontavskärmningens inverkan på den årliga solandelen vid olika orientering av solfångaren visas i tabellen. Dess inverkan är betydande.

Följande *slutsatser* kan dras:

Tankvolymen bör vara 20–40 liter pr m^2 absorbatoryta

Tankisolering, tankplacering, varmvattenförbrukningens dygnsvariation samt pumpkapacitet har liten inverkan på den årliga solandelen

Varmvattentemperaturen har viss och horisontavskärmningen en betydande inverkan på årlig solandel.



Inverkan av tankvolym per m^2 absorbatoryta på den årliga solandelen. Basfallet. Stockholm.

Horisontavskärmningens inverkan på årlig solandel $S_{\text{år}}$. Basfallet Stockholm.

Horisont- avskärm- ning	$S_{\text{år}}$ vid orientering åt				
	V	SV	S	SO	O
4°	0,26	0,37	0,48	0,52	0,45
10°	0,25	0,35	0,44	0,47	0,40
15°	0,24	0,33	0,41	0,42	0,37
20°	0,23	0,31	0,38	0,39	0

8.15 VÄRMEPUMP Teori

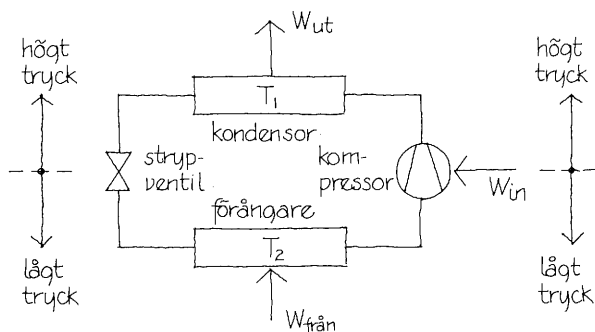
Om vi har värme tillgängligt vid låg temperatur, t ex genom att sänka temperaturen hos ett medium från 10 °C till 5 °C, så kan denna temperaturnivå höjas, t ex till mellan 50 °C och 45 °C, genom insats av mekaniskt arbete, i praktiken likvärdigt med elkraft. Detta kallas för en värmepumpprocess.

Teoretiskt skulle en värmepump kunna avleverera värmemängden W_{ut} vid temperaturen T_1 (K) genom att sätta in det mekaniska arbetet W_{in} och utnyttja en långvägig värmekälla med temperaturen T_2 (K):

$$W_{ut} = W_{in} \frac{T_1}{T_1 - T_2}$$

Om vi således önskar höja vattentemperaturen i ett hus till 50 °C (323 K) genom att utnyttja energi vid 10 °C (283 K) så blir $W_{ut}/W_{in} = 323/40 = 8$. Vi skulle således kunna avleverera 8 ggr mer energi än vårt insatta arbete. Detta är emellertid *ren teori*. I praktiken får man vara glad om man kan få ut 2,5 ggr det insatta arbetet eller elkraften.

Den vanligaste värmepumpprocessen baseras på kompressionsvärmepumpen. Denna visas i figuren. Den bygger på principen att vätskors kokpunkt är beroende av trycket, ju högre tryck desto högre kokpunkt. Man har en lågtrycksida (nedre delen) och en högtrycksida (övre delen). Till kompressorn kommer en gas med lågt tryck och temperaturen T_2 . Dess tryck höjs genom kompressorn och dessutom värms gasen vid kompressionen. När gasen går genom kondenseringsbatteriet med temperaturen T_1 så kondenserar gaserna (på grund av det höga trycket kan T_1 vara hög). Gasen blir vätska, som passerar genom en strypventil. I denna sänks trycket till lågtrycksnivån. När vätskan kommer till förångningsbatteriet med temperaturen T_2 så börjar den koka och ta upp värme, varefter den i gasfas går vidare till kompressorn. Vid normalt använda vätskor är T_1 begränsad till 55 °C.



$$\text{värmefaktor } \phi = \frac{W_{ut}}{W_{in}}$$

8.15 VÄRMEPUMP

Värmekällor

Kompressionsvärmepumpen kan hämta värme på olika ställen. Några av de vanligaste är

uteluft
jorden på 1–1,5 m djup
grundvatten (pumpas upp, kyls och återförs)
sjö- eller åvatten
avloppsvatten
ventilationsfrånluft

Uteluftens temperatur varierar mycket och vid låga utetemperaturer blir *värmeutbytet (värmefaktorn)* W_{ut}/W_{in} litet. Praktiskt taget hela effekten måste vid låg utetemperatur tillföras med elkraft. Man har dessutom ett kondensations- och nedisningsproblem. Uteluften har hög relativ fuktighet och en liten temperatursänkning ger kondens.

Jorden på 1–1,5 m djup håller på vintern i regel plusgrader. Man kan alltså leda en vätska i slangar på 1–1,5 m-nivån och värma vätskan några grader. Det behövs emellertid hundratals meter slang och för en normal villa krävs det en areal på mer än 500 m². Fördelen med yttjordvärme är att pumpen arbetar under ganska konstanta temperaturförhållanden. Värmefaktorn varierar under året och blir som lägst ca 2 vid en bra pump. Över året bör 2,5 uppnås.

Grundvatten och rinnande vatten håller också plusgrader under vintern och är således lämpliga som värmekällor. Man måste emellertid vara observant på föroreningar i vattnet. Värmefaktorn blir samma som vid yttjordvärme.

Avloppsvatten erbjuder en hel del problem och bör endast utnyttjas i stora centrala anläggningar.

Ventilationsfrånluften är en lämplig värmekälla. Den håller hög och konstant temperatur 20 °C, vilket ger goda driftsförhållanden och god värmefaktor. Den bör vid goda anläggningar ej underskrida 3–3,5.

8.15 VÄRMEPUMP Hur mycket värme kan man få?

Om vi har en värmepump med värmefaktorn ϕ så kan vi få ut:

$$W_{\text{ut}} = W_{\text{in}} \cdot \phi \quad (\text{Wh})$$

Från värmekällan tar vi då ut:

$$W_{\text{från}} = W_{\text{ut}} - W_{\text{in}} = W_{\text{ut}} \cdot \frac{\phi - 1}{\phi} \quad (\text{Wh})$$

Ofta är det den tillgängliga energin från värmekällan som är dimensionerande för värmeuttaget, dvs

$$W_{\text{ut}} = \frac{\phi}{\phi - 1} W_{\text{från}} \quad (\text{Wh})$$

Låt oss som exempel ta en frånluftsvärmepump för en villa. Då bestäms frånluftsmängden av antalet luftomsättningar per timme enligt byggnormen, dvs 0,5 oms/h. Med en volym i villan = 250 m³ blir då frånluftsmängden 125 m³/h. Om vi antar att vi kan kyla ned frånluften från 21 °C till 5 °C, så blir den tillgängliga värmeeffekten hos värmekällan:

$$P_{\text{från}} = 0,33 \cdot 125 (21 - 5) = 660 \text{ W}$$

och den tillgängliga uteffekten vid värmefaktorn $\phi = 3$:

$$P_{\text{ut}} = \frac{3}{3 - 1} \cdot 660 = 990 \text{ W}$$

Förbrukningsvarmvattnet tar genomsnittligen 400 W (årsförbrukningen = 3 500 kWh) och vi får således ett överskott $P_V = 590 \text{ W}$, vilket kan utnyttjas för att värma huset.

Antar vi att den nämnda villan är mycket energisnål med de specifika förlusterna (transmissions- och ventilationsvärmeförluster) $F = 100 \text{ W/}^\circ\text{C}$ samt vidare att boendevärmen från personer, elektriska apparater m m motsvarar $P_{\text{bo}} = 400 \text{ W}$, så räcker frånluftsvärmeförlusterna till att värma villan ned till en utetemperatur

$$T_u = T_i - \frac{P_V + P_{\text{bo}}}{F} = 21 - \frac{990}{100} = 11 \text{ }^\circ\text{C}$$

En viss del av en villas värmeförbrukning kan således täckas av frånluftsvärmepumpen.

8.15 VÄRMEPUMP

Lönsamhet

En värmepumpanläggning för en villa är relativt dyrbar om man räknar in alla kostnader som hänger samman med installationen. En frånluftsvärmepump kostar kanske 15 000 kronor, men har en begränsad värmeavgivning. En ytjordvärmeanläggning kostar 40 000–80 000 kronor, beroende på storlek och lokala förhållanden. Uteluft- och grundvärmepumpanläggningar ligger någonstans mellan dessa ytterligheter. Hur skall man då bedöma om det är lönsamt att installera en värmepump?

Gäller det en befintlig villa med känt nettovärmebehov W_{ut} , t ex 35 000 kWh (ca 5 m³ olja), så är bedömningen ganska enkel. Man multiplicerar nettovärmebehovet med den genomsnittliga värmefaktorn under året $\phi_{år}$ och får då el-energibehovet för kompressorn ($W_{in} = W_{ut} \cdot \phi_{år}$). Den årliga besparingen blir då oljekostnaden per år minskad med elkostnaden för värmepumpen. Från besparingen måste vi avräkna en rimlig underhållskostnad och får då en nettobesparing per år, vilken skall betala investeringen.

Vid nya hus är det mera komplicerat. Då är inte nettovärmebehovet givet. Vi kan ju i projekteringsstadiet ändra på isoleringstjockleken och överväga om vi skall ha värmeåtervinning, etc. Man optimerar först huset utan värmepump efter det energipris som då gäller och bestämmer byggnadskostnaden K_1 och den årliga driftskostnaden k_1 . För värmepumpalternativet tar man elpriset och dividerar detta med årsvärmefaktorn $\phi_{år}$. Vi får då energipriset efter värmepumpen, t ex $0,30/2,5 = 0,12$ kr/kWh. Huset optimeras efter detta lägre energipris, vilket ger mindre isolertjocklekar, ingen värmeväxlare, osv. Detta ger lägre byggnadskostnader än i det första alternativet men också större nettovärmebehov W_{ut} . Kompressorns el-energibehov blir $W_{in} = W_{ut}/\phi_{år}$ och vi kan bestämma den årliga elkostnaden. Om vi från denna drar en rimlig underhållskostnad så får vi de årliga driftskostnaderna k_2 . Kostnaden för värmepumpen minus de minskade byggnadskostnaderna är K_2 och skillnaden i driftskostnad ($k_2 - k_1$) skall då betala den ökade investeringen ($K_2 - K_1$).

8.15 VÄRMEPUMP

Några frågor att ställa

Det finns en uppsjö av värmepumpar på marknaden för olika värmekällor. Innan man bestämmer sig för en värmepump bör man noga försöka få svar på ett antal frågor, t ex följande:

- 1 Är värmepumpen typgodkänd?
- 2 Hur stor är den årliga värmefaktorn? Är den teoretiskt beräknad, t ex enligt typgodkännanderegler? Finns mätvärden?
- 3 Vad blir de årliga underhållskostnaderna? Finns dokumentation? Be om en referenslista på utförda anläggningar så ni kan fråga dem som har erfarenhet.
- 4 Vilken serviceorganisation finns tillgänglig? Kan man få hjälp en lördagskväll? Kan man lita på detta eller måste man skaffa sig någon reservmöjlighet?
- 5 Vad blir det genomsnittliga energipriset med värmepumpen?
- 6 Be om en undertecknad kalkyl på drifts- och anläggningskostnader inkl kringkostnader. Fråga dem som har erfarenhet (referenslistan).
- 7 Är grundvattnet eller sjövattnet lämpligt? Kan det bli utfällningar? Är vattnet, eller kan det bli, salthaltigt? Garanti?
- 8 Vilken garanti lämnar säljaren? Garanterar han skriftligen för lämnade uppgifter?

Det är nog större risk för att man misstar sig på den tekniska funktionen som årsvärmefaktor, underhåll, service, utfällningar och livslängd än att man inte lyckas förhandla sig till lägsta pris. Kan man få funktionsgaranti, fullservicekontrakt under längre tid etc så motiverar detta ett högre pris.

Marknadsutbudet på värmepumpar är som sagt stort. Det finns stora rikstäckande företag med måttlig service och små lokala tillverkare med mycket god service. Det finns gamla konstruktioner som man har erfarenhet av men också nya, modernare, som dock funnits endast en kort tid i marknaden. Valet är inte lätt.

9. OM PROJEKTERINGS- HJÄLPMEDEL

- 9.1 OM ATT SKAPA ETT SOLVÄRMT LÅGENERGIHUS
- 9.2 SKUGGSTUDIER
- 9.3 OM STRATEGIER
- 9.4 VAL AV DELSYSTEM
- 9.5 BYGGNADENS TERMISKA EGENSKAPER
- 9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV

9.1 ATT SKAPA ETT SOLVÄRMT LÅGENERGIHUS Brukningsmönster

Ett nytt sätt att leva

När man skall projektera ett lågenergihus så måste detta naturligtvis ske med utgångspunkt från brukarnas krav och önskemål. I vissa fall är brukarna kända — det kan vara en känd familj, en företagare som skall bygga ett kontor eller en skolmyndighet som skall bygga en skola. När det gäller bostäder är brukarna oftast okända och det gäller att utforma desamma med stor generalitet. Brukarna företräds av byggherren men ofta också av myndigheter som ställer krav på bostaden, t ex den långgivande myndigheten. Arkitekten är emellertid den främste företrädaren för brukaren och han/hon får inte lämna detta ansvar ifrån sig till vare sig byggherre eller myndighet.

Den första frågeställningen som kommer upp vid projekterings början är *brukaremönstret för byggnaden*. Skall utrymmena kunna utnyttjas vid vilken tidpunkt på dygnet som helst och när som helst under året? Detta kan vara fallet i ytsnåla bostäder eller lokaler, där utrymmena kan utnyttjas för ett flertal ändamål och därför får lång utnyttjningstid. Eftersom byggnadskostnaderna har rasat i höjden under senare år så kan man förvänta sig att ytsnålhet och flerändamålsutnyttjande blir vanligare än förr.

Vid större differentiering av verksamheter kan man tänka sig att temperatur och ventilation i de olika utrymmena varieras efter ett dygnsschema eller vid kontor och skolor med låg utnyttjning (20—25 % av veckans timmar) ett veckoschema.

Vid bostäder kan man tänka sig att expandera och förminska bostadsytan efter årstiderna. Detta var förr det traditionella sättet att leva. Man kan vid lågenergihus tänka sig att vissa utrymmen med sämre värmeisolering står uppvärmda under vintern. Glasade rum är också utrymmen som kan vara outnyttjade under vintern. Olika brukningsmönster är förtecknade under "BM Brukningsmönster" i avsnitt 9.4 Val av delsystem.

Många lågenergihus och solhus har blivit en manifestation över ett nytt sätt att leva. Detta återspeglas av att brukarna måste vara mera aktiva beträffande husets skötsel än vad som är vanligt vid normala bostäder.

Ett uttryck för detta nya sätt att leva är ofta ett *växtrum* som direkt anslutits till byggnaden. Detta glasade rum kan vara klimatiserat endast under vår—sommars—höst och då vara enkelglasat. Man kan minska värmeförlusterna under natten med en nattisolering eller minska förlusterna under vintern genom att då värmeisolera glasytorna. Enkelglasade växtrum måste vara uppvärmda under vintern då i annat fall värmeförlusterna blir för stora. Man kan naturligtvis tänka sig att dubbel- eller trippelglasa växtrum och hålla dessa helt eller delvis uppvärmda under vintern. Valet av växter blir helt beroende av antalet glas och uppvärmningsgraden. I avsnitt 9.4 visas under SR Solrum några alternativ.

Fönsterstorlek tycks också vara en personlighetsfråga. Många människor vill ha stora fönster för kontakt med trädgården och för att känna solvärmens strömma in under de soliga vårdagarna, medan andra tycks finna livet mera tilltalande i hus med små, spröjsade fönster, som påminner om forna tiders stugor. Fönsterstorlek måste noga diskuteras. För att undvika övervärme under sommaren så måste man förse stora fönster med något slag av solskydd. Dessa kan vara skuggande taköverhäng, balkonger, markiser, persienner eller gardiner. Man måste ta ställning till om solskydden skall skötas dagligen eller om de kan ställas om några gånger om året, vilket kan ske med skuggande skärmar.

Nattisolering av fönster kräver också daglig skötsel om de skall vara till väsentlig nytta. Man kan emellertid tänka sig att under vintern tilläggsisolera vissa fönster, särskilt norrfönster. *Valet står i regel mellan daglig skötsel och åtgärdande några gånger per år.*

9.1 ATT SKAPA ETT SOLVÄRMT LÅGENERGIHUS

Tekniska system mm

Tomtens förutsättningar

Vi börjar nu närma oss de tekniska systemen, vilka i större eller mindre grad lämnar brukaren oberörd. Värmeisoleringen i ytterväggar och tak är ointressant för brukaren så länge som den är ekonomisk. Likaledes är brukaren i regel ointresserad av om man har betongbjälklag med stor värmelagrande förmåga. Han är intresserad av om solvärmeutnyttjandet ger lägre uppvärmningskostnad.

Brukarna är däremot intresserade av om valda tekniska system kan ge skötselbesvär eller skötselkostnader. Likaledes är brukaren intresserad av driftsäkerheten hos de valda systemen, samt av möjligheten att reparera eller byta ut desamma.

I avsnitt 9.4, Val av delsystem, har samlats ett stort antal alternativ för energirelaterade delsystem. Avsnittet tjänar syftet som checklista, som tvingar projektören till ställningstagande. Den utnyttjas lämpligen som en diskussionsmall när man börjar att diskutera projektet med brukaren eller byggherren. Den kan också vara utgångspunkt för en diskussion inom en projektörsgrupp rörande ett lågenergi-projekt.

Kylning har blivit ett fult ord i energibesparingsstider. Därvid binder man tanken vid mekanisk kylning och försummar den naturliga kylning som ventilation utgör. Särskilt om natten sänker ventilationen byggnadens temperatur och värmelagring kan behålla denna kyleffekt till dagtid. Detta måste emellertid ingå i projekteringen. Nattventilation kan många gånger vara omöjlig att genomföra på grund av felaktiga fönster och felaktig fönsterplacement.

När det gäller hyreshus så är de två sista delsystemen i avsnitt 9.4 viktiga. Det är system som kan påverka brukarens konsumtion eller driftpersonalens skötsel. Dessa system bör tas upp till diskussion redan på projekteringsstadiet.

Tomtens storlek, lutning, orientering och omgivning har stort inflytande på utformningen av ett lågenergihus. Kontakten med trädgård och utsikt samt solvärmeutnyttjandet sammanfaller inte alltid med varandra. Trädgården och utsikten kan vara åt öster eller väster medan söderfasaden lämpligen används för solvärmeutnyttjande. I sådana fall kan man vara tvingad att göra en kompromiss där direktinstrålningen genom fönstren kombineras med utsikt och trädgårdskontakt genom sydväst- eller sydostorientering av fönsterfasaden. Man kan också tänka sig att helt skilja mellan trädgårdskontakt och utsikt samt solvärmeutnyttjande genom att låta söderfasaden vara enbart solfångande i form av solvägg på sätt som visats i avsnitt 8.7—8.9. Tyvärr har vi i Sverige ingen erfarenhet av sådana solväggar mer än på forskningsstadiet.

Verkligheten bjuder i allmänhet inte på de idealiserade förhållanden som allmängiltiga beräkningar förutsätter. Många beräkningar förutsätter en helt fri horisont, som ger maximal solinstrålning. Vidare tar man inte hänsyn till insynförhållanden, som ofta gör det omöjligt att låta solinstrålningen vara helt oskärmad. Därför har mätningar visat att man inte i praktiken fått det solvärmeutnyttjande som man förutskickat under projekteringsstadiet. Det är därför nödvändigt att redan vid projekterings början bedöma om tomten är lämpad för ett lågenergihus med solvärmeutnyttjande eller om ett lågenergihus med mindre fönsterytor är lösningen. Lösningen kan också vara att byta tomt.

När man planerar för solvärmeutnyttjande måste man också bedöma om det i framtiden finns risk för att hus eller träd kan komma att skymma solen. Solvärmeutnyttjande kräver kostnader som i sin tur måste amorteras under en viss tid och det är då viktigt att förutsättningarna ej förändras under denna tid.

9.1 ATT SKAPA ETT SOLVÄRMT LÅGENERGIHUS

Om givna och valda förutsättningar

När man står inför en projekteringsuppgift, stor eller liten, söker man göra klart för sig vilka förutsättningar som gäller. Ett sätt är att strukturera dessa efter graden av bundenhet tex i givna och valda förutsättningar.

Till de givna hör i detta sammanhang t ex nordlig breddgrad, lokal- och närlimat, tomtens orientering och belägenhet med avseende på bl a skärmning, topografi, markbeskaffenhet, värdefulla träd etc. Hit hör också lagar, bestämmelser och normer som reglerar vårt byggande, el-, va- och värmeförserjning.

Till de valda förutsättningarna hör, när man diskuterar i termer av energihushållande, de krav och behov som skall tillgodoses inom ramen för byggherrens önskemål och möjligheter, exempelvis inre komfort och klimathållning, lönsamhet, förhållningssätt till hus uttryckt i värderingar och engagemang, tillgänglig tid för skötsel, drift och underhåll samt i sättet att leva med huset eller att anpassa huset till rådande klimatförutsättningar, årstidsvis eller timvis.

En uppdelning i givna och valda förutsättningar är inte alltid så lätt. En gränsdragning mellan dem kan ibland upplevas som oklar beroende på om det är samhällets krav och/eller byggherrens som betraktas som givna. En till synes given förutsättning kan ibland ifrågasättas och omprövas.

De valda förutsättningarna framkommer under processens gång genom diskussioner, värderingar, beräkningar och utformningsförslag. Vissa av dessa förutsättningar, möjligheter och önskemål får ibland ställas på framtiden i avvaktan på prisutveckling, taxesättning, skatter, finansiering eller utifrån privata skäl och prioriteringar.

9.2 SKUGGSTUDIER

Att utnyttja ljus och skugga är en grundförutsättning för arkitektonisk gestaltning. Vad ljus och skugga betyder för en god energihushållning har ingående behandlats i denna bok.

Skuggstudier är därför ett viktigt komplement till energibalansberäkningarna. Med hjälp av grafiska eller fotografiska studier, som är tids- och solhöjdsdaterade, kan man skaffa sig en bra bild av avskuggningens storlek olika tider på dagen resp under olika årstider. Speciellt intressant är detta givetvis sommartid, men också med tanke på solintensiva tillfällen vår och höst då tillskottsvärmen inomhus kan bli besvärande.

Skuggsituationen i byggnadens näromgivning bör också studeras. Skuggzoner invid huset är inte bara en trivselfråga solheta dagar utan också av betydelse för klimathållningen inomhus.

Hjälpmiddel för skugg- och solstudier finns beskrivna i avsnitt 4.6. Dataprogrammet MEPA, ett energiberäkningsprogram för arkitekter, har ett programelement där skuggbilden för ett fönster i ett givet ögonblick redovisas på bildskärmen samtidigt som andelen skuggad yta anges i procent av fönsterytan.

Fortsatt utveckling av MEPA avser bl a att med hjälp av CAAD ta fram program för perspektiviskt redovisade skuggsituationer där momentana eller ackumulerade skuggvärden kan kopplas till energibalansberäkningen för hela byggnaders solvärmestillskott via fönster med olika avskuggningsförhållanden.

När man vet andelen avskuggad fönsteryta kan energibalansberäkningen baseras på verklig solmottagande fönsteryta och därmed ge mer rättvisande värden vid temperatur- och energibehovsberäkningar.

Med hjälp av endera grafiska, fotografiska eller databeräknade skuggsituationer kan arkitekten spela med effekten av skuggande träd, skärmande byggnader och/eller byggnadsdelar som taksprång, balkonger och skärmar eller med rörliga markiser, som direkt anpassas till önskvärd avskuggning. Förutom energimässiga fördelar ges också påtagliga trevnadsvärden såväl utomhus som inomhus.

9.3 OM STRATEGIER

I valet av lösning eller system av lösningar för en god och realistisk energihushållning gäller det att välja rätt, så att konflikt inte uppstår mellan olika system eller åtgärder. Det är därför viktigt att ha en strategi för prioritering och val av slutgiltiga lösningar. I valet mellan mångfalden av möjligheter, åtgärder och komponenter är det oftast ett mindre antal samvalda insatser som leder till ett acceptabelt resultat.

Det gäller därför att grundligt analysera krav, behov och önskemål och börja med de mänskliga och personrelaterade, dvs de sociala, funktionella, estetiska och ekonomiska, med avseende på förväntad miljö, inneklimat m.m. Därefter väljs gestaltungs-mässiga och byggnadstekniska lösningar som tillgodoser ställda krav och önskemål beträffande funktion och livskvalitet i boendet eller i arbetet.

Nästa fråga är: Vilka möjligheter till försörjning och klimathållning ger tillgängliga tekniska system för uppvärmning och ventilation och hur kan man interaktivt finna former för en god samverkan mellan huset och dess kompletterande klimathållningssystem?

Sist i den strategiska modellen kommer anläggnings- och driftskostnader, tillförlitlighet, säkerhet och underhållsaspekter samt värderingar, drift- och utnyttjandetider, livslängd och inte minst lönsamhet för delar såväl som helhet.

Det är troligt att när de sociala, miljömässiga, tekniska och ekonomiska utfallen ställs mot varandra får förslag på olika nivåer i den strategiska modellen omprövas med hjälp av beräkningar, ny plan- och byggnadsutformning, val av andra material och kanske en förenklad teknik.

Om möjligt bör framtida förhållanden inkluderas i slutvärderingen, detta för att man skall kunna dels avgöra vald satsnings värde och kostnad, dels hålla öppet för framtida kompletteringar med energieffektivare komponenter och system.

9.4 VAL AV DELSYSTEM Delsystem

En byggnads integrerade energisystem består av ett stort antal delsystem. Dessa kan vara brukarorienterade eller mera tekniskt orienterade. Nedanstående uppställning har prövats vid ett stort antal lågenergiprojekt och befunnits brukbar:

- BM: Brukningsmönster
- HS: Hygieniskt system
- SR: Solrum (växthus, glasverandor etc)
- FS: Fönsterstorlek
- FO: Fönsterorientering
- FK: Fönsterkonstruktion
- SS: Solskydd vid fönster
- BE: Belysning
- NI: Natt- och säsongisolering av fönster
- YV: Ytterväggar
- TV: Tak och vindsbjälklag
- LB: Värmelagring i stomme och inredning
- LS: Separat värmelagring
- VS: Ventilationssystem
- RV: Reglering av ventilationen
- EO: Energiomvandlingssystem
- ÅV: Återvinning från ventilation
- ÅA: Återvinning från avlopp
- US: Uppvärmningssystem
- RU: Reglering av uppvärmning
- KS: Kylningssystem
- RK: Reglering av kylning
- KP: Konsumtionspåverkan på brukare
- SP: Skötselpåverkande system

Självklart kan denna indelning förändras och kompletteras, allt efter var och ens erfarenhet. Den har dock ofta visat sig vara en lämplig utgångspunkt för diskussioner mellan byggherren och medverkande konsulter. Den fungerar dessutom, tillsammans med uppdelningen inom varje delsystem, som en checklista på att olika möjligheter verkligen kommit upp till diskussion innan det egentliga ritarbetet påbörjas.

9.4 VAL AV DELSYSTEM

Alternativ inom delsystemen

BM: BRUKNINGSMÖNSTER

- BM1: Alla utrymmen är permanent uppvärmda och ventilerade
- BM2: Temperatur och ventilation enligt dygnschema
- BM3: Temperatur och ventilation enligt veckoschema
- BM4: Vinterbebodd kärndel + vår/sommar/höstbebodda kringutrymmen
- BM5: Vinterbebodd kärndel + vår/höstbebodda och sommarbebodda kringutrymmen

HS: HYGIENISKT SYSTEM

- HS1: Handfat i lägenhet — resten kollektivt
- HS2: Dusch i lägenhet
- HS3: Badkar i lägenhet
- HS4: Bastu i lägenhet
- HS5: Kollektiv bastu och tvagning

SR: SOLRUM

- SR1: Enkelglasat med ventilation och solskydd
- SR2: Dito med natt- eller säsongisolering
- SR3: Dubbelglasat med ventilation och solskydd
- SR4: Dito med natt- eller säsongisolering
- SR5: Trippelglasat med ventilation och solskydd
- SR6: Dito med natt- eller säsongisolering

FS: FÖNSTERSTORLEK

- FS1: Glasyta = 5% av golvytan
- FS2: Dito = 10%
- FS3: Dito = 15%
- FS4: Dito = 20%
- FS5: Dito = 25%
- FS6: Dito = 30%

FO: FÖNSTERORIENTERING

- FO1: 30% av glasytan åt SO—SV
- FO2: Dito 50%
- FO3: Dito 70%
- FO4: Dito 90%

FK: FÖNSTERKONSTRUKTION

- FK1: Enkelglasad
- FK2: Dubbelglasad
- FK3: Trippelglasad
- FK4: Fyrglasad
- FK5: Tvåglas isolerruta med gas och selektiv beläggning (långvågsreflekterande, ljusgenomsläpplig)
- FK6: Dito med flera glas
- FK7: Solfångande fönster (med värmebortförel)
- FK8: Frånluftsfönster
- FK9: Övriga speciella fönsterkonstruktioner

SS: SOLSKYDD VID FÖNSTER

- SS1: Inga särskilda solskydd
- SS2: Fasta, skuggande skärmar
- SS3: Rörliga skuggande skärmar och markiser
- SS4: Persienner
- SS5: Jalusier och rullgardiner
- SS6: Gardiner

BE: BELYSNING

- BE1: Endast dagsljus
- BE2: Dagsljus + konstljus = 5 W/m² golvyta
- BE3: Dito = 15 W/m²
- BE4: Dito = 25 W/m²
- BE5: Dito = 35 W/m² eller mer
- BE6: Endast konstljus

NI: NATT- OCH SÄSONGISOLERING AV FÖNSTER

- NI1: Ingen särskild natt- eller säsongisolering
- NI2: Nattisolering med luckor
- NI3: Nattisolering med rullgardiner
- NI4: Nattisolering med plastkolor emellan glaset
- NI5: Säsongisolering

YV: YTTERVÄGGAR

- YV1: Opak, värmeisolerad vägg
- YV2: Transparent (ej genomsiktig), värmeisolerad vägg

9.4 VAL AV DELSYSTEM Alternativ inom delsystemen (forts)

YV3:	Rumsluftvärmade solvägg	VS:	VENTILATIONSSYSTEM
YV4:	Dito med värmelagring	VS1:	Självdagsventilation
YV5:	Tilluftvärmade vägg ("dynamisk isolering")	VS2:	Dito med speciella dragpåverkande anordningar
YV6:	Uteluftvärmade solvägg	VS3:	Mekanisk frånluftsventilation
YV7:	Dito med värmelagring	VS4:	Mekanisk till- och frånluftsventilation
TV:	TAK OCH VINDSBJÄLKLAG	VS5:	Förvärmning eller kylning med kanal i mark
TV1:	Opakt, värmeisolerande tak och vindsbjälklag	RV:	REGLERING AV VENTILATION
TV2:	Transparent (ej genomsiktligt) tak och vindsbjälklag	RV1:	Konstant luftomsättning
TV3:	Takfönster över ögonhöjd	RV2:	Dygnsschema för luftomsättning
TV4:	Rumsluftvärmade soltak	RV3:	Veckoschema för luftomsättning
TV5:	Dito med värmelagring	RV4:	Brukarreglerad luftomsättning
TV6:	Tilluftvärmade tak ("dynamisk isolering")	EO:	ENERGIOMVANDLINGSSYSTEM
TV7:	Uteluftvärmade soltak	EO1:	Solenergi till varmt medium
TV8:	Dito med värmelagring	EO2:	Förbränning till el + varmt medium
LB:	VÄRMELAGRING I STOMME OCH INREDNING	EO3:	Förbränning till 25–200 °C luft-, vatten- eller ytemperatur
LB1:	Extremt låg värmelagringsförmåga	EO4:	Kompostvärme till värmning av luft eller vatten
LB2:	Ingen betongyta i kontakt med rumsluften	EO5:	El till 25–100 °C luft-, vatten- eller ytemperatur
LB3:	En betongyta (av golvytans storlek) i kontakt med rumsluften	EO6:	El till ytemperatur högre än 100 °C (strålningsvärmare)
LB4:	Två eller flera betongytor (av dubbla golvytans storlek) i kontakt med rumsluften	EO7:	El till värmepump
LB5:	Rumsluften i kontakt med hål i betongkonstruktion, t ex bjälklag	EO8:	Fjärrvärme till 25–100 °C luft-, vatten eller ytemperatur
LS:	SEPARAT VÄRMELAGRING	EO9:	Fjärrvärme till kemisk värmepump
LS1:	Värmelagrande salt i tak eller väggar i rum	ÅV:	ÅTERVINNING FRÅN VENTILATION
LS2:	Vattenmagasin, t ex vattentuber i rum	ÅV1:	Värmeväxlare luft/luft
LS3:	Stenmagasin för rum eller byggnad	ÅV2:	Värmepump luft/luft
LS4:	Jordmagasin för byggnad	ÅV3:	Värmepump luft/vatten
LS5:	Vattenmagasin för byggnad	ÅA:	ÅTERVINNING FRÅN AVLOPP
LS6:	Värmelagring i inomhuspool	ÅA1:	Födröjt avlopp
LS7:	Dito i utomhuspool	ÅA2:	Värmeväxlare eller värmerör
LS8:	Saltmagasin för hel byggnad	ÅA3:	Värmepump vatten/vatten
LS9:	Termokemisk lagring i kombination med kemisk värmepump	ÅA4:	Värmepump vatten/luft

9.4 VAL AV DELSYSTEM

Alternativ inom delsystemen (forts)

US: UPPVÄRMNINGSSYSTEM

US1: Luft- eller yttemperatur = 20–40 °C vid dimensionerande utetemperatur

US2: Dito = 40–60 °C

US3: Dito = 60–90 °C

US4: Yttemperatur = 90–200 °C vid dimensionerande utetemperatur

US5: Dito = mer än 200 °C

RU: REGLERING AV UPPVÄRMNING

RU1: Värmning upp till konstant, önskad lägsta rumslufttemperatur

RU2: Dygnschema för lägsta rumslufttemperatur

RU3: Veckoschema för lägsta rumslufttemperatur

RU4: Brukarreglerad rumslufttemperatur

KS: KYLNINGSSYSTEM

KS1: Ökad ventilation genom fönsteröppning eller fläktar

KS2: Nattkylning genom ökad ventilation eller genom kylning med utstrålning mot himlen

KS3: Konvektiv, mekanisk kylning

KS4: Strålningskylning

RK: REGLERING AV KYLNING

RK1: Kylning ned till önskad högsta rumslufttemperatur eller högsta temperaturskillnad mellan ute och inne

RK2: Dygnschema för dito

RK3: Veckoschema för dito

RK4: Brukarreglerad kylning

KP: KONSUMTIONSPÅVERKAN PÅ BRUKARE

KP1: Allmän sparinformation

KP2: Information om förbrukning och dess relation till jämförbar grupp

KP3: Information om förbrukning och dess relation till överenskommen målsättning

KP4: Debitering efter mätning av varmvattenförbrukning

KP5: Debitering efter mätning av varmvatten- och värmeförbrukning

KP6: Debitering efter mätning av varmvattenförbrukning och temperaturnivå

KP7: Värmeavstängning vid fönster- och fönsterdörröppning

SP: SKÖTSELPÅVERKANDE SYSTEM

SP1: Tillgängliga instrument för funktionskontroll

SP2: Stickprov på funktion

SP3: Funktionsregistrering

SP4: Central övervakning av funktion.

9.4 VAL AV DELSYSTEM

Tabell med sammanställning av delsystemen

Man kan för ett hus sammanfatta det totala energisystemet i en tabell med kryss i lämpliga rutor:

TOTALA ENERGISYSTEMET

Del-system	Alternativ								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
BM									
HS									
SR									
FS									
FO									
FK									
SS									
BE									
NI									
YV									
TV									
LB									
LS									
VS									
RV									
EO									
ÅV									
ÅA									
US									
RU									
KS									
RK									
KP									
SP									

För varje delsystem kan man ha ett eller flera kryss ifyllda och vissa delsystem kan naturligtvis också helt utgå.

9.5 BYGGNADENS TERMISKA EGENSKAPER

Specifika transmissionsförluster

De värmeförluster som främst är beroende av byggnadens klimatskal är transmissionsförlusterna. Transmissionsförlusten för en byggnadsdel beräknas som:

$$P_{TR,x} = k_x \cdot A_x \cdot (T_i - T_u) \quad (W)$$

där

k_x = värmegenomgångskoefficient för byggnadsdel x

A_x = area för byggnadsdel x

$(T_i - T_u)$ = temperaturdifferens mellan inne- och uteluft

Som termisk egenskap hos byggnadens klimatskal kan man använda de specifika förlusterna, dvs förluster per grad temperaturskillnad mellan inne och ute. För hela byggnaden blir då de *specifika transmissionsförlusterna*:

$$F_{TR} = k_t \cdot A_t + k_g \cdot A_g + k_{yv} \cdot A_{yv} + k_f \cdot A_f + k_d \cdot A_d \quad (W/^\circ C)$$

där index t anger tak- eller vindsbjälklag, g anger grundkonstruktion, yv anger yttervägg, f anger fönster och d anger ytterdörrar.

Beräkning av k-värde för tak- och vindsbjälklagskonstruktioner bereder i allmänhet inga problem. Man kan anta att ett ventilerat vindsutrymme har samma temperatur som ute, dvs att yttertakskonstruktionen i detta fall bidrar till k-värdet. För fönster används ett k-värde som sammansätts av k-värdena för karmar och båge samt för glaspartierna. I det senare fallet används mörker-k-värdet för glaspartierna. Då blir

$$k_f \cdot A_f = k_{karm} \cdot A_{karm} + k_{båge} \cdot A_{båge} + k_{glas} \cdot A_{glas}$$

I fönstrens k-värde skall naturligtvis inte inräknas vare sig sol- och himmelsstrålning eller infiltration genom fönsterkonstruktionen. Dessa delar inräknas i solinstrålning resp ventilation.

Specifika ventilationsförluster vid självdagsventilation

En byggnads ventilationsförluster kan uppdelas i olika delar, vilket förenklat visas i figuren på nästa sida. Dessa delar, som bland annat beror på vind, utetemperatur och boendevanor, är naturligtvis mycket svåra att noga beräkna. Svensk Byggnorm ger vissa krav på ventilationsstorlek vid byggnader med mekanisk ventilation samt på byggnaders täthet, men detta räcker ej för att bedöma de verkliga luftflödena. Då ordentligt underlag saknas ges här förslag avseende hus som uppfyller SBN 80:s krav på byggnadernas täthet och ventilation.

Oberoende av ventilationssystem är det den totala tilluftsmängden (v_t , luftomsättningar per timme), som skall värmas upp till önskad lufttemperatur. De *specifika ventilationsförlusterna* blir då:

$$F_V = 0,33 \cdot v_t \quad (W/^\circ C)$$

där 0,33 anger specifikt värme för luft i Wh/°C,m³. Normalt räcker det att man anger v_t som ett dygnsmedelvärde.

Vid *självdagsventilation* är det mycket svårt att få en bra uppskattning av den totala ventilationen v_t . Figuren på nästa sida antyder att den inläckande luften försvinner ut genom springor etc samt genom ventilationskanaler. Det kan också inträffa att man får "kallras" i ventilationskanaler, dvs kallluft tillförs genom visa ventilationskanaler. Dessutom påverkas luftströmmen genom klimatskalet av vindhastighet och vindriktning.

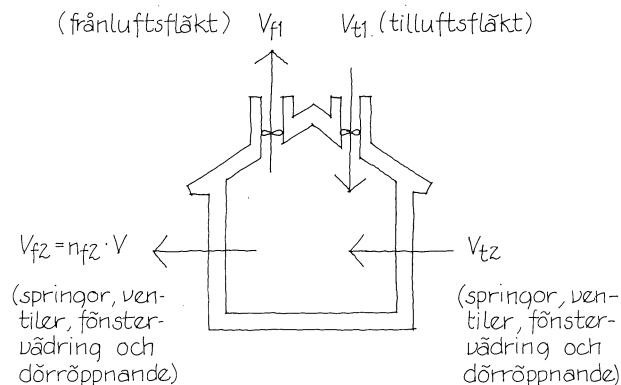
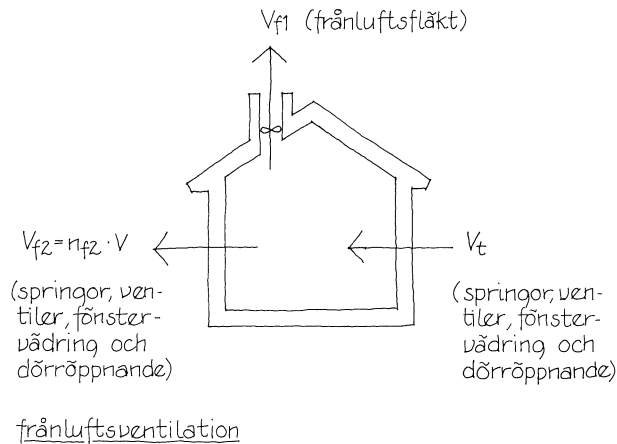
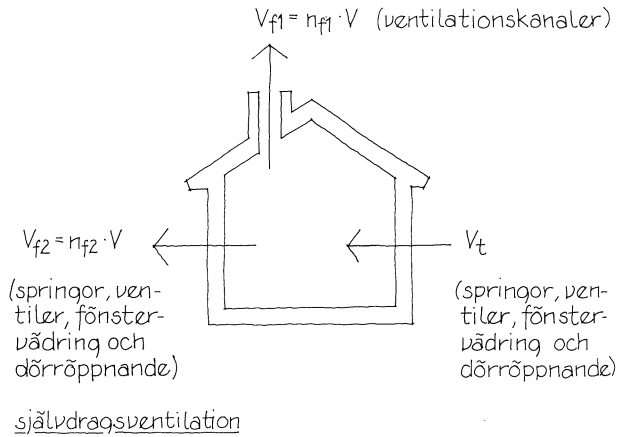
Totala tilluftflödet inkl förnuftig vädring kan beräknas ur

$$v_t = n_s \cdot V$$

där V är husets volym i m³. Luftomsättningen n_s för enplans lägenheter väljs till $n_s = 0,35$ oms/h ($n_{t1} = 0,20$, $n_{f2} = 0,15$) och för 1 1/2- och 2-plans lägenheter till $n_s = 0,45$ oms/h ($n_{f1} = 0,25$, $n_{f2} = 0,20$). Om man önskar större ventilation måste man vädra.

9.5 BYGGNADENS TERMISKA EGENSKAPER

Specifika ventilationsförluster vid mekanisk ventilation



Vid frånluftventilation (*F-system*) har man mekanisk frånluft medan tilluften tillförs genom ventiler eller otätheter i klimatskalet. Som figuren visar förs luft dessutom till byggnaden genom vädring och dörröppnande. Frånluften kan vid otäta byggnader delvis också lämna byggnaden genom klimatskalet. Vid *F-system* i täta hus skapar frånluftsfläktarna ett undertryck inomhus, vilket medför att den helt dominerande delen av frånluften förs ut genom ventilationssystemet. Inklusivt förnuftig vädring kan då antas att för enplans lägenheter är $n_{f2} = 0,10$ oms/h och samma siffra antas gälla även för 1 1/2- och 2-plans lägenheter. Om fläktventilationen stängs av antas att omsättning för självdragsventilation gäller.

Om fläktventilation utnyttjas på basvarv i t_1 timmar med luftmängden v_{p1} m³/h, på fullvarv i t_2 timmar med luftmängden v_{p2} m³/h, blir dygnsmedelvärdet av den totala ventilationen:

$$v_t = \frac{(v_{p1} + n_{f2} \cdot V) \cdot t_1 + (v_{p2} + n_{f2} \cdot V) \cdot t_2}{24} \quad (\text{m}^3/\text{h})$$

med n_{f2} enligt ovan.

Nylund, 1979, har visat att vid *balanserade från- och tilluftssystem* (*FT-system*) får man betydande ventilation genom springor och otätheter. Det förefaller rimligt att anta att med förnuftig vädring blir i hus, som nått och jämnt uppfyller byggnormens täthetskrav, $n_{f2} = 0,3$ omsättningar per timme.

Vid *FT-system* med värmeväxling mellan från- och tilluft, s k *FTX-system*, så måste man observera att värmeväxlingen endast sker på de mekaniskt ventilerade luftmängderna, v_{f1} och v_{t1} , och ej på ventilation genom springor, otätheter, fönstervädning och dörröppnande. Den ovannämnda ventilationen $v_{f2} = 0,3$ oms/h blir således ej värmeväxlad.

Luftflöden vid olika ventilationssystem.

9.6 BYGGNADENS TERMISKA EGENSKAPER

Specifika värmeförluster: Exempel

De specifika transmissionsförlusterna uträknas enkelt i en tabell:

Byggnadsdel	k W/°C,m ²	A m ²	k · A W/°C
Tak	0,17	104	17,7
F _{TR} = 101 W/°C			

k-värden beräknas enligt SBN 80. För platta på mark multipliceras med reduktionsfaktorn 0,80 och vid bjälklag över ventilerade kryprum med 0,60.

De specifika ventilationsförlusterna uträknas enkelt i en tabell:

V = 250 m³ F-system

Driftsfall	Infiltration och vädring		Fläktventilation inkl ev värmeväxling			Total ventilation	Driftstid
j	n oms/h	v _{IV} ¹⁾ m ³ /h	v _P ²⁾ m ³ /h	η	v _F ³⁾ m ³ /h	v _J ⁴⁾ m ³ /h	t _J h
1	0,10	25	125	—	125	150	23
2	0,10	25	250	—	250	275	1

1) v_{IV} = n · V där n = 0,1.

2) v_P = projekterat luftflöde.

3) v_F = (1-η) · v_P (η = verkningsgrad på värmeväxlingen).

4) v_J = v_{IV} + v_F.

$$F_V = 0,33 \cdot \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{24} = 0,33 \cdot \frac{150 \cdot 23 + 275 \cdot 1}{24} = 51,2 \text{ W/°C}$$

Vid FT-system erhålls t ex

V = 250 m³ FTX-system (η = 0,6)

Driftsfall	Infiltration och vädring		Fläktventilation inkl ev värmeväxling			Total ventilation	Driftstid
j	n oms/h	v _{IV} ¹⁾ m ³ /h	v _P ²⁾ m ³ /h	η	v _F ³⁾ m ³ /h	v _J ⁴⁾ m ³ /h	t _J h
1	0,30	75	125	0,6	50	125	24
2							

1) – 4) se ovan.

$$F_V = 0,33 \cdot 125 = 41,2 \text{ W/°C.}$$

Stora datorer

En idé till ett lågenergihus måste naturligtvis snabbt kunna utvärderas i avseende på årsvärmebehovet. Risken för höga rumstemperaturer under sommaren måste också kunna bedömas och värderas. Man är också i skisstadiet intresserad av hur olika parametrar som fönsterstorlek, fönsterorientering och solskydd inverkar på årsvärmebehov och temperaturer. Man behöver ett beräkningshjälpmedel.

Ett beräkningshjälpmedel kan vara mer eller mindre komplicerat och ge mer eller mindre noggrant resultat. Man bör emellertid hålla i minnet att inget beräkningsresultat blir bättre än de indata, som beräkningsmetoden förses med. Eftersom brukarna har stor inverkan på värmebehovet så är det svårt att på förhand beräkna en energiförbrukning för värme och varmvatten för ett hus med okända brukare. Erfarenheter från gruppbyggda småhus visar att skillnaden mellan högsta och lägsta förbrukning i en grupp ofta har förhållandet 2:1. Genomsnittsförbrukningen för en hel grupp eller för ett flerbostadshus med många lägenheter är lättare att på förhand beräkna. Det är författarens uppfattning att bättre än $\pm 10\%$ kan man knappast komma i vad avser uppmätt och beräknad energiförbrukning med aktuella klimatdata.

De noggrannaste beräkningsmetoderna kräver stora datorer. Dessa metoder bygger i regel på en beräkning timme för timme av värme- eller kyltillskott för att upprätthålla ett visst klimat eller vissa klimatgränser inomhus. Sådana program kan behandla byggnader med flera zoner inom huset och ta hänsyn till enskildheter i byggnadens uppbyggnad. De har dock en nackdel — de simulerar ofta den transmitterade sol- och himmelsstrålningen som diffuserad efter passagen genom fönstret. Många jämförelser har gjorts mellan beräkningar med olika datorprogram. I första omgången har överensstämmelsen oftast varit mycket dålig men efterhand sedan man jämfört definitioner och indata har överensstämmelsen förbättrats.

Datorprogram för stora datorer kan användas över terminaler, men inmatningsarbetet blir oftast alltför omfattande för att vara ett hjälpmedel under skisstadiet. De nya generationer av mikrodatorer som kommit på marknaden och vars kostnader är, inklusive kringutrustning, 20 000—50 000 kronor, har blivit ett intressant alternativ för såväl arkitekt- som ingenjörskontor. Utvecklingen går snabbt och för en kostnad av 50 000 kronor torde man inom de närmaste åren kunna skaffa mikrodatorer och kringutrustning som klarar även relativt stora datorprogram.

För att begränsa beräkningstiden så förutsätter i regel program för mikrodatorer att en månad kan uppdelas i två eller tre grupper av dygn, soliga dygn, ev medelmulna dygn och mulna dygn. Man släpper således "timme för timme"-beräkningsprincipen. Detta gör att man måste söka verifiera mikrodatorprogrammen mot större, noggrannare program för olika beräkningsfall. Det är särskilt viktigt att jämförelsen avser även extremt energisnåla hus.

Ett program för ABC 800 har utarbetats av Brandt Anderson, under hans tid som gästforskare vid Avdelningen för Arkitektur, husbyggnad, KTH. Detta program, MEPA, är speciellt utarbetat för arkitektkontor. Således har inmatningen av byggnadens data underlättats genom enkla frågor från datorns skärm. Materialdata har lagts in i datorns minne, vilket underlättar handhavandet.

Allteftersom mikrodatorerna kan ges större minneskapacitet för liten kostnad blir det möjligt att göra "timme för timme"-beräkningar och öka noggrannheten. Det blir också möjligt att behandla flera rum i en byggnad vilket kan vara önskvärt när man arbetar med flera klimatzoner inomhus, t ex kärna för vinterboende samt utrymmen för vår- och höstboende. Glasade rum kan då också inkluderas i programmen, liksom olika slag av speciella värmelagringsanordningar. Av intresse är också att beräkna effekten av fönstervädring.

9.6 BERÄKNINGAV ÅRSVÄRMEBEHOV Handräkning med BKL-metoden

Om man skall få en rimlig noggrannhet i beräkning av årsvärmebehovet måste man ta hänsyn till solinstrålning och boendevärme på ett någotsånär riktigt sätt. En metod, som utarbetats vid Institutionen för byggnadskonstruktionslära, LTH, efter en idé i ett examensarbete av arkitekt Elmarsson, 1977, bygger på att man tar reda på om solinstrålningen under dygnet och boendevärmen kan utnyttjas för uppvärmningen. Om detta är möjligt används denna gratisvärme först och kompletteras sedan med tillskottsvärme. Detta görs dag för dag på sätt som beskrivs nedan.

I avsnitt 6.3 Dygnssummor av instrålning har beskrivits hur man för en månad kan ordna dygnet i fallande ordning efter storleken på solinstrålningen under dygnet på horisontell yta. Man tar reda på hur mycket som är riktad resp diffus strålning och gör en regressionsanalys. Man får då som figur sid 136 visar sju värden som karakteriserar dygnsinstrålningen på horisontell yta. Dessa värden är

för riktad strålning: RH0, RH1, I1
för diffus strålning: DH0, DH1, DH2, I1, I2

För en ort och ett år kan dessa värden ges månad för månad. De ges i tabellen för Malmö, Stockholm och Umeå 1971.

Instrålning genom treglasfönster

Genom datorberäkning med noggrann simulering av glaspartiet har instrålningen genom treglasfönster beräknats. Markreflektionen har satts till 0,25.

Den transmitterade strålningen kan skrivas:

$$I_T = \alpha_R \cdot RH + \alpha_D \cdot DH \quad \text{kWh/m}^2, \text{ dygn}$$

där α är en koefficient som räknar om instrålning på horisontell yta till transmitterad strålning. Denna koefficient blir beroende av ort, år, månad, orientering och lutning.

Värden på RH0, RH1, DH0 etc
Malmö 1971

Mån	RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	I1	I2
01	0,437	0,000	0,426	0,288	0,000	20	30
02	1,385	0,000	0,758	0,635	0,000	19	27
03	2,837	0,000	1,142	1,365	0,295	22	31
04	6,348	0,000	1,202	1,819	0,937	26	30
05	8,143	0,244	0,928	2,578	0,000	31	31
06	7,380	0,000	1,571	2,644	1,674	26	30
07	8,136	0,000	0,765	3,254	3,066	30	31
08	6,141	0,586	0,917	2,295	0,000	31	31
09	4,530	0,000	1,159	1,707	0,495	23	30
10	2,451	0,000	0,926	0,890	0,025	23	31
11	0,864	0,000	0,547	0,434	0,000	18	26
12	0,381	0,000	0,353	0,198	0,000	19	26

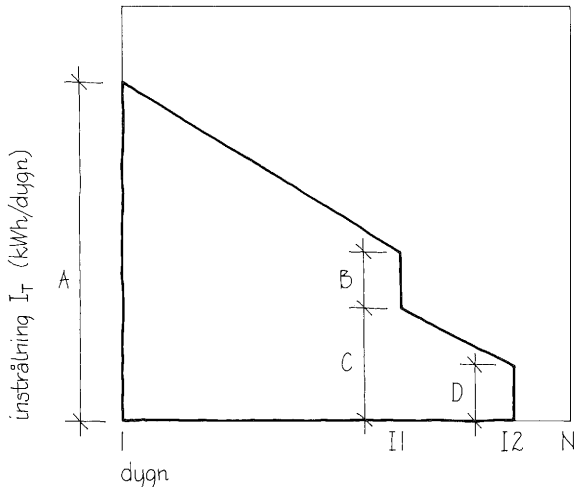
Stockholm 1971

Mån	RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	I1	I2
01	0,608	0,000	0,225	0,160	0,000	21	26
02	0,893	0,000	0,626	0,306	0,042	23	28
03	2,457	0,000	0,976	0,956	0,094	23	31
04	4,595	0,000	1,688	1,332	0,570	26	30
05	6,940	0,251	1,345	2,469	0,000	31	31
06	7,316	0,000	1,613	2,815	0,000	30	30
07	7,120	0,000	1,312	2,697	2,505	30	31
08	5,541	0,000	1,456	1,757	1,582	30	31
09	3,143	0,000	1,340	1,057	0,530	26	30
10	1,764	0,000	0,651	0,524	0,332	28	31
11	0,829	0,000	0,339	0,240	0,008	24	30
12	0,333	0,000	0,173	0,092	0,012	26	31

Umeå 1971

Mån	RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	I1	I2
01	0,162	0,000	0,169	0,092	0,000	18	25
02	0,658	0,000	0,542	0,360	0,023	20	28
03	2,258	0,000	0,179	1,191	1,132	30	31
04	5,833	0,000	1,001	1,548	1,170	28	30
05	6,444	0,000	1,168	2,575	2,407	30	31
06	7,584	0,080	1,352	2,636	0,000	30	30
07	7,314	0,000	1,144	2,860	2,674	30	31
08	4,427	0,000	1,319	2,120	1,999	30	31
09	3,155	0,000	1,003	1,063	0,720	27	30
10	1,623	0,000	0,673	0,518	0,000	24	31
11	0,504	0,000	0,298	0,115	0,000	24	28
12	0,051	0,000	0,069	0,032	0,000	22	30

9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV BKL-metoden, instrålning



Den totala instrålningen genom glaspartier blir då (se övre figuren):

$$\text{för dygn I: } A = RH0 \sum_n \alpha_{Rn} \cdot A_n + DH0 \sum_n \alpha_{Dn} \cdot A_n$$

$$\text{för dygn II: } B = RH1 \sum_n \alpha_{Rn} \cdot A_n, C = DH1 \sum_n \alpha_{Dn} \cdot A_n$$

$$\text{för dygn I2: } D = DH2 \sum_n \alpha_{Dn} \cdot A_n$$

Index n anger glasytor i huset med lika förutsättningar, t ex i fråga om orientering, lutning och solskydd. Värderna på α för de tre orterna och för olika månader samt för olika orientering och lutning av de oskuggade glasytorna framgår av Byggnadsforskningens rapport R19:1984 "BKL-metoden. Byggnaders energibalans – en handräkningsmetod". Där redovisas också värdena för en-, två- och fyrglas.

Skuggning genom skärmar

Om man har skärmar kring fönster så får man skuggning och α -värdena ändras. I Byggnadsforskningens rapport R19:1984 visas α -värdena för treglasfönster med de skärmningstyper som visas i nedre figuren. För en- och tvåglasfönster kan man med god approximation proportionera i förhållande till oskuggade glaspartier. För ett englasfönster blir sålunda:

$$\alpha_{1,skärm} = \frac{\alpha_{1,oskugg}}{\alpha_{3,oskugg}} \cdot \alpha_{3,skärm}$$

Månadsvärmebehov

Värmebehovet för ett dygn blir

$$W_d = 24 G_1 (T_i - T_u) - 24 P_b - I_T$$

där

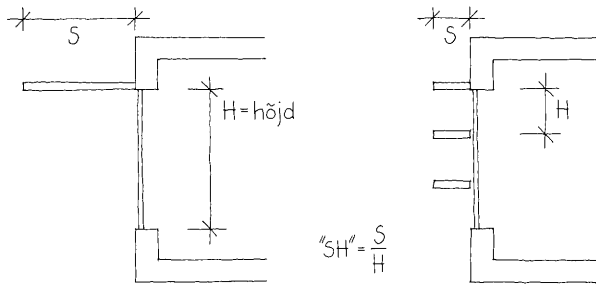
G_1 = transmissions- och ventilationsförluster, kW/°C

T_i = rumstemperaturens dygnsmedelvärde, °C

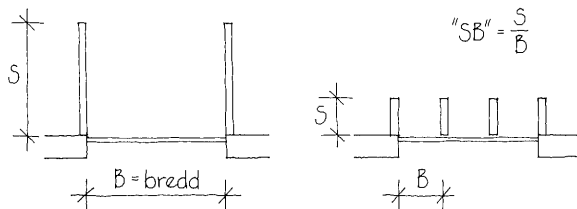
T_u = utetemperaturens dygnsmedelvärde, °C

P_b = boendevärme från personer, hushåll, kW

I_T = instrålning genom glaspartier, kWh/dygn

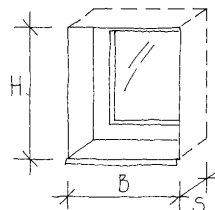


a) horisontell, oändligt långa skärmar



b) vertikal, oändligt höga skärmar

c) fönsternisch



9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV BKL-metoden, värmebehov

Om man sätter \bar{T}_i , \bar{T}_u och \bar{P}_b lika med månadsmedelvärden så blir

$$W_e = 24 \cdot G_1(\bar{T}_i - \bar{T}_u) - 24 \cdot \bar{P}_b \quad \text{kWh/dygn}$$

och månadsvärmebehovet utgör W_{tillf} i figuren. Denna kan lätt beräknas med formlerna nedan.

$$\frac{0 \leq W_e \leq D:}{W_{\text{tillf}} = W_e(N - 12)}$$

$$\frac{D \leq W_e \leq C:}{W_{\text{tillf}} = W_e(N - 12) + \frac{(W_e - D)^2}{(C - D)} \cdot \frac{(12 - 11)}{2}}$$

$$\frac{C \leq W_e \leq (B + C):}{W_{\text{tillf}} = W_e(N - 12) + \left[\frac{(C - D)}{2} + (W_e - C) \right] \cdot (12 - 11)}$$

$$\frac{(B + C) \leq W_e \leq A:}{W_{\text{tillf}} = W_e(N - 12) + \left[\frac{(C - D)}{2} + (W_e - C) \right] \cdot (12 - 11) + \frac{(W_e - B - C)^2}{(A - B - C)} \cdot \frac{11}{2}}$$

$$\frac{A \leq W_e:}{W_{\text{tillf}} = W_e(N - 12) + \left[\frac{(C - D)}{2} + (W_e - C) \right] \cdot (12 - 11) + (A - B - C) \cdot \frac{11}{2} + (W_e - A) \cdot 11}$$

Den passiva uppvärmningen är per månad:

$$W_{\text{passiv}} = 24 \cdot G_1 \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_u) \cdot N - W_{\text{tillf}}$$

Från boendevärme \bar{P}_b erhålls då i kWh per månad:

$$W_b = 24 \cdot \bar{P}_b \cdot N \quad \text{om } W_b \leq W_{\text{passiv}}$$

$$W_b = W_{\text{passiv}} \quad \text{om } W_b \geq W_{\text{passiv}}$$

Från transmitterad sol- och himmelstrålning erhålls per månad:

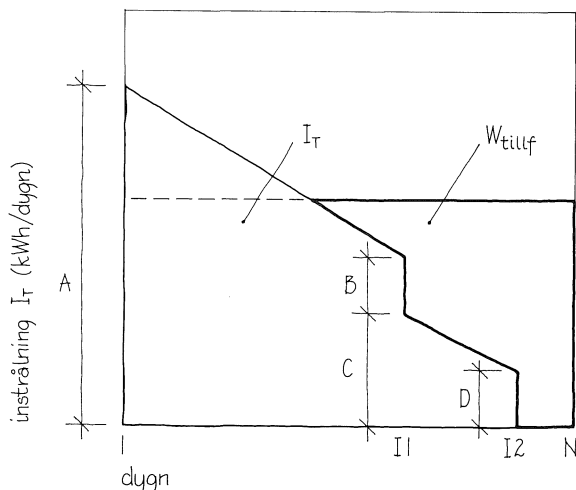
$$W_{\text{sol}} = W_{\text{passiv}} - W_b \quad \text{om } W_b \leq W_{\text{passiv}}$$

$$W_{\text{sol}} = 0 \quad \text{om } W_b \geq W_{\text{passiv}}$$

För de delar i figuren där I_T är större än W_e får man övertemperaturer. Hur stora dessa blir beror på byggnadens värmekapacitet. En viss uppskattning av temperaturerna får man ur formeln:

$$T_i = T_u + \frac{I_T - W_e}{G_1}$$

BKL-metoden kan lätt programmeras på handkalkylator eller hemdator. I tabellen på nästa sida visas ett ifyllt exempel för en villa.



9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV BKL-metoden, exempel

STOCKHOLM 1971: Beräkning av årsvärmebehov enligt BKL-metoden

$T_i = +20$ °C, $G_1 = 0,125$ kW/°C, $A_1 = 9,0$ m², $A_2 = 1,5$ m²,

3-glas:

Söder, SH=0,6 Söder

$A_3 = 3,0$ m², $A_4 = 1,5$ m²

Öster/Väster Norr

Mån	Dygn	T_u °C	Strålning på horisontell yta (kWh/m ² d)						Tid (dygn)	
			RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	I1	I2	
01	31	-0,94	0,608	0,000	0,225	0,160	0,000	21	26	
02	28	-1,40	0,893	0,000	0,626	0,306	0,042	23	28	
03	31	-2,07	2,457	0,000	0,976	0,956	0,094	23	31	
04	30	3,45	4,595	0,000	1,688	1,332	0,570	26	30	
05	31	11,47	6,940	0,251	1,345	2,469	0,000	31	31	
06	30	14,88	7,316	0,000	1,613	2,815	0,000	30	30	
07	31	17,74	7,120	0,000	1,312	2,697	2,505	30	31	
08	31	16,47	5,541	0,000	1,456	1,757	1,582	30	31	
09	30	10,73	3,143	0,000	1,340	1,057	0,530	26	30	
10	31	7,31	1,764	0,000	0,651	0,524	0,322	28	31	
11	30	0,97	0,829	0,000	0,339	0,240	0,008	24	30	
12	31	1,00	0,333	0,000	0,173	0,092	0,012	26	31	

Mån	α -värden							
	α_{R1}	α_{R2}	α_{R3}	α_{R4}	α_{D1}	α_{D2}	α_{D3}	α_{D4}
01	4,920	5,346	0,721	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
02	2,194	2,617	0,651	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
03	0,969	1,374	0,598	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
04	0,366	0,716	0,536	0,086	0,259	0,396	0,396	0,396
05	0,161	0,445	0,483	0,133	0,259	0,396	0,396	0,396
06	0,107	0,347	0,461	0,179	0,259	0,396	0,396	0,396
07	0,123	0,379	0,469	0,161	0,259	0,396	0,396	0,396
08	0,241	0,560	0,503	0,103	0,259	0,396	0,396	0,396
09	0,614	0,888	0,554	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
10	1,516	1,934	0,626	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
11	3,552	3,978	0,703	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396
12	6,344	6,771	0,711	0,079	0,259	0,396	0,396	0,396

Mån	\bar{P}_g kW	Månadssummor (kWh)		
		W_{tillf}	W_b	W_{sol}
01	0,4	1 280	298	369
02	0,4	1 210	269	319
03	0,3	1 346	223	483
04	0,3	706	216	567
05	0,4	9	298	487
06	0,3	0	216	245
07	0,2	0	149	61
08	0,3	0	223	105
09	0,4	136	288	410
10	0,4	364	298	519
11	0,4	989	288	436
12	0,4	1 151	298	318
Årssumma:		7 191	3 064	4 319

Exempel: 125 m² källarlös villa

Transmissions- och ventilationsförluster $G_1 = 0,125$ kW/°C

Solinstrålning: Antaget 75% solvärmeutnyttjande på grund av gardiner och persienner.

Glasytor (3-glas):

- åt söder med taköverhäng, 12,0 m²;
effektivt: $A_1 = 0,75 \cdot 12 = 9,0$ m²
- åt söder, oskuggat, 2,0 m²;
effektivt: $A_2 = 0,75 \cdot 2 = 1,5$ m²
- åt O/V, oskuggat, 4,0 m²;
effektivt: $A_3 = 0,75 \cdot 4 = 3,0$ m²
- åt norr, oskuggat, 2,0 m²;
effektivt: $A_4 = 0,75 \cdot 2 = 1,5$ m²

Boendevärme \bar{P}_b (kW):

Mån	Personer kW	Hushåll kW	Avlopp kW	\bar{P}_b kW
01	0,2	0,4	-0,2	0,4
02	0,2	0,4	-0,2	0,4
03	0,2	0,3	-0,2	0,3
04	0,2	0,3	-0,2	0,3
05	0,2	0,3	-0,1	0,4
06	0,2	0,2	-0,1	0,3
07	0	0,2	0	0,2
08	0,2	0,2	-0,1	0,3
09	0,2	0,3	-0,1	0,4
10	0,2	0,3	-0,1	0,4
11	0,2	0,4	-0,2	0,4
12	0,2	0,4	-0,2	0,4

För februari blir med data enligt tabell nästa sida

$$\sum_n \alpha_{Rn} \cdot A_n = 25,743 \quad \sum_n \alpha_{Dn} \cdot A_n = 4,707$$

$A = 25,935$, $B = 0$, $C = 1,44$, $D = 0,198$ och $W_e = 54,6$ kWh/d

Då blir enligt formeln för $A \leq W_e$

$$W_{tillf} = 54,6(28-28) + \left[\frac{1,44-0,198}{2} + (54,6-1,44) \right] \cdot (28-23) + (25,935-1,44) \cdot \frac{23}{2} + (54,6-25,935) \cdot 23 = 1210 \text{ kWh}$$

$$W_{passiv} = 24 \cdot 0,125(20+1,4) \cdot 28 - 1210 = 588 \text{ kWh}$$

$$W_b = 24 \cdot 0,4 \cdot 28 = 269 \text{ kWh}$$

$$W_{sol} = 588 - 269 = 319 \text{ kWh}$$

9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV Solrum, temperaturer

Figuren visar ett solrum med fyra glasytor A_1 — A_4 . Värmebalansen för ett dygn blir

$$24 \cdot G_1 \cdot (\bar{T}_U - \bar{T}_S) + 24 \cdot G_2 \cdot (\bar{T}_i - \bar{T}_S) + I_T = 0$$

där

G_1 = spec transmissions- och ventilationsförluster-
na mellan solrummet och ute (kW/°C)

G_2 = spec transmissions- och ventilationsförluster-
na mellan solrummet och husets inneklimat
(kW/°C)

\bar{T}_U = utetemperaturens dygnsmedelvärde

\bar{T}_S = solrummets dygnsmedeltemperatur

\bar{T}_i = innetemperaturens dygnsmedelvärde

I_T = transmitterad instrålning genom glas
(kWh/dygn)

Solrumstemperaturen blir då

$$\bar{T}_S = \frac{G_1 \bar{T}_U + G_2 \bar{T}_i}{(G_1 + G_2)} + \frac{I_T}{24(G_1 + G_2)}$$

Den tillförda solvärmens beräknas på samma sätt som vid BKL-metoden och övre figuren sid 353 gäller även här. Beräkningen av A, B, C och D blir också lika de tidigare uttrycken.

Med

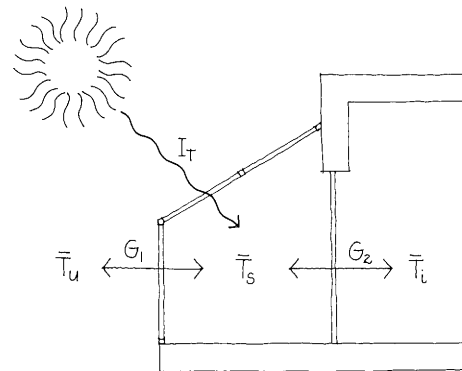
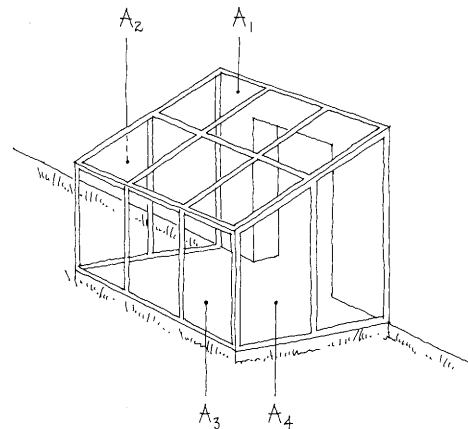
$$E = \frac{G_1 \bar{T}_U + G_2 \bar{T}_i}{(G_1 + G_2)} \text{ och } F = 24 \cdot (G_1 + G_2)$$

blir solrumstemperaturerna under månaden

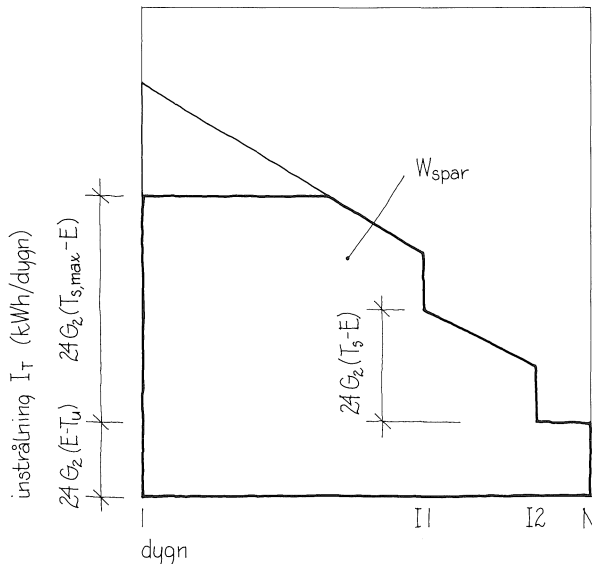
$$\bar{T}_{S,A} = E + \frac{A}{F} \quad \bar{T}_{S,(B+C)} = E + \frac{(B+C)}{F}$$

$$\bar{T}_{S,C} = E + \frac{C}{F} \quad \bar{T}_{S,D} = E + \frac{D}{F}$$

Solrumstemperaturen måste av olika skäl begränsas till ett högsta värde $\bar{T}_{S,max}$ genom solskydd eller ökad ventilation. Valet av $\bar{T}_{S,max}$ får betydelse för energibesparingen.



9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV Solrum, värmebesparing



Beräkningarna kan lätt programmeras på handkalkylator eller hemdator.

Om W_{spar} skall kunna utnyttjas beror på byggnadens värmeförluster i övrigt.

De ovan skisserade handräkningsmetoderna, gärna assisterade med en programmerbar kalkylator eller hemdator, kan vara goda hjälpmedel i skissstadiet. Man skall dock hålla i minnet att de bygger på approximationer. Dessa är dock betr BKL-metoden av sådan art att jämförelser med noggranna datorprogram visar att denna ej skiljer sig från datorberäkningsmetoden med mer än 5% om indata är samma för de bägge metoderna, Källblad och Adamson, 1984.

Solrumsberäkningarna förutsätter att all instrålad energi absorberas i solrummet. Detta är ej alltid fallet, varför solrumstemperaturerna kan i viss mån överskattas med ovan skisserad metod. Samma gäller energibesparingen med solrum utanför huskroppen.

Den möjliga värmebesparingen för huset på grund av solrummet blir

$$W_{spar} = 24G_2(T_S - T_U) = 24G_2(E - T_U) + 24G_2(T_S - E) \text{ kWh/dygn}$$

För hela månaden blir besparingen den med tjock linje begränsade ytan i figuren. För olika lägen på T_S , max blir då

$$\bar{T}_{S,max} \leq \bar{T}_{S,D}: \\ W_{spar} = 24G_2(E - \bar{T}_U) \cdot N + 24G_2(\bar{T}_{S,max} - E) \cdot I2$$

$$\bar{T}_{S,D} \leq \bar{T}_{S,max} \leq \bar{T}_{S,C}: \\ W_{spar} = 24G_2(E - \bar{T}_U) \cdot N + 24G_2(\bar{T}_{S,max} - E) \cdot I2 - \\ - 24G_2 \frac{(\bar{T}_{S,max} - \bar{T}_{S,D})^2}{(\bar{T}_{S,C} - \bar{T}_{S,D})} \cdot \frac{(I2 - I1)}{2}$$

$$\bar{T}_{S,C} \leq \bar{T}_{S,max} \leq \bar{T}_{S,(B+C)}: \\ W_{spar} = 24G_2(E - \bar{T}_U) \cdot N + 24G_2(\bar{T}_{S,max} - E) \cdot I2 - \\ - 24G_2 \left[(\bar{T}_{S,C} - \bar{T}_{S,D}) \cdot \frac{(I2 - I1)}{2} + \right. \\ \left. + (\bar{T}_{S,max} - \bar{T}_{S,C}) \cdot (I2 - I1) \right]$$

$$\bar{T}_{S,(B+C)} \leq \bar{T}_{S,max} \leq \bar{T}_{S,A}: \\ W_{spar} = 24G_2(E - \bar{T}_U) \cdot N + 24G_2(\bar{T}_{S,max} - E) \cdot I2 - \\ - 24G_2 \left[(\bar{T}_{S,C} - \bar{T}_{S,D}) \cdot \frac{(I2 - I1)}{2} + (\bar{T}_{S,max} - \bar{T}_{S,C}) \cdot \right. \\ \left. \cdot (I2 - I1) + \frac{(\bar{T}_{S,max} - \bar{T}_{S,(B+C)})^2}{(\bar{T}_{S,A} - \bar{T}_{S,(B+C)})} \cdot \frac{I1}{2} \right]$$

$$\bar{T}_{S,A} \leq \bar{T}_{S,max}: \\ W_{spar} = 24G_2(E - \bar{T}_U) \cdot N + 24G_2(\bar{T}_{S,A} - E) \cdot I2 - \\ - 24G_2 \left[(\bar{T}_{S,C} - \bar{T}_{S,D}) \cdot \frac{(I2 - I1)}{2} + (\bar{T}_{S,A} - \bar{T}_{S,C}) (I2 - I1) + \right. \\ \left. + (\bar{T}_{S,A} - \bar{T}_{S,(B+C)}) \cdot \frac{I1}{2} \right]$$

9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV Solrum, exempel

Exempel: Enkelglasat solrum enligt skiss

Temperatur i anslutande hus $\bar{T}_i = +20 \text{ }^\circ\text{C}$
 Högsta solrumstemperatur $T_{S,\max} = +32 \text{ }^\circ\text{C}$
 Spec transmissions- och ventilationsförluster till ute
 (1 oms/h)

$$G_1 = kA + c_p v \cdot 1 = 5 \cdot 34,4 + 0,35 \cdot 27,2 \cdot 1 = \\ = 181 \text{ W/}^\circ\text{C} = 0,181 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

Spec transmission till hus

$$G_2 = 0,3 \cdot 4,8 + 2,60 \cdot 4,6 = 13,4 \text{ W/}^\circ\text{C} = 0,013 \text{ kW/}^\circ\text{C}$$

Solinstrålning: 80–90% av ytorna är transmittande

Glasytor (1-glas)

1. åt söder, effektivt $A_1 = 8,0 \text{ m}^2$
2. åt O/V, effektivt $A_2 = 13,0 \text{ m}^2$
3. tak (75°), effektivt $A_3 = 8,4 \text{ m}^2$

För februari blir med data enligt tabellen

$$\sum_n \alpha_{Rn} \cdot A_n = 49,12 \quad \sum_n \alpha_{Dn} \cdot A_n = 17,31$$

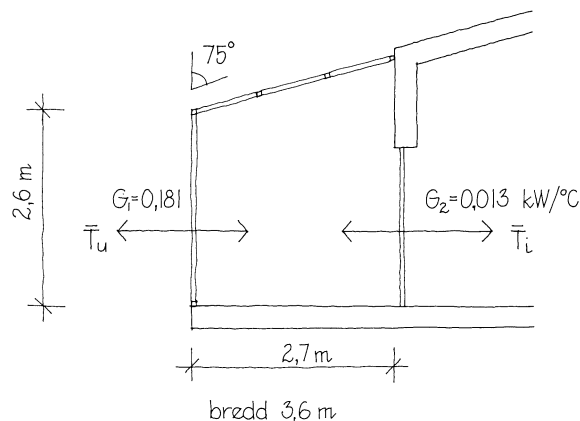
$$E = 0,340 \quad F = 4,656$$

$$T_{S,A} = 11,78 \quad T_{S,(B+C)} = T_{S,C} = 1,17 \text{ och } T_{S,D} = 0,19$$

Då blir enligt formeln $T_{S,A} \leq T_{S,\max}$

$$W_{\text{spar}} = 24 \cdot 0,013 (0,34 + 1,4) 28 + \\ + 24 \cdot 0,013 (11,78 - 0,34) 28 - \\ - 24 \cdot 0,013 \left[(1,17 - 0,19) \frac{(28 - 23)}{2} + \right. \\ \left. + (11,78 - 1,17) (28 - 23) + (11,78 - 1,17) \cdot \frac{23}{2} \right] = 60 \text{ kWh}$$

Under oktober–april blir enligt tabellen energibesparingen 586 kWh.



9.6 BERÄKNING AV ÅRSVÄRMEBEHOV Solrum, exempel (forts)

STOCKHOLM 1971:

$\bar{T}_i = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, $T_{S,max} = 32 \text{ }^\circ\text{C}$, $G_1 = 0,181 \text{ kW/}^\circ\text{C}$, $G_2 = 0,013 \text{ kW/}^\circ\text{C}$,

$A_1 = 8,0 \text{ m}^2$, $A_2 = 13,0 \text{ m}^2$, $A_3 = 8,4 \text{ m}^2$, $A_4 = 0 \text{ m}^2$

1-glas: Söder Öster/Väster Tak, 75°

Mån	Dygn	T_u °C	Strålning på horisontell yta (kWh/m ² d)					Tid (dygn)	
			RH0	RH1	DH0	DH1	DH2	11	12
01	31	-0,94	0,608	0,000	0,225	0,160	0,000	21	26
02	28	-1,40	0,893	0,000	0,626	0,306	0,042	23	28
03	31	-2,70	2,457	0,000	0,976	0,956	0,094	23	31
04	30	3,45	4,595	0,000	1,688	1,332	0,570	26	30
05	31	11,47	6,940	0,251	1,345	2,469	0,000	31	31
06	30	14,88	7,316	0,000	1,613	2,815	0,000	30	30
07	31	17,74	7,120	0,000	1,312	2,697	2,505	30	31
08	31	16,47	5,541	0,000	1,456	1,757	1,582	30	31
09	30	10,73	3,143	0,000	1,340	1,057	0,530	26	30
10	31	7,31	1,764	0,000	0,651	0,524	0,322	28	31
11	30	0,97	0,829	0,000	0,339	0,240	0,008	24	30
12	31	1,00	0,333	0,000	0,173	0,092	0,012	26	31

Mån	α -värden							
	$\alpha R1$	$\alpha R2$	$\alpha R3$	$\alpha R4$	$\alpha D1$	$\alpha D2$	$\alpha D3$	$\alpha D4$
01	6,605	0,980	2,032	0	0,505	0,505	0,798	0
02	3,244	0,843	1,454	0	0,505	0,505	0,798	0
03	1,728	0,760	1,178	0	0,505	0,505	0,798	0
04	0,914	0,676	1,008	0	0,505	0,505	0,798	0
05	0,577	0,609	0,919	0	0,505	0,505	0,798	0
06	0,455	0,581	0,878	0	0,505	0,505	0,798	0
07	0,496	0,591	0,892	0	0,505	0,505	0,798	0
08	0,721	0,634	0,960	0	0,505	0,505	0,798	0
09	1,265	0,701	1,088	0	0,505	0,505	0,798	0
10	2,409	0,802	1,305	0	0,505	0,505	0,798	0
11	4,919	0,932	1,742	0	0,505	0,505	0,798	0
12	8,361	0,997	2,328	0	0,505	0,505	0,798	0

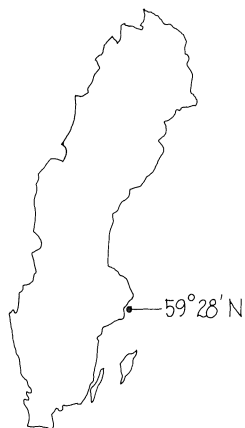
Mån	$T_{S,A}$ °C	$T_{S,B+C}$ °C	$T_{S,C}$ °C	$T_{S,D}$ °C	W_{spar} kWh
01	12,09	1,06	1,06	0,46	54
02	11,78	1,17	1,17	0,19	60
03	20,77	2,96	2,96	-0,24	109
04	35,08	9,51	9,51	6,68	157
05	47,23	22,31	21,22	12,04	(180)
06	50,40	25,69	25,69	15,22	(153)
07	52,04	27,92	27,92	27,20	(133)
08	48,39	23,24	23,24	22,59	(133)
09	35,48	15,28	15,28	13,32	(121)
10	25,99	10,11	10,11	9,36	96
11	15,27	3,14	3,14	2,27	65
12	10,03	2,62	2,62	2,32	45
Oktober—April (kWh):					586

10. EGNA EXEMPEL

MÖJA
VETLANDA
NYCKELHUS
SMÅLANDS TABERG
LIMHAMN
STRÅLSJÖHUSET
SÖDERTUNA
ÄLVKARLEBY
GUDÖ

MÖJA

Fritidshus Möja 1957–58

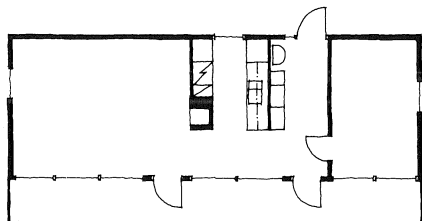


På 50-talet sökte arkitekten och forskaren Gunnar Pleijel intressera arkitekterna för att utnyttja solvärmetillskottet på ett arkitektoniskt medvetet sätt.

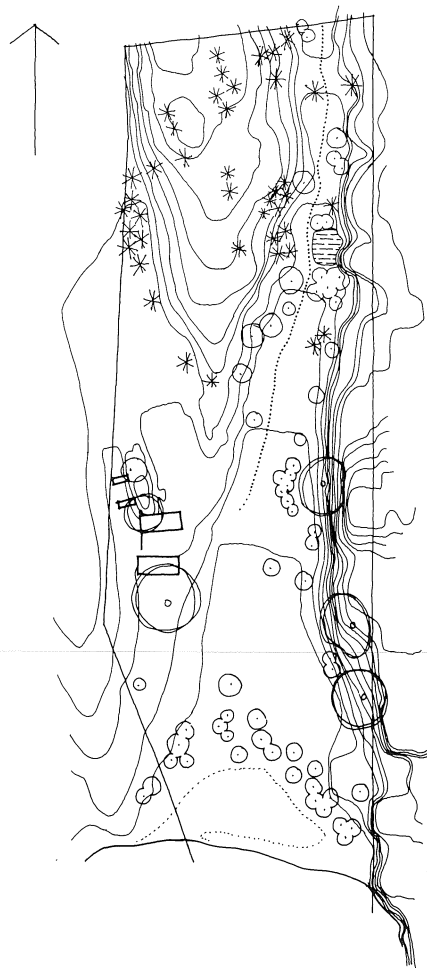
När jag fick tillfälle 1957 att bygga ett eget fritidshus ville jag tillämpa hans idéer.

Huset orienterades med sin helt glasade långvägg mot söder. Övriga väggar isolerades och försågs med små utsiktsfönster med tvåskiktat isolerglas.

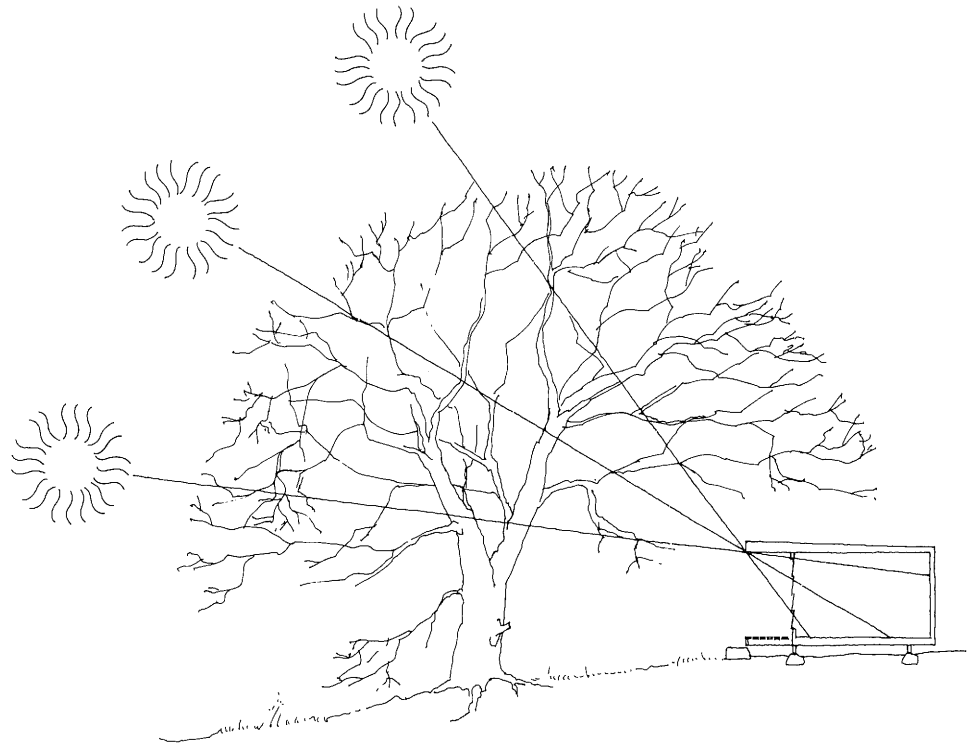
Huset placerades i ängssluttningen helt nära en stor ek som sommartid skulle skugga effektivt samtidigt som eken utgjorde ett attraktivt blickfång ner mot vikens vatten.



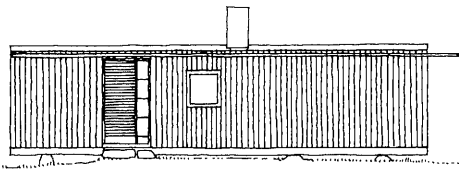
Plan 1:200.



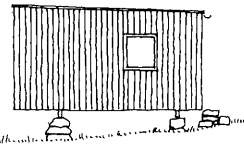
Situationsplan 1:2000.



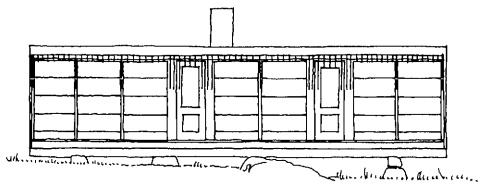
Yttertaket drogs på sydsidan ut 1,42 m för att vid 2,26 m rumshöjd ge fullständig solavskärmning sommartid, begränsad avskärmning vår och höst och ingen avskärmning vintertid.



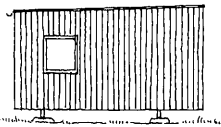
fasad N



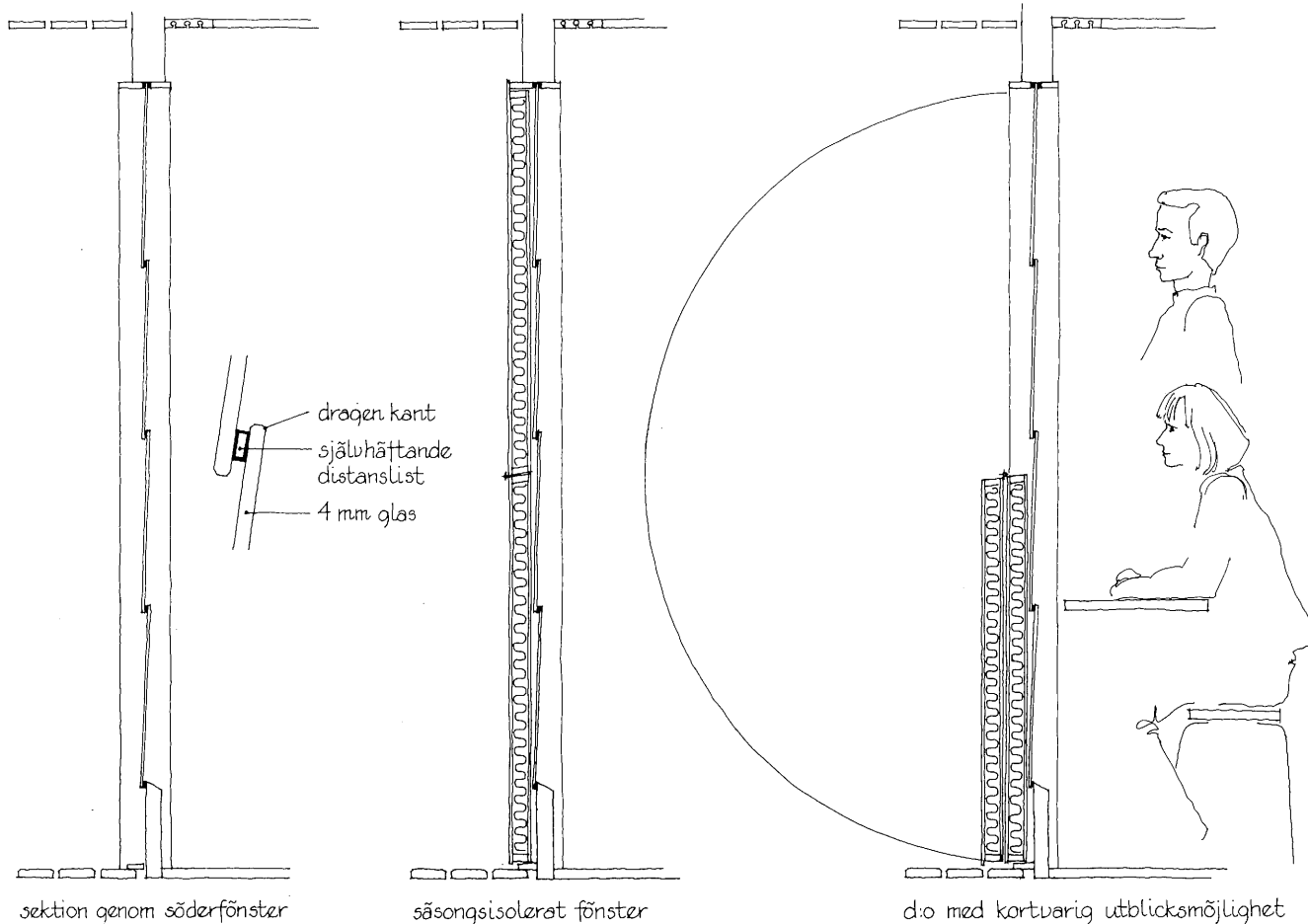
fasad Ö



fasad S



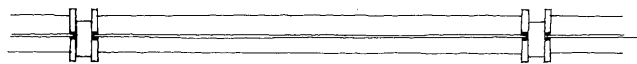
fasad V



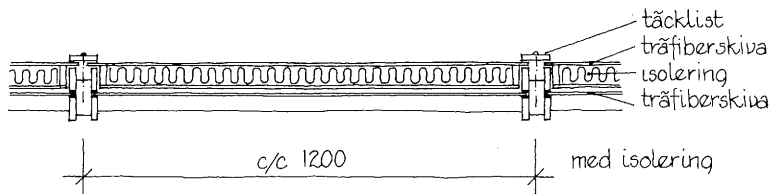
sektion genom söderfönster

säsongsisolerat fönster

d:o med kortvarig utblicksmöjlighet under tiden för positivt värmefflöde.



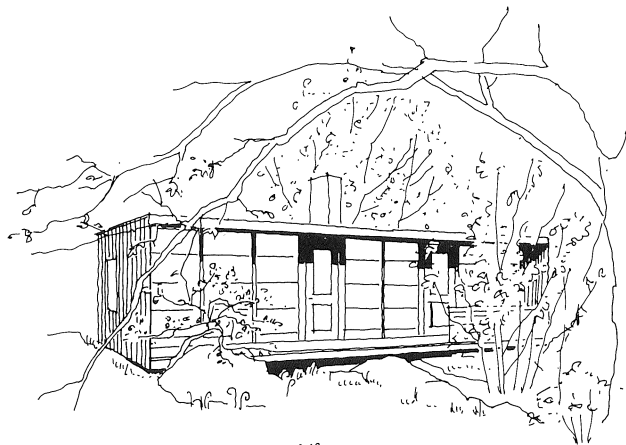
utan isolering



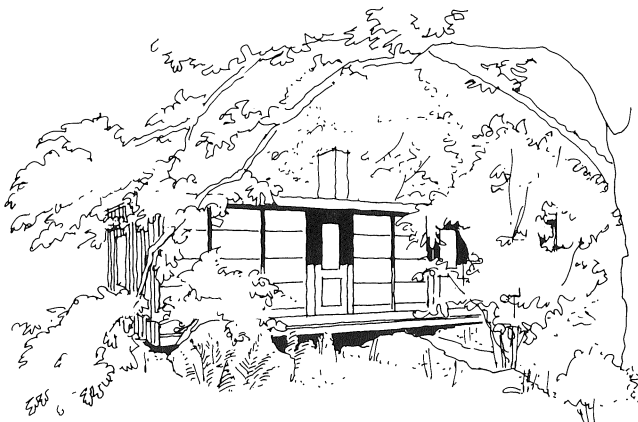
med isolering

Glasväggen utfördes i 4 mm enkelglas med horisontella skarvar av en dubbelhäftande svart tape med 6 mm bredd. Dessa svarta band inklämda mellan ovan- och undervarande glas gav en välkommen nerv åt glasytan så att man visste var den var i rummet och i utsikten.

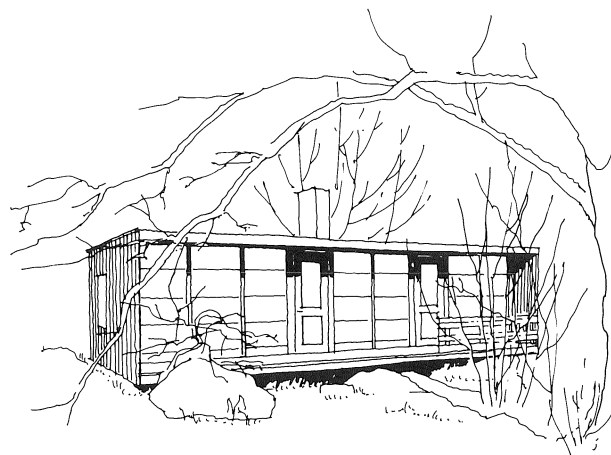
Huset blev med andra ord säsongsanpassat. Under våren strålade solen in under det utskjutande taket och genom det icke lövade grenverket. Sommartid skuggade ek och tak. När det var varmt ute var det svalt inne. Till hösten föll löven och solstrålarna letade sig in för att återigen värma rummen. Vintertid, då solvärmen endast korta stunder kunde värma huset, fungerade glasväggen helt eller delvis som solfångare. Resterande del av dagen och under natten var glasväggen tilläggsisolerad med lätta högisolerade luckor som hade samma k-värde som övriga väggar.



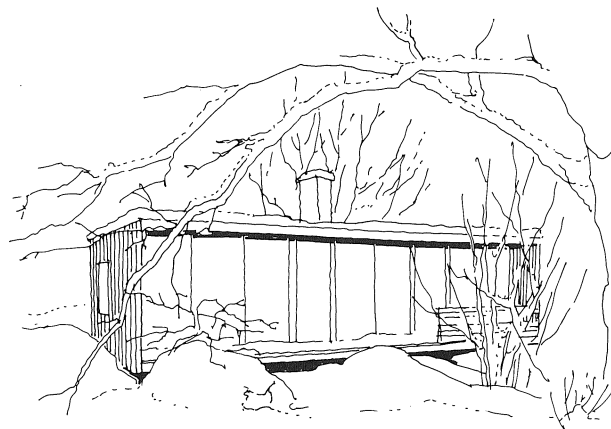
Vår



Sommar



Höst



Vinter

Genom att bo i huset, leva med solen, mäta soltid och temperaturer fick man många värdefulla erfarenheter för framtida tillämpning. Något jag varmt rekommenderar var och en som vill lära sig vad solens tillskottsvärme betyder för hus och livskvalitet i vardagen.

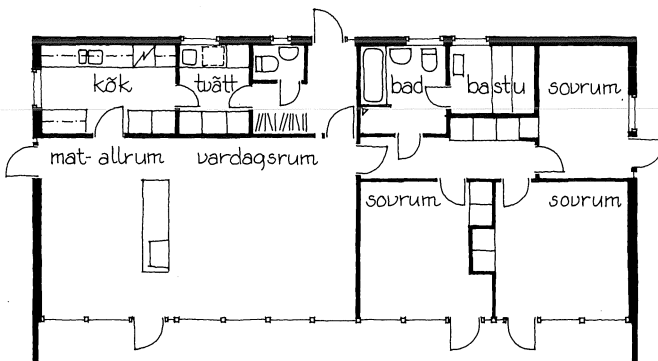
VETLANDA

Friliggande enfamiljshus Vetlanda 1974–76

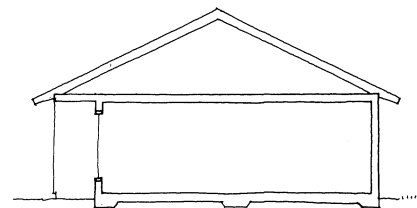
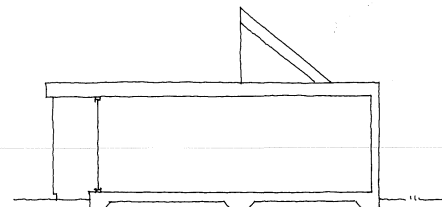


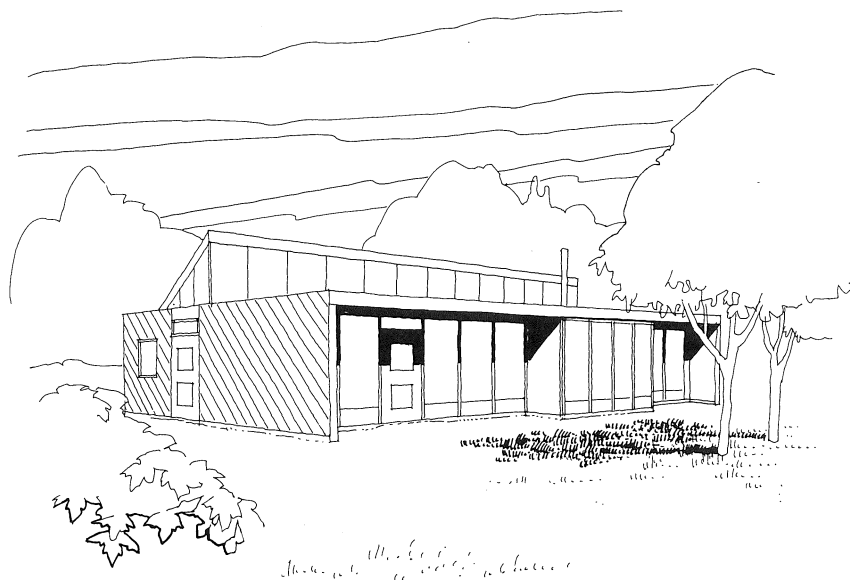
När energikrisen i början av 70-talet blev ett faktum och forskning och utveckling satte in ville Bo Adamson och jag tillämpa våra gemensamma erfarenheter genom att som forskningsobjekt bygga två likstora och lika orienterade hus, det ena medvetet format som ett lågenergihus, det andra som ett samtida standardhus.

Husen byggdes, mättes och beboddes för att dels kontrollera tidiga energibalansberäkningars tillförlitlighet, dels få erfarenheter av hur husen fungerade vid jämförande studier.

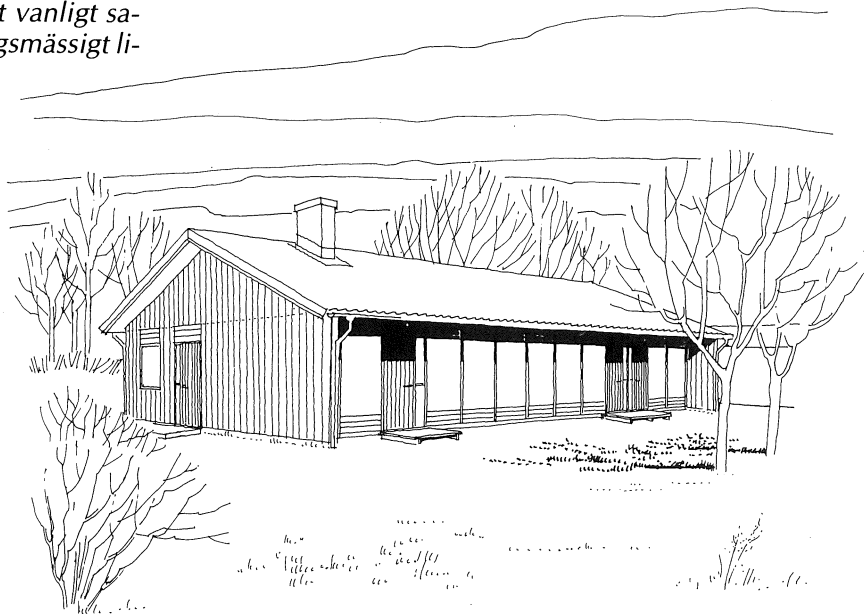


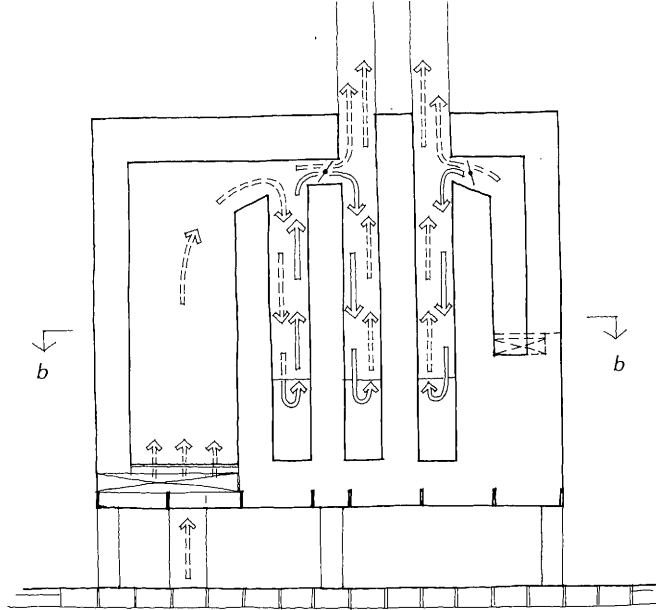
Plan 1:200.





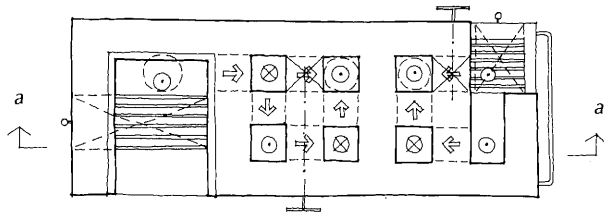
De första skisserna utgick från en sektion, typ Möja-huset, kompletterad med ett extra ljus- och solvärmeintag vid husmitt. Lönsamhetskalkyler visade att detta extra fönsterband inte var lönsamt med det energipris som energiberäkningarna var baserade på, dvs 12 öre/kWh, varför det tyvärr måste utgå och byggnaden försågs med ett vanligt sadeltak som inte gjorde huset utformningsmässigt lika spännande som i skissen.



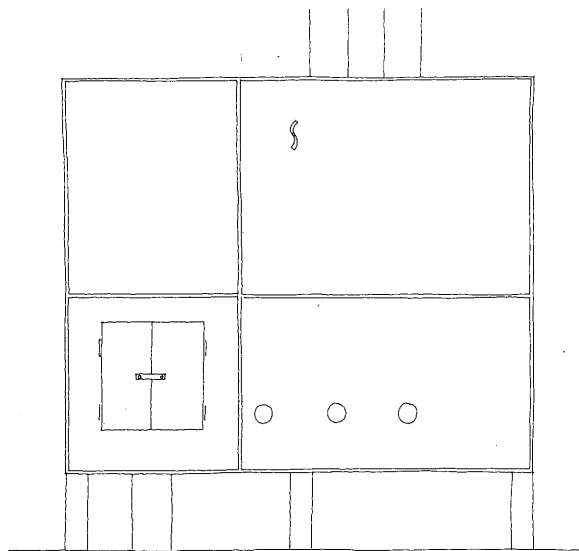


Snitt a-a

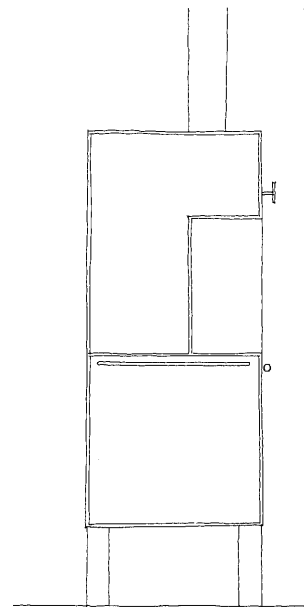
Mellan mat- och vardagsrum placerades en tung murkropp, byggd enligt kakelugnsprincipen, avsedd att magasinera överskottsvärme från sol och människor eller från spis och grill.



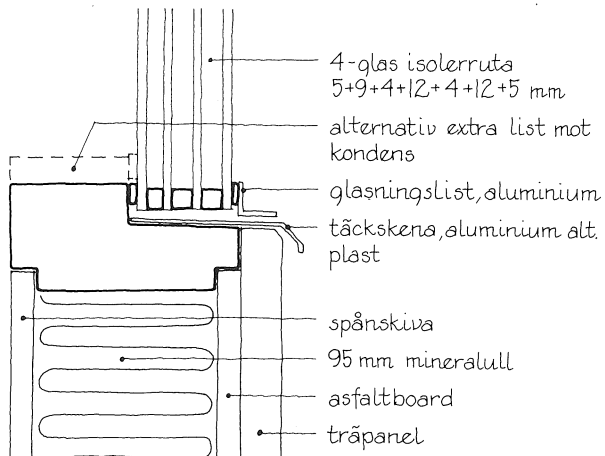
Snitt b-b



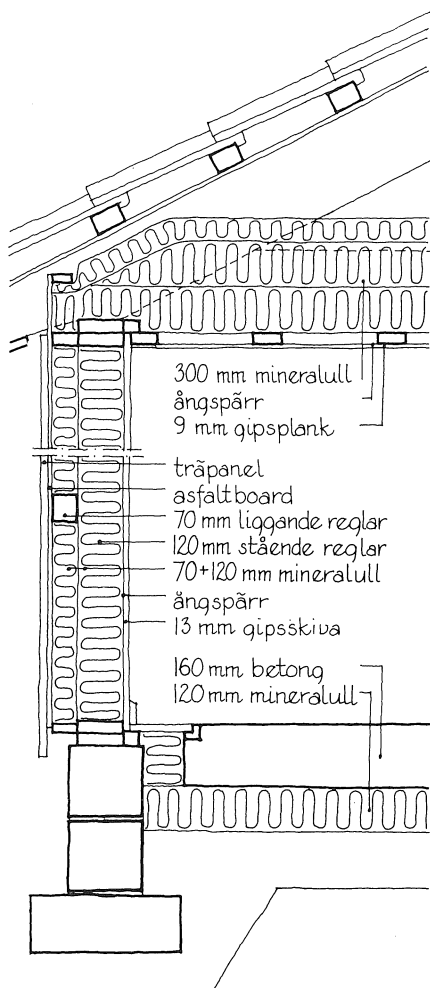
Vy av spis.



Vy av grill.

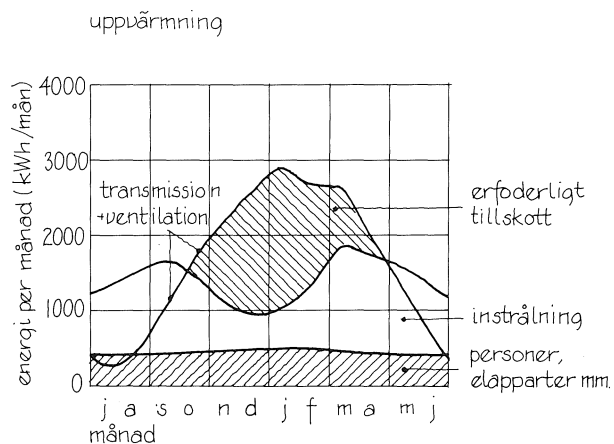


Snitt genom fönsterbröstning.

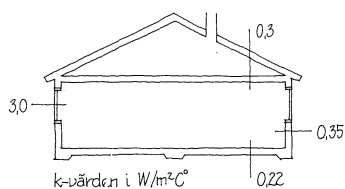


Snitt genom yttervägg-tak-grund.

Lågenergihuset superisolerades relativt normenligt samtida standard. De fasta fönsterpartierna i sydväggen utgjordes av fyrsiktade isolerglas. Huset försågs med ett från- och tilluftssystem, som hade dels rumstermostaterat reglersystem, dels ett manuellt intermitterant utnyttjat reglage, när inomhus-temperaturen kändes för hög.

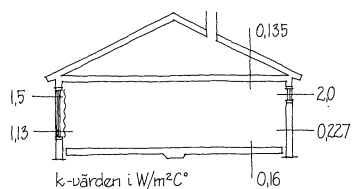


En första skiss till energibalans för Vetlandahuset.



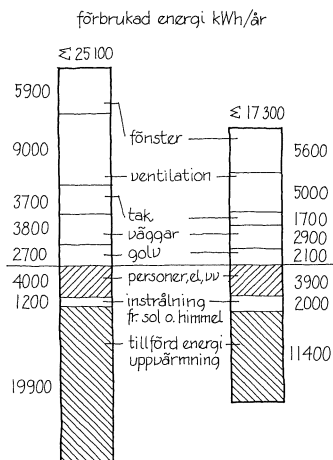
"normalt" hus

- ventilation 0,9 oms/h
- rumstermostater
- varmvattenförbrukning 5000 kWh/år
- tvåglasfönster runt om
- glasyta 18 m²

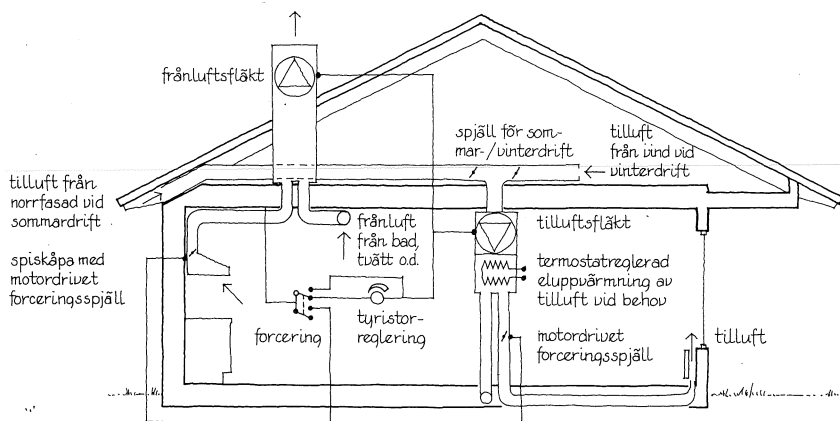


Lågenergihus

- ofrivillig ventilation 0,15 oms/h
- variabel från-tillluft-ventilation 110-250 m³/h
- rumstermostater
- varmvattenförbrukning 4000 kWh/år
- fyrglasfönster i hela sydfasad
- 25% av totala fönsterytan mot N, Ö, V
- glasyta 24 m²



Ett energibalansdiagram.

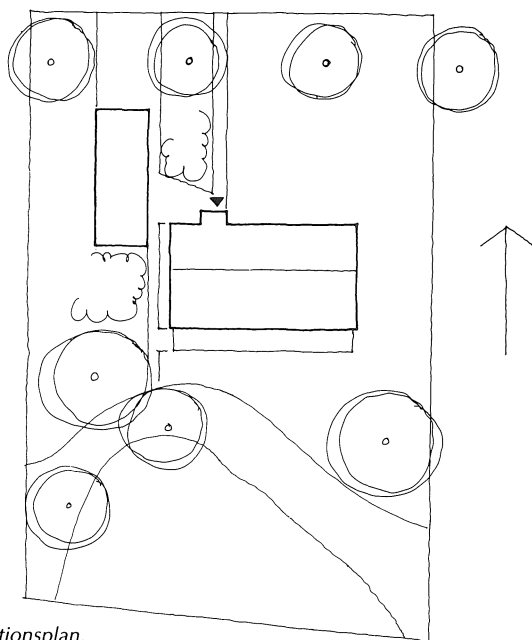


Snitt med inlagt ventilationssystem.

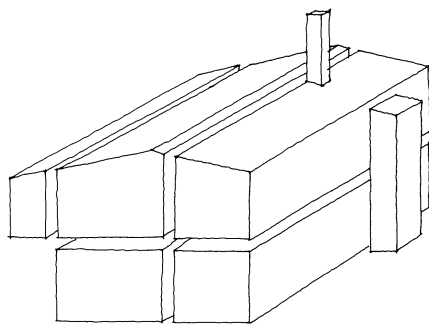
Resultat från mätningarna visade att beräkningarna stämde bra. Endast det 1,80 m stora taköverhänget mot söder reducerade solvärmestillskottet väl kraftigt.

Efter denna experimenthustest, uppföljt av mätningar i två år, kunde vi vidareutveckla lågenergihusberäkningarna och byggnadsutformningen ytterligare.

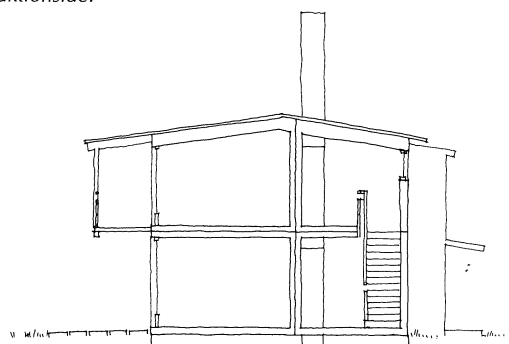
Se vidare Bertil Jonsson, Rapport BKL 1979:11 (Institutionen för Byggnadskonstruktionslära LTH, Lund).



Situationsplan.



Produktionsidé.

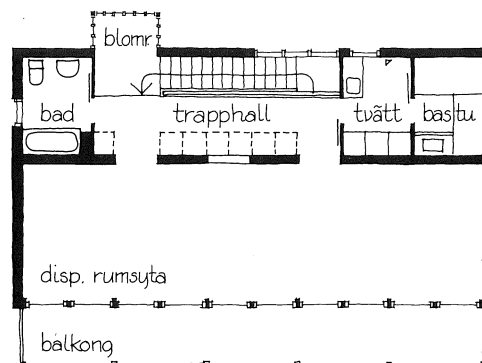


Sektion

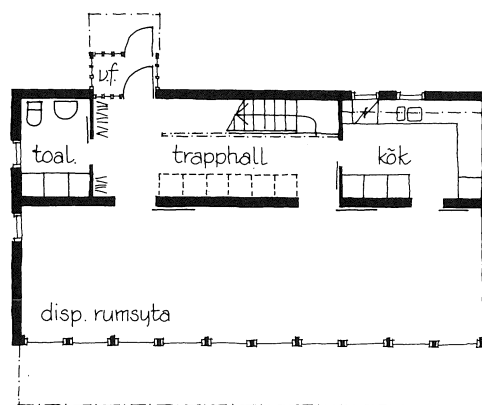
Typhus 1976

För Nyckelhus, en statlig trähustillverkare, ritade och räknade Bo och jag fram ett förslag till typhus för serietillverkning av lätta volymelement, för vilka fabrikenes produktion var inrättad. Av fyra volymsenheter skulle huset byggas. De främre i botten- och övervåning försågs med en söderorienterad glasvägg lämpligt skärmad med hjälp av utskjutande tak och balkong. Varje sådan enhet kunde ges en valfri rumsindelning och rumsstorlek allt efter behov över byggnadens livstid.

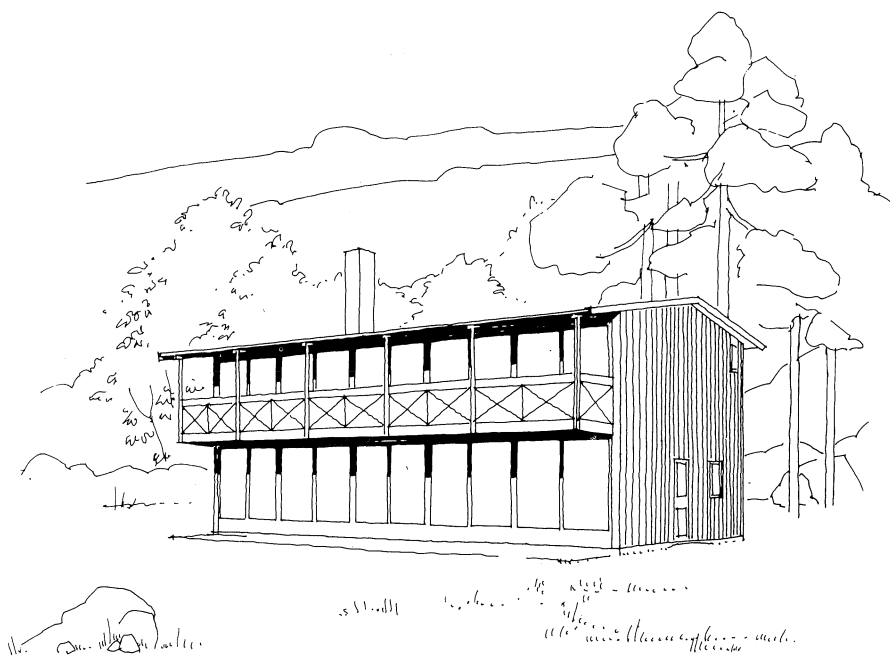
De två bakre volymsenheterna innehöll alla våtfunktioner. Hit förlades också värmepanna och värmefördelning liksom all ventilation.



Övervåning med valfri rumsindelning.



Bottenvåning med valfri rumsindelning 1:200.

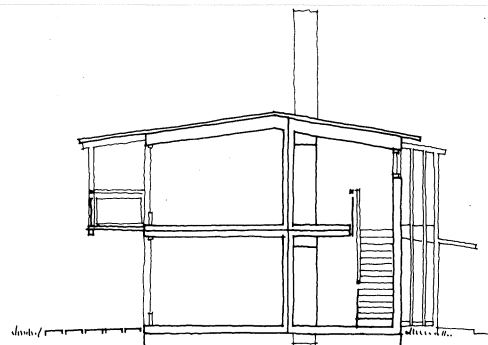


Husen var avsedda för förtätning i byar och mindre orter, där tomtytan var begränsad. Av detta skäl utformades husen i två våningar vilket energihushållningsmässigt också var fördelaktigt, dvs liten byggnadsvolym relativt omslutningsytan samtidigt som huset kunde förses med en stor solvärmeupptagande yta mot söder.

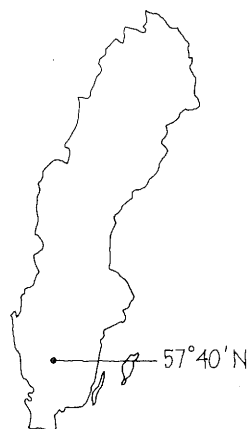
Husen visade sig vid kontrollerande energibalansberäkningar få för höga inomhustemperaturer eftersom stommen med nödvändighet var lätt allt igenom, dvs både i väggar och bjälklag, och någon värmekapacitet kunde därmed inte erhållas som medverkade till att hålla nere temperatursvängningar inom acceptabla gränser.

Vad vi lärde av detta var att det är billigare att genom beräkningar konstatera dessa fel än att först efter det huset är byggt och i drift tvingas konstatera detsamma.

Genom att tillföra byggnaden en effektiv värmedämpning med hjälp av ett saltvärmelager hade vi, med den kunskap vi har idag, kunnat behärska temperatursvängningarna.



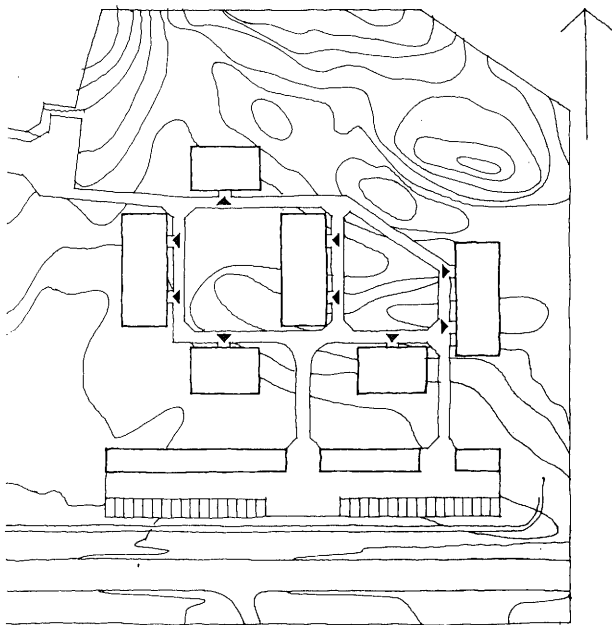
Sektion



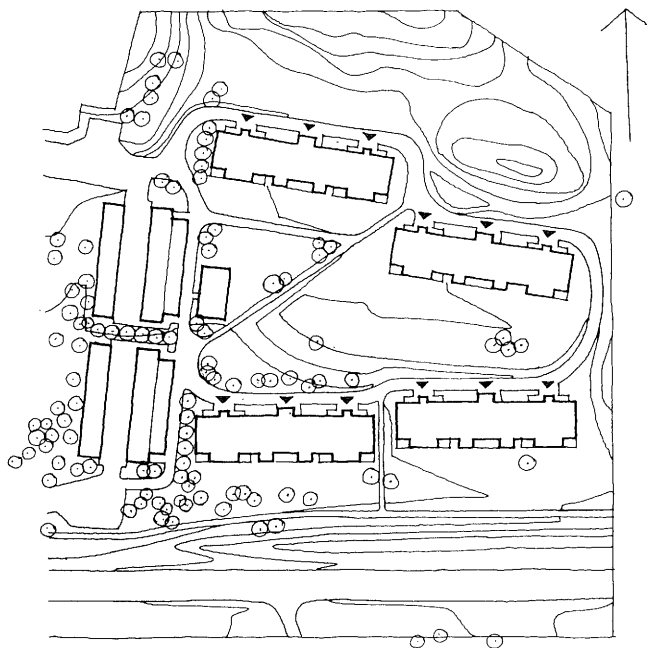
Flerfamiljshus Smålands Taberg 1976–81

I Smålands Taberg genomfördes det första stora experimenthusbygget av flerfamiljshuskaraktär i landet, detta med stöd av Statens råd för byggnadsforskning. Projektet omfattade 32 lägenheter, 2:or, 3:or och 4:or.

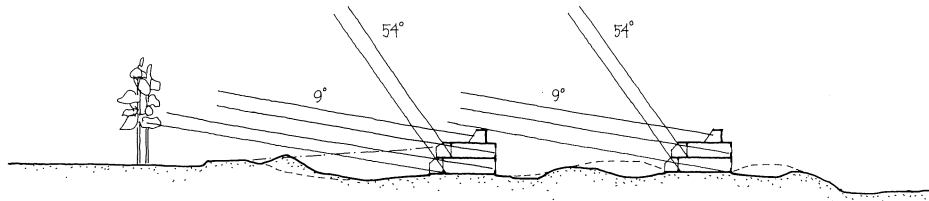
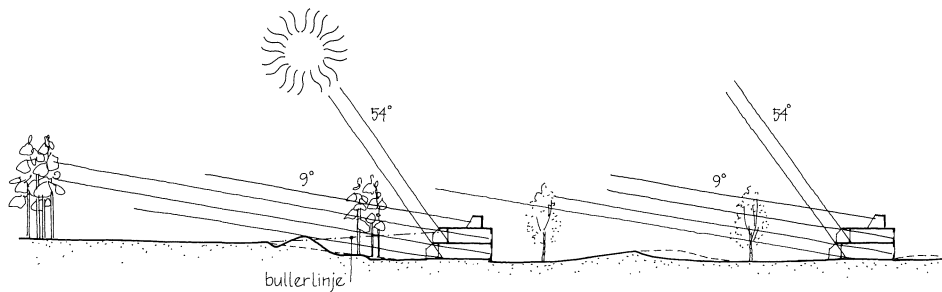
Jönköpings kommun var intresserade av att få lära sig att bygga och driva energihushållande flerfamiljshus. Vi, Bo Adamson och Bengt Hidemark, var intresserade av att utveckla säkrare beräkningsmetoder och att pröva värdet av glasade rum som säsongsanpassat tillskott till vardagsrummet. Genom att sedan efter inflyttning mäta, registrera husens egenskaper, behov och försörjning samt intervjua de boende om hur de utnyttjade och uppskattade sina lågenergihus och då särskilt de glasade rummen kunde vi få erfarenheter att föra vidare i forskning och allmänt byggande.



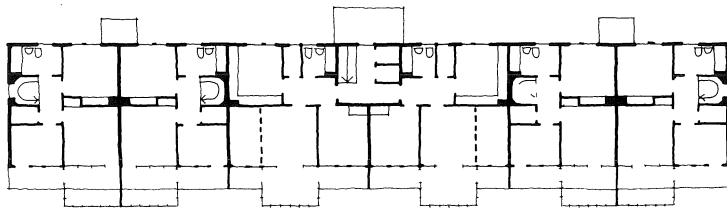
Kommunens förslag till stadsplan för aktuellt område.



Förslag till disposition av området med beaktande av ökad soltillgänglighet, sedermera fastställd stadsplan.

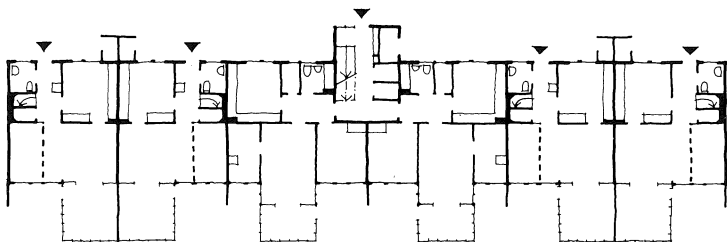


Snitt genom bebyggelsen med högsta och lägsta solstånd inlagda.



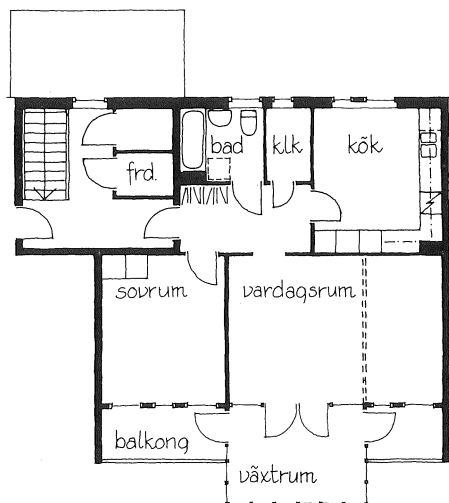
Övervåning.

4 st	4 rum och kök	106 m ²
2 st	2½ rum och kök	68 m ²
2 st	2 rum och kök	62 m ²

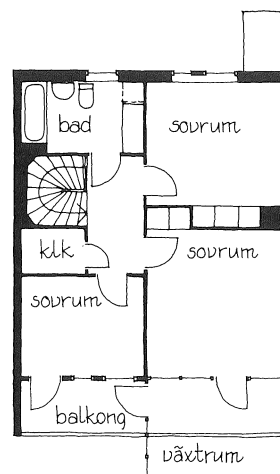


Bottenvåning av husblock 1:500.

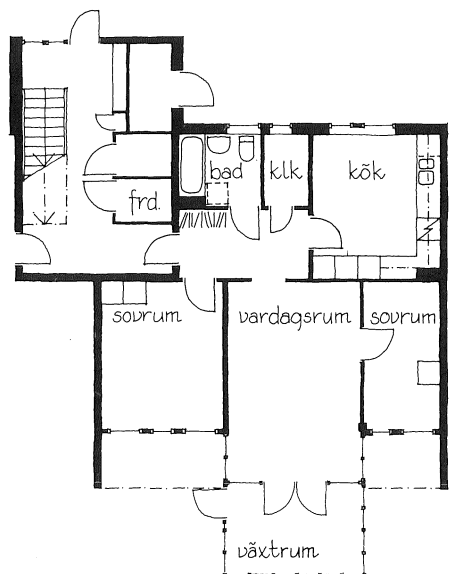
Den tillgängliga tomten utnyttjades till fullo. De fyra identiskt lika huslängorna orienterades mot söder eller med liten avvikelse från rakt söderläge. Avståndet mellan husen medgav solinstrålning mot varje rum i sydligt läge året runt. Vidare införde vi själva ett plankrav att endast 50% av sydfasaden fick upptas av glasat utrymme. Detta för att ge samtliga rum en direktkontakt mellan inne-ute.



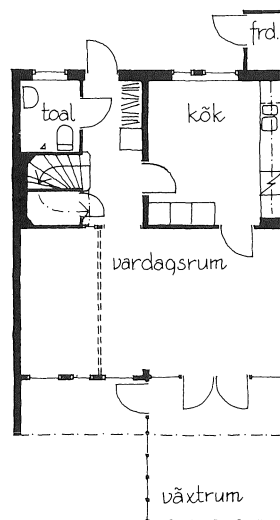
Övervåning i lägenhet om 2 rum och kök.



Övervåning.

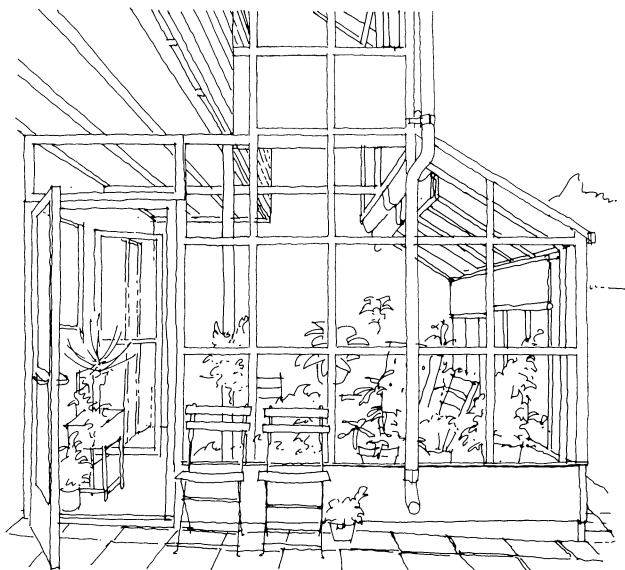


Bottenvåning 1:200 av lägenhet om 3 rum och kök.



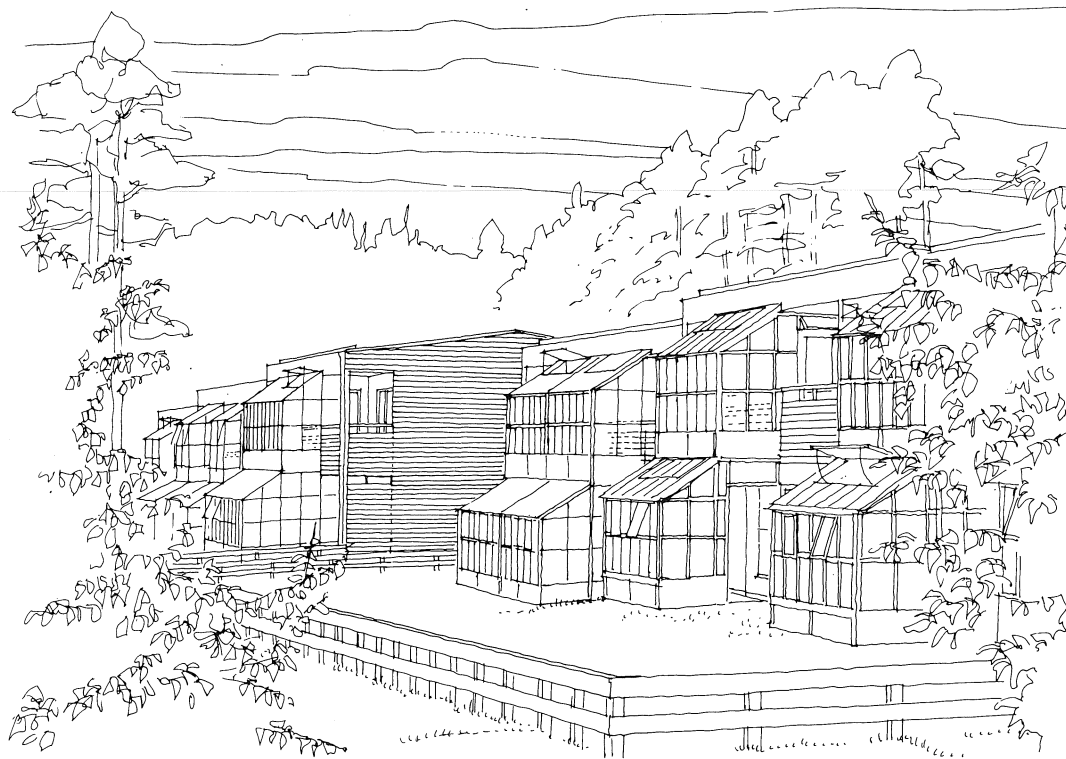
Bottenvåning 1:200 av lägenhet om 4 rum och kök.

Avskärmande tak och balkonger fick ett utskjutande mått på 1,4–1,5 meter. De glasade rummen gavs ett planmått som gjorde dem användbara för ett flertal möbleringar och gav utrymme för växter. Golvet i de glasade rummen är av tjocka vita betongplattor lagda i sand. Den rörliga solavskärmningen består i samtliga glasade rum av vit lakansväv som av brukaren kan regleras tillfälle för tillfälle.



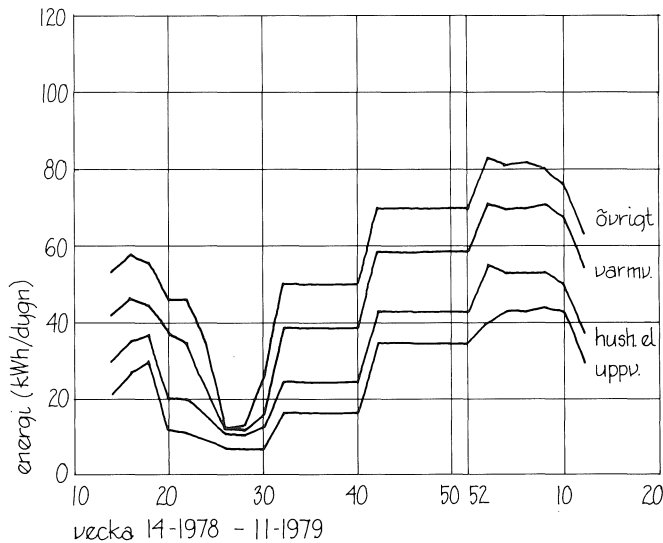
Varje glasat rum är ventilerat efter principen "korsdrag" där grundventilationen tillgodoses genom stora galler med luckor placerade i sockeln samt via ventilationsöppningar över dörr i rummets topp. Dessutom får man en extra ventilation genom att öppna partier i front och tak.

De glasade rummen har blivit mycket uppskattade. Stor del av fritiden i hemmet tillbringar man i de glasade rummen, tex vid måltider, kaffepauser, stunder tillsammans med gäster, klubbträffar, arbete i hemmet m m. Efterhand har man, i mindre eller större omfattning, planerat växter i rummen allt efter vars och ens önskemål och smak. Rummen upplevs som riktigt trevliga komplement till bostaden. De glasade rummen ger området en egenartad karaktär – en solhuskaraktär.

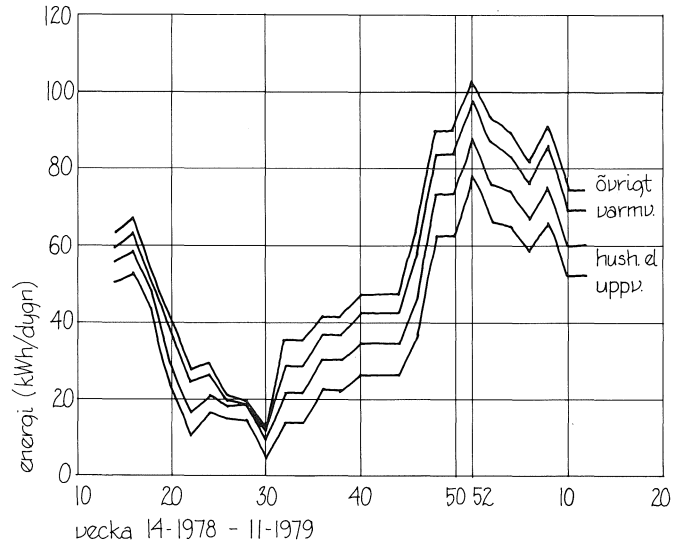


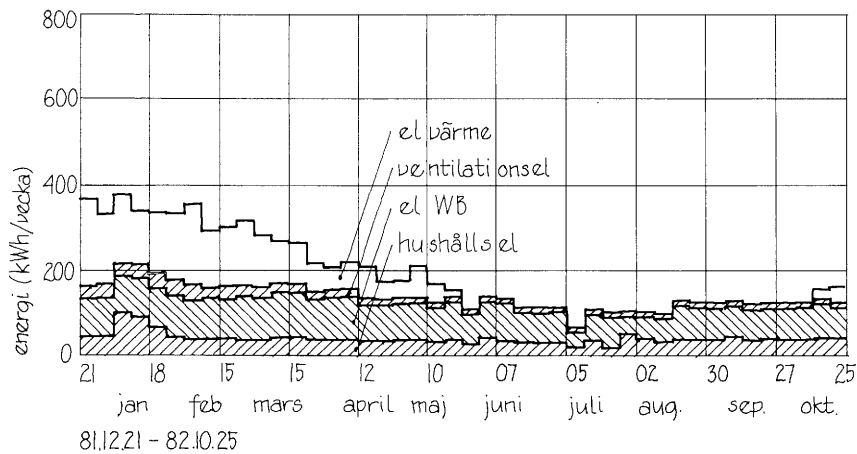
- bebyggelsen orienteras i syd-nordlig riktning
- sydligt belägna rum förses med stora värmeupptagande glasutor och rum mot norr ges begränsade fönsteröppningar
- varje lägenhet förses med en glasveranda som tidigt på våren till sent på hösten "utvidgar" lägenheten och ger den ett väsentligt energitillskott under uppvärmningssäsongen
- att konstruktionsmässigt utföra byggnaderna som "värme-tröga" konstruktioner som utjämnar temperaturdifferenser över dygnet
- att värmeöverskott från hushåll, personer och sol kan tas tillvara med ett väl fungerande regler system för värmesystemet. Därför har ett värmesystem med direktverkande elradiatorer valts.
- mekanisk till- och frånluft med värmeåtervinning
- extra kraftig isolering i golv, vägg ($0,20 \text{ W/m}^2\text{°C}$) och tak ($0,12 \text{ W/m}^2\text{°C}$)
- att fönstren avskärmas för besvärande sommarsol men släpper in vintersol

Projekteringsstrategi.

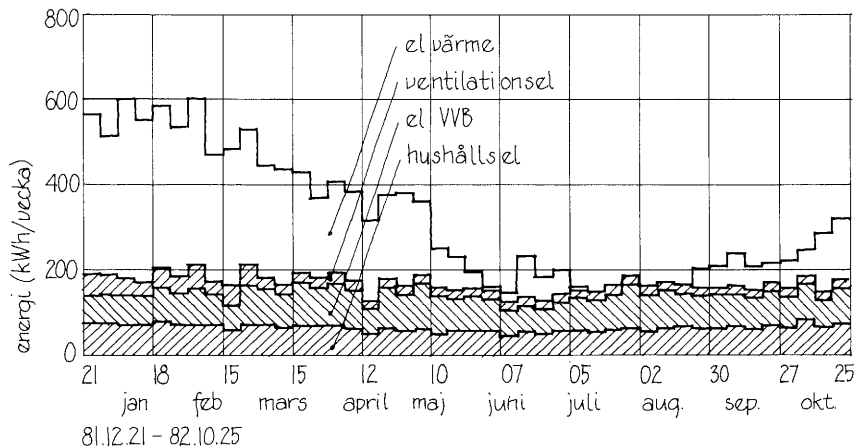


Energiförbrukning över året.





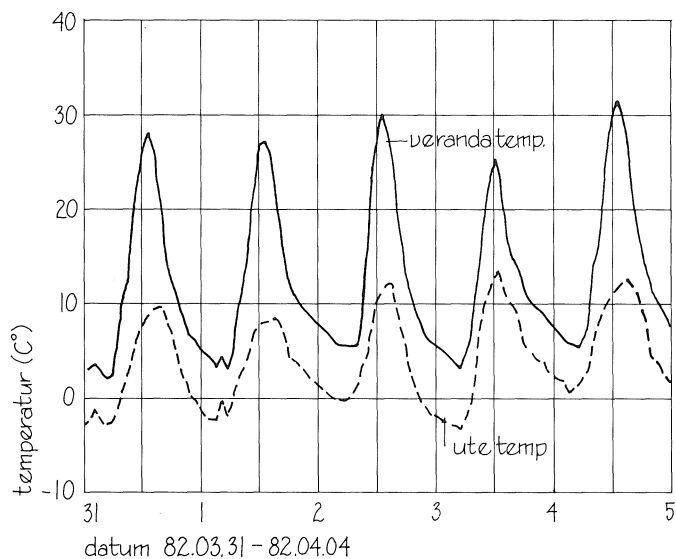
Energiförbrukning i en 2-rumslägenhet.



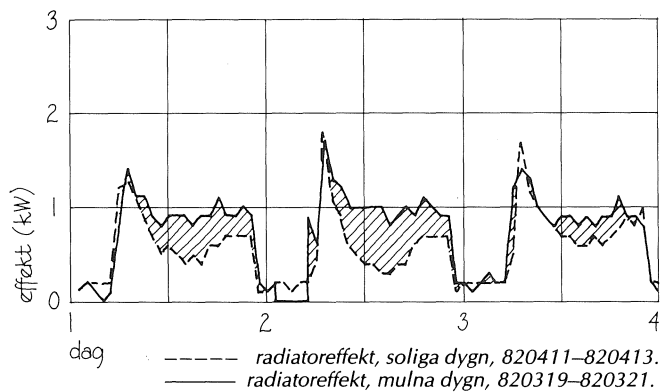
Energiförbrukning i en 4-rumslägenhet.

Energihushållningen åstadkommes genom maximal solmottagning, god isolering i väggar och tak, 3–4-glasfönster, tunga bjälklag, ventilation med värmeväxlingsaggregat i kökspisens kåpa. Varje lägenhet är värmeisolerad från grannlägenheten och kan därmed ha sin egen klimathållning. Varje lägenhet har likaså sin egen varmvattenberedare. Varje familj kan därmed ha sin egen energibudget under kontroll och styra sitt energiuttag alltefter egna behov och värderingar.

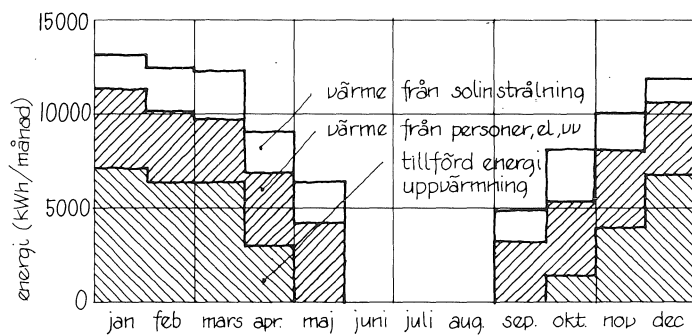
Se vidare Rapport BKL 1983:1 (Institutionen för Byggnadskonstruktionslära LTH, Lund).



Gäller fem klara dygn.



månatligt värmebehov



sammanfattning årsenergi balans:

elvärme	64 kWh/m ²
tappvarmvatten	18 "
varmvattenberedarförluster som tillförs huset	18 "
hushållsel	31 "
personvärme	20 "
solinstrålning	29 "
<hr/>	
summa tillförd energi	180 kWh/m ²
<hr/>	
transmissionsförluster	108 kWh/m ²
ventilationsförluster	54 "
avloppsförluster	18 "
<hr/>	
summa förluster	180 kWh/m ²

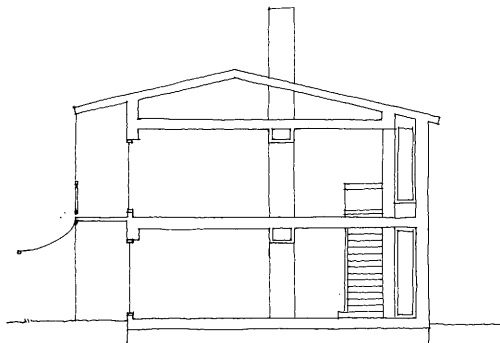
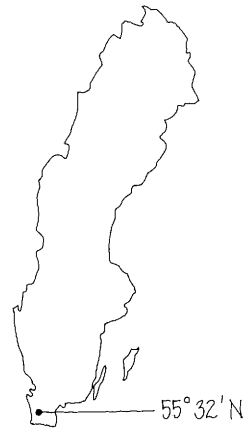
redovisad energibalans är mycket preliminär.

LIMHAMN

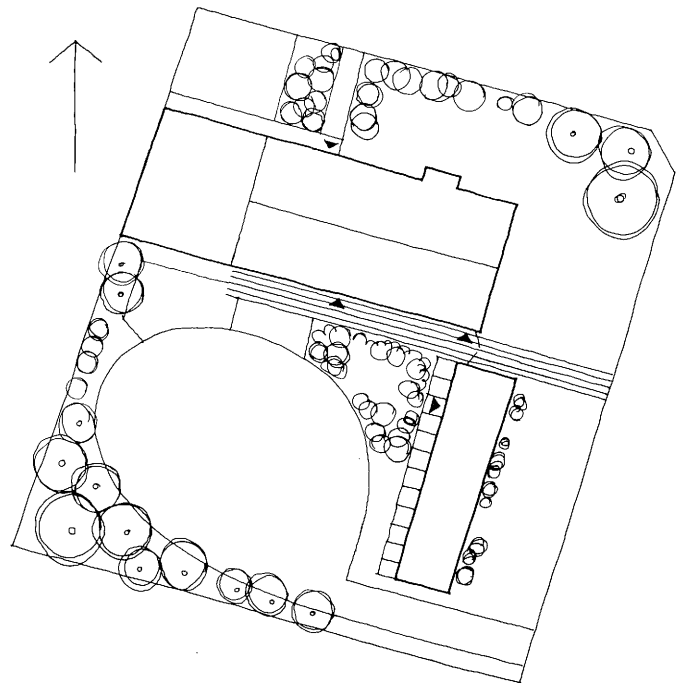
Friligande enfamiljshus Limhamn 1980–82

När man skaffat sig ett kunnande i beräkningar och har fått erfarenheter om hur lågenergihus bör byggas kan man som Bo Adamson låta bygga sig ett lågenergihus, leva och bo i det, samtidigt som man registrerar energiförbrukning och temperaturhållning.

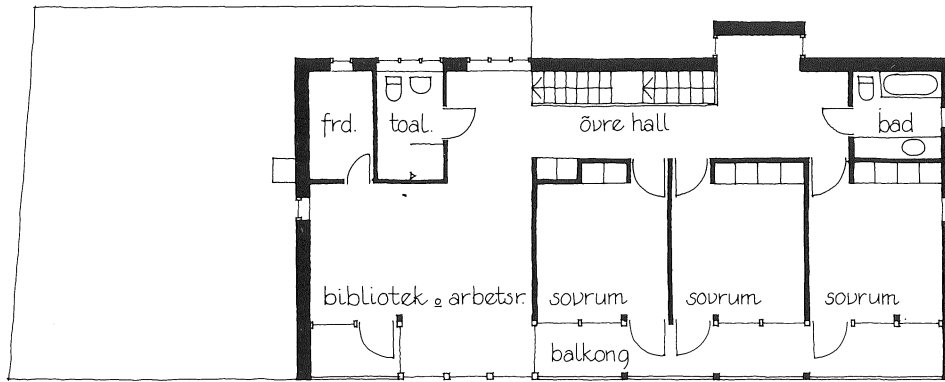
Bo och jag utformade tillsammans mot bakgrund av de erfarenheter vi hade ett tvåvåningshus med uppglasade och erforderligt avskärmade sydligt orienterade ytterväggar efter samma planprincip som för Nyckelhus men tungt, dvs med hjälp av tre stycken betongbjälklag. Detta för att kunna ackumulera tillskottsvärmen från sol och hushåll samt undvika höga sommartemperaturer inomhus.



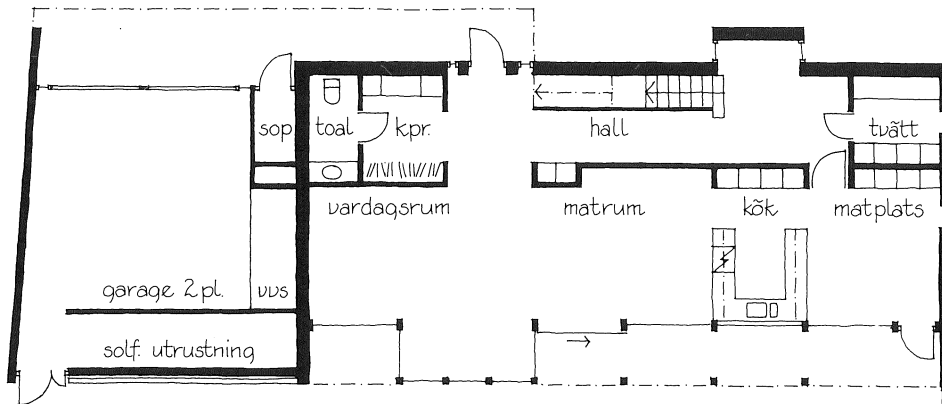
Sektion.



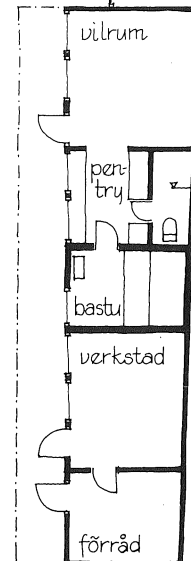
Situationsplan 1:500.



Övervåning.

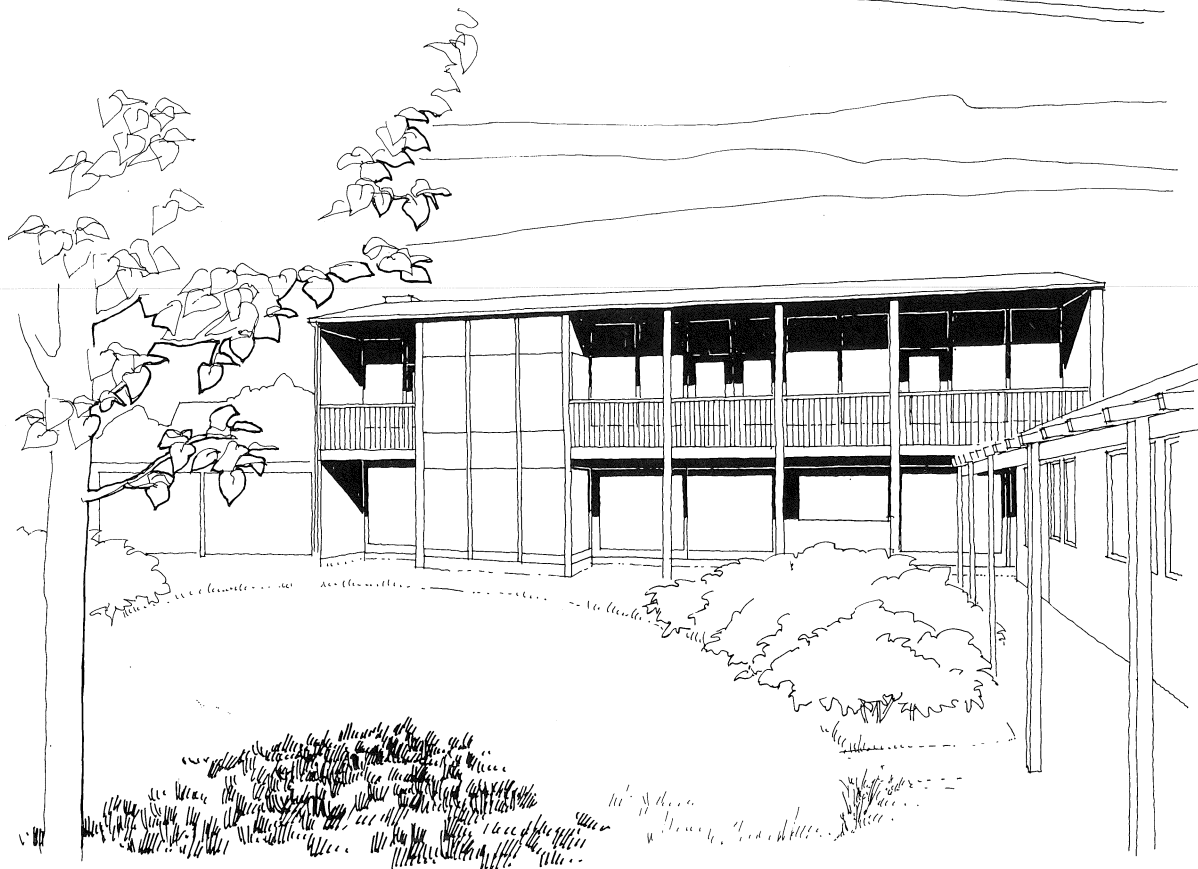


Bottenvåning 1:200.

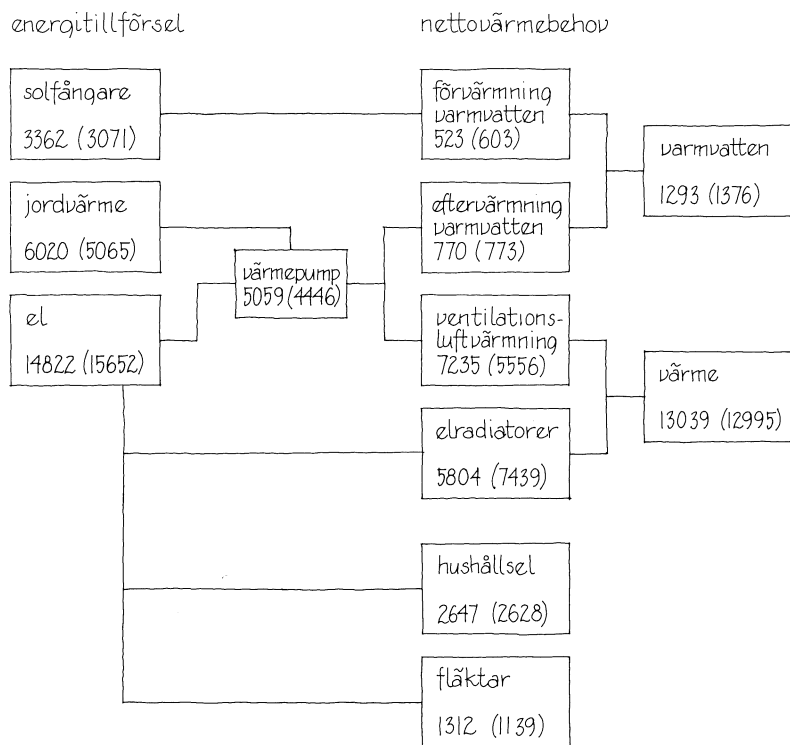




Mot norr.

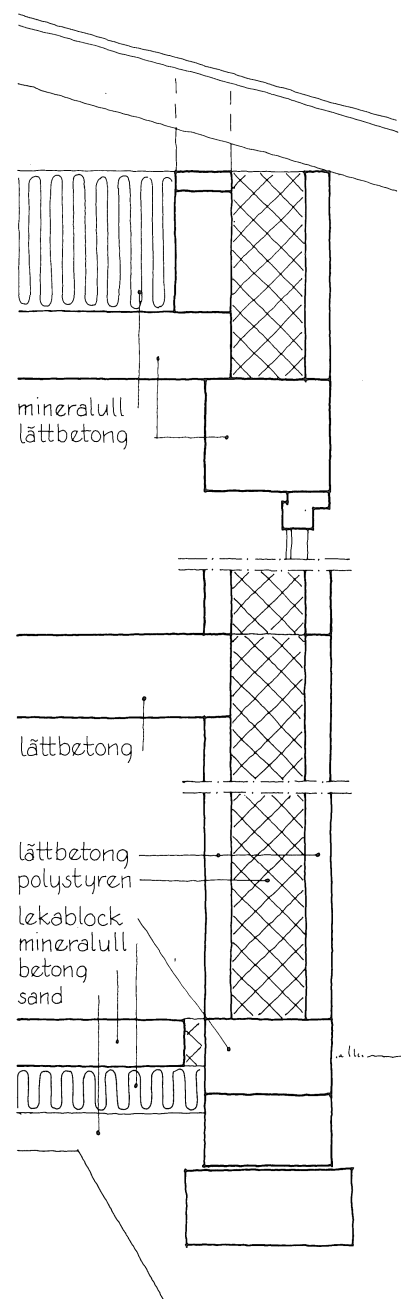


Mot söder.

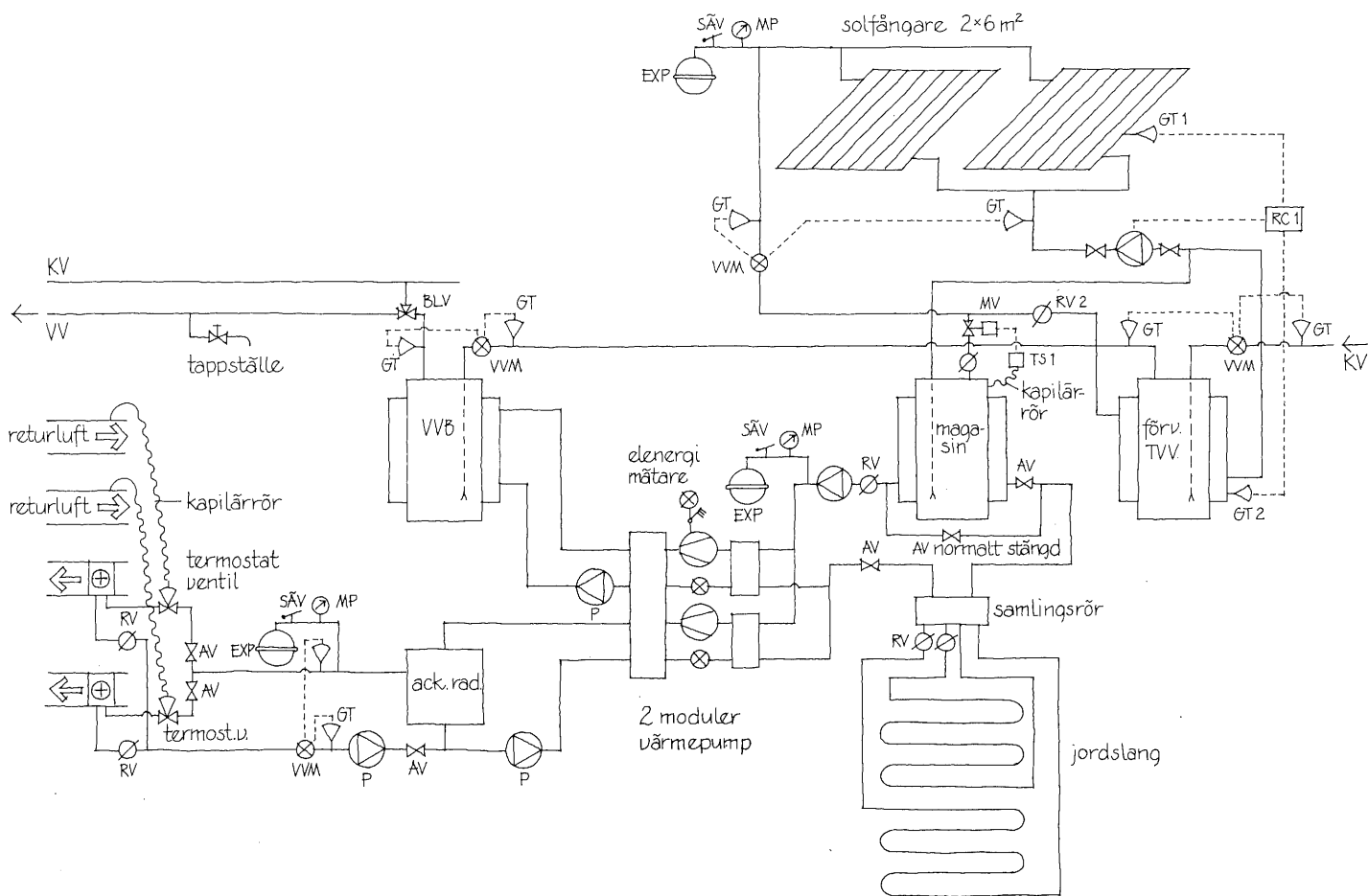


Limhamn 220m² BoY 82-12-21 till 83-12-21 (83-12-29 till 84-12-27)

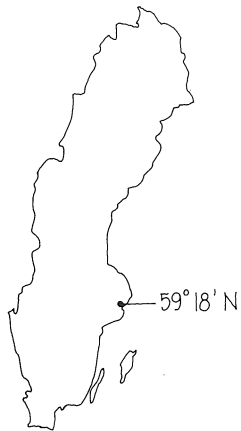
Huset är ett sk passivt hus som kompletterats dels med markvärme via värmepump, dels med en vertikalt placerad solfångare på den södervända garageväggen. Hur systemen ser ut och fungerar framgår av schemat. De aktiva systemen, markvärme och solfångare, är ej lönsamma för detta hus. De har medtagits av forskningssynpunkt.



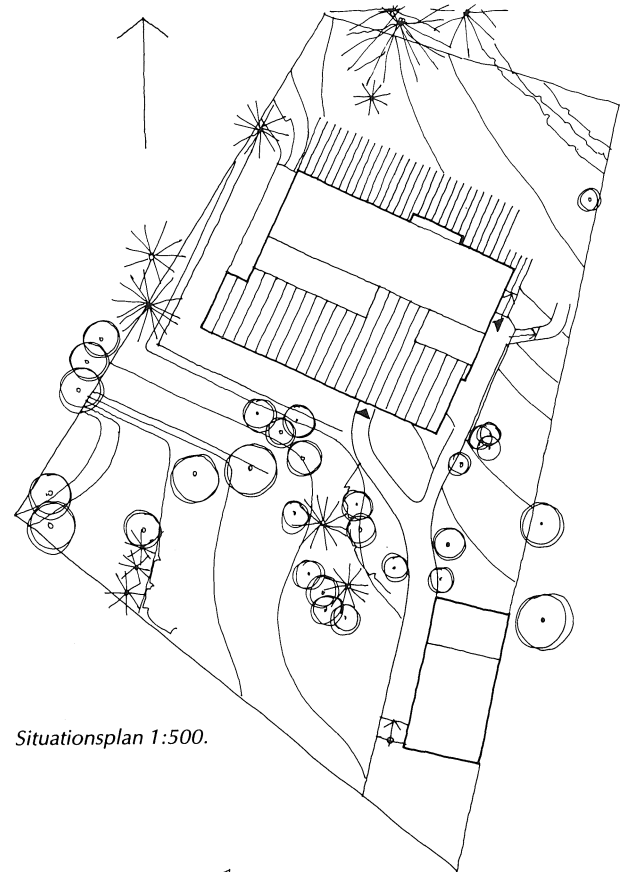
Snitt genom yttervägg-bjälklag-tak.



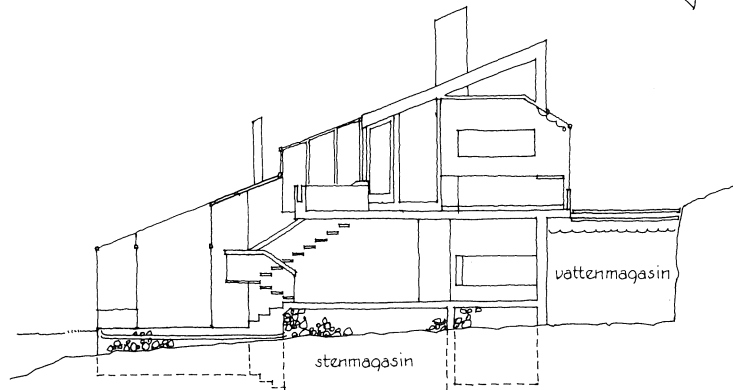
En VVS-ritning underlättar inte alltid förståelsen av ett system. Verkligheten är betydligt enklare. Dock kräver värmepumpen årlig service, vilket naturligen medför kostnader.

Strålsjöhuset Älta 1980–83

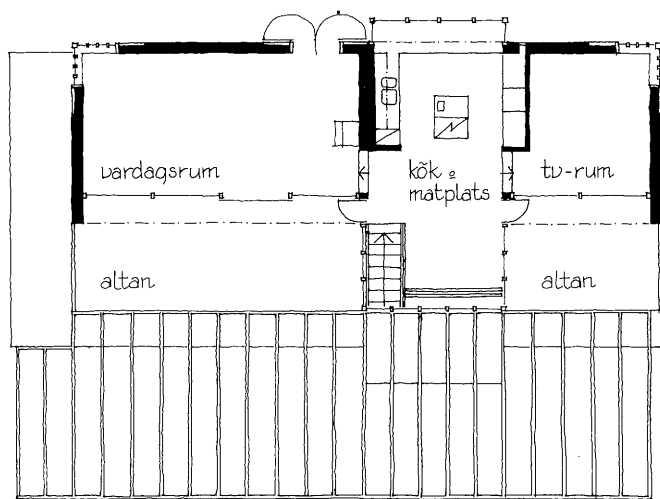
I en mot söder starkt sluttande bergstomt ville ägaren, Bo Lindqvist, på egen hand bygga sig ett lågenergihus med utnyttjande av det "passiva" husets alla möjligheter. Detta för att bringa ner energibehovet men också för att han var intresserad av att leva ekologiskt. Hustrun, intresserad av trädgårds-skötsel, önskade ett större växthus för att kunna odla köks- och prydnadsväxter.



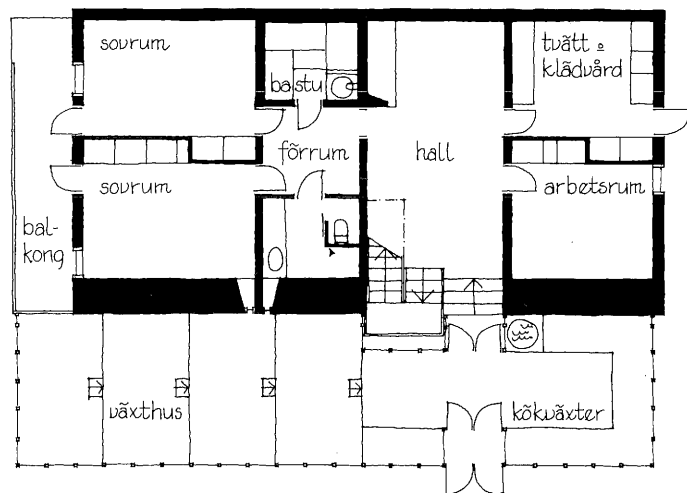
Situationsplan 1:500.



Sektion.

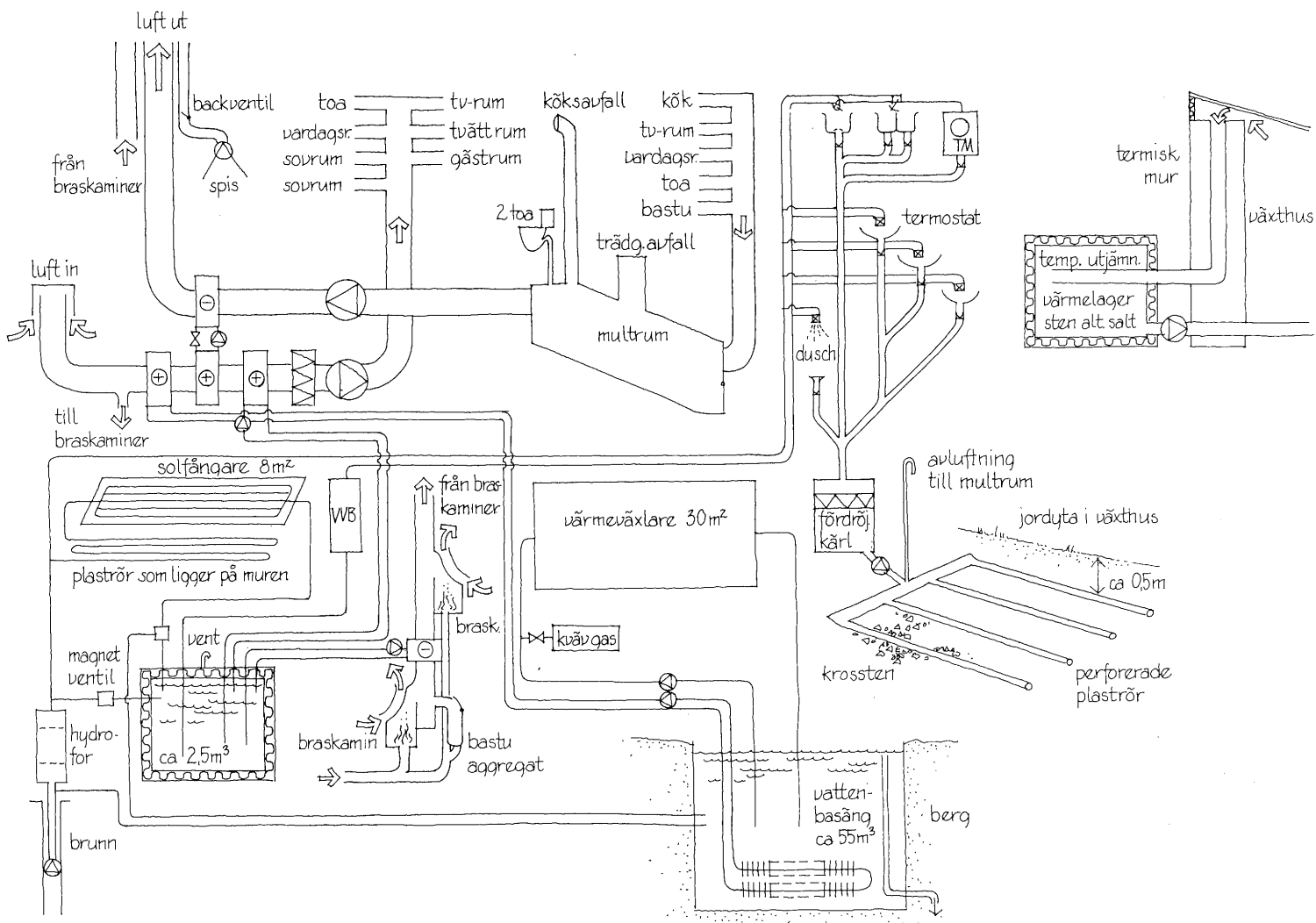


Övervåning.

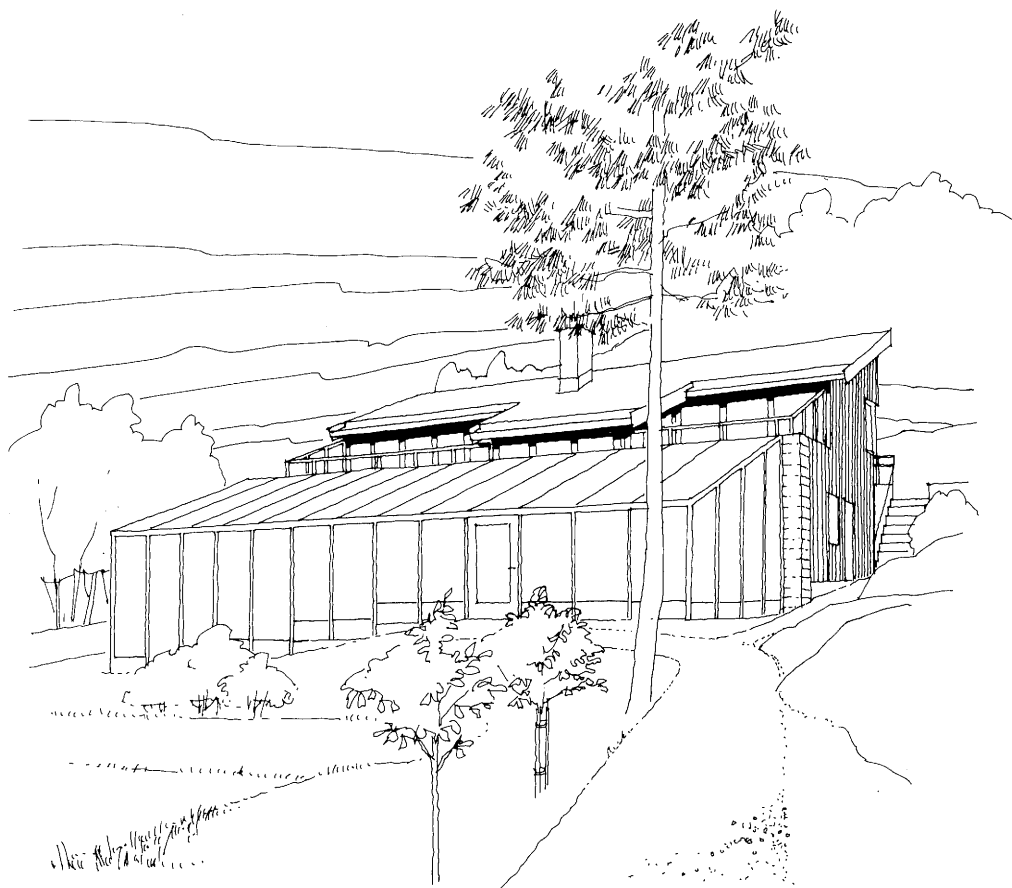


Bottenvåning 1:200.

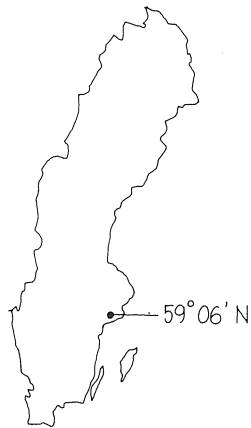
Skissen visar hur bostad och växthus förenats med en tjock ackumulerande kanalvägg belägen i gränsen mellan dem.



Av diagrammet framgår hur borrhå djupbrunn, braskamin, bastuugn, solfångare, multrum och värmväxlare samt värmelager dels under hus, dels i kanalvägg och i vattenbasäng, jämte rening och infiltration av hushållsvatten i växthusets markbäddar, är tänkta att samverka.



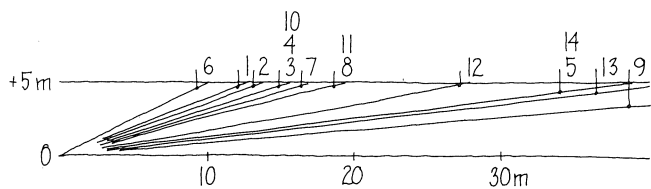
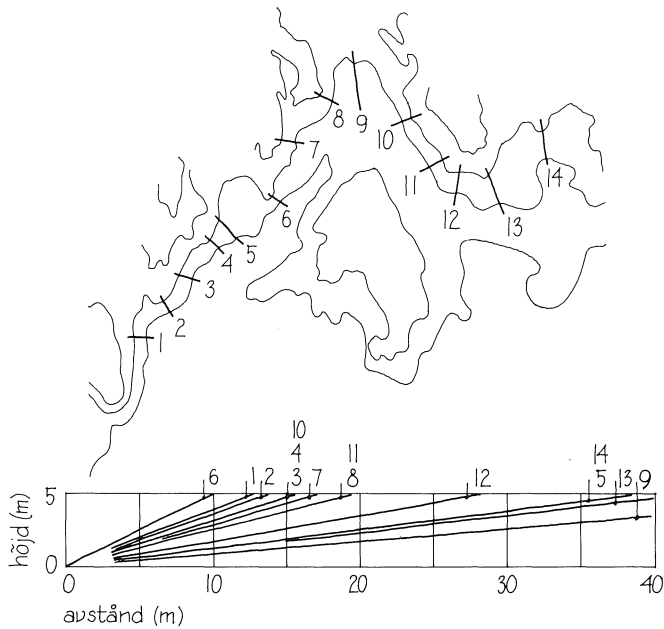
Familjen har efter det huset färdigbyggts steg för steg lärt sig husets egenskaper och det integrerade systemets möjligheter. Deras erfarenheter är goda. De trivs verkligen med att leva i symbios med klimat, natur och hus.



Solvärmestadsdel Södertuna 1980–85

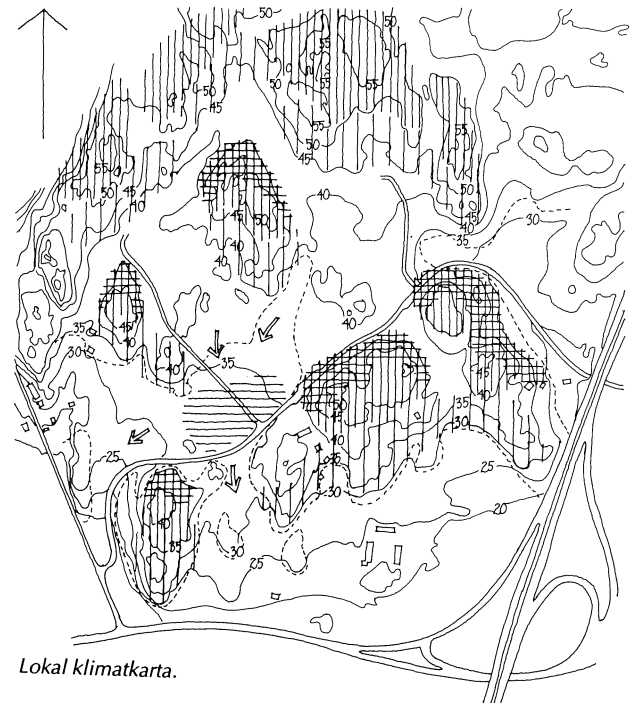
Vattenfall, Södertälje kommun, Täljebostäder och Riksbyggen var intresserade av att utveckla ett stadsdelsbyggande där energin för värme, varmvatten och ventilation till 80 % kunde erhållas direkt från solen. Experimenthusbyggandet gällde en stadsdel med 500 större och mindre lägenheter, låg- och mellanstadieskola, barndaghem samt butiker. Försörjningssystemet avsågs vara ett integrerat system med 20 000 m² solfångare och ett årsvärmevärmelag med c:a 70 000 m³ solvärmigt varmvatten.

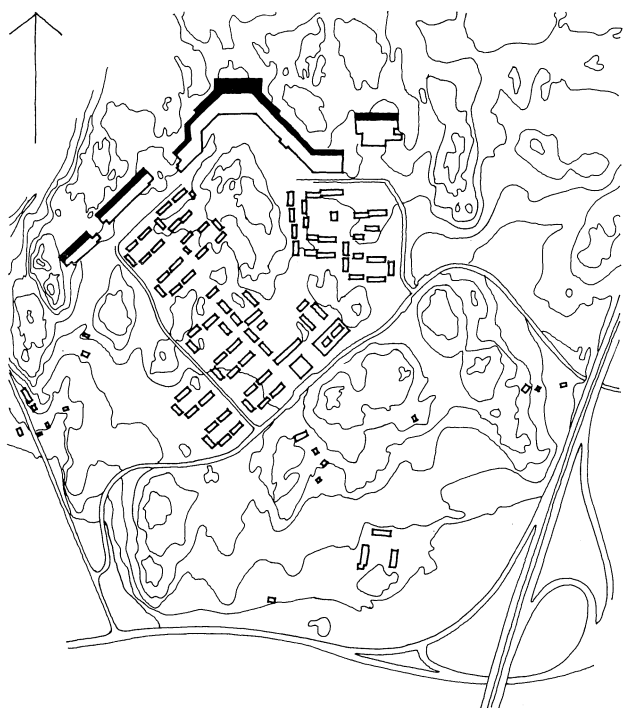
Området utgjordes av hagmark, småkuperad impedimentmark, långa bergslanter med lutningar på 1:2, 1:3, som till stora delar var riktade mot söder.



Marklutningar plan–snitt.

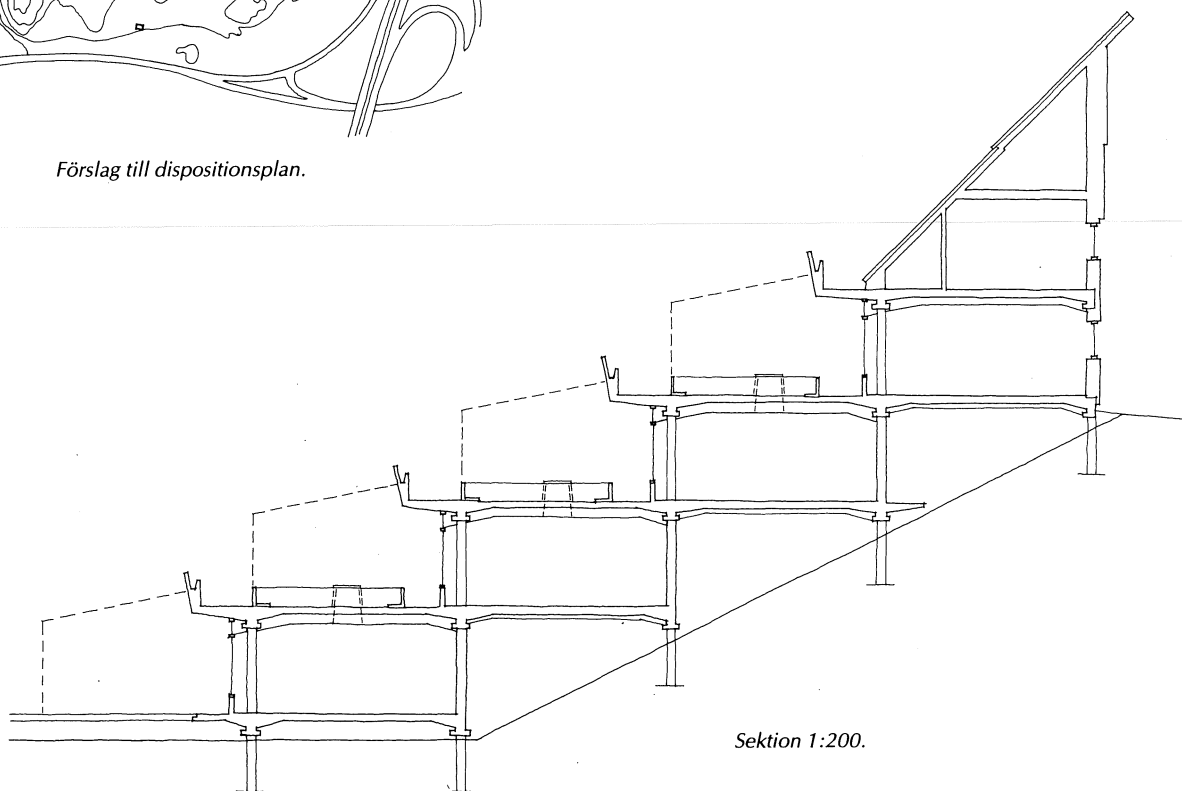
- |||| blåsigt
- ||| stor instrålning
- ||||| liten instrålning
- ≡≡≡ ev kallluftsamling
- ⇒ kallluftflöde
- skogsbryn



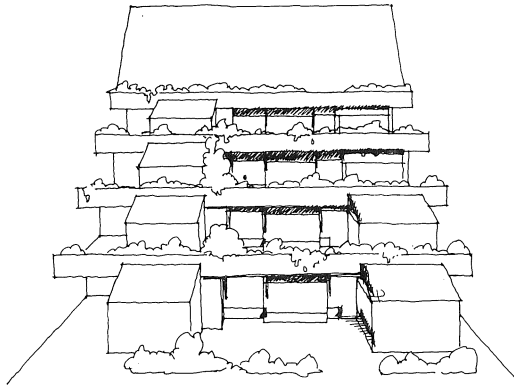


Förslag till dispositionsplan.

De vindskyddade och soliga slänterna har i medeltal några grader högre temperatur än omgivningen. Hit förlades hälften av bostäderna i terrasshus. Resten utformades som radhus i två våningar och med liten volym och omslutande yta.

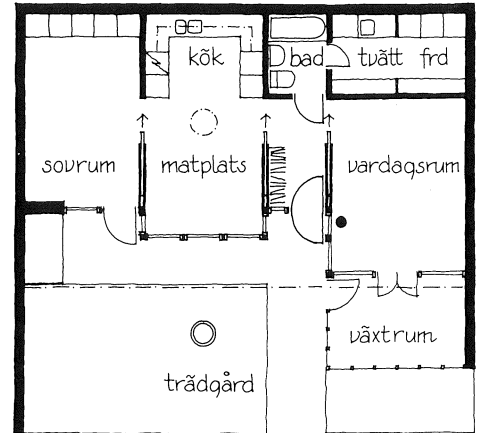


Sektion 1:200.

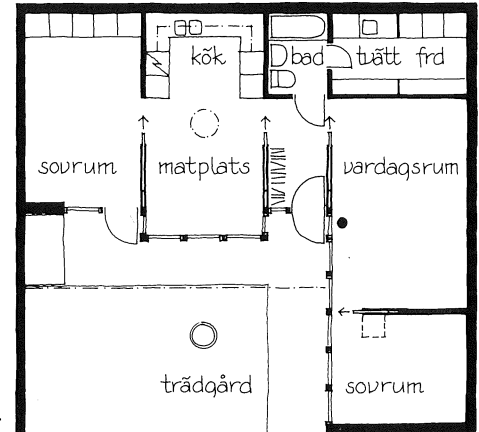


Perspektiviskt snitt.

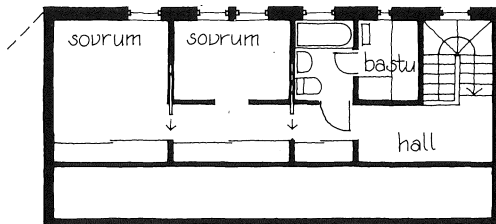
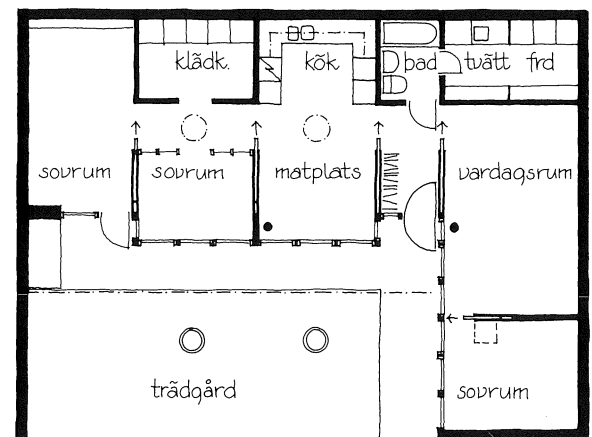
2 rum och kök.



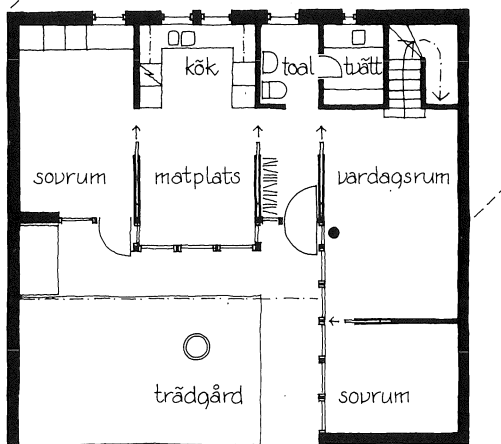
3 rum och kök.

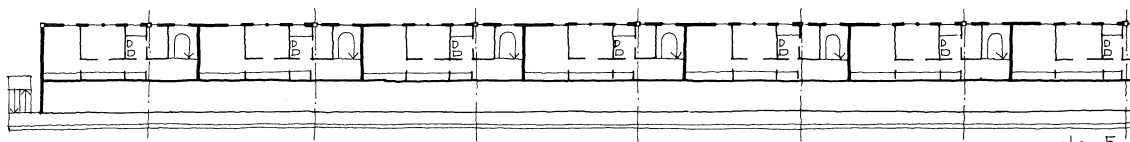


4 rum och kök.

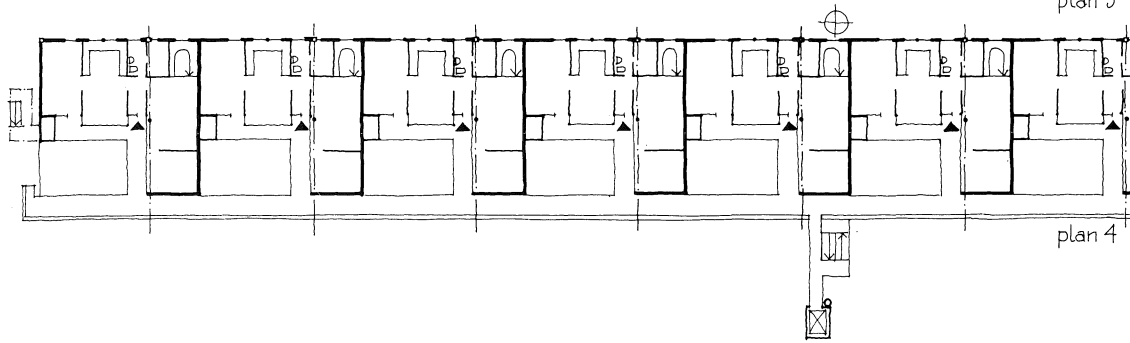


5 rum och kök.

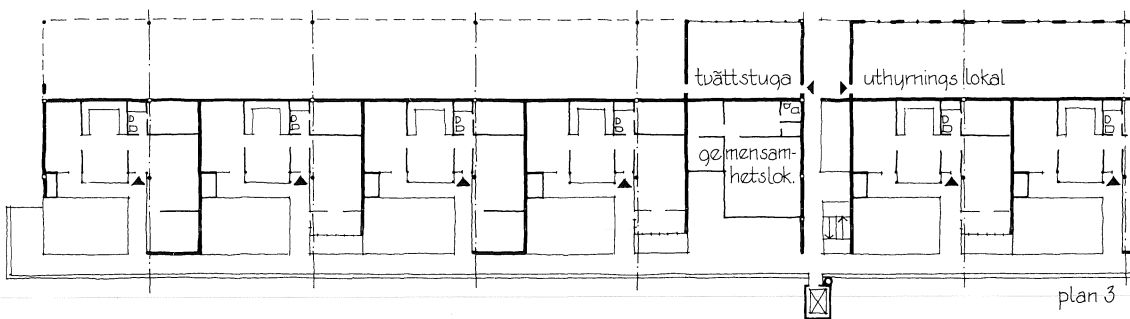




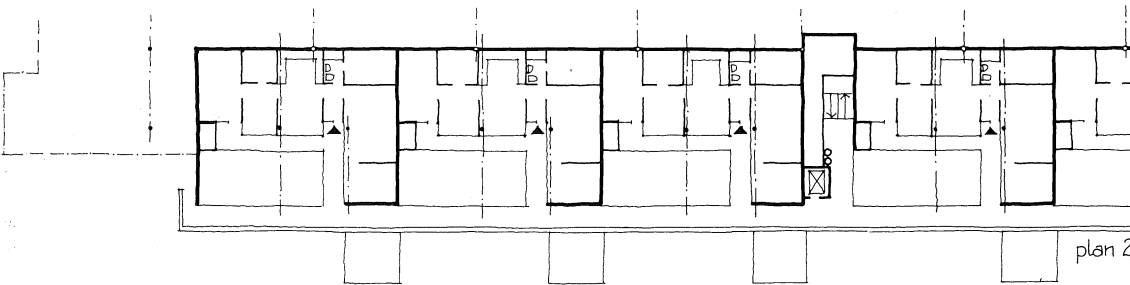
plan 5



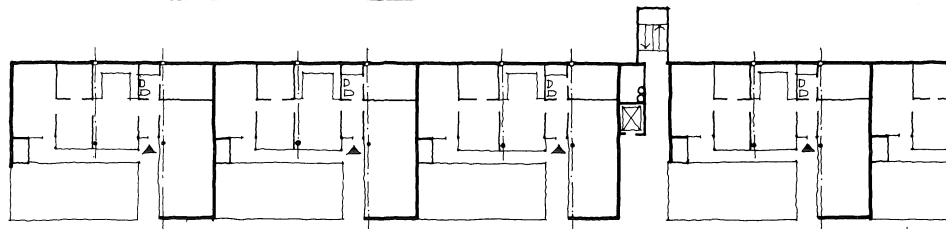
plan 4



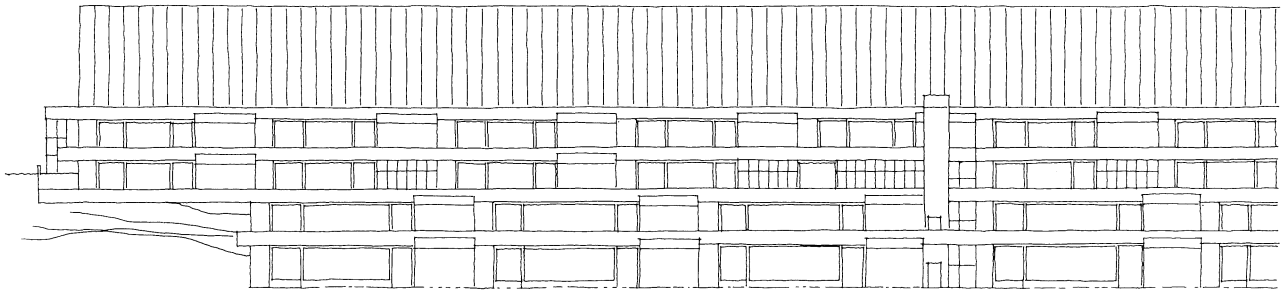
plan 3



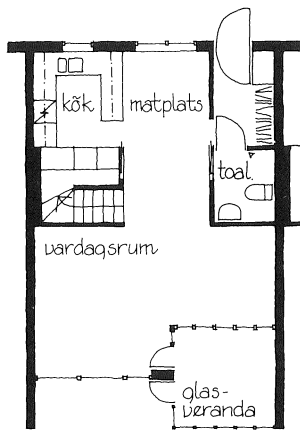
plan 2



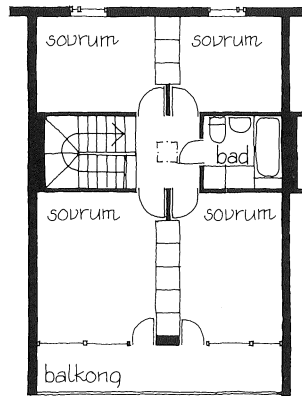
plan 1



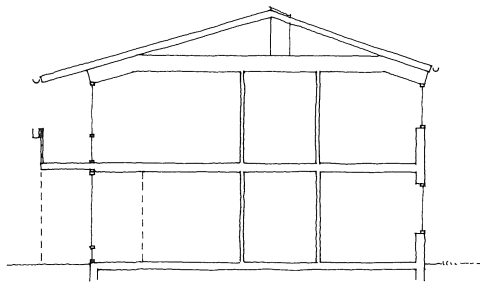
Del av fasad mot sydligt väderstreck.



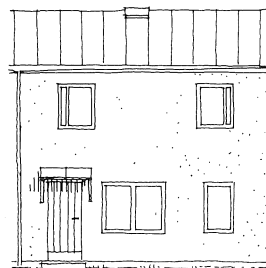
Bottenvåning 1:200.



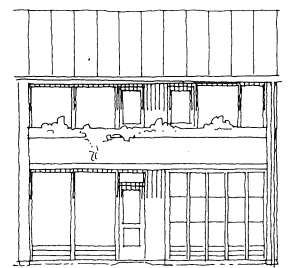
Övervåning av radhus.



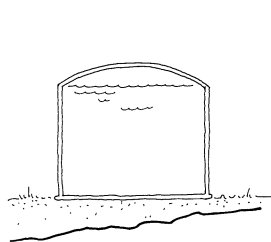
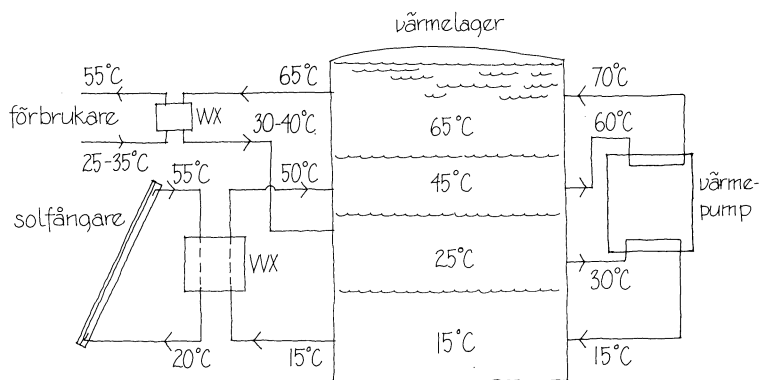
Sektion.



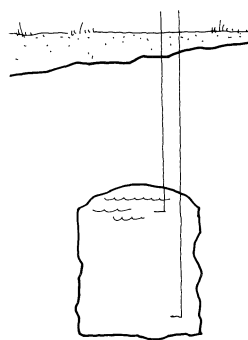
Fasad mot norr.



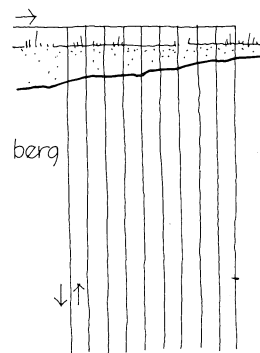
Fasad mot söder.



isolerad ståltank



bergrum



borrhålslager

Genom att man gjorde husen "passiva" kunde värmebehovet reduceras från normens 15 000 kWh/lgh, år till mindre än 10 000 kWh utan någon extra produktionskostnad. Detta hade till följd att solfångarytan reducerades från 20 000 m² till 12 000–13 000 m², vilket i sin tur minskade årsvärmelagret till knappt 50 000 m³ varmt vatten.

Från att man räknat med att alla hustak skulle bära solfångare visade det sig att nu endast terrasshusens tak behövde integreras med solfångarna. Miljömässigt sett var detta en klar fördel. Produktions- och driftsmässigt hade det också klara fördelar. Genom insatser från expertgrupper på solfångare kunde solfångarkostnaden reduceras kraftigt.

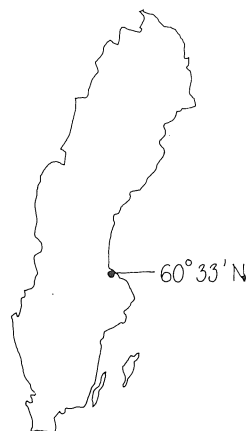
Värmelagret studerades av andra expertgrupper och utvecklades från bergrum alternativt ståltankar till borrhålslager. En utveckling som också ledde till förmånligare lagringskostnader.

Sammantaget visade sig projektet kunna försörjas till 80 % med solvärme. För resterande 20 % erfordrades el-kraft till pumpar, fläktar, värmexlaren och värmepumpar inom värmelagret.

Slutkalkyler visade att projektet i sin helhet skulle kunna göra sig "självförsörjande" med värme till en i det närmaste acceptabel produktions- och driftskostnad jämfört med 1983 års energipris.

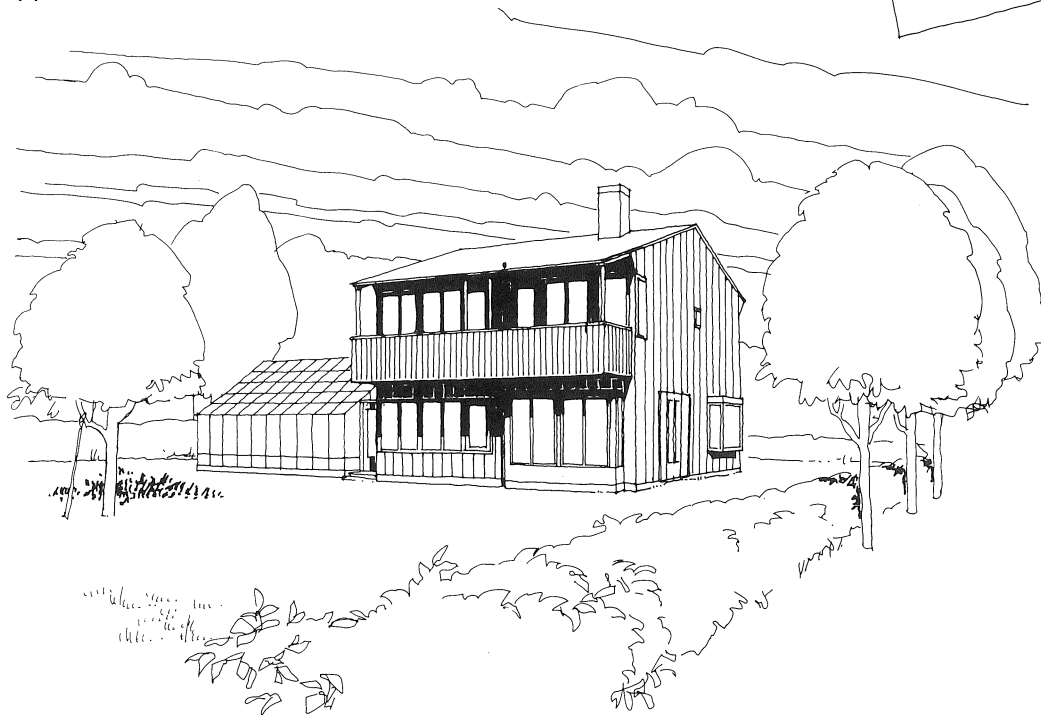
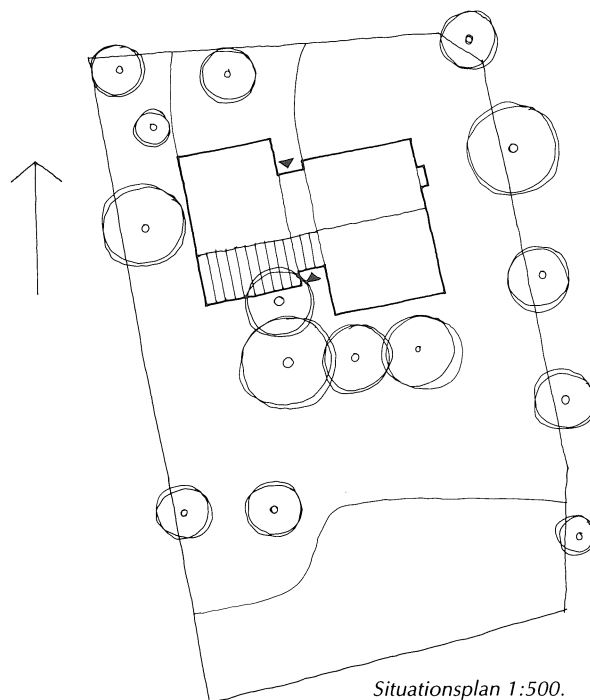
Se vidare Byggeforskningsrådets Rapport R179:1984.

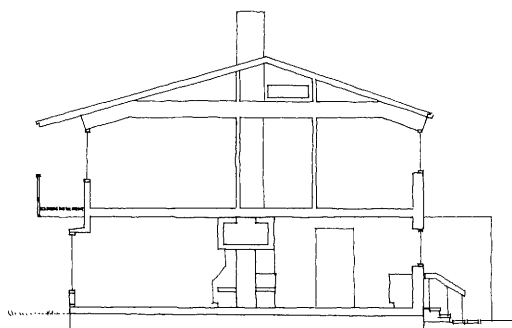
Vattenfalls experimenthusprojekt i Älvkarleby 1982–



I serien av experimenthus vid Vattenfalls anläggningar i Älvkarleby önskade man ett sk "0-energi-hus".

Tillsammans med professor Björn Karlsson, Linköpings universitet, utvecklade jag ett hus med mycket låg energiförbrukning. En 0-energilösning fann vi emellertid varken lönsam eller önskvärd att uppnå.



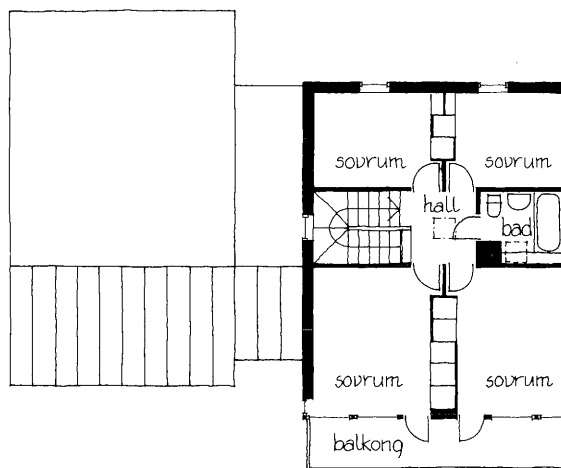


Sektion.

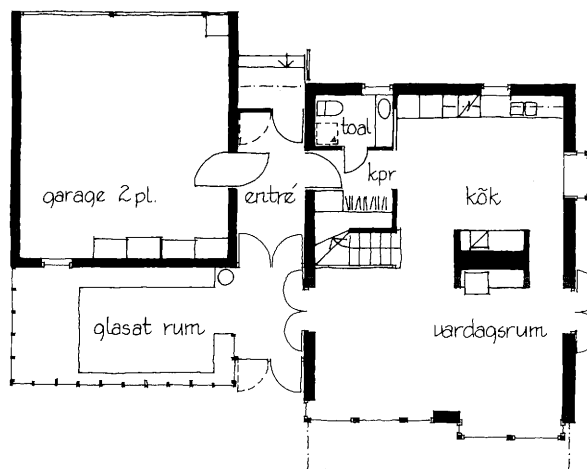
Huset är tänkt som ett friliggande enfamiljshus med minimal husvolym. Planen följer lånekraven med sovrum på 12, 10, 7 m² samt ett vardagsrum på 22 m² och ett kök med plats för ett större arbetsbord-matbord.

Huset har dessutom ett garage för två bilar samt ett större, glasat rum.

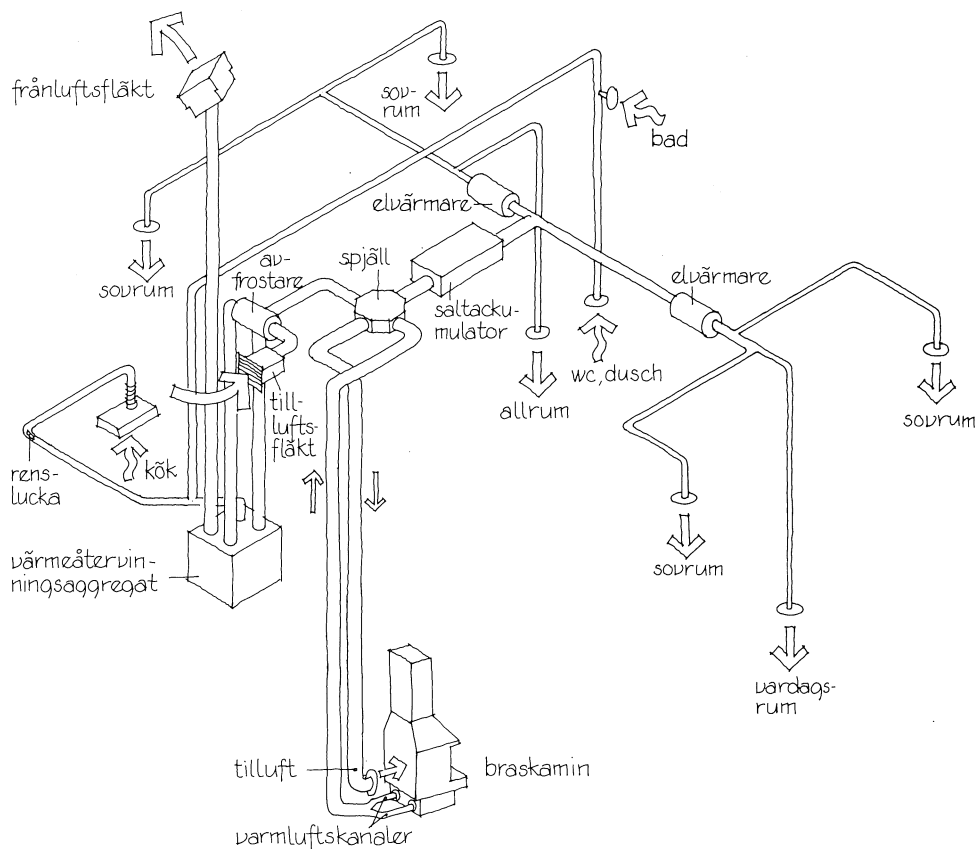
Mot söder är huset rikt uppglasat men avskärmat för solinfall vid hög solhöjd. Bottenvåningen har ett tungt bjälklag för upplagring av överskottsvärme medan övervåningen har en lätt konstruktion för att man snabbt skall kunna höja eller sänka rumstemperaturen.



Övervåning.



Bottenvåning 1:200.



Systemskiss.

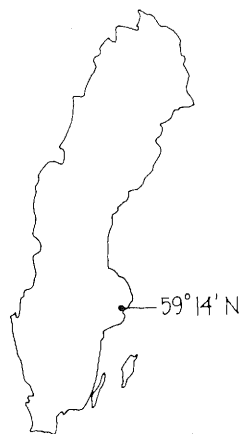
Huset är försett med en braskamin och en köks-spis som vid behov ger ett extra vämetillskott eller med tanke på familjens trevnad vid kvällsamvaro resp vid matlagning.

Via en värmeväxlare och ett saltvärmelager kan överskottsvärmen eller värmen på utgående luft bidra till energihushållningen. Entrérymmet mellan huskropparna kan slutas eller öppnas alltefter årstid. En god kontakt mellan vardagsrummet och det glasade rummet har eftersträövats liksom med trädgården.

Huset är ännu på projektstadiet i avvaktan på lämplig tidpunkt för ett genomförande.

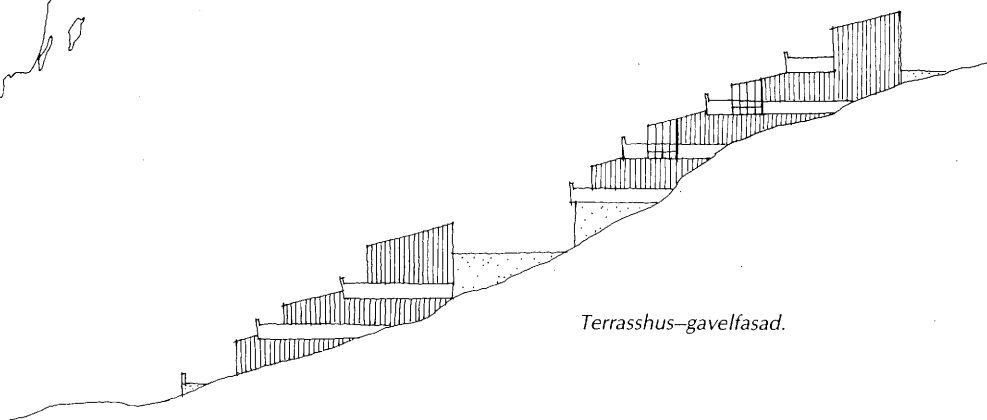
GUDÖ

Terrasshusområde Gudö, Tyresö 1983–86

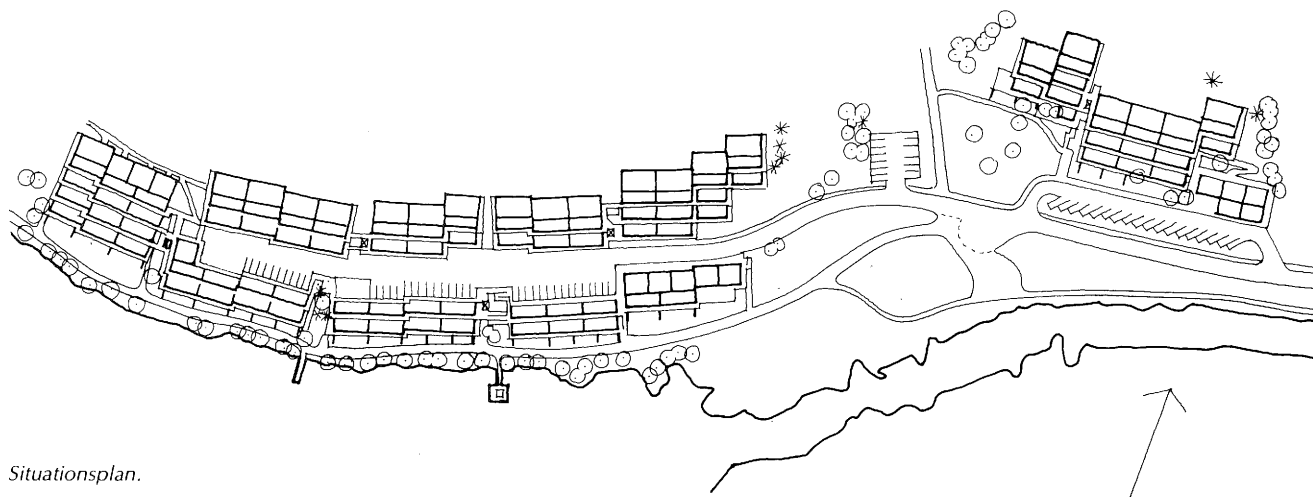


Byggherre, Svenska Riksbyggen.

Som en vidareutveckling av Södertunaprojektet har ett bostadsområde med 115 lägenheter projekterats och byggts i Tyresö i en sydsluttning invid Drevvikens strand. Sluttningen som har lutningen 1:2–1:3 visade sig vara lämplig för terrasshusbyggnad. Samtliga lägenheter är orienterade mot söder med utsikt över vattnet.

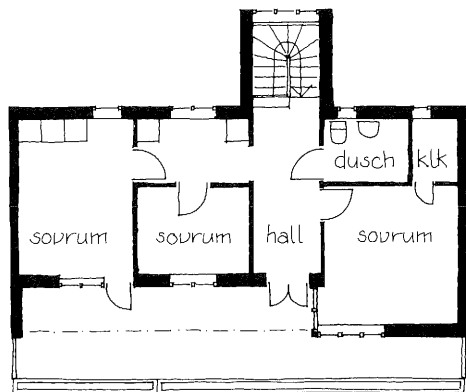


Terrasshus-gavelfasad.

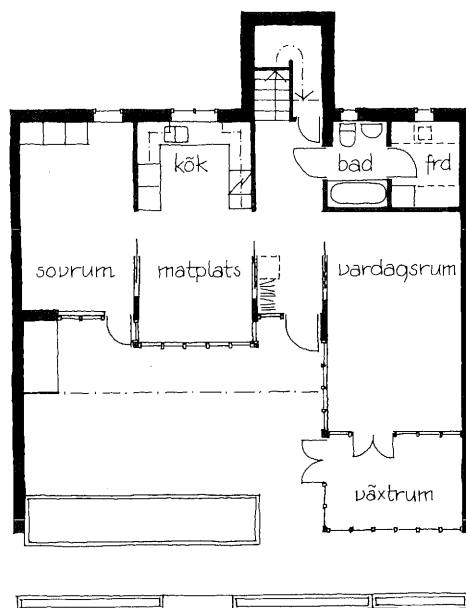


Situationsplan.

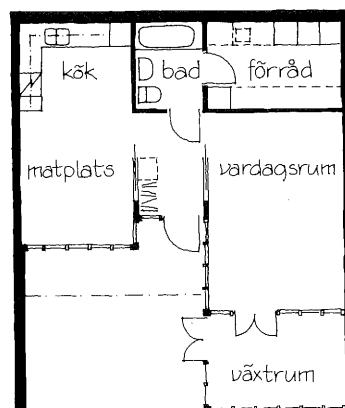
På terrasserna har flertalet lägenheter försetts med glasade rum i anslutning dels till vardagsrum, dels till terrassen. Dessa glasrum är enkelglasade med stomme av limträ och med golv av betong. De glasade rummen är ventilerade i underkant och upptill, princip korsdrag.



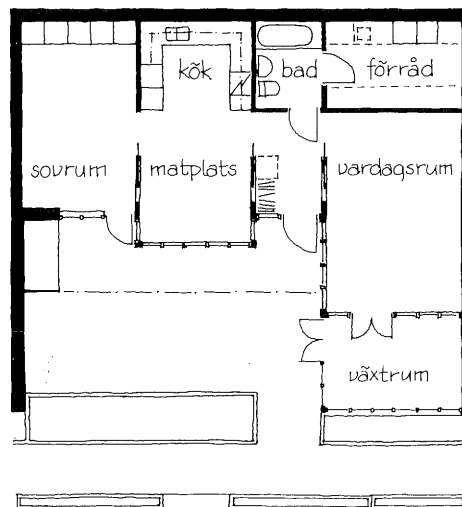
Övervåning.



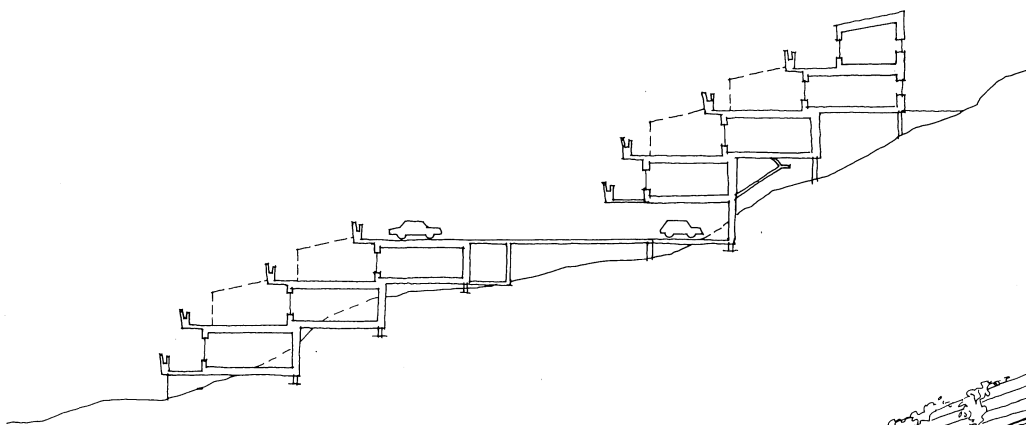
Entréväning, 5 rum och kök.



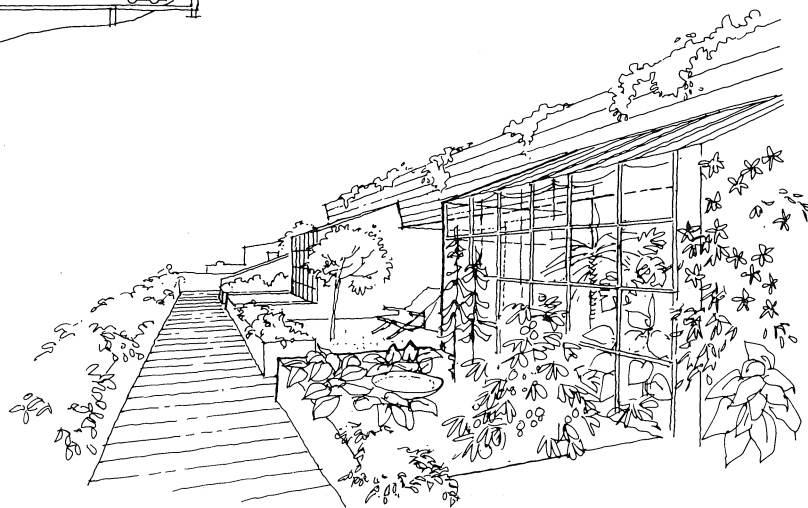
2 rum och kök.



3 rum och kök.



Sektion genom nedre och övre terrasshus.



Terrasserna är byggda i betong. En god värmeupplagring erhålles vilket kommer att ge ett fördelaktigt klimat på terrassen framför lägenheterna. Terrassernas överhäng kommer att avskärma solen från vår till höst, dvs ge passiv kylning för inomhusklimat den varmaste tiden på året. Planterade träd och större buskar kommer att ge viss skugga på terrassen. Om man så vill kan markiser sättas upp i terrassframkanten och ge skugga åt bl a uteplatsen.

Husens ytterväggar är av högisolerad lättregelkonstruktion och har en tjocklek av 170 mm mot söder, 240 mm mot öst och väst och 300 mm mot norr. Alla fönster är av 3-glastyp.

Uppvärmningen av anläggningen sker med en värmepump kopplad till slangsystem nere i viken. Den värmeförbrukning som inte täcks med hjälp av värmepumpen sker via vattenburen elvärme. Varje lägenhets ventilation sker via värmeväxlare i spiskåpan.



Referenslitteratur

- Adamson, B och Höglund, I, 1957*, Tekniska synpunkter på treglasfönster. Tidskriften Byggmästaren, nr B7, 1957.
- Adamson, B och Löfstedt, B, 1971*, Takvärme, temperaturfördelning och behaglighet. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R12:1971.
- Adamson, B, Claesson, J och Efring, B, 1971*, Kryprum. Grundläggningsdjup, värmeisolering och fuktförhållanden. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R29:1971.
- Adamson, B, Claesson, J och Efring, B, 1973*, Bjälklag på jord – grundläggningsdjup. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R40:1973.
- Adamson, B, 1973*, Bjälklag på jord – värmeisolering och golvtemperaturer. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R41:1973.
- Adamson, B och Backman, H E, 1975*, Glas i hus. (Esselte Studium). Stockholm, 1975.
- Adamson, B, 1977*, Grundläggningsdjup vid extremt kraftigt värmeisolerade bjälklag på jord. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1977:8.
- Adamson, B och Efring, B, 1979a*, Design of low-energy houses. A sensitivity study concerning heat requirement and indoor temperatures of a two-storey house in the Stockholm climate. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1979:4(E).
- Adamson, B och Efring, B, 1979b*, Design of low-energy houses. A sensitivity study concerning heat requirement and indoor temperatures of a two-storey house in the Luleå and Malmö climates. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1979:5(E).
- Adamson, B, 1981*, Design of low-energy houses. A theoretical study of gasfilled glass units with selective coating concerning heat requirement and indoor temperatures of a two-storey house. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1981:1(E).
- Anderson, L-O, Löfstedt, B, Frisk, P och Wyon, D P, 1975*, Människans reaktion för torr, fuktad och intermitternt fuktad luft. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R63:1975.
- Aynsley, R M, Melbourne, W, Vickery, B J, 1977*, Architectural Aerodynamics, (Applied Science Publishers Ltd.) Great Britain 1977.
- Beckman, W A, Klein, S A och Duffie, J A, 1977*, Solar Heating Design – by the F-chart Method. (John Wiley & Sons, Inc.) New York.
- Berman, S M och Silverstein, S D, 1975*, Energy conservation and window systems. Efficient use of energy. AIP Conference Proc 25, p 245–304.
- Brown, G, 1956*, Värmeövergång vid byggnadsytteritor. (Statens nämnd för byggnadsforskning) Handlingar nr 27, 1956.
- Brown, G och Isfält, E, 1969*, Instrålning från sol och himmel i Sverige under klara dagar. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R19:1969.
- Brown, G och Isfält, E, 1974*, Solinstrålning och solavskärmning. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R19:1974.
- Eckert, E R G, och Drake Jr, R M, 1959*, Heat and Mass Transfer. (McGraw-Hill Company Inc.) International Student Edition p 380, 1959.
- Elawa, S, 1981*, Housing design in extreme hot arid zones with special reference to thermal performance. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära). Doktoravhandling, 1981.
- Elmarsson, B, 1977*, Energihushållning i småhus med beaktande av fönsterytor, husets orientering och planlösning. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1977:11.
- EPD Energiråd 7*, Information om inomhusklimat.
- Fanger, P O, 1970*, Thermal Comfort. (Mac Graw-Hill Book Comp Inc.), 1970.

- Gajzagó, L, 1973, Outdoor microclimates and human comfort, Teaching the Teachers. (Statens institut för byggnadsforskning) Stockholm, 1973.*
- Gandemer, G, 1976, Intégration de Phénomène vent dans la conception du milieu bâti, secrétariat du groupe central des villes nouvelles, la Documentation française, 1976.*
- Geiger, R, 1971, The Climate near the Ground. (Harvard University Press) Cambridge, Mass 1971.*
- Girdo, V, 1982, Bestämning av molnighetsfaktorer (Cloud Cover Factor, CCF) för helklara, halvklara och mulna typdagar ur klimatdata för Stockholm 1958–71. (Kungl Tekniska Högskolan, Inst för Byggnadsteknik) Arbetsrapport 1982:1.*
- Glaumann, M och Taesler, R, 1985, Klimatstudier inför planering av energisnål bostadsbebyggelse i Södertuna, Södertälje. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R12:1985.*
- Glaumann, M, 1976, Sol i bebyggelseplanering. (Statens råd för byggnadsforskning) T-skrift T 37:1976.*
- Glaumann, M, och Wirén, B, 1981, Klimat, kapitel FO5, Handboken Bygg. (Liber Förlag) Stockholm 1981.*
- Gläser, J, 1977, Verbesserung der Wärmedämmung bei Isoliergläsern (Glastechnische Berichte), vol 50 p 248–256, 1977.*
- Goltsberg, I A, 1967, Microclimate of the USSR, 1967.*
- Griffiths, J F, 1976, Climate and the Environment, Westview Press.*
- Hedlund, B et al, 1984, Solvärmecentral med såsongslager för 500 lägenheter i Södertuna, planering och förprojektering. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R179:1984.*
- Hellers, B G och Lundgren, S, 1974, Blåsigheten kring enstaka byggnader och i passager – modellprov. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R21:1974.*
- Holmer, B, 1978, Vindklimatet i Göteborg. (Naturgeografiska institutionen, Göteborgs universitet) GUNI Rapport 11, 1978.*
- Humphreys, M A, 1976, Desirable temperatures in dwellings. (BRE Current Paper 75/76) Building Services Engineer, vol 44 p 176–180.*
- Jackson, P S, 1978, The Evaluation of Windy Environments, Building and Environment, vol 13. (Pergamon Press) Great Britain 1978.*
- Jensen, M, 1959, Aerodynamik i den naturlige vind. (Teknisk forlag) Köpenhamn 1959.*
- Jonsson, B, 1979, STR, Lågenergiprojekt för småhus. Vetlanda 1977–79. (Lunds Tekniska Högskola, Inst för Byggnadskonstruktionslära) Rapport BKL 1979:11.*
- Karlsson, B och Ribbing C-G, 1977, Solar optical properties of thin films of Ag, Cu, Au, Al, Fe, Cr and Ni. (Uppsala University, Institute of Technology) Report UPTec 77:57R, 1977.*
- Karlsson, T, Roos, A och Ribbing, C-G, 1983, Influence of spray conditions and dopants on highly conducting tin dioxide films. (Ingår i A Roos: Optical selectivity of some metal oxides for solar energy applications, doktorsavhandling vid Uppsala Universitet 1983).*
- Keyes, M W, 1967, Analysis and Rating of Drapery Materials Used for Indoor Shading. (ASHRAE Transactions) vol 73, part 1. New York, 1967.*
- Klein, S A et al, 1973, TRNSYS – A Transient System Simulation Program, User's Manual. (Engineering Experiment Station, University of Wisconsin, Madison USA) Report 38.*
- Konsumentverket, 1981. Braskaminer och vedeldning. Stockholm.*
- Kursis, J, Mattsson, J O, Glaumann, M m fl, 1982, Vindförhållanden i ett höghusområde. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R91:1982.*
- Källblad, K och Adamson, B, 1984, BKL-metoden. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R19:1984.*

- Lampert, C M, 1979*, Metal foils for direct application of absorber coatings on solar collectors. (AES meeting – Solar Coatings). Oct 1979, St Louis MO, USA.
- Landgren, B, 1976*, Åldringstester på täckningsmaterial till växthus. (Sveriges Lantbruksuniversitet, Inst för lantbrukets byggnadsteknik) Specialmeddelanden nr 52, 1976.
- Langdon, W K, 1980*, Movable Insulation. (Rodale Press, Emaus, Pa, USA), 1980.
- Lindholm, F, 1955*, Sunshine and cloudiness in Sweden. Geografiska annaler, Häfte 1–2, 1955.
- Liu, S T och Fanney, A H, 1980*, Comparison of experimental and computer-predicted performance for six solar domestic hot water systems. (ASHRAE Transactions), vol 86, part 1, New York.
- Lohrengel, J, 1970*, Messung der Winkel- und Temperatur abhängigkeit des Gesamtemissionsgrades von Gläsern mit Sinteroxiden im Bereich von -60°C bis $+250^{\circ}\text{C}$. (Glastechnische Berichte), vol 43, p 493–500, 1970.
- Löfstedt, B och Wyon, D P, 1972*, Omgivningshygieniska aspekter på forskning om människa – närmiljö. Fem uppsatser. Statens institut för byggnadsforskning, Rapport R53:1972, 131 p, Stockholm.
- Löfstedt, B, 1976*, Klimathygien. Byggeforskningens informationsblad B8:1976.
- Mattsson, J O, 1979*, Introduktion till mikro- och lokalklimatologin. (Liber Läromedel) Malmö 1979.
- McIntyre, D A, 1980*, Indoor Climate. (Applied Science), 1980.
- Millar, D H, 1981*, Energy at the Surface of the Earth. (Academic Press) New York 1981.
- Nord, M, 1975*, Vindhastighetens avtagande med avståndet från kust. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R31:1975.
- Nylund, P O, 1979*, Tjyvdrag och ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning) Skrift T4:1979.
- Nylund, P O, 1984*, Räkna med luftläckningen. Samspel byggnad–ventilation. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R1:1984.
- Nämnden för energiproduktionsforskning, 1977*, Vindenergi i Sverige, Stockholm 1977.
- Oke, T R, 1978*, Boundary layer climate. (Metheun & Co, Ltd), London.
- Olgyay, V, 1963*, Design with climate. (Princeton University Press) Princeton, New Jersey 1963.
- Olesen, B W, 1975*, Termiske komfortkrav till gulve. (Danmarks Tekniske Højskole) Doktorsavhandling 1975.
- Olesen, B W och Thorshauge, J, 1979*, Differences in comfort sensations in spaces heated by different methods, INDOOR CLIMATE (eds Fanger, P O och Valbjørn, O) Dansk Building Research Institute, p 645–676.
- Pennwarden, A D och Wise, A F E, 1975*, Wind environment around buildings, Department of the Environment, Building Research Establishment, London 1975.
- Pennwarden, A D, Grigg, P S och Rayment, R, 1978*, Measurements of Wind Drag on People standing in a wind tunnel, Building and Environment, Vol 13, (Pergamon Press) Great Britain 1978.
- Pleijel, G, 1954*, The computation of natural radiation in architecture and town planning. Statens nämnd för byggnadsforskning, Stockholm 1954.
- Peterson, F och Lilliengren, U, 1984*, Effektiva uppvärmningssystem. (Statens råd för byggnadsforskning) Rapport R137:1984.
- Pleijel, G, 1961*, Fönsterglasens transmission av strålning från sol och himmel. (Tidskriften VVS) vol 32, nr 3.
- Schmidt, E och Eckert, E, 1935*, Über die Richtungsverteilung der Wärmestrahlung von Oberflächen. (Forschung der Gebiete Ingenieurw) vol 6, p 175–183, 1935.

- Siple, P A och Passel, C F, 1945, Measurements of dry atmospheric cooling in subfreezing temperatures. Proc Am Phil Soc 89 pp 177–199, 1945.*
- Taesler, R, 1972, Klimatdata för Sverige. (Statens råd för byggnadsforskning) 1972.*
- WHO, 1964, Windbreaks and Shelterbelts. WHO Technical note No 59, Geneve 1964.*
- Valkonen, E, Karlsson, B och Ribbing C-G, 1981, Solar optical properties of thin films of Ag, c, Au, Al, Co, Fe, Cr and Ni. (Ingår i B Karlsson: Solar properties of solids for solar conversion, doktorsavhandling vid Uppsala universitet, 1981).*
- Verschoor, J D och Greebler, P, 1952, Heat transfer by gas conduction and radiation in fibrous insulations. (Transactions Amer Soc Mech Engrs) vol 74, p 961–968, 1952.*
- Wyon, D P, Fanger, P O, Olesen, B W och Pedersen, C J K, 1975, The mental performance of subjects clothed for comfort at different air temperatures. Ergonomics, 18, p 359–374.*
- Wyon, D P, 1975, Den byggda miljöns inverkan på mänskliga aktiviteter. In: Bygg Mänskligt. (Askild och Kärnekull) Stockholm.*
- Wyon, D P, 1977, Human response to cyclic changes in the thermal environment. Proceedings of the symposium 'Thermal comfort: physiological and psychological bases'. 14–15 Dec, Université Paris-Sud. INSERM, 75, 1979, p 153–161, Paris.*
- Wyon, D P, Andersen, I och Lundqvist, G R, 1979, The effects of moderate heat stress on mental performance. Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 5, p 352–361.*
- Wyon, D P, Hygge, S och Löfberg, H A, 1982, Inter personal differences in environmental effects upon performance and behaviour: a review. In: 'Persons, not people. The effect of interpersonal differences on design criteria'. Proceedings of the CIB (W77)/CIE (TC 3.3) workshop 15–17 Sept, 1982. Chester, England.*
- Wyon, D P, 1983, Termiskt inneklimat och människans prestationsförmåga. Norsk VVS-Teknisk Förenings Årsmöte, 5 maj, Trondheim. Norsk VVS, 8, p 593–597.*
- Ångström, A, 1971, Sveriges klimat, Kartografiska institutet, Stockholm 1971.*

Utgående från en ekologisk syn på resurshållning och solenergi presenterar Bo Adamson och Bengt Hidemark tillsammans med några kollegor erforderlig kunskap för utformning av lågenergihus med solvärmeutnyttjande. Författarna ger också exempel på egna projekt samt visar en del hjälpmedel som man funnit användbara i projekteringsarbetet. Boken avser att dels tjäna som handledning för praktiserande arkitekter och ingenjörer dels fylla ett tomrum i grund- och vidareutbildning på högskolenivå.

T2:1986

ISBN 91-540-4471-5

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Art.nr: 6703602

Abonnemangsgrupp:
Y. Byggnadsfunktion

Distribution:
Svensk Byggtjänst
Box 7853, 103 99 Stockholm
Telefon 08-734 50 00

Cirka pris: 250 kr exkl moms.