



Det här verket har digitaliserats vid Göteborgs universitetsbibliotek och är fritt att använda. Alla tryckta texter är OCR-tolkade till maskinläsbar text. Det betyder att du kan söka och kopiera texten från dokumentet. Vissa äldre dokument med dåligt tryck kan vara svåra att OCR-tolka korrekt vilket medför att den OCR-tolkade texten kan innehålla fel och därför bör man visuellt jämföra med verkets bilder för att avgöra vad som är riktigt.

This work has been digitized at Gothenburg University Library and is free to use. All printed texts have been OCR-processed and converted to machine readable text. This means that you can search and copy text from the document. Some early printed books are hard to OCR-process correctly and the text may contain errors, so one should always visually compare it with the images to determine what is correct.



**Rapport**

**R120:1984**

# **Puts på tilläggsisolering**

**Samordning av mätprogram och utvärdering vid experimentbyggande**

**Bengt Elmarsson**

R  
Adh

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	See

**Bygghforskningsrådet**

R120:1984

PUTS PÅ TILLÄGISOLERING

Samordning av mätprogram och utvärdering vid  
experimentbyggande

Bengt Elmarsson

Denna rapport hänför sig till forskninganslag 780918-5  
från Statens råd för byggnadsforskning till institutionen  
för byggnadsteknik, Lunds Tekniska Högskola, Lund.

I Byggforskningsrådets rapportserie redovisar forskaren sitt  
anslagsprojekt. Publiceringen innebär inte att rådet tagit  
ställning till åsikter, slutsatser och resultat.

R120:1984

ISBN 91-540-4234-8

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

	SAMMANFATTNING	1
1	UTVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING AV PUTSADE FASADER	3
1.1	Behov av nya metoder	3
1.2	Allmänna förutsättningar	3
1.3	Tekniska faktorer	6
1.4	Experimentbyggande	7
1.5	Sammanfattning av resultatet	10
2	PUTS PÅ TILLÄGGSISOLERING - OLIKA METODER	13
2.1	Översikt	13
2.2	Metoderna	15
2.21	Södertäljeprojektet	15
2.211	AJ-metoden, G+R-metoden och Gyproc	15
2.22	ISPO-projektet	29
2.23	Rhodipor-projektet	33
2.24	Serporock-projektet	38
2.25	SoS-projektet	48
2.26	TexRoc-projektet	52
2.27	tm-projektet	54
2.28	Varmotex-projektet	58
3	SPÄNNINGAR OCH RÖRELSER	65
3.1	Allmänt	65
3.2	Putskaka på fast underlag	65
3.3	Putskaka på eftergivligt underlag	66
3.4	Beräkningsmetoder	67
3.41	Putskaka utan kramlor (vidhäftning), metod a	67
3.42	Putskaka på kramlor, metod b	72
3.421	Stel putskaka på kramlor	74
3.422	Elastisk putskaka på kramlor	77
3.5	Fasthållning och sprickrisker	79
3.51	Fasthållning vid hörn	79
3.52	Fasthållning genom kramlor	81
3.521	Fast inspänd konsol	81
3.522	Ledade kramlor och trådar	85
3.523	Reglar	88
4	DIMENSIONERING AV KRAMLOR OCH ARMERING	91
4.1	Inverkande faktorer	91
4.11	Krympning, icke periodisk	91
4.12	Temperaturvariationer	92
4.13	Fuktvariationer	97
4.14	Egentyngd	98
4.15	Vindlast	98
4.16	Krypning och spänningsrelaxation	100
4.2	Dimensionering av olika komponenter	101
4.21	Kramlor och infästningar	101
4.22	Putskaka och armering	103

5	ENERGISPAREFFEKT	105
5.1	Befintlig vägg, k-värde	105
5.2	Värmemotstånd i tilläggsisolering	106
5.3	Inverkan av luftrörelser	108
5.31	Konvektion	109
5.32	Beräkning av luftrörelser i luftspalter	110
5.4	Mått på energibesparing	114
5.5	Beräkning av energibesparing	117
5.51	Specifikt energibehov	117
5.52	Resultterande energibesparing	120
5.6	Sekundära effekter	123
5.61	Operativ temperatur	123
5.62	Utvändig - invändig tilläggsisolering	123
5.621	Köldbryggor	124
5.622	Värmekapacitet	125
6	EKONOMI - LÖNSAMHET	129
6.1	Energisparstöd	129
6.2	Renoveringsbehov	129
6.21	Tilläggsisolering vid renoveringsbehov	129
6.22	Underhållsläge	130
6.3	Investeringskalkyl	131
6.31	Återbetalningstid	132
6.32	Kapitalvärdemetoden	132
6.33	Tabeller och diagram	132
7	FUKTPROBLEM	139
7.1	Funktion ur fuktsynpunkt	139
7.2	Kondensberäkning	141
7.3	Slagregn	143
7.31	Putskakans fuktbalans	143
7.32	Vattenfilm	146
7.33	Sprickor och fogar	147
7.4	Instängd fukt	147
BILAGOR		
Bilaga B3		151
B3.1	Beräkningsmodell, spänningar och rörelser	151
B3.11	Beräkning baserad på Hooke's lag	151
B3.12	Icke linjär lösning	157
B3.13	Beräkningsexempel	157
B3.2	Fasthållning i hörn	160
B3.3	Putskakans styvhet och böjdeformation	163
B3.31	Böjstyvhetens inverkan på förskjutningar	163
B3.32	Momentkapacitet	166
B3.33	Genomstansning	169
Bilaga B5		171
B5.5	Beräkning av energiförbrukning	171
B5.51	Specifik värmeförbrukning	172
B5.6	Operativ temperatur	176
B5.61	Sekundär spareffekt	176
B5.62	Beräkning av sekundär spareffekt	176
B5.63	Inverkan på operativ temperatur av radiator	179

Bilaga B6	183
B6.1 Investeringsskalkyl	183
B6.11 Kapitalvärdemetoden	183
B6.12 Beräkningsmetod	183
B6.13 Renovering eller renovering + tilläggsisolering	185
B6.14 Beräkningar	186
B6.15 Real kalkylränta	187
B6.16 Diagram	187
B6.2 Låneregler	192
B6.21 Areabegrepp	192
B6.22 Villkor för energilån	193
LITTERATURFÖRTECKNING	197





## SAMMANFATTNING

En stor del av det byggnadsbestånd som är i behov av tilläggsisolering har putsade fasader. Ungefär en fjärdedel av fasadaeran på hus byggda före 1960 är putsade. Dessa hus har i allmänhet höga k-värden och är därför aktuella för tilläggsisolering.

Ett problem med utvändig tilläggsisolering har ibland varit att sådan ineburit störande ingrepp i den yttre bostadsmiljön.

Metoder för att putsa på värmeisolering medger att putsade hus kan förbli putsade även efter en utvändig tilläggsisolering. Sådana metoder har sedan länge provats i mindre skala, exempelvis Granholmhusen i Göteborg från 1949. Från mitten av 70-talet har puts på tilläggsisolering introducerats på relativt bred front genom engagemang från olika företag. Denna rapport ger en sammanfattande redovisning av ett BFR-projekt "Tilläggsisolering av putsade fasader" som startade 1978.

Tio olika metoder har provats och för en del av dessa har omfattande mätprogram genomförts. För detaljer när det gäller mätningarna hänvisas till separata rapporter, se litteraturförteckning.

Metoderna kan delas upp i två huvudgrupper:

- o kramlemetoder som baseras på att en putsbaka i KC-puts bärs av eftergivliga kramlor, värmeisolering i mineralull
- o metoder baserade på bärning genom vidhäftning (eventuellt i kombination med bultar), plastputs och värmeisolering i cellplast.

Ett avgörande tekniskt problem är hur sprickor skall undvikas. Detta behandlas ingående i rapporten.

Utvändig tilläggsisolering har flera tekniska fördelar framför invändig,

- o mindre köldbryggor, bättre termiskt inomhusklimat
- o fasadrenovering kan kombineras med tilläggsisolering
- o inget ingrepp inne i huset, hyresgästerna kan bo kvar.

En utvändig tilläggsisolering ger en energispareffekt som mycket väl kan vara större än vad en vanlig transmissionsberäkning antyder. Sekundära

effekter av högre yttemperatur på ytterväggarnas insidor kan till exempel tillgodoräknas.

I kombination med fasadrenovering blir ekonomin i en utvändig tilläggsisolering ofta mycket god. Det beror främst på att de förmånliga energilånen också till stor del betalar renoveringen.

Om energibesparingen enbart skall betala investeringen måste k-värdet från början vara mycket dåligt för att insatsen skall bli lönsam.

En mycket viktig fråga är hur lång varaktighet beskrivna metoder kan ha. Ett påstående att en given metod har en varaktighet på till exempel 30 eller 40 år står på osäker grund. Metoder baserade på armerad KC-puts, mineralull och kramlor innehåller material som använts under lång tid. Dock måste poängteras att materialen här kombineras på ett sätt där långtidserfarenheterna är begränsade. För metoder baserade på cellplast och plastputs gäller att de i Sverige endast funnits i cirka 5 år. Utomlands har de dock använts i liknande tillämpningar under ytterligare fem till tio år.

Viss osäkerhet när det gäller varaktighet finns troligtvis beträffande alla fasadsystem om man inte väljer att i detalj repetera teknik som bevisligen klarat föreskriven varaktighet.

Ur fuktsynpunkt bör några punkter beaktas.

- o Stora fuktmängder i befintlig vägg får inte stängas in vid tilläggsisoleringen.
- o Fritt vatten i form av regnfukt måste avledas så att det inte kommer in i väggen.

I vilken grad ovan angivna punkter skall beaktas står i proportion till hur lätt instängd eller inrinnande fukt kan ta sig ut ur väggen.

# 1 UTVÄNDIG TILLÄGGSISOLERING AV PUTSADE FASADER

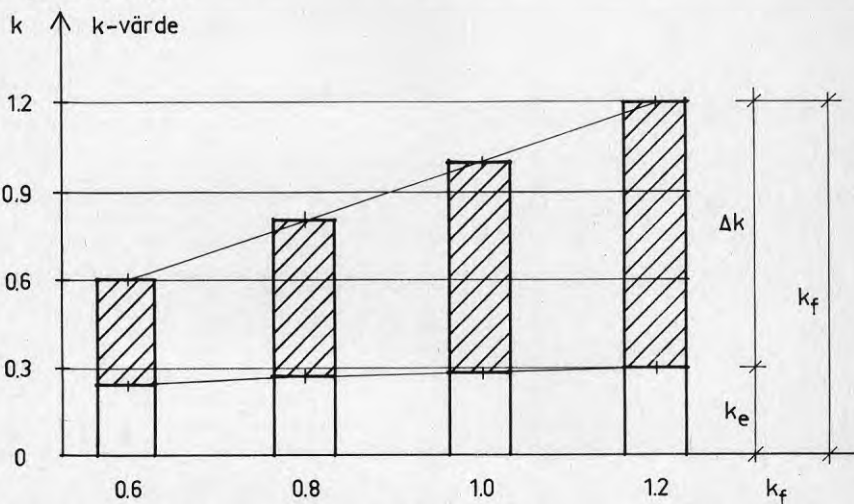
## 1.1 Behov av nya metoder

Tilläggsisolering av ytterväggar tog ny fart i mitten av 70-talet. Det blev då tydligt att det behövdes metoder som möjliggjorde utvändigt tilläggsisolering med puts som fasadskikt. Den främsta anledningen till detta är att en relativt stor del av det befintliga byggnadsbeståndet har puts som fasadskikt. Följaktligen kan man i flera av Sveriges tätorter finna bostadsområden (flerbostadshus) där stadsmiljön helt karakteriseras av putsarkitektur. Eftersom det i många fall är angeläget att bevara denna karaktär påbörjades på olika håll ett arbete för att få fram metoder som innebar puts på tilläggsisolering.

Bygghälsövrådet (BFR) tog hösten 1977 initiativet till projekt-paketet "Tilläggsisolering av putsade fasader". Detta skedde inom ramen för rådets verksamhet "Energibesparing genom forskningsinriktat experimentbyggande".

## 1.2 Allmänna förutsättningar

Tilläggsisolering innebär primärt att den aktuella konstruktionens värmotstånd ökas. Därigenom skapas förutsättningar för lägre energiförbrukning. Energispareffekten blir beroende av utgångsläget. FIG 1.1 visar hur mycket k-värdet reduceras efter en tilläggsisolering med 100 mm mineralull.



Figur 1.1 Reduktion av k-värde av 100 mm mineralull för olika  $k_f$  före

Med utgångspunkt från det resultat som visas i figuren kan följande tumregel formuleras: 100 mm mineralull (eller cellplast) ger  $k_{\text{efter}} \approx 0.30$  oberoende av vad  $k$ -värdet är från början. Spareffekten blir alltså i stort sett proportionell mot differensen  $k_{\text{före}} - 0.3$ .

#### Exempel 1.1

Jämför två fall  $k_{\text{före}} = 1.10$  respektive  $0.7$ .

Spareffekten blir för de två fallen ungefär proportionell mot  $1.10 - 0.3 = 0.9$  respektive  $0.7 - 0.3 = 0.4$ . Det innebär att 10 mm värmeisolering ger mer än dubbelt så stor spareffekt i första fallet som i andra.

#### Sparpotential

Det finns över 60 miljoner  $\text{m}^2$  putsad fasadarea på hus byggda före 1961. Ytterväggar i sådana hus har i regel  $k$ -värden större än  $0.7$ . Gränsen för energilån går vid  $k = 0.5$  och  $0.6$  för norra respektive södra Sverige, se avsnitt B6.22.

Ytterväggar i hus som tillkommit mellan 1961 och 1975 har i allmänhet formellt sett relativt bra  $k$ -värden. Det är emellertid vanligt att sådana ytterväggar har andra svagheter som t ex dålig lufttäthet. Ett sätt att förbättra sådana väggar, ur energisynpunkt, är att tilläggsisolera dem utvändigt. Det bör dock påpekas att en vägg som har otätheter i första hand skall åtgärdas genom förbättring av dess lufttätning.

#### Ekonomi

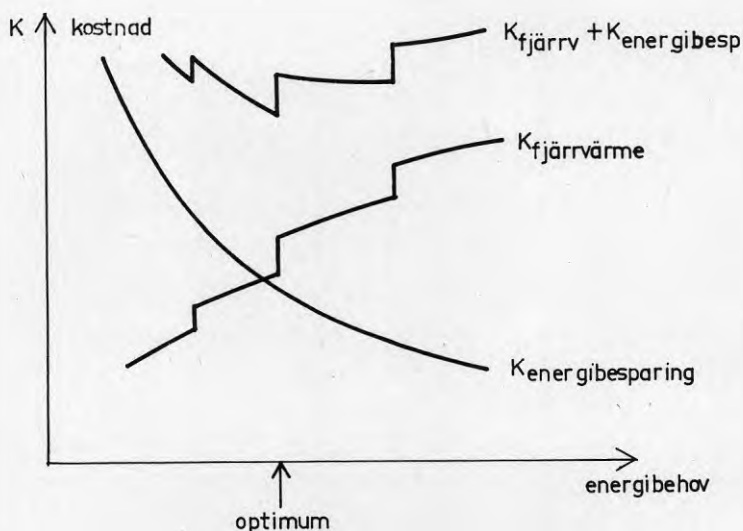
Frågan om lönsamhet kan ses antingen samhällsekonomiskt eller fastighetsekonomiskt. Här diskuteras problemet främst ur fastighetsekonomisk synpunkt. Av stor betydelse är här de regler som avgör vilka lånevillkor som gäller för finansiering av energibesparande investeringar, se avsnitt B6.2. Det är rimligt räkna med att staten utformat regler för lån och stöd på ett sådant sätt att de fastighets- och samhällsekonomiska målen någorlunda sammanfaller.

En generell utgångspunkt för lönsamhetsbedömningar bör rimligen vara att energibesparande åtgärder bör sättas in så länge det kostar mind-

re att spara energi än att köpa den. I KAP 6 behandlas lönsamhetsberäkningar.

Puts på tilläggsisolering torde i första hand bli aktuellt för flerbostadshus som till helt övervägande del ligger i tätorter. I många tätorter pågår också utbyggnad av fjärrvärme. Det är därför betydelsefullt att det områdesvis tillses att insatser på produktions- och besparingssidan möts i en punkt som ger god totalekonomi.

FIG 1.2 visar principiellt hur den totala uppvärmningskostnaden kan ses som summan av kostnad för att spara energi och kostnad för att producera och leverera den. Det finns idag knappast metoder för att göra optimeringar efter principen enligt FIG 1.2. Inte desto mindre är det viktigt att både energibesparing och energiproduktion betraktas samtidigt.



Figur 1.2 Principiellt samband mellan totalkostnad och energibehov. Litet energibehov innebär stora insatser för energibesparing och tvärt om vid stort energibehov.

### 1.3 Tilläggsisolering - tekniska faktorer

Ytterväggar kan tilläggsisoleras på i princip tre sätt,

- a) utvändigt
- b) invändigt
- c) inuti väggen, i hålrum

En viktig invändning mot utvändigt tilläggsisolering har varit att man därigenom kan tvingas införa fasadmaterial som är främmande för både hus och stadsmiljö. Introduktionen av metoder med puts på tilläggsisolering innebär att denna invändning blir mindre aktuell. Den stora del av byggnadsbeståndet som är putsat kan nu förses med utvändigt tilläggsisolering utan ändring i fasadmaterial.

Oberoende av fasadmaterial gäller att utvändigt tilläggsisolering leder till djupa utvändiga fönstersmygar. Detta är fördelaktigt ur den synpunkten att fönstret skyddas mot kraftig klimatpåverkan. Djupa fönstersmygar innebär emellertid också att fasaden ger ett annorlunda estetiskt intryck. Om detta i vissa fall kan uppfattas som negativt ur estetisk synpunkt bör möjligheterna att variera putsskiktets färg och struktur kring fönstren beaktas.

Utvändigt tilläggsisolering har flera tekniska fördelar framför invändigt. Viktiga sådana sammanfattas i följande punkter:

- o Vid fasadrenoveringsbehov kan tilläggsisoleringen kombineras med fasadrenovering. Därigenom erhålls tilläggsisoleringen till en relativt låg kostnad, se avsnitt 6.33.
- o Utvändigt tilläggsisolering eliminerar befintliga köldbryggor och ger nya som i stort sett är betydelselösa, se avsnitt 5.621.
- o En tilläggsisolering av ytterväggar ger alltid en sekundär energibesparande verkan genom att yttemperaturen på väggarnas insidor ökar i förhållande till lufttemperaturen inomhus. Det innebär att man efter tilläggsisolering kan bibehålla oförändrad operativ temperatur med lägre lufttemperatur. Om isoleringen är utvändigt blir den här effekten mera påtaglig eftersom kylande köldbryggor elimineras, se avsnitt 5.6.

- o En utvändig tilläggsisolering av en tung vägg ökar tillgänglig värmekapacitet medan den invändiga kraftigt minskar tillgänglig värmekapacitet. För permanent uppvärmda byggnader är ökad värmekapacitet en fördel. Genom ökad tillgänglig värmekapacitet kan energi omväxlande upptas och avges allteftersom rumsluftens temperatur stiger respektive faller, se avsnitt 5.622. Stor värmekapacitet i ytterväggarna påverkar inte direkt transmissionsförlusterna. Däremot kan exempelvis instrålad solenergi, som annars endast skulle resultera i övervärme, tillgodogöras.
- o Utvändig tilläggsisolering leder till att befintlig vägg blir varmare och med tiden torrare. En invändig tilläggsisolering resulterar i motsatsen, kallare och fuktigare, se KAP 7.
- o Puts på tilläggsisolering leder till bättre lufttäthet i ytterväggen. Detta kan dock knappast ha någon märkbar inverkan om väggen redan från början har god lufttäthet.
- o Utvändig tilläggsisolering kan utföras utan att huset behöver utrymmas. Det bör också beaktas att utvändig tilläggsisolering inte minskar uthyrbar area. Isolering på insidan minskar bruksarean med ungefär 3%. Varje  $m^2$  förlorad bruksarea kan anses ha ett kapitalvärde på ungefär 3000 kr. För smalhus motsvarar 1  $m^2$  isolerad fasadarea 1  $m^2$  BRA. Det betyder att en invändig tilläggsisolering borde belastas med  $0.03 \cdot 3000 = 90$  kr per  $m^2$  isolerad area för att kompensera förlusten av bruksarea. För djupa hus blir beloppet något större.

#### 1.4 Experimentbyggande

Projektet har genomförts som ett experimentbyggnadsprojekt. Tanken bakom sådana är att byggmetoder som bedöms stå på gränsen till att vara färdigutvecklade skall kunna prövas i full skala. Därigenom skall också ett säkrare underlag för bedömning av de prövade metodernas funktion komma fram.

Metoder för att putsa på utvändig tilläggsisolering fanns 1977. Det saknades emellertid en samlad bild av hur läget var tekniskt och funktionellt för de olika metoderna.

Uppläggningsen av projektet fick som utgångspunkt att det i första hand skulle visas hur metoderna fungerade i normal tillämpning. Detta ledda emellertid till att det samtidigt inte gick att utforma ett mätprogram som skulle resultera i svar på hur de olika metoderna fungerade i alla tekniska detaljer.

#### Mätprogram

Mätprogrammet har differentierats med avseende på mätningarnas omfattning.

#### Generellt mätprogram

Ett generellt program har genomförts för samtliga deltagande projekt. Detta har omfattat i huvudsak följande punkter:

- o Dokumentation av omständigheter kring utförandet
- o Registrering av tidsåtgång för olika arbeten
- o Registrering av energiförbrukning före och efter åtgärd
- o Besiktningar med anteckningar om sprickförekomst, skador m m.

#### Utökat mätprogram

För några projekt har ett mera omfattande mätprogram genomförts. Mätningar och studier har då utförts med avseende på fukt, temperatur, rörelser och korrosionsproblem.

För följande projekt har sådana utökade mätprogram genomförts:

Tre metoder, AJ-metoden, G+R-metoden och Gyproc-metoden, har provats på tre hus i Södertälje. Dessa tre metoder har till stora delar haft ett gemensamt mätprogram. Programmet har till största delen genomförts av Tekn dr Arne Johnson Ingenjörbyrå AB med Staffan Wredling som projektledare. Södertäljeprojektet kan anses ha haft det mest omfattande mätprogrammet. Förutom rörelsemätningar o d har ekonomiska och produktionstekniska faktorer utförligt behandlats.

Serporockmetoden kom från början med genom dess tillämpning i Ulvsundaprojektet. Då här aktuellt projekt började höll Ulvsundaprojektet på att avslutas. För Serporockmetoden har därför ett utökat mätprogram genomförts på två bostadshus på Ekgatan i Malmö. Där har huvudvikten lagts vid att genom rörelsemätningar klarlägga hur en puts-



kaka på mineralull rör sig och hur det bärande systemet fungerar.

tm-metoden har provats på några bostadshus i Årsta, där ett omfattande mätprogram genomförts speciellt inriktat på att studera putskakans rörelse. Både dygns- och årssvängningar har studerats.

Serporockmätningen och tm-mätningen har genom sin uppläggning bland annat syftat till att ge underlag för en mera adekvat dimensionering av exempelvis kramlor och armering.

#### Genomförande

Projektet har genomförts i två steg.

Steg 1, som startade hösten 1977, avsåg att ge en sammanställning av data för olika möjliga vägar att tilläggsisolera putsade fasader med puts på tilläggsisolering.

Rapportering av steg 1, som slutrapporterades 1978, har skett i form av en ansökan om deltagande i steg 2 och har omfattat

- o allmän metodbeskrivning
- o sammanställning av utförda försök
- o beskrivning av försöksobjekt
- o målbeskrivning och utvärderingsmetodik.

Som en del av steg 1 utfördes också en problemanalys vid institutionen för Byggnadsteknik, avdelningen för Husbyggnadsteknik, LTH, Elmarsson & Nevander (1978).

Steg 2. De flesta företag och utvecklingsgrupper som, i form av rapportering av steg 1, ansökte om fortsatt anslag fick också sådant. Det blev sammanlagt tio projekt som kom med.

För samordning av mätprogram och utvärdering har avdelningen för Husbyggnadsteknik, LTH, medverkat. Som en del i detta arbete sammanställdes en sammanfattande skrift om projektet, "Puts på tilläggsisolering", T5:1979, Elmarsson.

Eftersom steg 2 innefattar experimentbyggande har speciella experi-

mentbyggnadslån utgått till förvaltare av här aktuella byggnader. Med hänsyn till reglerna för sådana lån skall en uppföljningsbesiktning utföras under 1983.

### 1.5 Sammanfattning av resultat

#### Metoderna

Då projektet startade var tio metoder med. För ett par av dessa är det egentligen endast experimentobjektet som kommit till utförande. Till denna grupp hör: TexRoc-systemet och SOS-metoden. Ytterligare två metoder är mer eller mindre vilande. Det är Gyproc-metoden och Rhodipor.

De återstående sex metoderna har i relativt stor skala kommit att tillämpats utöver experimentobjekten. Dessa metoder är: AJ-metoden, G+R-metoden, ISPO-Isolersystem, Serporock-metoden, tm-metoden och Varmotex.

De fyra metoder som nu är mer eller mindre vilande kan givetvis efter hand åter bli aktuella. Som exempel kan nämnas att Rhodipor-metoden fick förändrade marknadsvillkor då Bostadsstyrelsen, som villkor för lån, började kräva ett tillägg till värmemotståndet på  $m_t \geq 2.0$ . Det finns inte några praktiska möjligheter att åstadkomma ett  $m_t = 2.0$  med Rhodipor-metoden. Därmed faller möjligheten att få energilån utom i rena undantagsfall.

#### Huvudproblem

Redan vid projektets start stod det klart att problemet spänningar och rörelser i putskakan skulle bli ett av huvudproblemen. Detta har inte minst gällt metoder baserade på principen puts på eftergivligt underlag. Dessa metoder har en armerad KC-putska som bärs av kramlor. Kramlorna har relativt liten böjstyvhets. Introduktionen av denna teknik innebär att putsen måste betraktas som en del i ett bärande system. Den armerade putsen, kramlorna och isoleringen bildar tillsammans det bärverk som överför egentyngder och vindlast till den befintliga väggen. Metoder som kan anses tillhöra denna grupp är AJ-metoden, Serporock-metoden och tm-metoden.

Den andra principen är puts på fast underlag. Den typiska metoden

här är ISPO. Förutsättningen för att ett isolersystem skall fungera efter denna princip är att

- a) isoleringen är styv i förhållande till putsen
- b) krafter överförs huvudsakligen genom vidhäftning.

I KAP 3 behandlas principer för bärning mera ingående.

Det har av projektet framgått att välfungerande system kan erhållas oberoende av om principen puts på eftergivligt eller puts på fast underlag tillämpas.

Problem har uppstått då det inte är någorlunda entydigt var man hamnar, fast eller eftergivligt.

För kramlemetoderna AJ, Serporock och tm är det av central betydelse att oavsiktlig fasthållning vid balkonger, fönstersmygar o d elimineras. Det är också betydelsefullt att avstånden mellan rörelsefogar inte blir alltför stora, se avsnitt 3.522.

För några metoder var det från början oklart var de skulle hamna på skalan eftergivligt - fast. En sådan metod är Varmotex. Den består av cellplastskivor som bultas fast i befintlig vägg. På dessa anbringas sedan en glasfiberarmerad cementputs. Experimentobjektet råkade ut för relativt omfattande sprickbildning. Förklaringen till detta är sannolikt att metoden i sin ursprungliga form hamnade någonstans mellan eftergivligt och fast. Man kan också uttrycka problemet på följande sätt: Draghållfastheten i putskakan var för liten i förhållande till underlagets motstånd mot förskjutningar. Erfarenheterna från experimentobjektet utnyttjades för att modifiera metoden. Det som då låg närmast till hands var att öka draghållfastheten i putskakan. Detta skedde genom förbättring av putsreceptet och genom att som extra säkerhet införa en stålarmering, svetsat nät 19~~+~~19 ø1. Senare arbeten har visat att dessa åtgärder varit effektiva.

#### Rapporter

För de metoder som undersökts med utökat mätprogram finns en relativt omfattande dokumentation. För dessa har särskilda rapporter sammanställts.

Det gäller för följande metoder:

AJ, G+R, Gyproc - Wredling	1982
Serporock - Elmarsson	1983
tm - combi - Nylund	1982

För de övriga fem finns slutrapporter tillgängliga på BFR.

I följande kapitel, 2, ges en sammanfattning av innehållet i ovan-  
nämnda rapporter.

## 2. PUTS PÅ TILLÄGGSISOLERING - OLIKA METODER

### 2.1 Översikt

Metoderna beskrivs här med beaktande av de förändringar som föranletts av vunna erfarenheter under projektets gång.

Först redovisas en översikt i tabellform över metoderna. En uppdelning med avseende på bärande system görs. Man kan säga att det finns två huvudvägar att åstadkomma det bärande systemet. Den ena baseras på kramlor och den andra på vidhäftning. De olika metoderna är mer eller mindre renodlat baserade på antingen kramlor eller vidhäftning. Som i många andra fall måste här varje lösning bli något av en kompromiss mellan motstridiga krav. För kramlemetoderna ligger huvudproblemet i att ge kramlorna tillräcklig styvhet för att ta upp egentyngder men samtidigt vara så eftergivliga att farliga dragspänningar ej kan uppstå. För metoder baserade på vidhäftning gäller det att denna blir tillräcklig för att hålla fast putskakan så att förskjutningar inte kan uppstå. I tabell 2.1 har metoderna grupperats med hänsyn till den grad av eftergivlighet som det bärande systemet medger.

TABELL 2.1 Översikt över tio olika metoder

Metod	Bärande system			Material m m Puts Armering Värmeisolering
	1 Eftergivligt Kramlor	2 Mindre eftergivligt Reglar och bultar	3 Fast Vidhäftning	
AJ	X			KC-puts: ytputs, grovputs, grundning Sarematta eller svetsat nät Mineralull Kramlor + konsol vid sockel
G + R		X		Ytputs KC, lättputs Rhodipor Sarematta Glasull mellan träreglar Träreglar bultas fast i befintlig vägg
Gyproc	X			Hydrofoberad gipsputs Svetsat nät Mineralull Kramlor: samma som AJ
ISPO			X	Plastbaserad puts, akrylat Glasfiberväv Cellplast, polystyren Klistringsbruk
Rhodipor			X	Ytputs KC + ca 80 mm värmeisolerande lättputs Rhodipor
Serporock	X			KC-puts: ytputs, grovputs, grundning Svetsat nät Mineralull Kramlor, ledade
Sos CTH		X		KC-puts Sarematta Mineralull mellan reglar (stålstegar)
Tex Roc		X		Texcotebehandlad plåt Mineralull mellan horisontella träreglar. Plåtkassetter fästes på vertikala plåtreglar.
tm-combi	X			KC-puts: ytputs, grovputs, grundning Svetsat nät Combiskiva: 20 mm träullsskiva + mineralull Kramlor, vinkelformad som bär genom konsolverkan.
Varmotex		X		Glasfiberarmerad cementputs förstärkt med svetsat nät. Cellplastskivor som fästs mot väggen med hjälp av brickor och bultar.

I anslutning till översikten i tabell 2.1 bör påpekas att inplaceringen i grupperna 1-3 inte säger något om bättre eller sämre funktionssätt. Man kan möjligen säga att det med större säkerhet går att förutse hur en metod enligt 1) och 3) skall fungera än en metod enligt 2). Det är troligt att de metoder som här hänförs till mellangruppen 2) statistiskt fungerar antingen enligt principen fast eller eftergivligt. Rörelsemätningar för G+R tyder t ex på att denna metod statistiskt motsvara grupp 3, fast.

## 2.2 Metoderna

En beskrivning ges i det följande av de tio metoder som finns med i projektet.

### 2.21 Södertäljeprojektet

I Södertäljeprojektet ingår tre metoder, AJ-metoden, G+R-metoden och Gyproc. Mätningararbetet och sammanställningen av erfarenheterna har utförts av Tekn dr Arne Johnson Ingenjörbyrå.

#### 2.211 AJ-metoden, G+R-metoden och Gyproc

##### AJ-metoden

Företag: Tekn dr ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab med Staffan Wredling som projektledare.

Projekt: Flerbostadshus i Södertälje, Kv. Fregatten 17.

Ägare: Riksbyggen Brf Södertäljehus 1.

Entreprenör: BPA Byggproduktion AB.

Funktionssätt: Putsskiktets egentygnd tas upp vid sockeln via konsoler över vilka en bärlina lägges. Putsskiktet ges större tjocklek och armeras relativt kraftigt vid sockeln. I övrigt armeras putsskiktet med sarematta som utgörs av en rutarmering  $\emptyset$  2.5 C100 horisontellt, C200 vertikalt. Svetsat varmgalvaniserat nät kan också användas. Infästning i ursprunglig vägg sker genom förankringstrådar som injekteras fast i ursprunglig vägg. Trådarna är formade till öglor. Infästningarnas tvärsnitt utgörs då av 2 trådar  $\emptyset$  2 varigenom styvheten i väggens plan blir liten samtidigt som erforderlig draghållfasthet uppnås. Öglorna hindrar alltså inte rörelser i putsskiktets plan, vilket motverkar uppkomst av dragspänningar med åtföljande sprickrisker.

Samtliga komponenter i systemet är obrännbara.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom. Kramlor skall fästas i befintlig vägg men dessa behöver endast ta upp vindlaster. Systemet är relativt okänsligt för ytojämnheter genom att isoleringen fyller ut.

Isolertjockleken är normalt 100 mm men större tjocklekar kan förekomma.

Infästningarna ger en mycket liten stålarea per  $m^2$  väggyta. Detta innebär att det extra värmeflödet som uppkommer härigenom blir försumbart. Beräkningar visar att inverkan är mindre än 1%.

#### Material

Isoleringen utgörs av 100 mm stenull med densiteten  $80 \text{ kg/m}^3$ . Praktisk tillämpbar värmeledningsförmåga är  $0.038 \text{ W/m}^0\text{C}$ .

Murcementbruk användes. Skikttjockleken blir ca 25 mm utom vid sockel där putsskikttjockleken ökas till 45 mm.

Som armering användes sarematte som består av rutarmering  $\emptyset 2.5 \text{ } 100/200$  + kycklingnät. Vid sockeln är armeringen förstärkt.

Infästningarna utgörs av trådar i syrafast rostfritt stål  $\emptyset 2$ . Ca tre infästningar per  $m^2$  monteras.

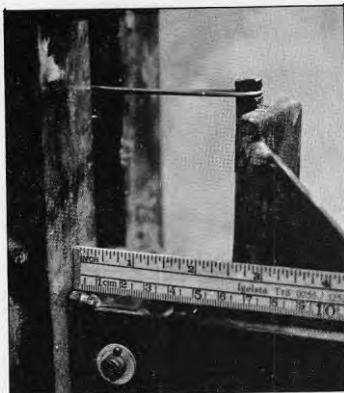
#### Produktionsmetod

- o Förankringstrådar monteras
- o Konsoler för upptagande av egentyngd monteras vid sockeln
- o Isolerskivor monteras genom att de pressas på förankringstrådar och konsoler
- o Armeringsnät monteras och förankras i förankringstrådar och i konsoler
- o Fasaden putsas



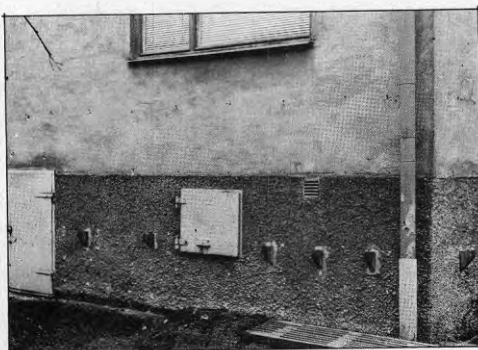
AJ-metoden

Provbelastning av  
förankringstråd



AJ-metod

Bärande konsoler vid  
sockel monterade



AJ-metod

Förankringstrådar mon-  
terade. Isoleringsmattor  
under montage



### G+R-metoden

Företag: Gullfiber AB och Stålbruken AB med Thomas Lundquist som projektledare.

Tekn dr ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab med Staffan Wredling som projektledare svarar för utvärdering- och objektorganisation.

Projekt: Flerbostadshus i Södertälje, Kv. Fregatten 15.

Ägare: Riksbyggen Brf Södertäljehus 1.

Entreprenör: BPA Byggproduktion AB.

### Funktionssätt

G+R-metoden innebär att horisontella träreglar fungerar som bärande element. Isoleringen utgörs av glasull. Dessutom används värmeisolerande puts, Rhodipor.

Egentyngden tas upp genom träreglar som är infästa i den ursprungliga väggen med expanderbultar. Putsskiktets egentyngd överförs till reglarna genom att en armeringsmatta fästes i reglarna med brickförsedda klockspikar. Distanselement gör att armeringsmattan får ett läge ett stycke ut från reglarna, varigenom bruket kan omsluta armeringen.

Reglarna är relativt oeftergivliga speciellt i deras egen riktning.

Genom att förbindelsen mellan armering och regler har relativt liten styvhet och vidhäftning mellan bruk och regler förhindras genom ett pappskikt, bör putsskiktet få en viss rörelseförmåga relativt regler och stomme.

Ur brandskyddssynpunkt är det för högre hus av betydelse att systemet innehåller brännbart material. Det kan emellertid noteras att Rhodipor klassats som svårantändligt material. Träreglarna orienteras horisontellt och genom att de är inbäddade i mineralull bör de i relativt liten grad medverka till brandspridning.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom.

Reglarna skall fästas med expanderbult i befintlig vägg och dessa bultar skall ta upp både egentyngd och vindlast. Systemet är relativt

okänsligt för ytojämnheter genom att isoleringen fyller ut.

Det objekt som nu utförs har isolertjocklekar mineralull 70 mm och värmeisolerande puts Rhodipor 30 mm.

Köldbryggor uppkommer genom att reglarna bryter igenom mineralulls-isoleringen. Infästningar av reglarna genom expanderbultar medför dessutom en viss förstärkning av köldbryggeeffekten. Systemets uppbyggnad innebär att inverkan av köldbryggor inte kan försummas.

#### Material och materialdata

Isoleringen utgörs av 70 mm glasfiberull Gullfiber skiva 3024. Praktisk tillämpbar värmeledningsförmåga är  $0.04 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Putsen består av en värmeisolerande del Rhodipor (30 mm) och en ytputs (8-10 mm).

Rhodiporbrukets ballast utgörs till stor del av små polystyrenkulor, vilket leder till låg densitet och en god värmeisolerande förmåga. Praktisk tillämpbar värmeledningsförmåga är  $0.08 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

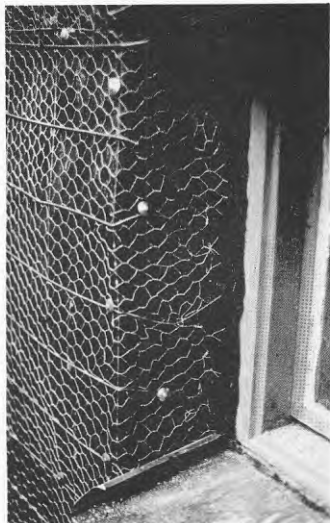
Ytputsen har traditionell sammansättning.

Som armering användes sarematta  $\emptyset 2.5$ , 100/200 + kycklingnät.

Träreglarna har dimensionen 50 x 70 och är tryckimpregnerade. Reglarna fästes i väggen med bultar Hilti dubbelexpander HT 10/132 c-avstånd 600 mm. Bultarna är varmförzinkade.

#### Produktionsmetod

- o Reglar monteras
- o Glasfiberskivor monteras
- o Förhådningspapp spänns upp
- o Sarematta fästs med distansklotsar
- o Värmeisolerande puts Rhodipor sprutas i ett ca 30 mm tjockt skikt
- o Efter 2 dygn appliceras ytputsen.



G+R-metoden

Sarematta vid fönster-  
smyg



G+R-metoden

Sprutning av puts

### Gyproc - metoden

Företag: AB Gyproc, Utvecklingsavdelningen med Rolf Öhman som projektledare.

Tekn dr ARNE JOHNSON Ingenjörbyrå ab med Staffan Wredling som projektledare svarar för utvärderings- och objektorganisation.

Projekt: Flerbostadshus i Södertälje, Kv. Fregatten 16.

Ägare: Riksbyggen Brf Södertäljehus 1.

Entreprenör: BPA Byggproduktion ab.

### Funktionssätt

AB Gyproc har för detta projekt valt AJ-metoden för infästning av isolering och puts.

Eftersom AJ-metodens system för infästning och bäring användes, bör verkningssättet i stort följa de principer som anges för denna metod.

Gyproc-metoden karakteriseras främst av att gipsputs användes. Detta innebär att ett annat rörelsemönster än hos vanlig KC-puts uppkommer. Mycket tyder på att gipsputs i detta avseende kan ha flera gynnsamma egenskaper relativt KC-puts. Sålunda sväller putsen vid härdning och den efterföljande krympningen vid uttrokning är mindre än den ovan nämnda svällningen. Gipsputs har även större brottöjning än KC-puts.

Svällning och krympning påverkas av armering. I projektet användes ett relativt kraftigt svetsat rutnät som armering.

Egenskaper som har med brand och köldbryggor att göra sammanfaller med vad som redovisats under AJ-metoden.

### Material

Isoleringen utgörs av 100 mm diabasull  $80 \text{ kg/m}^3$ .

Putsen består av 95-97% gips samt vattenavvisande och konsistensförbättrande tillsatser.

Putsen har namnet Gyproc Strukturputs Fasad.

Som armering användes förzinkat armeringsnät med 3 mm tråd c 50 x 50.

Vid sockeln är armeringen förstärkt.

Infästningar enligt AJ-metoden.

Produktionsmetod

Arbetsgången följer i stort vad som redovisats under AJ-metoden.

Gyproc-metoden karakteriseras av själva putsen och den sprutas på väggen. Vid grängat utförande påförs putsen i två skikt 20 + 10 mm.

Gyproc Struktur-  
puts Fasad



## 2.212 Redovisning, AJ, G+R och Gyproc-metoden

Projektet har redovisats till BFR i en utförlig rapport, Puts på tilläggsisolering södertäljegruppen (1981). Rapporten finns tillgänglig på BFR. Här kan endast ett mycket kortfattat referat presenteras.

### Byggerfarenheter

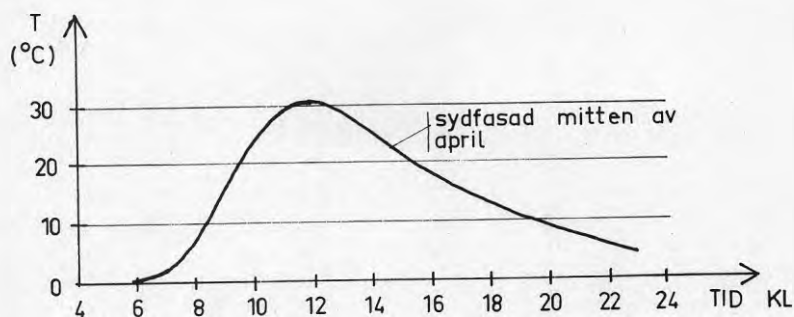
Sarematte som armering har medfört vissa problem;

- o Mattan är svår att bocka runt hörn och i smyg
- o Mattan deformerades av putsens egentyngd under sättningsfasen. Infästningstätheten var  $\approx$  600 mm.
- o Ett nät  $\approx$   $\emptyset$  1.5 c 25/25 eller 20/20 skulle kunna ge tillräcklig styrka och stadga utan att ge ohanterlig tjockleksökning i skarvarna.

Erfarenheter från utförande av fasaddetaljer redovisas i rapporten. Till erfarenheterna har även fogats råd och synpunkter varigenom ett brett underlag för planering och projektering skapats.

### Temperatur, rörelser och sprickbildning

Det framgår av mätningarna att putsakans temperatur varierar nästan utan fasförskjutning med utetemperatur och solstrålning. Som exempel visas i FIG 2.1 hur putsakans temperatur på en sydfasad varierar över ett dygn.

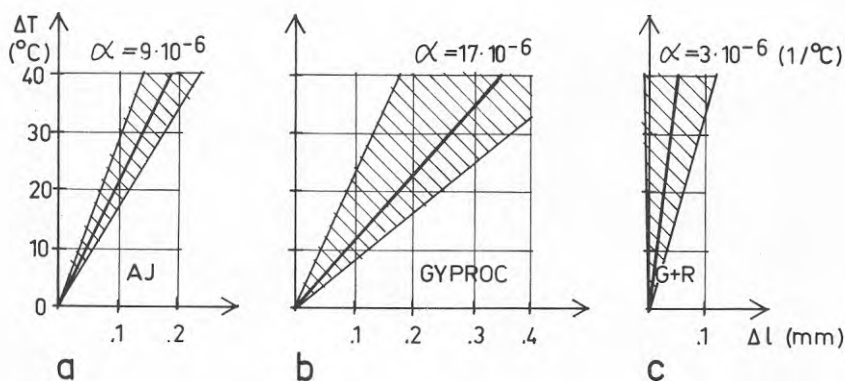


Figur 2.1 Temperaturvariationer över dygn, AJ-metoden

Maxtemperaturen blev  $30.6^{\circ}\text{C}$  vilket var  $17^{\circ}$  mer än lufttemperaturen vid samma tidpunkt. Temperaturamplituden över dygnet blev ungefär  $30^{\circ}\text{C}$ . Detta kan jämföras med teoretiska beräkningar i avsnitt 4.3, som för t ex mars ger amplituder på  $35-60^{\circ}\text{C}$  beroende på om fasaden är ljus eller mörk.

Som en följd av det nästan direkta sambandet mellan solstrålning och putstempertur kan stora temperaturskillnader uppstå mellan solbelyst och skuggad fasad. På Södertäljehusen har temperaturskillnader på vardera sidan om hörn uppmätts till  $20^{\circ}\text{C}$ . Av balkong skuggad del av solbelyst fasad kan få ca  $15^{\circ}$  lägre temperatur än fasad utanför skuggan. De stora temperaturskillnader som kan uppstå mellan gavel och långsida leder naturligtvis till spänningar och vissa sprickrisker. Detta motiverar dilatationsfogar i närheten av hörn, i varje fall om putskakan är hög (höga hus eller stora avstånd mellan horisontella dilatationsfogar). Detta gäller för AJ och Gyproc, som är avsedda att fungera efter principen puts på eftergivligt underlag.

Rörelsemätningar har utförts på samtliga tre hus i Södertäljeprojektet. Dessa kan sammanfattas i FIG 2.2 a-c, som visar samband mellan temperaturändring  $\Delta T$  ( $^{\circ}\text{C}$ ) och förskjutning  $\Delta l$  (mm). Mätlängden har varit 500 mm. Mätningarna har utförts manuellt. Lutningen på de linjer som visas i figuren är ett mått på den temperaturutvidgningskoefficient ( $\alpha$ ) som orsakat förskjutningarna.



Figur 2.2 a-c Samband mellan temperaturändring  $\Delta T$  och förskjutning  $\Delta l$ .



För en fritt rörlig puts-kaka bör registrerade rörelser motsvaras av den koefficient,  $\alpha$ , som gäller för putsen. För KC-puts brukar  $\alpha$  anges till omkring  $10 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ). Det kan då konstateras att den rörelse som registrerats för AJ-metoden ganska nära motsvarar  $10 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ). Det innebär att puts-kakan i stort sett måste ha varit fritt rörlig. Putskakan har alltså fungerat närmast efter principen puts på eftergivligt underlag.

AJ-husets puts har dock fått en relativt omfattande sprickbildning på främst sydfasaden. Orsakan till sprickbildningen har sannolikt varit att puts-kakan av olika skäl fått en för stark koppling till den befintliga fasta konstruktionen. AJ-metoden baseras på att puts-kakan skall kunna röra sig i det närmaste fritt i förhållande till den bakom liggande stommen. De sprickor som uppstått finns dels i anslutning till balkonger och dels utefter långfasadernas nedre delar.

Balkongerna har gett fasthållning p g a att puts-kakan anslutits till dessa utan fullständig rörelsemöjlighet.

Långfasadernas nedre delar ger också viss fasthållning eftersom det där finns källarluckor och entréer. Vid sockelnivå finns dessutom bärande konsoler som har större böjstyvhet än de vanliga AJ-kramlorna.

Om större uppmärksamhet ägnas åt att frikoppla puts-kakan från balkonger o d bör AJ-metoden kunna resultera i praktiskt taget sprickfria fasader.

För Gyproc-metoden visar mätningarna mycket stor spridning med avseende på sambandet mellan temperatur och förskjutning. Utan hänsyn till armering anges  $\alpha$  för gipsputs till ungefär  $20 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ), vilket är dubbelt så mycket som för armeringen. Mätresultat enligt FIG 2.2 b visar rörelser motsvarande ungefär  $10 \cdot 10^{-6}$  -  $25 \cdot 10^{-6}$ . En förklaring till den stora spridningen kan möjligen vara att den mycket kraftiga armeringen,  $\emptyset 3 \text{ \# } 50 \times 50$ , i vissa fall tagit överhanden och bestämt förskjutningens storlek. Armeringen har då helt enkelt rört sig med temperaturvariationerna utan att den omgivande gipsputsens kunnat hindra detta. I andra fall har puts-kakan förskjutits motsvarande ungefär  $= 20 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ), vilket tyder på att gipsen då varit bestämmande. Mätningarna antyder att den stora skillnaden mellan temperaturutvidgning för ar-

mering och gipsputs är orsak till den relativt omfattande sprickbildningen som kunnat observerats främst på syd- och östfasaderna. Sprickorna uppkom första våren, maj 1980. Det är rimligt förvänta att en putsad fasad då skall komma in i ett kritiskt skede. Det blir då relativt stora dygnsamplituder samtidigt som fasaden utsätts för kraftig uttorkning. De boende i Gyprochuset hade under maj 1980 noterat knäppar och smällar, vissa mycket kraftiga. Detta inträffade på kvällarna och nätterna när första värmeböljan kom.

För G+R visar rörelsemätningarna att fasadputsens förskjutningar är mycket mindre än vad som kunde förväntas om putskakan vore fritt rörlig. Den mest närliggande slutsatsen måste då bli att G+R närmast fungerar efter principen puts på fast underlag, se FIG 2.2c. Det kan samtidigt konstateras att G+R-husets puts är sprickfri med undantag för några fina sprickor vid fönster, dörrar och balkonger.

#### Fukt

I Södertäljeprojektet ingick vissa studier med avseende på fukt. Det är i första hand resistansmätningar som utförts i syfte att få ett mått på förändringar i putsens fuktförhållanden. Det tillämpade mätförfarandet har troligen gett stora utslag även för små, tillfälliga fuktvariationer på putskakans yta. Det som i först hand vore av intresse att mäta är hur putskakans medelfukthalt varierar. Därför är fuktmätningen här av begränsat värde. Följande kan dock noteras för AJ-huset, som har vanligt KC-puts:

- a) Nordfasaden har under december till maj påtagligt högre fukthalt än övriga riktningar.
- b) Sydfasaden har under juni-september lägre fukthalt än övriga riktningar.
- c) Relativt stora dygnsvariationer har registrerats. Dessa överraskande stora variationer kan bero på att det är förhållandena på putsens yta som ger utslag.

Som allmänt omdöme sägs i rapporten om Södertäljeprojektet att det inte kommit fram något som ger anledning befara att fuktproblemm skall kunna uppstå.

## Energibesparing

I rapporten om Södertäljeprojektet finns en utförlig analys av hur stor energibesparing som kan anses ha uppkommit som följd av tilläggsisoleringen av ytterväggarna. Analysen baseras i första hand på mätning av energiförbrukning under en längre period (flera år) före åtgärd och en tvåårsperiod efter. Den minskning av energiförbrukningen som registrerats kan givetvis inte enbart antas orsakad av ökat värmemotstånd i ytterväggarna. Inom ramen för de möjligheter som tillgängligt material medgett har energisparresultatet rensats från inverknings utöver tilläggsisoleringen av ytterväggarna. Resultatet blir då i medeltal för AJ- och Gyproc-husen, som har samma isolertjocklek, 100 mm:

12.6 l olja/m<sup>2</sup> lgy och normalår totalt för de två husen.

Med hänsyn till att husen i medeltal har 1.18 m<sup>2</sup> vägg per m<sup>2</sup> lgy erhålls en energibesparing på  $12.6/1.18 = 10.7$  l olja/m<sup>2</sup> vägg och normalår.

Vid beräkningen har det förutsatts att 1 l olja ger en värmeavgivning via radiatorer på 8.6 kWh. Det innebär att energibesparingen i kWh blivit

108 kWh/m<sup>2</sup>/lgy och normalår och  
92 kWh/m<sup>2</sup> vägg och normalår.

Det registrerade minskade energibehovet motsvarar ungefär den energibesparing som erhålls vid beräkningar enligt KAP 5. För Södertäljehuset har  $k_{\text{före}}$  uppskattats till 1.07. Enligt KAP 5, FIG 5.10 kan  $Q_u$  uppskattas till ungefär 110<sup>0</sup>Ckh. Motsvarande energibesparing kan sedan erhållas ur FIG 5.11. Den blir knappt 90 kWh/m<sup>2</sup> vägg. Det måste slutligen framhållas att inget säkert kan sägas i vad mån registrerad energibesparing verkligen beror på ökat värmemotstånd. T ex kan förändringar i ventilation och innetemperatur också ha inverkat.

## Ekonomi

För Södertäljeprojektet redovisas en utförlig analys av ekonomin. Här ges en sammanfattning.

Investeringskostnaden delas upp i tre huvudgrupper

- I Etableringskostnader
- II Fasadutflyttningskostnader
- III Metodkostnader

I etableringskostnaden ingår bl a kostnader för bodar, containers, ställningar, anslutning till el, vatten, tele. Kostnader i grupp I är en grundkostnad som uppstår vare sig tilläggsisolering skall utföras eller ej, dvs även om det endast gäller vanligt fasadunderhåll.

En tilläggsisolering innebär att fasaden måste flyttas ut. Detta medför att fasadutflyttningskostnader uppstår. Följande punkter kan tänkas leda till extra kostnader:

- o Fönsterbleck (byte till nya, djupare)
- o Ventil och galler (utflyttning, stosar)
- o Stuprör ( borttagning, infästning, uppsättning och anslutning mot mark)
- o Takanslutningar (insektsnät, virke)
- o Vattbräda, vindskiva (ev byte till nya för bibehållande av taksprång)
- o Källarfönster (fönsterbleck)
- o Källartrappor (utflyttning/kapning av räcke)
- o Skyltar, armatur (utflyttning, infästning)
- o Balkonger (kapning av räcke)
- o Frihuggning av fönstersmygar och drevning mellan karm och stomme (om fönstren ej byts)

Metodkostnader är de direkt metodknutna kostnaderna. Dessa kan delas upp i tre undergrupper:

- o Bärsystem: Borring, förankring, bärlinor, regler, expanderbultar, pendelkramlor.
- o Isolering: Isoleringsmaterial, brickor m m.
- o Fasad: Fönstersmygar - tätningsmaterial, papp. Dilatationsfogar.  
Putsning - armeringsnät, najtråd m m.

I 1978 års prisläge redovisas följande kostnader för Södertäljeprojektet:

TABELL 2.2 Kostnader i 1978 års prisläge

		Kostnad per m <sup>2</sup> isolerad area					
		G+R		Gyproc		AJ	
I	Etablering	41		41		43	
II	Fasadflyttning	44		53		62	
III	Metodkostnader						
	Bärsystem	41		26		28	
	Isolering	29		45		45	
	Fasad	200	270	169	240	151	224
	Summa	355		334		329	

Angivna kostnader bör reduceras med hänsyn till rationaliseringseffekter vid serieproduktion. En reduktion på 20% anges som sannolik. Med prisnivå 1982/83 torde ändå kostnaden ligga på minst 400 kr/m<sup>2</sup> isolerad area. Eftersom energibesparingen här blev över 10 l olja per m<sup>2</sup> fasadarea kan värdet av energibesparingen första året uppskattas till ca 20 kr/m<sup>2</sup>. Av avsnitt 6.33, FIG 6.3 framgår att lönsamheten kan bli bra. Detta gäller i växande grad allteftersom renoveringsbehov på fasaden samtidigt finns. Exempelvis om kostnaden för renovering + tilläggsisolering är 450 kr/m<sup>2</sup> och renoveringsbehovet är 175 kr/m<sup>2</sup>, räcker det med en energibesparing på 8 kr/m<sup>2</sup> för att nå lönsamhetsgränsen.

## 2.22... ISPO-projektet

### 2.221 ISPO - Isolersystem

Företag: Snöland AB, Alingsås med Sture Kärnbratt som projektledare; uppföljning genom tekn dr Mats Persson, Göteborg.

Projekt: Enbostadshus i Göteborg, Björnbärgsgt 8.

Ägare: Christer Jacobsson, Björnbärgsg 8, Göteborg.

Entreprenör: Egen regi.

#### Funktionssätt

Systemet bygger på att cellplastisolering och puts förbinds med befintlig vägg genom vidhäftning. Detta innebär att rörelser och spänningar p g a fukt- och temperaturvariationer kan överföras mellan skikten.

Putsskiktet är tunt och putsen har relativt låg E-modul. En glasfiber-väv fungerar som armering. Befintlig vägg, isolering och puts bildar ett samverkande system så avvägt att uppkomst av bl a skadliga sprickor mot-verkas.

Eftersom brännbart material ingår har användningen enligt typgodkännan-de begränsats till byggnader med maximalt 4 våningar, dock ej vårdan-läggningar.

Experimentobjektet utgörs av en putsad trästomme. Emellertid torde sys-temet i första hand vara avsett för byggnader med utvändigt putsat mur-verk. Befintlig fasad måste prepareras så att den kan bilda underlag för klistring av skivor.

I försöksobjektet är isolertjockleken 60 mm cellplast.

Eftersom systemet bygger på vidhäftning uppstår inte några köldbryggor.

#### Material

Som värmeisolering användes polystyrencellplastskivor med densitet  $20 \text{ kg/m}^3$ . Värmeledningsförmåga enligt SBN 80 är  $0.038 \text{ W/m}^0\text{C}$ .

Klistringsbruk, konsthartsbundet cementlim. Detta användes för att lim-ma cellplastplattorna mot underlaget samt för armeringsskiktet.

Till ytputsen användes konsthartsbruk.

#### Produktionsmetod

- o Preparering av fasad
- o Klistring av skivor
- o Applicering av armeringsskiktet
- o Applicering av ytputs, tjocklek 3-5 mm.



ISPO-Isolersystem  
Experimentobjektet

## 2.222 Redovisning, ISPO-Isolersystem

ISPO-projektet redovisas i första hand genom ett besiktningsutlåtande från Statens Provningsanstalt. Dessutom redovisas två termograferingsrapporter från före och efter tilläggsisolering.

### Byggerfarenheter

Befintlig fasad utgjordes av puts på plankstomme.

Här citeras några punkter från dagboken för tilläggsisoleringsarbetet:

- o Utprovning av metod för borttagning av befintlig fasadfärg
- o Färgborttagning med Snowclean F241
- o Fasaden ges möjlighet till uttorkning
- o Montering av cellplastskivor
- o Kantlister monteras och armeringsskikt anbringas
- o Ytputs läggs

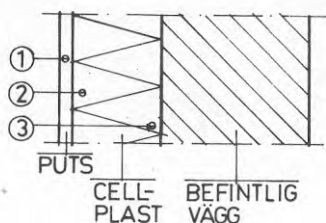
Arbetet påbörjades 780403 och var avslutat 780422.

### Rörelser och sprickbildning

ISPO-metoden baseras på vidhäftning och principen puts på fast underlag, se KAP 3. Statens Provningsanstalt gjorde sin besiktning 1981-07-03 och ur utlåtandet citeras: "Hörn och anslutningar studerades noga men ingenstans fanns synliga sprickor".

## Fukt

I KAP 7 diskuteras fuktproblem i samband med utvändigt tilläggsisolering. För ISPO-Isolersystem redovisas några fuktmätningar som utförts av Statens Provningsanstalt i anslutning till ovannämnda besiktning, mars 1981. Fuktinnehållet anges för putsen i  $\text{kg/m}^2$ . För cellplasten anges fuktkvoten (%). Resultatet framgår av tabell 2.3. Skikt ① - ③ visas i figur.



TABELL 2.3 Fuktinnehåll i puts och isolering

	① ( $\text{kg/m}^2$ )	② %	③ %
Västfasad	0.093	7.5	1.3
Söderfasad	0.103	0.8	2.3
Österfasad	0.045	1.2	1.9
Norrfasad	0.037	0.6	1.7

I utlåtandet från Statens Provningsanstalt ges följande kommentar: "Fuktinnehållet i väggen är måttligt högt och ungefär vad man skulle kunna förvänta. Att syd- och västfasaderna är något fuktigare än öst- och norrfasaderna kan förklaras av att dessa absorberar mera regn".

Det kan möjligen betraktas som överraskande att fuktkvoten är högre i punkt 3 än i punkt 2 för syd-, öst- och norrfasaderna. De registrerade fuktnivåerna är dock allmänt sett låga vilket innebär att cellplasten måste betecknas som relativt torr. Fuktförhållandena nära utsidan influeras naturligtvis av tillfälliga klimatvariationer medan förhållandena längre in i väggen avgörs av medelklimatet under längre tidsperioder.



### Energibesparing

En jämförelse mellan termografering före och efter tilläggsisolering visar framförallt en minskning i luftinläckningen. Det innebär att en del av spareffekten i det här fallet rimligen kommer att bero på ökad lufttäthet. Befintlig vägg utgörs av utvändig puts, stående plank och träfiberskiva. Sådana väggar kan förväntas ha sämre lufttäthet än ytterväggar i murverk.

Yttemperaturen på ytterväggarnas insidor är ungefär samma som tidigare. Dock har tidigare nedkylda partier fått högre temperatur efter tilläggsisoleringen.

### Ekonomi

Totalkostnaden blev 62 100 kronor. Isolerad area kan uppskattas till ca 225 m<sup>2</sup>. Det ger 276 kr per m<sup>2</sup> isolerad area (april 1978).

## 2.23 Rhodipor-projektet

### 2.231 Rhodipor

Företag: Stråbruken AB med Sven Karell som projektledare.

Projekt: Flerbostadshus i Spånga.

Ägare: Sten Dybeck, Lokevägen 31, Djursholm.

Entreprenör: Binab AB, Stockholm.

#### Funktionssätt

Systemet innebär att ett tjockt putsskikt anbringas på den ursprungliga väggen. Rhodiporbruket har mycket låg volymvikt genom att ballasten utgörs av polystyrenkulor.

Egentyngder och andra krafter tas upp genom vidhäftning. Det är härvid av betydelse att systemet har låg vikt.

Ett Rhodiporskikt på 80 mm motsvarar i vikt ungefär 15 mm KC-puts. Systemet förutsätter en KC-puts som ytputs med skiktjocklek 5-8 mm. Detta innebär att systemets totalvikt motsvarar 20-23 mm vanlig KC-puts.

Vidhäftning mellan Rhodiporskiktet och ursprunglig vägg säkras genom grundning och genom att ett armeringsnät med 5 mm distans från väggen

förankras i underlaget.

Rhodipor är klassat som svårantändligt material och som flamsäkert yt-skikt klass 1.

Underlaget måste beredas så att vidhäftningen säkras.

Gammal puts kan bibehållas men lös puts borttages. Systemet är för övrigt okänsligt för ytojämheter.

Det objekt som utförs har isolertjockleken 80 mm. Rhodipor har ungefär dubbelt så stor värmeledningsförmåga som mineralull. Det bör emellertid observeras att Rhodiporisoleringen inte innehåller några köldbryggor eller skarvar.

#### Material

Det värmeisolerande bruket består av expanderad polystyren (kulor med max storlek 2 mm) som ballast och kalk och cement som bindemedel. Densiteten blir ca  $300 \text{ kg/m}^3$  och värmeledningsförmågan  $0.08 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Ytputsens tjocklek ca 5-8 mm kan utgöras av olika varianter av KC-puts.

Armeringsnät infästs i ursprunglig vägg.

#### Produktionsmetod

- o Beredning av ursprunglig fasadyta
- o Armeringsnät (efter behov)
- o Grundning
- o Applicering av Rhodiporbruket max 50 mm per påslag
- o Ytputs

Rhodipor  
Experimentobjektet



## 2.232 Redovisning, Rhodipor

Rhodipor-projektet finns redovisat i Karell (1981). Här ges endast en kort sammanfattning.

### Byggerfarenheter

Putsningsarbetet utfördes enligt följande:

- o Den gamla putsen höggs ned
- o Den underliggande lättbetongytan rengjordes med tryckluft och försiktig duschning med vatten
- o Nätning med trådnät, kycklingnät
- o Heltäckande grundning C1:3
- o Följande dag sprutning av 4 cm Rhodipor
- o Tredje dagen sprutning av resterande 4 cm Rhodipor
- o 1-3 veckor senare applicering av ytputs

Följande citeras från Karell (1981): "Allmänna erfarenheter av putsningsarbetet är att denna metod (Rhodipor) för tilläggsisolering inte innebär några större problem jämfört med konventionell omputsning. Viktigt är dock tillgången på yrkeskunnigt folk."

"Viktigt är att hålla rätt blandningstid och rätt vattenmängd i bruket. Framförallt gäller det att hålla sprututrustningen i gott skick från

dag till dag."

"Beträffande vidhäftningen mellan de olika skikten har vid upprepade provningar visat sig att brottet praktiskt taget alltid sker i Rhodiporskiktet vid en dragkraft av 0.07-0.1 MPa."

#### Rörelser och sprickbildning

Rhodipor baseras på att krafter överförs genom vidhäftning. Systemet fungerar statiskt efter principen puts på fast underlag. I rapporten Karell (1981) analyseras problemet krympspänning och sprickrisker.

Rhodiporfasaderna utfördes i september 1978. De första sprickorna observerades våren 1979. Under sommaren samma år ökade sprickornas längd och antal något. Därefter har inga ytterligare sprickbildning förekommit.

Att sprickorna började uppträda först våren - sommaren förefaller rimligt. Då putsningen utförs på hösten kan det förväntas att kritiska spänningar uppträder först på våren. Det blir då en kombination av kraftig uttorkning och relativt stora temperaturamplituder, se även KAP 4.

Sprickorna är med enstaka undantag fina. De kan observeras på några meters avstånd. Sprickorna finns huvudsakligen i anslutning till spänningskoncentrationer som fönsterhörn och liknande.

Sprickorna har, i rapporten, bedömts som acceptabla med hänsyn till

- o estetiska synpunkter
- o inverkan av slagregn
- o värmeförluster.

Sprickor och slagregn behandlas i KAP 7. Värmeförluster kan uppstå, särskilt om sprickorna står i förbindelse med luftspalter och hålrum. Sprickorna i Rhodiporputsens har sannolikt ingen nämnvärd inverkan på energiförlusterna. Termofotografering av liknande projekt med sprickor, 0.5 - 1 mm breda har gett resultat som tyder på att endast stillastående luft stod i sprickorna.

#### Fukt

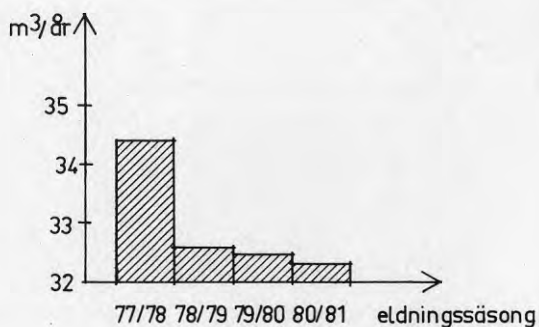
Fuktmätningar har utförts. Dessa har syftat till att få en bild av ut-

torkningsförloppet i Rhodiporbruket. Mätningen har utförts med hjälp av fuktgivare baserade på att resistansen mellan två elektroder skall registreras. Mätresultatet är osäkert med avseende putsens absoluta fukthalt. Däremot kan det ge en uppfattning om tendenser i putsens fukt-tillstånd.

Putsarbetet utfördes hösten 1978. I januari 1979 registrerades högre fuktnivå än på hösten. Från april till sommaren registrerades en kraftig uttorkning. Att fuktnivån ökade från hösten 1978 till januari 1979 kan förefalla överraskande men kan möjligen förklaras av att putsen hunnit torka ut relativt mycket innan mätningarna påbörjades. På lång sikt uppstår en årssvängning, där det är normalt med hög fuktnivå på vintern och låg på sommaren.

#### Energibesparing

Oljeförbrukningen har registrerats för perioden 1977-1981, se FIG 2.3.



Figur 2.3 Reduktion av oljeförbrukning.

Det framgår av redovisningen ovan att oljeförbrukningen minskat med ca  $2 \text{ m}^3/\text{år}$ . Baserat på normalår blir det  $1.9 \text{ m}^3/\text{år}$ . Detta kan jämföras med beräknad (förväntad) energibesparing som är  $3.4 \text{ m}^3/\text{år}$ . Den stora skillnaden mellan förväntad och verklig energibesparing bör ses i relation till att värmesystemets inreglering ej justerades i samband med tilläggsisoleringen.

#### Ekonomi

I rapporten Karell (1981) redovisas en jämförelse mellan verkliga kost-

nader för komplett arbete med tilläggsisolering och beräknade kostnader för enbart fasadisolering. Denna jämförelse är gjord i 1978 års priser. Följande kostnader anges utslaget på isolerad area  $694 \text{ m}^2$  (lägenhetsyta + lokalyta är  $1034 \text{ m}^2$ ).

Tilläggsisolering med Rhodipor	438 kr/m <sup>2</sup>
Enbart omputsning	339 kr/m <sup>2</sup>

Det bör noteras att kostnaderna innefattar komplett fasadrenovering inklusive plåt och målning.

Tilläggskostnader för att få tilläggsisolering uppgår här endast till ungefär  $100 \text{ kr/m}^2$  isolerad area. Detta skall ställas mot besparingen  $2.7 \text{ l olja/m}^2$  isolerad area.

I den beslutssituation som rådde 1978 var oljepriset ungefär  $600 \text{ kr/m}^3$ , vilket ger en besparing på  $1.65 \text{ kr/m}^2$  isolerad area. Lönsamheten blir därför låg.

En framräkning till 1982 års priser kan givetvis göras. Dock måste då beaktas att Rhodipor-metoden inte kan ge ett tillskott till värmemotståndet ( $m_t \geq 2.0$ ) som idag medger energilån. Diagram och tabeller i KAP 6 baseras på att energilån kan erhållas. Dessa kan därför inte användas här.

## 2.24 Serporock-projektet

### 2.241 Serporock-metoden

Företag: Ernström & Co ab, Göteborg samt Rockwool AB, Skövde.

Projekt: Flerbostadshus, 3 vån, Ekgatan 5, 7, 11 Malmö.

Ägare: Malmö kommuns fastighetskontor.

Entreprenör: Puts och Kakerl AB, PUKAB, Malmö.

#### Funktionssätt

Putsskiktet bärs av kramlor som är infästa i ursprunglig vägg. Kramlorna är ledat infästa i väggen. Detta gör att putsskiktet blir förhållandevis rörligt relativt ursprunglig vägg, vilket motverkar uppkomst av dragspänningar i putsen p g a temperatur- och fuktrörelser.

Egentyngden tas upp genom dragkraft i kramlorna. Eftersom kramlorna är ledade blir de kraftupptagande först efter en liten nedåtriktad rörelse hos putsskiktet med åtföljande kompression hos isoleringen. Genom att kramlorna från början är nedåtriktade blir rörelsen av egentyngden liten.

Armeringsmattan fästs ihop med kramlorna genom särskilda spärrkramlor. Som armering används svetsat rutnät.

Eftersom systemet baseras på att sprickrisker skall motverkas genom kramlornas rörlighet anordnas rörelsefogar vid putsskiktets anslutning till fönster och liknande.

Samtliga komponenter i systemet är obrännbara.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom.

Kramlorna skall fästas i befintlig vägg och dessa skall ta upp både egentyngd och vindlast.

Systemet är relativt okänsligt för ytojämheter genom att isoleringen fyller ut.

Systemet medger isolertjocklekar på ca 100 mm.

Infästningarna ger en relativt liten stålarea per  $m^2$  väggyta. Detta innebär att det extra värmefflöde som uppkommer härigenom blir litet. Beräkningar visar att inverkan på k-värdet blir omkring 1%.

#### Material

Isoleringen utgörs av stenull Rockwoolskiva 335 med densiteten ca  $80 \text{ kg/m}^3$ . Praktiskt tillämpbar värmeledningsförmåga  $0.038 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Som grundningsbruk används SERPOROCK Grundningsbruk.

Som utstockning och ytputs används Serpoterm Lättputs.

Putsen läggs på i tre skikt till en total tjocklek på ca 25 mm.

Som armering används svetsat stålät,  $\emptyset 1.1$ , 19/19.

Vid hörn och där spänningskoncentrationer kan förekomma förstärks armeringen.

Infästningarna består av s k pendelkramlor i syrafast rostfritt stål, vilka fästs med expanderbult i befintlig vägg. Kramlan har tvärsnitt  $\emptyset 4$ .

Ca fyra kramlor per  $m^2$  monteras.

#### Produktionsmetod

- o Kramlor monteras
- o Isolerskivor monteras genom att de trycks på pendelkramlorna som då skall vara vinkelrätt orienterade från fasaden i fast montageläge.
- o Pendelkramlorna frigörs så att den avsedda ledande funktionen uppstår och armeringen fästs i kramlorna med spärrkramlorna.
- o Putsning i tre skikt, grundning, utstockning och ytputs.  
Väntetid minst 2 dygn mellan skikten.

#### Serporock-systemet

Montering av isolerskivor



#### Serporock-fasad





## 2.242 Redovisning

Serporock-projektet finns redovisat i en separat rapport, Elmarsson (1983). Här ges en sammanfattning av de mest väsentliga punkterna.

Serporock-metoden har, förutom i detta projekt, representerats i Ulvsunda-projektet, där bl a energispareffekten av tilläggsisoleringen studerats, Johnsson (1980). Det framgår där att teoretisk besparing uppgick till  $8 \text{ l/m}^2$  isolerad area eller  $70 \text{ kWh/m}^2$ . Uppmätt energibesparing blev  $5.2 \text{ l/m}^2$  eller  $44 \text{ kWh/m}^2$ . Skillnaden beror på att rumstemperaturen ökat efter tilläggsisoleringen. Besparingen förväntas öka till den teoretiskt beräknade efter förnyad injustering och sänkning av rumstemperaturen till ursprunglig nivå. Före tilläggsisoleringen uppskattades k-värdet (Ulvsunda) till  $0.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Ovannämnda utfall understryker betydelsen av ny inreglering av värmeanläggningen efter varje större energibesparande insats. Egentligen bör lufttemperaturen kunna sänkas något efter en tilläggsisolering av ytterväggar, se avsnitt 5.61.

Den undersökning som här gjorts för Serporock-metoden har huvudsakligen begränsats till problemet spänningar, rörelser och det bärande systemets funktion.

Mätningarna har utförts på en syd- och en nordfasad på två hus vid Ek-gatan i Malmö. De första mätningarna utfördes 1980. Därefter följde ytterligare 3 mätperioder jämt fördelade över året. Mätperiodernas längd var en vecka.

Följande data har registrerats:

- o Relativ ånghalt i uteluften
- o Lufttemperatur
- o Putskakans temperatur
- o Förskjutningar i putskakan

Mätvärdena har registrerats med hjälp av datalogg. Tidsintervallet mellan registreringarna har varit 15 minuter. I jämförelse med manuella mätningar kan registreringar med 15 minuters intervall betecknas som kontinuerliga.

Att mäta temperatur och relativ ånghalt erbjuder inga större svårigheter. Det är då ett mera komplicerat problem att mäta förskjutningar (rörelser) hos putskakan. Den metod som här använts baseras på trådtöjningsgivare som anbringats på böjliga bleck. Putskakans förskjutningar leder till böjdeformationer i dessa bleck varigenom resistansändringar uppstår i trådtöjningsgivarna. Mätmetoden innebär alltså att en förskjutning i putskakan omvandlas till en ändring i elektrisk spänning. Denna spänningsändring registreras sedan av dataloggen.

Mätningarna har visat att putskakans förskjutningar nästan utan fasförskjutning följer temperaturvariationerna.

Serporock-metoden är avsedd att fungera efter principen puts på eftergivligt underlag. Mätningarna visar också att kramlor och isolering endast i liten grad håller fast putskakan. Det betyder att t ex temperaturvariationer huvudsakligen ger upphov till förskjutningar i stället för spänningar.

Det bärande systemet i Serporock-metoden förutsätter att egentynghden tas upp genom att dragkrafter uppstår i den ledade kramlan, se avsnitt 3.522. Den uppkomna dragkraften tas i sin tur upp av isoleringen som därigenom komprimeras. Tillsammans med temperatur- och fuktrörelser bildas då ett speciellt rörelsemönster i vertikalled.

En beräkningsmodell som avser att beskriva det bärande systemets funktion redovisas i rapporten, Elmarsson (1983). Jämförelser mellan beräknat och mätt rörelsemönster visar god överensstämmelse.

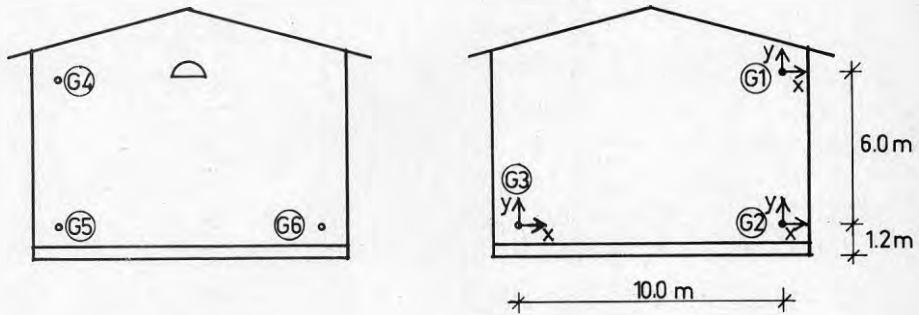
Genom projektet har därigenom ett bättre underlag erhållits för dimensionering av bärande komponenter till system för puts på utvändigt tilläggsisolering. I beräkningsmodellen kan samtidigt inverkan av egentynghd, krympning och vindsug beaktas.

I KAP 3 visas statistiskt verkningssätt och beräkningar avseende bl a Serporock-metoden.

## Mätningar

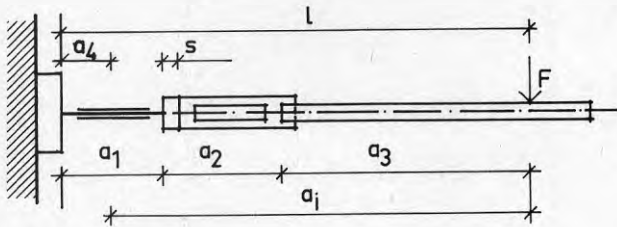
Här redovisas ett sammandrag av mätningar och beräkningar.

FIG 2.4 visar mätpunkterna på syd- och nordgaveln.

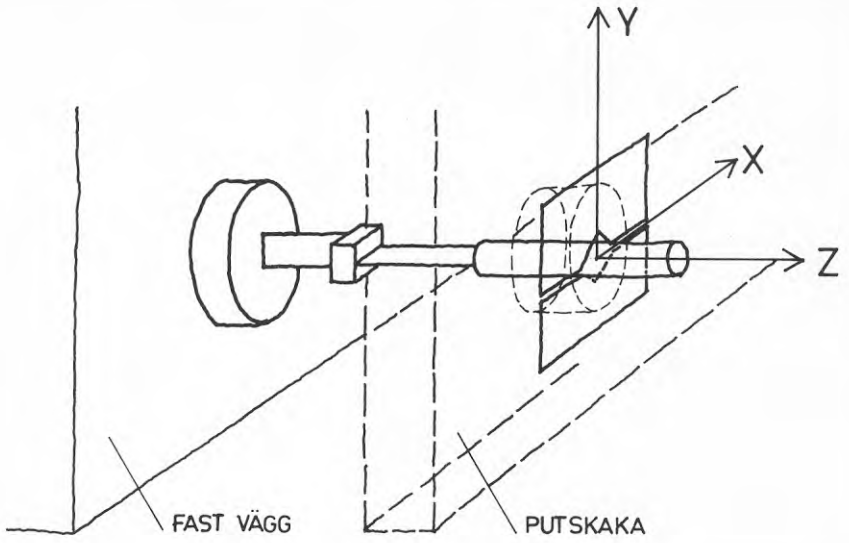


Figur 2.4 Mätpunkter G1 - G6 på nord- och sydfasader.

I varje mätpunkt har förskjutningar registrerats i två vinkelräta riktningar. Mät dubbens funktion framgår av FIG 2.5 och 2.6.

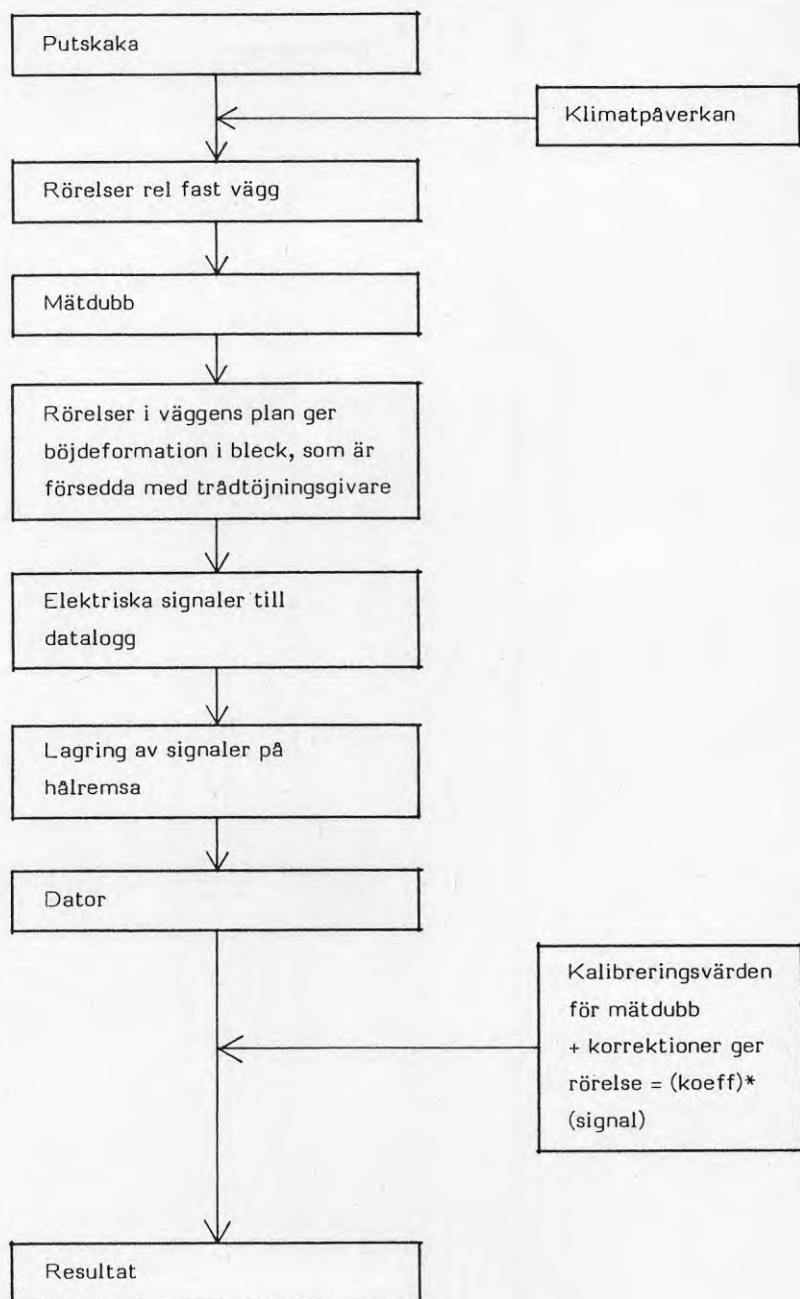


Figur 2.5 Mät dubb med trådtöjningsgivare.



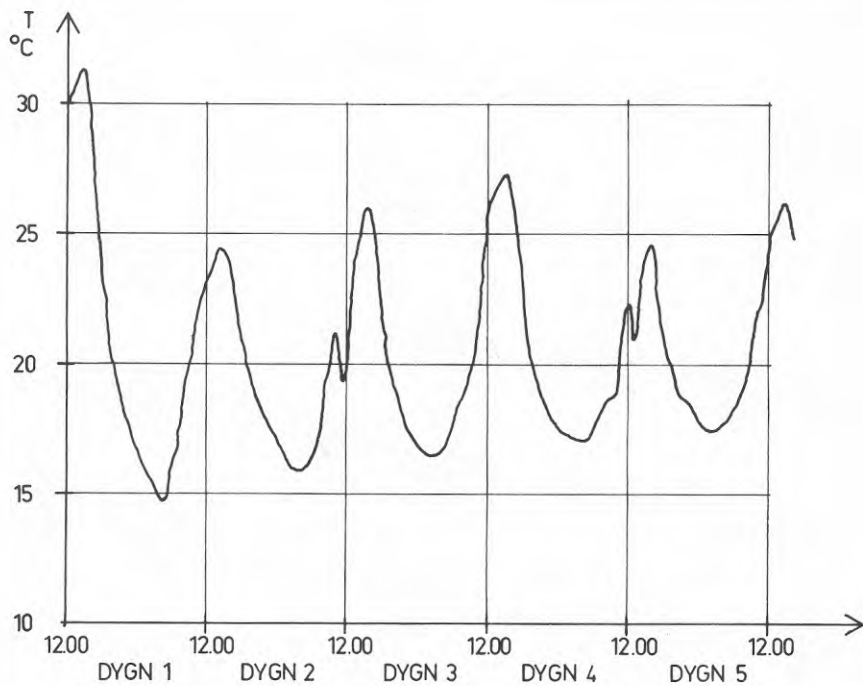
Figur 2.6 Mätdubb infäst i befintlig vägg.

FIG 2.7 visar ett principschema för mätningen.

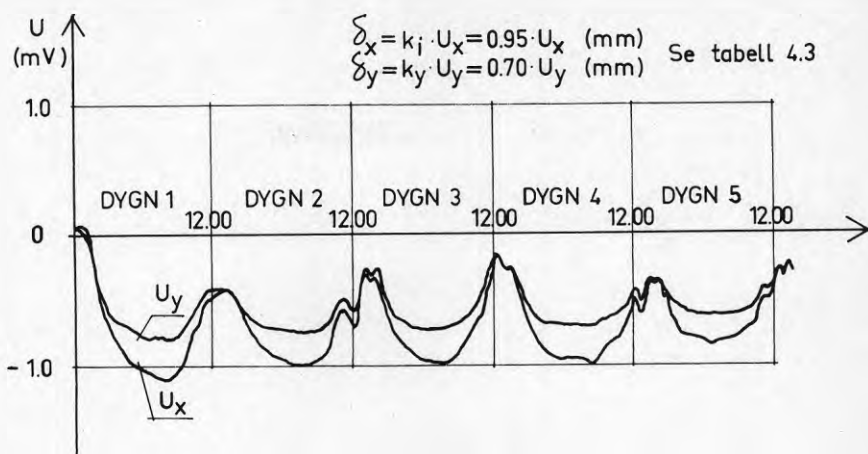


Figur 2.7 Principschema för mätning.

En åskådlig bild av att temperaturvariationer och förskjutningar mycket nära följs åt ges av FIG 2.8 a,b. Temperaturvariationen framgår av 2.8 a och motsvarande förskjutningar framgår av 2.8 b. Eftersom det är primärresultat som visas är förskjutningen given indirekt i volt. Som framgår av figuren motsvarar 1 m V förskjutningen 0.95 respektive 0.70 mm för den aktuella mät-dubben (G1).



Figur 2.8 a Exempel på mätresultat. Primärdata, a) temperatur.



Figur 2.8 b Exempel på mätresultat. Primärdata, b) spänningsvariationer, som kan transformeras till förskjutningar  $\delta_x$  och  $\delta_y$ .

Mätresultaten har analyserats. Därav framgår att putskakans rörelse ungefär motsvarar en temperaturutvidgningskoefficient  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ).

En uppskattning av fuktrörelser har också kunnat göras. Storleken på dessa blev ungefär

$$\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \phi} = 0.3 \text{ } ^\circ\text{/oo}$$

Värdet  $0.3 \text{ } ^\circ\text{/oo}$  bygger på antagandet att putskakans under en vecka anpassat sig till en ökad relativ ånghalt i uteluften, 58% till 71%.

Problemet med fuktrörelser är bland annat att de inte varierar linjärt med fukthalt eller relativ ånghalt. Det innebär att ett helt annat värde än  $0.3 \text{ } ^\circ\text{/oo}$  kan gälla om relativ ånghalt ändras från till exempel 48 - 61%. Sambandet mellan rörelse och relativ ånghalt är dåligt kartlagt för puts. För ett annat material med cementbaserat bindemedel, lättbetong, återges mätresultat i Bygg 2, 1968. Dessa visar att  $\frac{\Delta \epsilon}{\Delta \phi}$  avtar med växande  $\phi$ . Som exempel är  $\frac{d\epsilon}{d\phi} = 1 \text{ } ^\circ\text{/oo}$  vid  $\phi = 40\%$  och  $0.4 \text{ } ^\circ\text{/oo}$  vid 65%. Det finns anledning räkna med att puts kan uppträda på liknande sätt i detta avseende. Det betyder att stark uttorkning i särskild grad skulle vara ansträngande för putsen ur spricksynpunkt.

Energibesparing, kostnader

Husen på Ekgatan i Malmö har inte tilläggsisolerats i syfte att få ett försöksprojekt. Det var istället så att fasaderna valdes ur den produktion som utförts med Serporockmetoden. Det innebär att dokumentation om energibesparing och kostnader inte finns som för exempelvis Södertäljeprojektet. Huvudsyftet med Serporockprojektet har varit att studera puts-kakans rörelsemönster.

## 2.25 SoS-projektet

### 2.251 SoS-metoden

Företag: Chalmers tekniska högskola med Walter Kiessling och Bertil Larsson som projektledare.

Projekt: Gaveln på ett 3-vånings lättbetonghus, Delfingatan 7 i Göteborg.

Ägare: Göteborgs Stads Bostads AB.

Entreprenör: Göteborgs Puts AB.

Funktionssätt

Putsskiktets egentyngd tas upp av armeringsstegar, som har en höjd cirka 10 mm större än isolertjockleken. Armeringsstegarna monteras vertikalt med centrumavstånd 600 mm och fästes i ursprunglig vägg med skruv och plastplugg.

Putsskiktet armeras med saremma, som fästes i armeringsstegarna genom najning.

Krafter överföres från putsskikt till armeringsstegar genom att dessa går in cirka 10 mm i putsskiktet.

Armeringsstegarna bör genom sin ringa styvhet i sidled medge rörelser i putsskiktets horisontalriktning. I vertikalled uppfyller stegarna en bärande funktion.

Rörelsefogar anordnas vid fönstersmygar m m för att motverka sprickrisker.

Samtliga komponenter i systemet är obrännbara.



Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom.

Armeringsstegar skall fästas i befintlig vägg och dessa skall ta upp både egentyngd och vindlast.

Systemet är relativt okänsligt för ytojämnheter genom att isoleringen fyller ut.

I experimentobjektet är isolertjockleken 70 mm.

Konstruktionen med armeringsstegar innebär att relativt många "stegpinnar" per  $m^2$  väggyta förbinder putsskiktet med ursprunglig vägg. De beräkningsresultat som redovisas i bilaga 3 är inte direkt tillämpliga, eftersom köldbryggorna här kommer relativt nära varandra.

En försiktig jämförelse med resultat enligt bilagan tyder emellertid på att den köldbryggeeffekt som armeringsstegarna ger kan uppgå till några procent.

#### Material och materialdata

Isoleringen består av stenull Rockwool skiva 335,  $100 \text{ kg/m}^3$ .

Enligt SBN75 tillåtes för motgjutten isolering av denna kvalitet  $0.038 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

För utstockning användes KC 35:65:550. Som ytputs användes Serponit spritputs F5.

Som armering användes sarematta som består av rutarmering  $\emptyset 2.5 \text{ 100/200}$  + kycklingnät.

Vid fönstersmygar och liknande förstärkes armeringen genom inläggning av sträckmetall.

Armeringsstegarna är i rostfritt stål  $\emptyset 5.4 \text{ mm}$ , SIS 2340. Höjden är 80 mm. Stegarnas vikt är  $0.64 \text{ kg/m}$ .

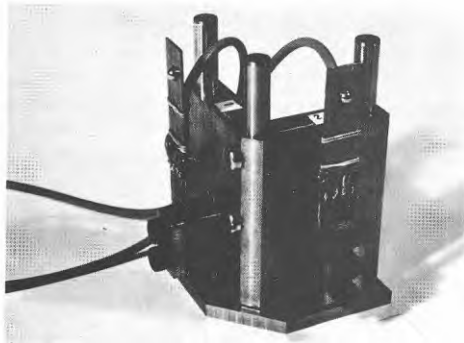
Stegarna fästes i väggen med skruv och plastplugg.

### Produktionsmetod

- o Montering av armeringsstegar
- o Montering av mineralullsskivor
- o Putsning, varvid utstockningen utföres i två påslag. Ytputsen utgöres av Serponit spritputs F5.

### SoS-metoden

#### Rörelsemätare



### SoS-metoden

#### Montering av armeringsstegar och dilatationsfog



## 2.252 Redovisning

Projektet finns redovisat i Larsson (1980).

### Byggerfarenheter

Projektet omfattade endast en gavel på ett trevånings flerbostadshus. Inga speciella problem redovisas när det gäller utförandet. Det framhålls dock att arbetsställningen bör gå förbi hushörn för att möjliggöra åtkomst av dilatationsfogarna. Detta aktualiserades eftersom det här endast var fråga om att renovera en gavel.

### Temperatur, rörelser och sprickbildning

Temperatur- och rörelsemätningar har utförts. För temperaturmätningarna har termoelement använts. Rörelser har registrerats med hjälp av ett mät-don, utvecklat vid CTH. Detta baseras på att trådtöjningsgivare anbringats på böjliga bleck. Förskjutningar registreras genom skrivare. Resultatet av rörelsemätningarna tyder på att puts-kakan rör sig motsvarande en temperaturutvidgningskoefficient  $\alpha \cong 5 \cdot 10^{-6}$  ( $1/^\circ\text{C}$ ). För fasadens nedre del registrerades ännu mindre värden.

Med hänsyn till att  $\alpha$  brukar anges till cirka  $10 \cdot 10^{-6}$  för KC-puts förefaller det troligt att puts-kakan här är fasthållen speciellt i vertikalled.

Sprickor har uppkommit i anslutning till fönsterhörn. Det är möjligt att sprickförekomsten har gynnats av att det inte finns någon förstärkt armering i fönsterhörnen. Eftersom det alltid måste bli spänningskoncentrationer där, är det viktigt att lägga in extra armering på sådana ställen. Det är dock omöjligt att uttala sig om huruvida hörnarmering hade varit tillräckligt för att förhindra sprickbildning.

Hörnsprickorna började uppträda cirka 2 månader efter putsning (januari).

Redan kort tid efter putsning kunde ett krackeleringsmönster i ytputsen observeras. Detta sprickmönster är osynligt på större avstånd än cirka 1 m. Mönstret och sprickorna har under hand inte förändrats.

### Ekonomi

Entreprenadkostnaden för  $100 \text{ m}^2$  isolerad area blev 37 000 kr eller  $370 \text{ kr/m}^2$  (1978 års priser). Arbetsåtgången var 231 mantimmar exklusive

arbetsledning och administration eller  $2.3 \text{ h/m}^2$ . Både kostnader och arbetsåtgång ligger högt men detta bör bedömas i relation till det lilla projektet och att ny teknik har tillämpats. I rapporten anges som sannolikt pris vid större projekt  $270 \text{ kr/m}^2$  i 1978 års priser.

## 2.26 TexRoc-projektet

### 2.261 TexRoc-systemet

Företag: AB Wilhelm Becker, sektion Beckerfasad med Per Magnuson som projektledare.

Projekt: Kontorshus, gavel, kv Moraset Luntmakargatan, Stockholm.

Ägare: Albert Bonnier Boktryckeri.

Entreprenör: Egen regi.

#### Funktionssätt

TexRoc-systemet går närmast in under begreppet putsliknande beklädnad eftersom ytskiktet utgöres av aluminiumplåt som ytbehandlats med Tex-Cote.

Värmeisoleringen består av mineralull efter behov 50-100 mm. I det aktuella projektet 50 mm. Mineralullen är försedd med vindtät papp. Mineralullen anbringas mellan horisontella träreglar vilka fästes i befintlig vägg med hjälp av expanderbult.

På träreglarna fästes vertikala reglar i form av plåtprofiler. Härigenom uppstår en luftspalt bakom de plåtar på vilka den putsliknande Tex-Cote behandlingen skall utföras.

Plåtarna är plana och väningshöga. Bredden är 1200 mm eller 600 mm.

Eftersom plåtarna är plana erfordras att de på något sätt förstyvas. Detta sker genom att plåtarna på baksidan förses med en 15 mm gullfiberboard som limmas till plåten.

Plåtarna fästes med hjälp av särskilda plåtprofiler som fästs vid de ovan nämnda vertikala reglarna.

Fogarna blir synliga.

Som sista moment utföres Tex-Cote behandlingen vilket medverkar till att den avsedda putsliknande ytkaraktären uppstår.

Ur brandskyddssynpunkt är det för högre hus av betydelse att systemet innehåller brännbart material. Emellertid är pappen av svårantändligt material. Träreglarna orienteras horisontellt och genom att de är inbäddade i mineralull bör de i relativt liten grad medverka till brandspridning.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom.

Reglarna skall fästas i befintlig vägg med expanderbult och dessa skall ta upp både egentygnd och vindlast. Systemet är relativt okänsligt för ytojämheter genom att isoleringen fyller ut.

Det objekt som nu är aktuellt har en isolertjocklek på 50 mm. Dessutom tillkommer 15 mm gullfiberboard utanför den ventilerade luftspalten.

Köldbryggor uppkommer genom att reglarna bryter igenom mineralullsisoleringen. Infästningar av reglarna genom expanderbultar medför dessutom en viss förstärkning av köldbryggeeffekten. Systemets uppbyggnad innebär att inverkan av köldbryggor inte kan försummas. Inverkan är beroende av regelavstånd och regeldimensioner och kan beräknas enligt Svensk Byggnorm.

#### Material

Värmeisoleringen utgöres av 50 mm pappbelagd mineralullsskiva.

Plåten är belagd med 15 mm gullfiberboard.

Tex-Cote-belagd aluminiumplåt.

Träreglar infästa med expanderbult. Plåtskivorna hålles på plats genom särskilda plåtprofiler och popnitning.

#### Produktionsmetod

- o Träreglar
- o Mineralullsskivor anbringas
- o Vertikala plåtprofiler monteras
- o Aluminiumplåtar monteras
- o Behandling med Tex-Cote

## 2.262 Redovisning

TexRoc-metoden skiljer sig tekniskt obetydligt från vanlig plåtbeklädnad. Tex-Cote behandlingen har gett en putsliknande ytstruktur på den använda slätplåten.

TexRoc-metoden har inte använts efter försöksprojektet. Det innebär att metoden för närvarande är vilande.

## 2.27 tm-projektet

### 2.271 tm-metoden

Företag: Trällsplattfabrikernas Försäljnings AB med P O Nylund, Tyréns och Christer Liss, Trällsplattfabrikernas Försäljnings AB som projektledare.

Projekt: Flerbostadshus, 3-våningar, Rämensvägen 1-11, Årsta.

Ägare: Riksbyggens Bostadsrättsföreningens Stockholmshus nr 10.

Entreprenör: Fasadrenovering AB, Kumla.

#### Funktionssätt

Putsskiktet bäres av vinkelformade kramlor som fästes i befintlig murverksvägg med expanderbult. Kramlorna är dimensionerade för att ta upp egen tyngden genom konsolverkan.

I sidled är kramlorna relativt veka vilket gör att rörelser på grund av fukt- och temperaturvariationer kan ske med relativt små spänningar i putsskiktet som följd.

Värmeisoleringen består av en kombination mellan mineralull och trällsplattor. I experimentsprojektet består isolerskivan av 20 mm träll + 50 mm mineralull. Genom denna kombination förenas mineralullens goda värmeisolerande förmåga med trällsplattans lämplighet som underlag för puts.

Överföring av krafter från putsskikt till befintlig vägg sker genom att vinkelkramlorna förenas med armeringsnät som sedan omslutes av putsen.

I experimentprojektet provas olika typer av armering och putsrecept. Vidare varieras utförandet av dilatationsfogar samt detaljlösningar vid

fönstersmygar. Det senare för att möjliggöra studier av hur olika grader av fasthållning kan påverka rörelser och sprickrisker.

Samtliga komponenter i systemet är obrännbara utom träullsdelens som är svårantändlig.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom.

Kramlor skall fästas i befintlig vägg och dessa skall ta upp både egen-tyngd och vindlast.

Systemet är relativt okänsligt för ytojämnheter genom att isoleringen fyller ut.

I experimentprojektet är isolertjockleken 20 mm träullsplatta + 50 mm mineralull. Tillsammans motsvarar detta cirka 60 mm mineralull. Metoden tillämpas även med tjockare isolering.

Vinkelkramlorna har ett tvärsnitt som motsvarar ungefär  $\emptyset 8$ .

Med ledning av bilaga 3 kan inverkan på k-värdet uppskattas till omkring 5%.

#### Material

Värmeisoleringen utgöres av stenuil Rockwool  $80 \text{ kg/m}^3$  med värmeledningsförmåga  $0.038 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ . Träullen har densiteten cirka  $300 \text{ kg/m}^3$  och värmeledningsförmågan  $0.075 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ .

Olika putssammansättningar provas. Underputsens byggs upp av två skikt grundning och utstockning.

Alternativ 1 KC 10/90/350 + 35/65/550

Alternativ 2 KC 35/65/400 + 50/50/650

Numera används KC 35/65/550 + 50/50/650

Som ytputs provas

Ytputs 1 Serpoterm

Ytputs 2 Drywallstruktur

Två olika typer av armering provas.

Nät 1 tm-putsnet  $\emptyset$  1 19/19

Nät 2 sträckmetall cirka  $0.6 \text{ kg/m}^2$

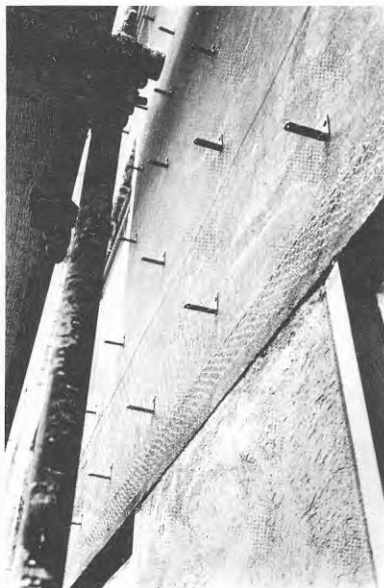
Nuerna används svetsat nät  $\emptyset$  1  $\ddagger$  25.

Vid hörn där spänningskoncentrationer kan förekomma förstärkes armeringen.

Infästningarna utgöres av vinkelformade kramlor i syrafast rostfritt stål. De fästes med expanderbult i befintlig vägg. Kramlorna har tvärsnitt  $3 \times 16.5 \text{ mm}^2$ . Cirka fyra kramlor per  $\text{m}^2$  monteras. Då metoden tillämpas med andra isolertjocklekar kan andra dimensioner på kramlorna förekomma.

#### Produktionsmetod

- o Kramlor monteras
- o tm-combiskivorna monteras
- o Armeringsnätet förenas med kramlorna
- o Putsning i tre skikt, grundning, utstockning och ytputs.



tm-metoden  
Kramlor monterade



tm-metoden  
Isolerplattor monterade



## 2.272 Redovisning

För tm-metoden har ett omfattande mätprogram genomförts. Detta har främst syftat till att studera rörelsemönster. Mätningarna har utförts manuellt och har i tiden omfattat ett intervall om två och ett halvt år. Mätningarna ger alltså underlag för bedömning av putskakans rörelse under två årscykler.

För mätningarna svarar Tyréns genom P O Nylund. En avsikt med mätprojektet har varit att med detta som underlag få fram en dimensioneringsmetod för tilläggsisoleringsystem med puts, se Nylund (1977) och (1981).

### Byggerfarenheter

I byggforskningsprojektet blandades bruket på arbetsplatsen. Som doseringsförfarande användes den så kallade "skyffelmetoden". Senare jämförelser med användning av fabriksstillverkat bruk har visat att bättre resultat uppnås med sådant. I projekterings- och arbetsanvisningar för tm-combi finns nu en rekommendation att alltid använda fabriksstillverkat torrbruk eller fabriksstillblandat våtbruk.

### Spänningar, rörelser, sprickrisker

I tm-combi projektet har, som framgår av 2.271, olika materialkombinationer provats. Avstånd mellan och placering av rörelsefogar har också studerats i projektet.

Med ledning av erfarenheter som vunnits genom projektet har flera betydelsefulla modifieringar gjorts. Nyttan med dessa har under hand kunnat iaktas på utförda arbeten efter försöksprojektet på Rämensvägen i Arsta.

De förändringar som vidtagits bör genomgående verka för mindre sprickrisker.

- o I försöksprojektet används två varianter av underputs (grundning + utstockning). Variant 1 hade högre bindemedelshalt och cementshalt än variant 2, se avsnitt 2.271. Erfarenheter från projektet har visat att underputs 2 var bättre än 1. Nu används KC 35/65/550 som grundning och KC 50/50/650 som utstockning (grovputs). Det innebär att putsen gjorts ytterligare något mindre starkt.

- o Två olika armeringsnät provades, dels nät 1 med tråddiameter  $\emptyset$  1 och maskvidd 19x19 och dels nät 2, sträckmetall 0.6 kg/m<sup>2</sup>. Nät 1 var av typ kraftigt kycklingnät. Erfarenheterna av sträckmetall som putsarmering har varit mindre goda. Det gäller för puts på tilläggsisolering där armeringens kraftupptagande förmåga måste vara god både vertikalt och horisontellt. Provningar hos Ytong AB har visat att ett svetsat armeringsnät är att föredra framför "kycklingnät" och sträckmetall. För tm-combi används nu ett punkt-svetsat armeringsnät med galvaniserade trådar  $\emptyset$  1  $\#$  25. Motsvarande resultat har framkommit i Serporockprojektet, Elmarsson (1979) och (1983).
  
- o Projektet har givit en säkrare grund för anvisningar avseende rörelsefogar. I nu gällande projekteringsanvisningar sägs att rörelsefogar skall anordnas horisontalt och vertikalt med c 10-15 m. Det anges också att vertikala rörelsefogar alltid skall anordnas vid hörn. Generellt gäller att rörelsefogar bör placeras där man av någon anledning kan misstänka att det finns spänningskoncentrationer och därmed risk för att en spricka skall bildas. Erfarenheter från Rämensvägen har visat att putsfält ovanför entréer vid trapphus är ett område där spänningskoncentrationer med åtföljande sprickrisk förekommer. Därför rekommenderas nu placering av vertikal rörelsefog centriskt vid trapphus.

## 2.28 Varmotexprojektet

### 2.281 Varmotex

Företag: Skandinaviska Byggprodukter AB (SKB) Stockholm med Peter af Klercker som projektledare.

Projekt: Flerbostadshus i Stockholm, 4 våningar.

Ägare: Stockholmshem.

Entreprenör: Byggnads AB Olof Säll.

Funktionssätt

Putsskikt och cellplastskivor bildar ett samverkande system eftersom putsskiktet, genom vidhäftning över hela ytan, förbindes med skivorna. Skivorna är med hjälp av fasadplugg infästa i befintlig vägg. Fasadpluggarna är försedda med brickor,  $\emptyset$  80, så att skivorna hålles i

läge mot befintlig vägg. För att motverka lokal påverkan på putsskiktet täckes brickorna med nylonplattor 100 x 100 mm<sup>2</sup>.

Systemet medger endast begränsade rörelser hos putsskiktet. Detta innebär att dragspänningar kan uppstå i putsskiktet. Putsen har emellertid relativt hög draghållfasthet genom att den är armerad med alkaliresistent glasfiber. I förening med lämpligt avstånd mellan dilatationsfogar motverkar detta sprickrisker.

Cellplasten är brännbar. Aktuellt objekt har 4 våningar. Systemets brandskyddsegenskaper har undersökts genom brandprovning.

Befintlig puts behöver inte huggas ner även om det förekommer sprickor och bom. Skivorna fästes i befintlig vägg med skruv och fasadplugg, som skall ta upp egentygnd och vindlast.

I systemet ingår tätning av oundvikliga spalter mellan skivor och befintlig vägg, för att motverka den försämring av värmeisoleringen, som annars kunde bli följden. Som tätning användes fogs-kum. Även skivskarvarna tätas med fogs-kum.

I experimentobjektet är isolertjockleken 70 mm. Skivskarvarna tätas med fogs-kum.

Infästningarna, tre per m<sup>2</sup>, medför ett extra värme-flöde som kan uppskattas påverka k-värdet med några procent.

#### Material

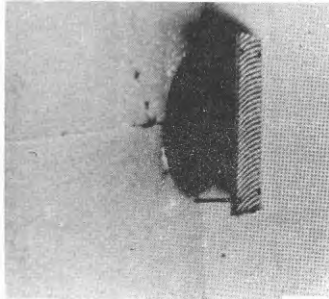
Värmeisoleringen utgöres av polystyrencellplast Ulvex F20. Värmeledningsförmågan är enligt VIM-kontroll 0.035 W/m<sup>0</sup>C. Som fogtätning användes fogs-kum Isocell. Numera används Roofmate SL som värmeisolering.

Bruket är ett glasfiberarmerat cementbruk. Glasfiberarmeringen är alkaliresistent, Cemfil, med fiberlängd 12 mm. Bruket har beteckningen Fibrocem Blockmix.

Som infästning användes Fischer fasadplugg S 10H 160R med varmförzinkad bricka Ø 80. Tre styck per m<sup>2</sup>. Numera används Essve Isofästprogram.

### Produktionsmetod

- o Montering av cellplastskivor med fasadplugg
- o Putsen påföres för hand eller sprutas. Skikt tjocklek minimum 6 mm.
- o Ytputs i önskad kulör och struktur.

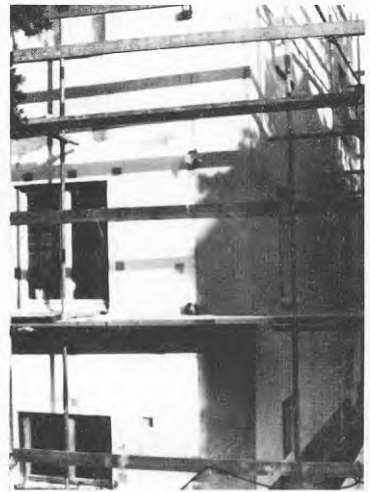


### Varmotex

figur ovan: Detalj av bult, bricka och nylonplatta.

figur till höger:

Cellplastisoleringen monterad.



### 2.282 Redovisning

Redovisningen till BFR för Varmotex består till stor del av rapporter över utförda provningar och mätningar. Här ges en sammanfattning av redovisat material.

### Byggerfarenheter

Bruttofasadarea är ungefär  $670 \text{ m}^2$ . Fönsterarea m m uppskattas till  $120 \text{ m}^2$ . Isolerad area blir då cirka  $550 \text{ m}^2$ .

Erforderlig arbetsmängd för isolering, montering av sockellist, fönsterfall, putsarbeten och avfärgning blev 562 timmar. Det motsvara  $562/550 = 1.02$  tim per  $\text{m}^2$  isolerad area.

Total materialkostnad för isolering och färdig puts blev  $58126/550 =$

106 kr per m<sup>2</sup> isolerad area, (1978 års priser).

Till vad som angivits ovan tillkommer

- o byggnadsställning
- o plåtarbeten
- o arbetsledning m m

Arbetsutförandet gick utan komplikationer. En eller ett par veckor efter putsning började sprickor att uppträda på fasaderna med undantag för norrfasaden.

Spänningar, rörelser, sprickrisker

Den kraftiga sprickbildning som uppkom på försöksobjektet har initierat vissa undersökningar och analyser för att komma till rätta med sprickproblemet. På uppdrag av Skandinaviska Byggprodukter AB utförde Statens provningsanstalt rörelsemätningar på putskakan 14 till 23 mars 1979.

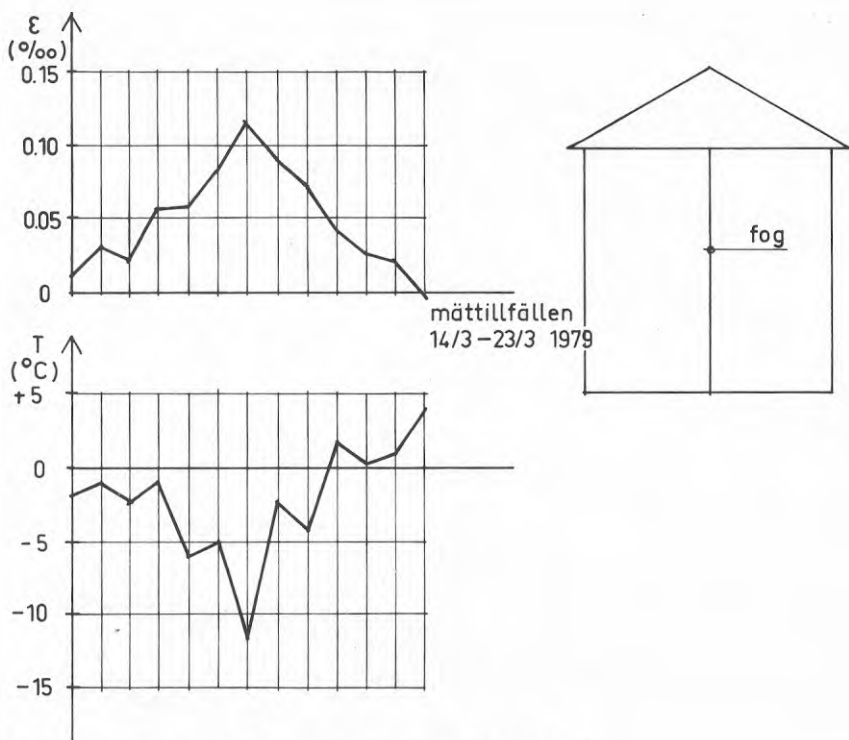
Med utgångspunkt från provningsrapporten har här några mätresultat studerats.

På en norrgavel finns en rörelsefog. Gaveln har en total bredd på cirka 10.5 m. Detta putsfält har alltså genom rörelsefogen halverats. Norrfasaden var vid rörelsemätningen sprickfri. En intressant fråga är om en Varmotexputs-kaka rör sig ungefär som kan förväntas med hänsyn till temperaturutvidgningskoefficienten.

Ur mätresultaten kan den totala rörelsen över fogen erhållas. Denna rörelse dividerad med hela bredden 10.5 m ger den relativa förskjutningen  $\epsilon$ . FIG 2.9 visar  $\epsilon$  och samhörande temperatur vid de olika mät-tillfällena. Det framgår till exempel att ett temperaturfall på cirka 10°C ger en ändring av  $\epsilon$  med 0.105 ‰. Detta motsvarar

$$\alpha = \frac{0.105 \cdot 10^{-3}}{10} = 10.5 \cdot 10^{-6} \quad (1/^\circ\text{C})$$

Ett värde på  $\alpha = 12 \cdot 10^{-6}$  är ungefär vad man kan förvänta om putskakan kan förskjutas vid temperaturändringar utan större grad av fasthållning. Trots den relativa eftergivligheten har dock här skadliga drag-spänningar kunnat uppstå.



Figur 2.9 Samband mellan temperatur och rörelse.

Då Varmotexputs-kakan förskjuts i förhållande till befintlig vägg uppstår dragspänningar i puts-kakan på grund av relativt stor böjstyvhet i bultarna. Dessutom förekommer viss friktion mellan cellplastskivor och befintlig vägg. Dessa frågor behandlas närmare i KAP 3.

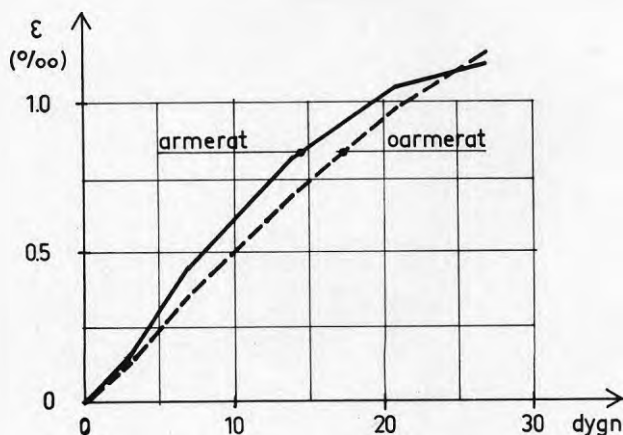
Den slutsats man kan dra av försöksprojektet med Varmotex är bland annat att säkerheten mot sprickbildning varit alltför låg. Sprickbildning kan förhindras om puts-kakans förmåga att ta upp dragspänningar förbättras. I den vidare utvecklingen av metoden har puts-receptet förbättrats för att därigenom få en bättre utnyttjning av glasfibrerna. Till detta kommer att glasfiberarmeringen kompletteras med ett svetsat armeringsnät. Det framgår att de vidtagna åtgärderna varit tillräckliga för att förhindra sprickbildning på senare utförda arbeten med Varmotex.

Cement- och betonginstitutet har utfört en undersökning med avseende på krympning i det bruk som används i Varmotex. Bruket, Block-mix, är

ett glasfiberarmerat cementbruk.

Fri och förhindrad krympning har undersökts. Den fria krympningen har studerats på prismor 40x40x160 mm. Den förhindrade krympningen har studerats enligt en metod utvecklad av Malmberg, Skarendahl. Metoden innebär att bruket gjuts kring stålringar tillräckligt kraftiga för att förhindra krympning.

FIG 2.10 visar fri krympning som funktion av antalet uttorkningsdygn. Kurvorna visar ingen större skillnad mellan krympningen om bruket innehåller glasfiberarmering eller ej.



Figur 2.10 Fri krympning som funktion av antalet uttorkningsdygn.

I intervallet 3-27 dygn förvarades prismorna i 50% relativ fuktighet och temperatur 20°C.

Försöken med förhindrad krympning är intressanta ur den synpunkten att de kan ge en uppfattning om armeringens förmåga att förhindra synliga sprickor.

Efter 27 dygn observerades inga sprickor i putsen då den hade glasfiberarmering. Oarmerade prover sprack på ett tidigt stadium och sprickvidden ökade ungefär i proportion till den fria krympningen.

Då cellplast anbringas mellan stålringens yttre periferi och oarmerad

puts förblir putsen osprucken. Det måste tolkas som att oarmerad puts har tillräcklig draghållfasthet för att krympningen skall kunna tas upp som kompression i cellplasten. Då den ringformade putskakan krymper minskar radien och isoleringen komprimeras i motsvarande grad.

Brandprovning och vissa laboratorieundersökningar avseende fuktegenskaper har också utförts av Statens provningsanstalt.

#### Energibesparing - ekonomi

Enligt uppgifter lämnade av fastighetsägaren har energiförbrukningen minskat med 20% från 29 kWh per graddygn till 23.2 kWh per graddygn. Det innebär att energibesparingen blivit 5.8 kWh per graddygn eller  $240 \text{ W/}^{\circ}\text{C}$ . Utslaget på  $660 \text{ m}^2$  isolerad area blir det ungefär  $0.4 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Befintlig vägg utgörs här av lättbetong som kan antas ha ett  $k_{\text{före}} \approx 0.7 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Då är det rimligt att förvänta sig en förbättring  $\Delta k \approx 0.4 \text{ W/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C}$  vilket stämmer bra med registrerad energibesparing. Det har uppgivits från hyresgäster i huset att boendemiljön förbättrats tack vare varmare ytterväggar.



### 3 SPÄNNINGAR OCH RÖRELSER

#### 3.1 Allmänt

Problemet spänningar och rörelser är av central betydelse när det gäller puts på tilläggsisolering. Därför ges här en relativt utförlig beskrivning av hur en putsbaka på kramlor + mineralull eller annat eftergivligt material fungerar ur statisk synpunkt.

Generellt kan sägas att man tidigare inom putstekniken inte i någon större omfattning haft anledning att studera putskonstruktioner som ett statistiskt dimensioneringsproblem.

För de metoder som ingått i projektet har ett av huvudproblemen varit att dimensionera det bärande systemet (kramlorna) så att den bärande funktionen uppfylls. Det har samtidigt gällt att inte få så stor fasthållning att skadliga sprickor uppstår.

Genom projektet har erfarenheter kommit fram som nu ger ett bättre underlag för dimensionering och fortsatt utveckling av systemen.

#### 3.2 Puts på fast underlag

Traditionellt har underlaget för puts varit olika former av murverk. Det har inneburit att putsen direkt samverkat med underlaget genom vidhäftning. Till skillnad från puts på tilläggsisolering kan denna traditionella puts betecknas som puts på fast underlag. Det som är karaktäristiskt för sådan är att en krympning,  $\epsilon_0$ , ger upphov till en spänning

$$\sigma = \epsilon_0 \cdot E \quad (3.1)$$

Man kan räkna med att puts har relativt låg draghållfasthet. Redan små värden på  $\epsilon_0$  ger  $\sigma$  som överskrider dragbrottgränsen för vanlig puts. Det skulle innebära att man normalt får dragsprickor i vanlig puts på murverk. Eftersom förutsättningar finns för att de skall bli fina och därmed både osynliga och oskadliga uppstår normalt inga problem. Det kan tilläggas att den enkla formeln ovan inte tar hänsyn till plastiska deformationer, krympning och relaxation. I verkligheten blir därför spänningarna mindre än vad formeln ger vid handen.

### 3.3 Puts på eftergivligt underlag

Puts på tilläggsisolering innebär att putskakan kan röra sig relativt fritt i förhållande till den fasta (befintliga) väggen.

En putsbaka som är helt fri från underlaget kan krympa och utsättas för temperaturrörelser utan att det uppstår några spänningar. Det förutsätter naturligtvis att exempelvis temperaturändringar på en gång påverkar hela putskakan. Ojämn uppvärmning som då en del av fasaden är solbelyst och en del är i skugga ger spänningar även om putskakan är helt frikopplad från underlaget.

För puts på eftergivligt underlag är det viktigt att putskakan verkligen blir i tillräcklig grad frikopplad från den fasta väggen. Oavsiktlig fasthållning i exempelvis några fönstersmygar kan ge upphov till dragspänningar med åtföljande sprickor. När det blir sprickor ligger det närmast till hands att de blir få och därmed vida. Redan en måttlig krympning på  $\epsilon = 0.25$  ‰ motsvarar en förskjutning som på 8 m blir 2.0 mm. Om denna förskjutning tas upp genom att en spricka bildas, får den bredden 2.0 mm vilket knappast kan accepteras.

Här redovisas i det följande beräkningar med avseende på spänningar och rörelser.

Beräkningar måste alltid baseras på mer eller mindre förenklade modeller. Svårigheten ligger då i att välja en modell som inkluderar för konstruktionen avgörande faktorer. När beräkningarna sedan skall utföras måste materialdata finnas till hands. Här liksom i många fall annars måste man konstatera att det saknas säkra värden på viktiga materialparametrar. Detta innebär att beräkningar i första hand måste ses som ett sätt att beskriva konstruktionernas verkningssätt i stora drag.

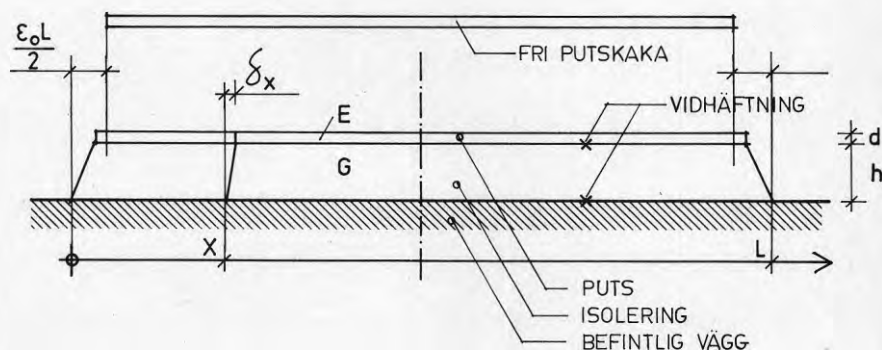
### 3.4 Beräkningsmetoder

Två olika beräkningsmetoder visas här, metod a) och b).

#### 3.4.1 Putskaka utan kramlor (vidhäftning) metod a

I Elmarsson & Nevander (1978) visas en beräkning som baseras på följande förutsättningar:

- o putsskiktet samverkar genom vidhäftning med isolerskiktet
- o isolerskiktet antas orörligt förbundet med den fasta befintliga väggen
- o isoleringen antas homogen med skjuvmodulen  $G$
- o normalspänningarna i isoleringen försummas
- o puts-kakan är elastisk med E-modul  $E$
- o puts-kakan har fria kanter
- o egentyngd försummas.



Figur 3.1 Samverkan puts-kaka - isolering - befintlig vägg.

Om puts-kakan är fri blir det inga spänningar i den och rörelsen utbildas helt till  $\epsilon_0$ . Beroende på styvheten ( $G$ ) i underlaget blir dock rörelsen mer eller mindre förhindrad. Detta ger i sin tur spänningar i puts-kakan.

Som beteckningar införs:

$\epsilon_0$	krympning (förkortning med (+)-tecken)	
$E$	putsens E-modul	Pa
$\sigma_E$	spänning i putsen då underlaget är helt fast ( $G \rightarrow \infty$ )	Pa

Det är i första hand spänningsfördelningen som är intressant.

$$\frac{\sigma_x}{\sigma_E} = 1 - \cosh\left(\frac{x}{L}\sqrt{K_0}\right) + \tanh\left(\frac{\sqrt{K_0}}{2}\right) \cdot \sinh\left(\frac{x}{L}\sqrt{K_0}\right) \quad (3.2)$$

$$\frac{\tau_x}{\sigma_E} = d \cdot \frac{\sqrt{K_0}}{L} \left( \tanh\left(\frac{x}{L}\sqrt{K_0}\right) \cdot \cosh\left(\frac{x}{L}\sqrt{K_0}\right) - \sinh\left(\frac{\sqrt{K_0}}{2}\right) \right) \quad (3.3)$$

$$\delta_x = \frac{h}{G} \cdot \tau_x \quad (3.4)$$

$$\sigma_E = \epsilon_0 E \quad (3.5)$$

$$K_0 = \frac{GL^2}{Ehd} \quad (3.6)$$

Genom att sätta  $x=1/2$  erhålls  $\sigma_x = \sigma^{\max}$

$$\frac{\sigma^{\max}}{\sigma_E} = 1 - 1/\cosh\left(\frac{\sqrt{K_0}}{2}\right) \quad (3.7)$$

Serietutvecklingen av  $\cosh(\ )$  ger ett enklare uttryck som gäller för  $K_0 \lesssim 5$

$$\frac{\sigma^{\max}}{\sigma_E} = \frac{K_0}{K_0 + 8} \quad (3.8)$$

Om det är styvhet i kramlorna som ger  $G$  gäller sambandet

$$G = h \cdot \frac{k}{b \cdot c} \quad \text{och}$$

$$K_0 = \frac{k(L + C)^2}{Ebdc} \quad (3.9)$$

$k$  = styvhetskoefficient för kramla (N/m), se avsnitt 3.42.

## Exempel 3.1

Ett system typ ISPO-metoden har ungefär följande data:

isolering  $G \approx 2 \text{ MPa}$

puts  $E \approx 200 \text{ MPa}$

skiktthjockleken  $d = 0.006$  och  $h = 0.10$

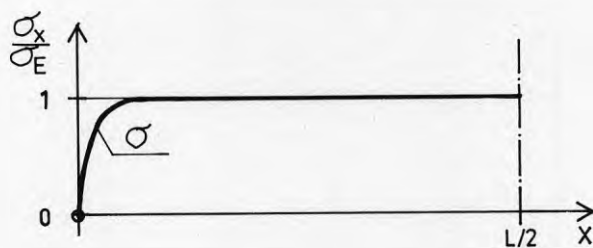
putsfältets längd  $L = 15 \text{ m}$

krympning  $\epsilon_0$

Beräkning:

$$K_0 = \frac{GL^2}{Edh} = \frac{2 \cdot 15^2}{200 \cdot 0.006 \cdot 0.10} = 3750$$

Spänningen beräknas som funktion av avstånd ( $x$ ) från kant.



Figur 3.2 Spänningsfördelning från fri kant till mittlinje, puts på fast underlag.

Beräkningen visar att spänningen byggs upp till nästan fullt värde endast några dm från kanten. Man kan säga att talet  $K_0$  (dimensionslös) är ett mått på graden av fasthållning. I exemplet ovan motsvarar funktionen närmast principen puts på fast underlag.

## Exempel 3.2

De formler som angetts ovan kan tillämpas även om putsen bäres av kramlor. En förutsättning är då att styvheten i kramlorna uttrycks som en ekvivalen skjuvmodul.

För en kramlemetod som tm-metoden kan  $G_{\text{ekv}}$  uppskattas till ungefär  $G \approx 0.01 \text{ MPa}$ .

Putsen antas ha  $E = 4000 \text{ MPa}$  och  $d = 0.02 \text{ m}$ ,  $L = 15 \text{ m}$ ,  $\epsilon_0 = 0.001$  och  $h = 0.10 \text{ m}$ .

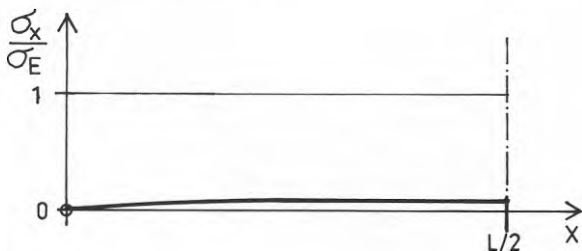
Beräkning:

$$K_0 = \frac{0.01 \cdot 15^2}{4000 \cdot 0.02 \cdot 0.1} = 0.28$$

$$\frac{\sigma^{\text{max}}}{\sigma_E} = \frac{K_0}{K_0 + 8} = \frac{0.28}{0.28 + 8} = 0.034$$

$$\text{eller } \sigma^{\text{max}} = 0.001 \cdot 4000 \cdot 0.034 = 0.135 \text{ MPa}$$

vilket kan anses betryggande lågt med hänsyn till sprickrisk om puts-kakan har lämplig armering.



Figur 3.3 Spänningsfördelning från fri kant till mittlinje, puts på eftergivligt underlag.

### Grafisk redovisning

Lösningen till EKV (3.7) redovisas i FIG 3.4 i diagramform. Det är en kurvskara där varje kurva ger spänningens tillväxt från fri kant  $x = 0$  till  $x = L/2$  vid symmetripunkten. För värden på  $K_0$  som är mindre än ca 0.2 blir spänningen liten även mitt i putsfältet. Då  $K_0$  är av storleksordning  $10^3$  byggs spänningen upp till maxvärde redan några dm från kanten.

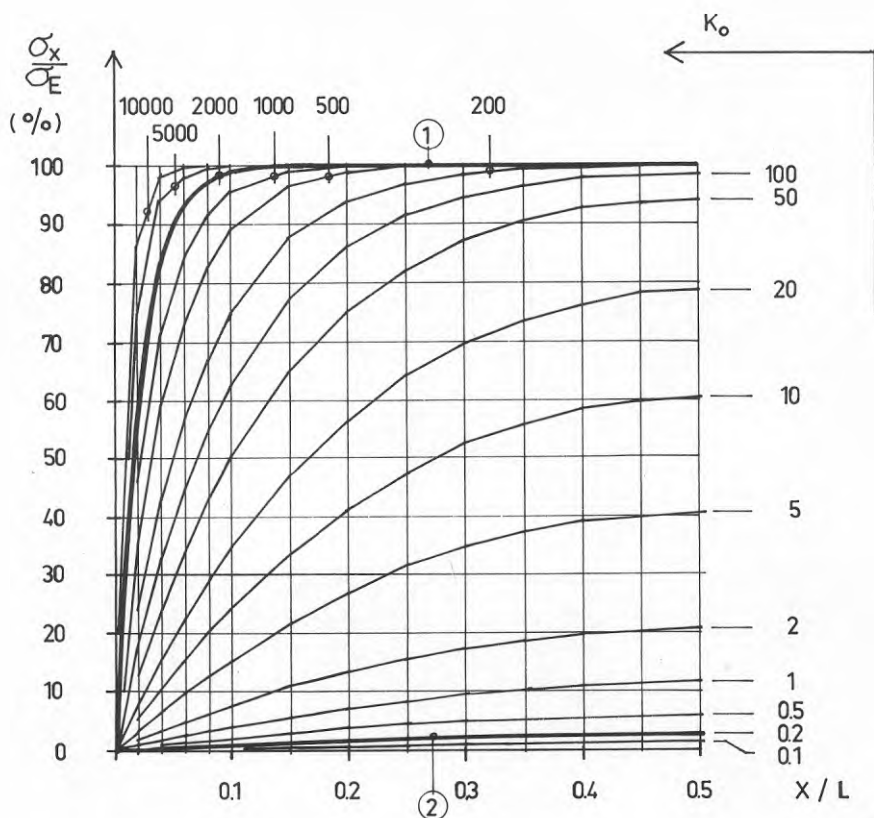
Ett lågt värde på  $K_0$  karakteriserar puts på eftergivligt underlag och ett stort värde puts på fast underlag.

Som ungefärliga värden kan följande anges:

$K_0 \approx 2 \cdot 10^3 \Rightarrow$  puts på fast underlag

$K_0 \approx 2 \cdot 10^{-1} \Rightarrow$  puts på eftergivligt underlag

Det finns skäl att undvika att konstruera system som utpräglat kommer någonstans emellan fast och eftergivligt underlag.



$$K_o = \frac{GL^2}{Edh} = \frac{k(L+c)^2}{Ebcd}$$

Figur 3.4 Samband mellan fasthållning ( $K_o$ ) och spänning i putskakan enligt EKV (3.7). Kurva ① motsvarar ungefär ISPO och ② kramlemetoderna AJ, Serporock och tm.

### 3.42 Putskaka på kramlör, metod b

Metoder med kramlor som bärande element (kramlemetoder) har relativt tjocka och tunga putskakor. Egentyngden blir då tillsammans med krympningen avgörande vid dimensionering av kramlorna.

En putskaka, buren av  $N$  stycken kramlor, är ett ur statisk synpunkt  $N$ -falt statiskt obestämt problem. Om ett putsfält med till exempel 20 kramlor i rad skall beräknas blir problemet att lösa ett ekvations-



system med 20 obekanta.

Beräkningen baseras på följande förutsättningar:

- o En vertikal remsa av en putsad fasad betraktas.
- o Remsan bäres av kramlor,  $N$  st, en i underkant och en i överkant. Där-  
emellan är kramlorna fördelade med konstant  $c$ -avstånd. Putsremsan  
har bredden  $b$  vilket innebär att kramlorna förutsätts anordnade i ett  
ruttmönster  $b \times c$ .
- o Egentyngden antas koncentrerad till kramlornas infästningspunkter i  
putskakan.
- o Inverkan av egentyngd,  $q_0$ , och krympning,  $\epsilon_0$ , kombineras till last-  
fall.

När egentyngden skall tas upp och då krymprörelser inträffar uppstår  
förskjutningar och krafter i kramlorna och som en följd därav spänning-  
ar och elastiska deformationer i putskakan.

I verkligheten överförs krafter från putskakan till både isolering och  
kramlor. Det förutsätts dock att kraftöverföring sker i kramlornas in-  
fästningspunkter.

Normalt kan man anse att Hookes lag gäller för kramlorna

$$f = k \cdot \delta \quad (3.10)$$

$f$  kraft i kramlan i putskakans plan (N)

$\delta$  förskjutning i kramlan i putskakans plan (m)

$k$  proportionalitetskoefficient (N/m)

Det kan tilläggas att den viktigaste avvikelser från Hookes lag torde  
vara då kramlan utsätts för så stora deformationer att deformations-  
tillståndet blir plastiskt. Detta måste givetvis beaktas vid dimen-  
sioneringen av kramlorna speciellt med avseende på utmattningsrisken.

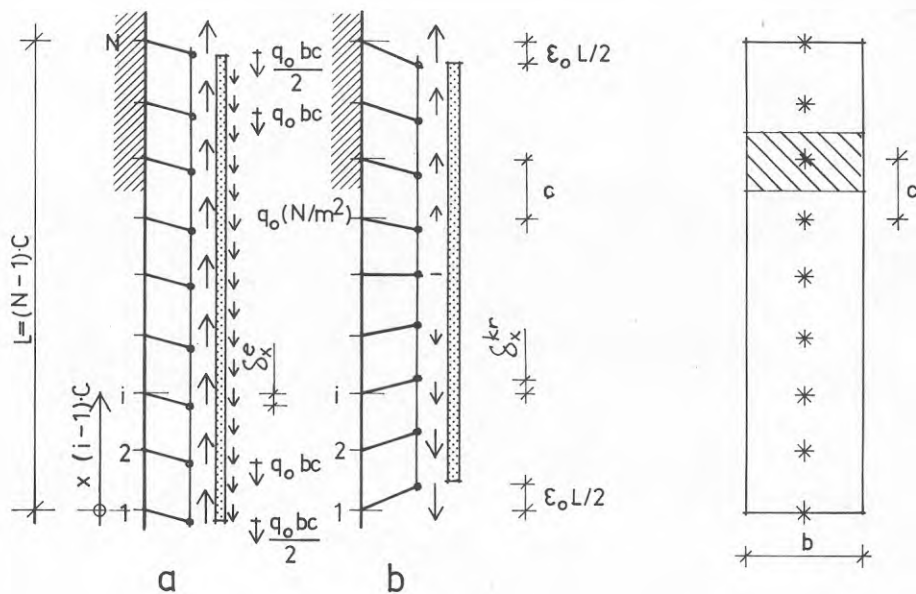
Om kramlorna har relativt liten styvhet blir spänningarna i putskakan  
små. Det innebär att man bör kunna försumma inverkan av att det blir  
elastiska deformationer i putskakan (stel putskaka). Med andra ord:  
det kan förutsättas att putskakan krymper på samma sätt som vid fri  
krympning. Denna förutsättning leder till att det bärande systemet  
blir statiskt bestämt. Förskjutningar, krafter i kramlor och spän-

ningar i puts-kakan kan då bestämmas med hjälp av enkla jämviktsekvationer.

Först visas här en beräkning baserad på ovan angivna förutsättningar och stel putskaka, P O Nylund (1977).

### 3.421 Stel putskaka på kramlor

Beräkningen baseras på FIG 3.5.



Figur 3.5 a,b Inverkan av egentyngd a) och krympning b) vid system med kramlor och stel putskaka.

Följande beteckningar införs:

L	putsfältets höjd (längd)	(m)
c	avstånd mellan kramlor i en rad	(m)
b	avstånd mellan kramlerader	(m)
$\delta$	förskjutning i kramla	(m)
h	isoleringens tjocklek	(m)
d	puts-kakans tjocklek	(m)
$\phi$	diameter för kramla	(m)

x	koordinat	(m)
$\epsilon_0$	fri krympning (förkortning har (+)-tecken)	(1)
$q_0$	egentyngd	(N/m <sup>2</sup> )
E	elasticitetsmodul för puts	Pa MPa
$E_{is}$	elasticitetsmodul för isolering	Pa MPa
f	förskjutningskraft i kramla	(N)
k	proportionalitetskoefficient $f = k \cdot \delta$	(N/m)
i	kramla 1,2,3,.....N	
N	antal kramlor $L = (N-1) \cdot C$	

Det framgår av FIG 3.5 a,b att inverkan av egentyngd och krympning först beaktas var för sig. Därefter kan inverkningarna adderas.

Förskjutningen i kramla (i) pga egentyngd blir

$$\delta_i^e = - \frac{q_0 bc}{k} \left(1 - \frac{1}{N}\right) \quad (3.11)$$

Alla kramlorna får således lika stor förskjutning eftersom det förutsätts att putskakan är stel.

Krympningen  $\epsilon_0$  ger förskjutningar som är symmetriska kring en axel  $x = L/2$ .

$$\delta_i^{kr} = \left(\frac{N+1}{2} - i\right)c \cdot \epsilon_0 \quad (3.12)$$

Resultterande förskjutning blir

$$\delta_i = \delta_i^e + \delta_i^{kr} \quad \text{eller} \quad (3.13)$$

$$\delta_i = - \frac{q_0 bc}{k} \left(1 - \frac{1}{N}\right) + \left(\frac{N+1}{2} - i\right)c \cdot \epsilon_0 \quad (3.14)$$

Kraften f i kramla i blir enligt EKV (3.10)

$$f_i = k \cdot \delta_i \quad \text{eller} \quad (3.15)$$

$$f_i = - q_0 bc \left(1 - \frac{1}{N}\right) + kc \epsilon_0 \left(\frac{N+1}{2} - i\right)$$

Dragspänningen i putsen mellan kramla (i) och (i + 1) kan tecknas

$$\sigma_i = (kc \epsilon_0 (N - i) \frac{i}{2} + q_0 bc (\frac{i}{N} - \frac{1}{2})) / bd \quad (3.16)$$

## Exempel 3.3

Beräkna förskjutningar i kramlor och spänningar i putskakan under följande förutsättningar:

$$c = 0.60 \quad b = 0.6 \quad d = 0.02 \quad \epsilon_0 = 0.0065$$

$$k = 35000 \text{ (N/m)} \quad q_0 = 400 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

L = 9 m med N = 16 kramlor i vertikala rader.

Beräkningar:

Förskjutningar beräknas i kramlorna

$$i = 1, 8, 9, 16$$

$$\delta_1 = - \frac{400 \cdot 0.6^2}{35000} \left(1 - \frac{1}{16}\right) + \left(\frac{17}{2} - 1\right) \cdot 0.6 \cdot 0.0065 = - 0.93 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_8 = - 3.7 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_9 = - 4.1 \cdot 10^{-3}$$

$$\delta_{16} = - 6.8 \cdot 10^{-3}$$

Spänningarna blir för i = 1, 8, 9, 10, 15

$$\sigma_1 = (35 \cdot 10^3 \cdot 0.6 \cdot 0.0065 (16 - 1)^{\frac{1}{2}} + 400 \cdot 0.6^2 (\frac{1}{16} - \frac{1}{2})) / (0.6 \cdot 0.02) = 3.3 \text{ kPa}$$

$$\sigma_8 = 36.4 \text{ kPa}$$

$$\sigma_9 = 36.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{10} = 35.6 \text{ kPa}$$

$$\sigma_{15} = 13.8 \text{ kPa}$$

Maximal förskjutning uppstår i den översta kramlan. Den förskjuts med 6.8 mm nedåt. Detta är en relativt stor förskjutning som bör föranleda kontroll i vad mån kramlan plasticeras.

Maximal spänning i putsen uppstår mellan kramla 9 och 10, dvs ett stycke ovanför halva höjden. Om N är ett jämnt tal och om  $i = N/2$  erhålls ur EKV (3.16)

$$\sigma_{N/2} = \frac{k \epsilon_0 N^2 c}{8 b d}$$

Denna ekvation ger approximativt  $\sigma^{\max}$ .

## 3.422 Elastisk puts-kaka på kramlor

I beräkningar enligt avsnitt 3.421 ovan kommer både förskjutningar och spänningar att överskattas. Det beror på att puts-kakans krympning,  $\epsilon_0$ , inte kan bli fullt utbildad på grund av mothåll i underlaget.

Om man bortser från egentyngden kan beräkningen utföras enligt avsnitt 3.41. Parametern  $K_0$  måste dock beräknas enligt EKV (3.9).

Både egentyngd och krympning kan beaktas om det bärande systemet kramlor + puts-kaka betraktas som ett statistiskt obestämt system. I bilaga B3 visas hur beräkningen då kan genomföras.

## Exempel 3.4

Beräkningen i exempel 3.3 förutsatte stel puts-kaka, dvs  $E \rightarrow \infty$ . Förutsättningar från exempel 3.3 behålls, utom med avseende på putsens E-modul som här sättes till ett lågt värde  $E = 1000 \text{ MPa}$ .

En beräkning ger då förskjutning i den översta kramlan

$$\delta_{16} = -6.7 \text{ mm} \quad (-6.8)$$

Maximal spänning i puts-kakan blir

$$\sigma_9 = 35.0 \text{ kPa} \quad (36.4)$$

Det kan konstateras att dessa värden endast obetydligt avviker från resultatet i föregående exempel, (värden inom parentes).

## Exempel 3.5

I exemplet ovan blir maximal förskjutning i kramlorna 6.7 mm. Som exempel: antag nu att Hookes lag endast gäller då förskjutningen  $\delta$  är mindre än  $\delta_{gr} = 5 \text{ mm}$  som anger gränsen då plasticering inträffar i kramlorna. Om plasticeringen beaktas i beräkningen kommer förskjutningarna att bli större och spänningen i puts-kakan mindre. Dvs att beräkningen i exemplet ovan inte gäller. Beräkningen bör istället utföras med beaktande av att några kramlor blir plasticerade.

Lösningen erhålls då på iterativ väg. Maximal förskjutning i den översta kramlan blir

$$\delta_{16} = - 7.14$$

Maximal spänning i putskakan blir

$$\sigma_8^{\max} = 25.4 \text{ kPa}$$

Med förutsättningar enligt exemplet blir det en viss ökning av förskjutningen i de översta kramlorna. Det betyder att beräkningar enbart baserade på Hookes lag kan ge en oriktig uppfattning om förskjutningarnas storlek.

I exempel 3.5 har förutsättningen varit att putskakan krymt  $0.65 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$  i vertikalled. Vid en fortsatt analys bör man studera vad som händer då putskakan omväxlande krymper och sväller. Krympningen i exempel 3.5 leder till att de översta kramlorna får plastiska deformationer. Det betyder att dessa kramlor får en ny nollpunkt. Följden av detta blir att kraften i sådana kramlor bör tecknas med hjälp av en modifierad EKV (3.10)

$$f = k(\delta - \delta_{p1}) \quad (3.17)$$

där  $\delta_{p1}$  är storleken på den kvarstående förskjutningen i respektive kramla på grund av plastiska deformationer. Den första plasticeringen av vissa kramlor, som inträffat enligt exempel 3.5, beror på inverkan av både den första icke periodiska krympningen och periodiska temperatur- och fuktrörelser.

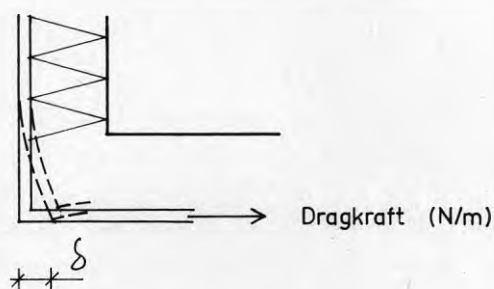
Det kan därför mycket väl inträffa att vissa kramlor blir plasticerade endast en gång och att de klarar efterföljande periodiska förskjutningar, som då håller sig inom det elastiska området.

### 3.5 Fasthållning och sprickrisker

Metoder som är baserade på att puts-kakan ska kunna röra sig utan att större spänningar uppstår måste ha kramlor med liten böjstyvhet. Dessutom måste tilläggsisoleringsarbetet utföras så att puts-kakan inte får oavsiktlig fasthållning vid fönstersmygar, balkonger m m .

#### 3.51 Fasthållning vid hörn

Rörelsemätningar på fasader och teoretiska beräkningar tyder på att hörn inte behöver innebära en oacceptabel fasthållning. Det finns dock anledning att närmare diskutera i vilken grad fasthållning i hörn ger bidrag till dragspänningar i puts-kakan, eller om hörnet möjligen kan fungera som en rörelsefog.



Figur 3.6 Förskjutning vid hörn då puts-kakan krymper.

Kramlors styvhet kan uttryckas genom koefficienten  $k$  i EKV (3.10). I bilaga B3 visas hur styvheten i ett hörn kan uttryckas på liknande sätt.

EKV (B3.19) i bilaga B3 ger en möjlighet att uppskatta styvheten  $k_h$  i hörn. Det framgår att koefficienten  $k_h$  är en funktion av isoleringens bäddmodul och puts-kakans böjstyvhet.

## Exempel 3.6

Styvheten i hörnet beräknas under följande förutsättningar:

För stenull  $100 \text{ kg/m}^3$  och isolertjocklek  $h = 0.1 \text{ m}$  gäller ungefär

$$k_i = E_i/h = 10^5/0.1 = 10^6 \text{ N/m}^3.$$

Putskakans böjstyvhet uppskattas till

$$EJ \approx 1500 \text{ Nm}^2/\text{m}.$$

EKV (B3.19) ger

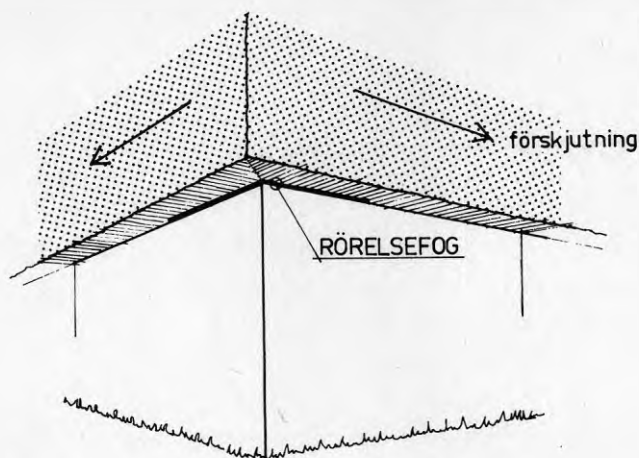
$$k_h \approx k_i^{3/4} (EJ)^{1/4} \approx 200\,000 \text{ (N/m}^2\text{)}$$

Detta resultat innebär att hörnen ger ett mothåll (per m hörn) lika med verkan av en rad fast inspända kramlor med  $\varnothing 6 \text{ mm}$  c/c  $200 \text{ mm}$ . Se även avsnitt 3.521.

Man kan säga att fasthållning i hörn inte utan vidare kan försummas vid bedömning av sprickrisker. Det är å andra sidan inte nödvändigt att alltid lägga dilatationsfogar i hörn. Inverkan av hörn kan beaktas genom att avståndet mellan dilatationsfogar minskas med förslagsvis  $1.5 - 2 \text{ m}$  per hörn. Det innebär att man bör kunna utelämna dilatationsfog på exempelvis en gavel om gavelbredden är mindre än normalt avstånd mellan dilatationsfogar minus  $3$  till  $4 \text{ m}$ . Vid bedömning av om dilatationsfogar behövs i hörn eller ej bör dock även vad som sägs i avsnitt 2.212 beaktas.

Det är givetvis viktigt att kontrollera att hörnet verkligen blir eftergivligt. Isoleringen måste vara relativt tjock. Kramlor får inte placeras för nära hörnet, se bilaga B3. En detalj som måste beaktas i samband med utförandet visas i FIG 3.7.





Figur 3.7 Rörelsefog vid sockel.

För att hörnet skall fungera som rörelsefog även nere vid sockeln måste rörelsemöjligheter finnas där putsakakan stöter mot sockeln, se figuren.

### 3.52 Fasthållning genom kramlor

Kramlor finns i flera olika varianter. För samtliga gäller att de ger ett visst motstånd mot putsakans fria rörelser. Det motståndet som en kramla ger kan primärt uttryckas genom koefficienten  $k$  i EKV (3.10).

#### 3.521 Fast inspänd konsol

Varmotex och G+R använder bultar som infästning. Bultarna kan anses fungera som konsoler inspända i befintlig vägg. Sambandet mellan kraft och förflyttning kan, för en fast inspänd bult, härledas ur uttrycket

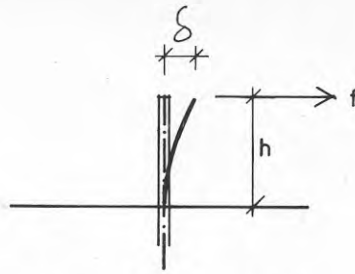
$$\delta = \frac{f \cdot h^3}{3EJ} \quad (3.18)$$

EKV (3.10) definierar styvhetsfaktorn  $k$

$$f = k \cdot \delta$$

Ur (3.18) och (3.10) erhålls

$$k = \frac{3EJ}{h^3} \quad (3.19)$$



Figur 3.8 Kramla - fast inspänd konsol.

För en cirkulär kramla (bult) med diameter  $\varnothing$  är  $J = \frac{\pi \varnothing^4}{64}$ . Varmotex använder bultar med ca  $\varnothing 7$  som infästning.

Proportionalitet mellan kraft och förskjutning råder så länge  $\delta < \delta_{gr\ddot{a}ns}$ , där  $\delta_{gr}$  uppskattas som den förskjutning då plasticering skett.

$$\sigma_s = \frac{f \cdot h}{Z} \quad (3.20)$$

$$Z \approx 1.25 \cdot \frac{2J}{\varnothing} \quad (3.21)$$

Varur erhålls

$$\delta_{gr} = \frac{2.5 \cdot \sigma_s \cdot h^2}{3E\varnothing} \quad (3.22)$$

#### Exempel 3.7

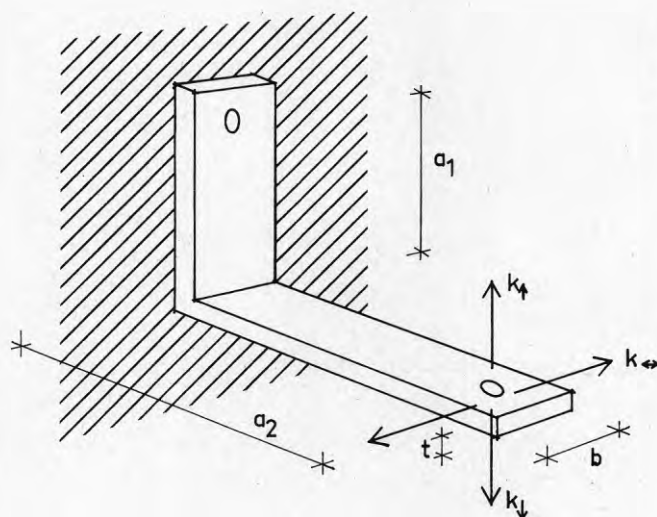
Proportionalitetskoefficienten  $k$  och  $\delta_{gr}$  ska beräknas.  $\sigma_s \approx \sigma_{0.2} \approx 400$  MPa,  $E = 210\,000$  MPa,  $h = 0.1$  m,  $\varnothing$  varieras.

Resultat:

$\varnothing$ (mm)	$k$ (kN/m)	$\delta_{gr}$ (mm)	
3	2.5	5.3	
4	7.9	4.0	
5	19.3	3.2	
6	40.0	2.6	
7	74.3	2.3	Varmotex
8	127	2.0	
9	203	1.8	
10	309	1.6	

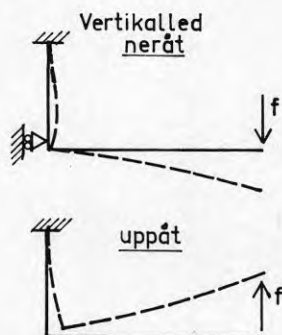
Med anknytning till diagram i FIG3.4 kan det vara av intresse att se var man hamnar med kramlor t ex  $\emptyset = 5$  mm och avstånd mellan dilatationsfogar  $L \approx 15$  m.  $E_{\text{puts}}$  antas till 4 000 MPa,  $b = c = 0.6$  m,  $d = 0.02$  m. Härur erhålls  $K_0 = 0.16$  vilket kan anses betryggande ur sprickrisksynpunkt, se avsnitt 3.41. Inspända bultar med  $\emptyset 7$  istället för  $\emptyset 5$  ökar  $K$  och därmed spänning 4 gånger. Det kan nämnas att Varmotex gått över till vekare bultar.

För en konsolkramla av typ tm-kombi gäller att styvheten blir olika beroende på vilken riktning förskjutningen har.



Figur 3.9 Konsolkramla, typ tm.

På grund av kramlans infästning och utformning blir det statiska verkningssättet i de olika riktningarna:



Figur 3.10 Konsolkramla, typ tm. Statiskt verkningssätt.

I horisontalled blir kramlan utsatt för både böj- och vriddeformationer.

Koefficienten  $k$  blir för de olika riktningarna ungefär

$$k_{\downarrow} = \frac{E \cdot bt^3}{4a_2^3 \left(1 + 0.75 \cdot \frac{a_1}{a_2}\right)} \quad (3.23)$$

$$k_{\uparrow} = \frac{3E \cdot bt^3}{4a_2^3 \left(1 + 3 \frac{a_1}{a_2}\right)} \quad (3.24)$$

$$k_{\leftrightarrow} \approx \frac{tE}{4\left(\frac{a_2}{b}\right)^3 + 2.6 \cdot \left(\frac{a_2}{t}\right)^2 \cdot \frac{a_1}{b} \cdot \frac{1}{c_1}} \quad (3.25)$$

Vid härledning av  $k_{\leftrightarrow}$  har följande samband använts:

$$G = E/2.6 \quad \text{och} \quad K_V = c_1 \cdot bt^3 \quad c_1 = 0.3$$

$a_2$  bestäms av isolertjockleken. De övriga dimensionerna väljs så att kramlan får tillräcklig styvhet för att kunna bära egentyngden. Dessutom måste det beaktas att kramlans styvhet inte blir så stor att det uppstår sprickrisker på grund av fasthållning.

Det framgår direkt av kramlans geometri att  $k_{\uparrow}$  blir betydligt mindre än  $k_{\downarrow}$ .

### Exempel 3.8

Koefficienten  $k_{\downarrow}$  blir för  $a_2 = 0.085 \text{ m}$      $a_1/a_2 \approx 0.5$      $E = 210 \cdot 10^9 \text{ Pa}$ .

$$k_{\downarrow} = 62 \cdot 10^{12} bt^3$$

Med  $b = 0.016 \text{ m}$  och  $t = 0.003 \text{ m}$  erhålls  $k_{\downarrow} \approx 28 \text{ 000 N/m}$ .

### 3.522 Ledade kramlor och trådar

AJ-metoden och Serporockmetoden kan anses representera denna grupp.

AJ-metodens infästning utgörs av en ögla i rostfritt stål  $\emptyset$  2. Böjstyvheten i denna är försumbar. Den dubbla tråden  $\emptyset$  2 ger endast  $k = 1$  kN/m.

Serporockmetoden har en kramla som är ledad infäst i befintlig vägg. Kramlans infästning i putskakan är primärt ledad. Här uppkommer dock en viss inspänning då infästningspunkten blir omsluten av puts. Även om viss inspänning förekommer blir böjstyvheten i kramlan liten eftersom kramlan består av en tråd med  $\emptyset$  4.

För både AJ-metoden och Serporockmetoden gäller att kramlan primärt skall ta upp krafter i kramlans riktning (axiellt).

Det kan slås fast att ledade kramlor och trådar ger mycket litet motstånd mot förskjutningar. Detta får dock inte leda till slutsatsen att putskakan blir praktiskt taget fritt rörlig i förhållande till den fasta väggen. Om man närmare studerar vad som händer då putskakan förskjuts pga krympning och/eller egentyngd framgår att friktion och skjuvdeformation (av isoleringen) måste inverka.

Detta fenomen är av särskilt intresse när det gäller Serporockmetoden eftersom man kan säga att det då är betydelsefullt även för den bärande funktionen.

I FIG 3.11 visas statistiskt verknings sätt för systemet putskaka - kramla - isolering. Putskakan intar i figuren två lägen - Läge I motsvarar systemet obelastat. Läge II motsvarar systemet i belastat tillstånd. Statistiskt verknings sätt för Serporockmetoden behandlas ingående i Elmarsson (1983).

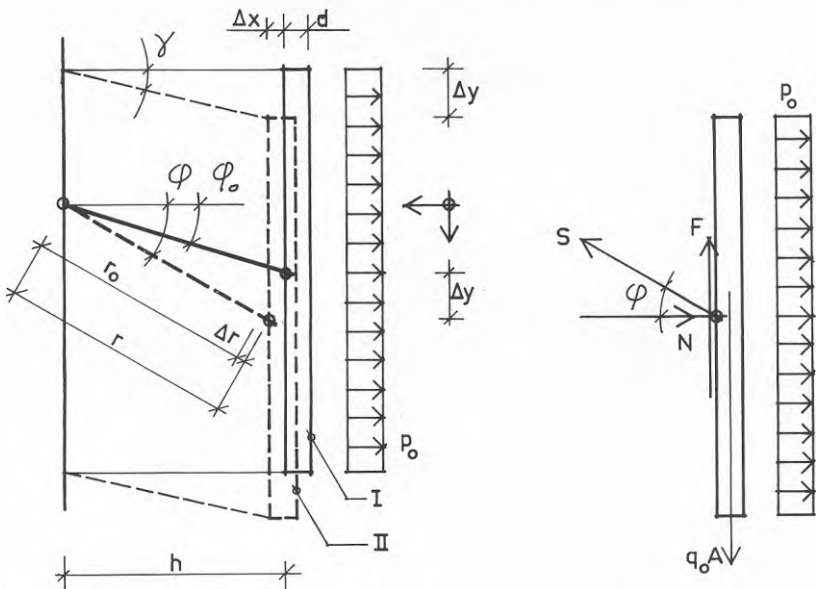


FIG 3.11 Statiskt verkningsätt för system med ledad kramla, typ Serporock.

Det framgår av figuren vilka krafter som verkar på den del av en puts-kaka som bäres av en kramla. I vertikalled är det egentyngd ( $q_0A$ ) och friktions- eller skjuvkraft  $F$ . Dessutom får här dragkraften i kramlan en vertikal komponent. I horisontalled är det vindsug  $p_0A$ , normalkraft  $N$  och horisontalkomponenten av  $S$ . Med utgångspunkt från jämviktsekvationer och deformationssamband kan exempelvis samband erhållas mellan laster och förskjutningar. Man kan också räkna på den axiella last ( $S$ ) som uppstår i kramlorna. Detta är nödvändigt då kramlor och infästningar ska dimensioneras.

En betydelsefull komponent i verkningsättet är den kompression och skjuvdeformation som värmeisoleringen utsätts för. I vertikalled bidrar detta till att ta upp egentyngd och är ur denna synpunkt positivt. I horisontalled uppstår förskjutningar pga krympning. Därvid blir verkningsättet helt analogt med det som framgår av FIG 3.11. Skillnaden är endast att den initiella vinkeln  $\phi_0$  då är noll. Det betyder att förskjutningen kan bli relativt stor innan något större motstånd mot den uppträder. Detta gäller om avståndet mellan dilatationsfogar inte är alltför stort.

För att kunna bedömma erforderligt avstånd mellan dilatationsfogar är det nödvändigt att ha något mått på vilket motstånd mot förskjutningar som kan uppträda. Detta gäller således även om kramlorna i sig själva har en mycket liten böjstyvhet.

Beräkningar, Elmarsson (1983), visar att det motstånd mot förskjutningar som uppträder i ett system av Serporocktyp kan uttryckas som en ekvivalent styvhet ( $k$ ) i kramlan. En beräkning av  $k$  för fallet  $\phi_0 = 0$  ger som resultat att det inte råder proportionalitet mellan förskjutningskraft ( $f$ ) och förskjutning ( $\delta$ ). Detta innebär en komplikation då spänningar, i putskakan vid krympning, skall beräknas, se bilaga B3.

FIG 3.12 visar ett samband mellan  $f$  och  $\delta$ . För exempelvis en fast inspänd bult,  $\emptyset$  5 mm och längden  $h = 0.1$  m gäller Hookes lag upp till gränsen för plasticering. För en Serporockkramla blir mothållet mycket litet vid små förskjutningar. Detta gäller i varje fall om den normalkraft som beror på egentyngden kan försummas. Med växande  $\delta$  ökar dock kraften förhållandevis starkt. Det förutsätts ändå att kramlan som sådan är ledad. FIG 3.12 baseras på beräkningar.

Det kan tilläggas här att även då man har en fast inspänd bult som kramla kommer isoleringen att både komprimeras och skjuvdeformeras då förskjutningarna blir stora. I sådana fall bör därför till böjstyvheten i bulten läggas det mothåll som isoleringen ger.

Den kurva som i figuren betecknas med ①+② har erhållits som summan av styvheten i en fast inspänd bult  $\emptyset$  5, 1 och det mothåll som isoleringen ger, 2.

Den analys av det statiska verknings sättet som visas ovan bör leda till slutsatsen att man inte skall räkna med en helt fri putskaka. Detta gäller även Serporockmetoden som har ledade kramlor. Graden av fasthållning blir avgörande för vilket motstånd som kan tillåtas mellan dilatationsfogar.

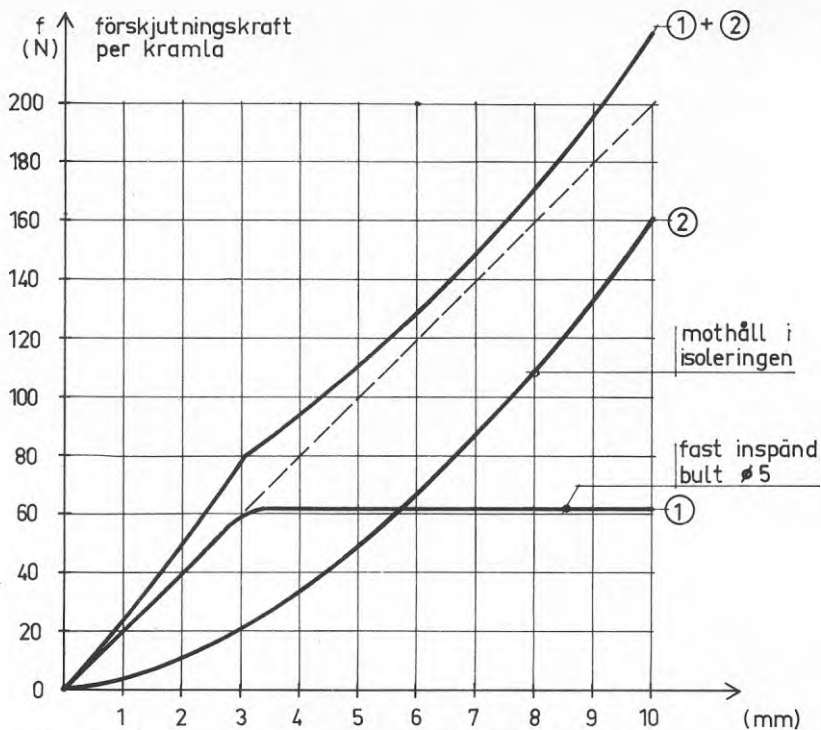


FIG 3.12 Samband mellan kraft och förskjutning. Jämförelse mellan mothåll i isoleringen räknat per kramla och inspänd bult  $\varnothing 5$ .

### 3.523 Reglar

Reglar som bärande komponent innebär en relativt kraftig fasthållning. Två varianter finns representerade i projektet. G+R-metoden har träreglar som är bultade i den befintliga väggen. SOS-metoden har sk stålstegar. Dessa består av två armeringsjärn som är förbundna med varandra genom en böjd ståltråd.

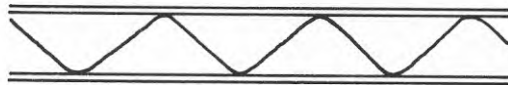


FIG 3.13 Stålregel.



Reglar har mycket stor styvhet i regelns riktning. Vinkelrätt blir styvheten liten för stålstegar. För bultade träreglar blir styvheten avsevärd även vinkelrätt mot regelns riktning. De metoder som har reglar har en detaljutformning som medger viss förskjutning mellan puts-kaka och reglar. Man kan emellertid knappast sortera in regelmetoderna i något av facken fast eller eftergivligt underlag. Mycket tyder dock på att exempelvis G+R-metoden ligger nära puts på fast underlag. Det kan här påpekas att putsningen på försöksobjektet i Södertälje klarat sig mycket bra. Det är sommaren 1982 praktiskt taget fritt från synliga sprickor.



## 4 DIMENSIONERING AV KRAMLOR OCH ARMERING

### 4.1 Inverkande faktorer

De inverkningsar som bör beaktas vid dimensionering av system för puts på utvändig tilläggsisolering är

- a) Den första icke periodiska krympningen
- b) Temperaturvariationer
- c) Fuktvariationer
- d) Egentyngd
- e) Vindsug
- f) Krypning och spänningsrelaxationer

Dessa punkter tillsammans med kunskap om konstruktionens statistiska verkningsätt och erforderliga materialparametrar kan bilda underlag för en dimensioneringsmetod.

Det måste framhållas att framställningen här delvis blir något skissartad eftersom ingående kunskap om flera väsentliga delar i dimensioneringsmetoden saknas.

#### 4.11 Krympning, icke periodisk

Den icke periodiska krympningen,  $\epsilon_{kr}$ , är direkt kopplad till härdningsprocessen.  $\epsilon_{kr}$  kan anges som fri krympning eller som olika grader av fasthållen krympning. Den fria krympningen kan vara mångfalt större än fasthållen krympning. Detta gäller speciellt bruk med hög kalkhalt.

Man bör kunna räkna med att bruket under härdningen har sådana betingelser att det närmast blir fråga om fasthållen krympning. Anledningen är att den största delen av krympningen inträffar under första dygnet. Då är bruket fortfarande tillräckligt plastiskt för att krympningen skall kunna tas upp i form av plastiska deformationer. Hög kalkhalt och liten cementhalt förlänger härdningsperioden, vilket ökar möjligheterna till plasticering. Med hänsyn till krav på beständighet måste emellertid cementhalten hållas relativt hög.

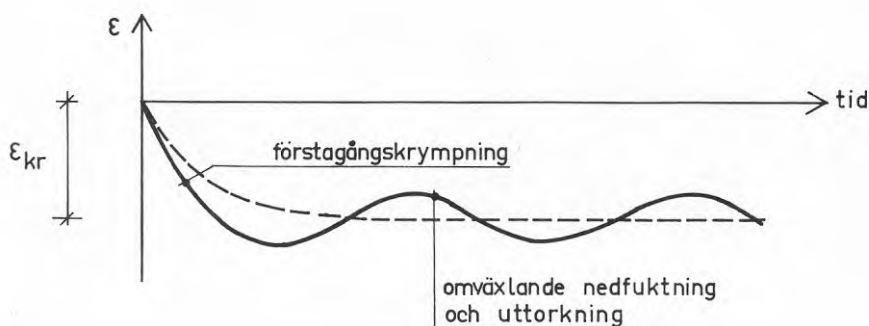
För metoder med KC-puts, AJ, tm och Serporock byggs putskakan i regel upp i tre skikt. Först läggs en tunn grundning på och då fungerar ar-

meringen, och för tm-combi även träullsplattan, som mothåll vid den första krympningen. Efterföljande skikt får underliggande skikt som ytterligare mothåll.

Speciellt i grundningen kan det uppstå typiska torksprickor. Sådana är korta och har ingen speciell orientering. Dessa är inte skadliga.

Den del av  $\epsilon_{kr}$  som är farlig ur spricksynpunkt är den kvantitativa lilla del som kvarstår då putskakan uppnått en relativt hög hållfasthet (E-modul). Då räcker inte armering och isolering längre till som mothåll. Den krympning som då uppstår måste beaktas vid dimensionering av kramlor och bedömning av sprickrisker.

Inom betongtekniken talar man om förstagångskrympning. Det är den krympning som uppstår hos den hårdnade betongen då vattnet för första gången lämnar porsystemet. Vid omväxlande nedfuktning och uttorkning sker svällning och krympning som är mindre än förstagångskrympningen, Betonghandbok, 1980.



Figur 4.1 Förstagångskrympning, heldragen kurva visar års-svängningar, streckad kurva avser årsmedelvärde.

Vilket beräkningsvärde som skall användas kan inte generellt anges. Som storleksordning kan möjligen  $\epsilon_{kr} \approx 0.5\%$  anges

#### 4.12 Temperaturvariationer

Temperaturvariationer ger upphov till en längdändring

$$\epsilon_T = \alpha \cdot \Delta T \quad (4.1)$$

Man bör räkna med att temperaturutvidgningskoefficienten kan variera inom ganska vida gränser beroende på material. För betong anges i Betonghandbok, 1980  $5 \cdot 10^{-6} \leq \alpha \leq 15 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ . Vid beräkningar brukar värdet  $10 \cdot 10^{-6}$  användas. För KC-puts brukar intervallet  $8 \cdot 10^{-6}$  till  $14 \cdot 10^{-6}$  anges. Det lägre värdet för K-puts och det högre för C-puts. Som beräkningsvärde bör  $\alpha = 11 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$  kunna användas. Stöd för detta ger bl a de rörelsemätningar som utförts i projektet.

Temperaturändringen  $\Delta T$  kan tecknas

$$\Delta T = T - T_0 \quad (4.2)$$

där  $T$  är aktuell temperatur hos putskakan. Eftersom putskakan snabbt anpassar sig till omgivningens temperatur gäller ungefär att  $T$  är lika med ekvivalent utetemperatur  $T_e$ .  $T_0$  är en referenstemperatur som är beroende av vid vilken årstid putsarbetet utförts.

Med  $T = T_e$  gäller

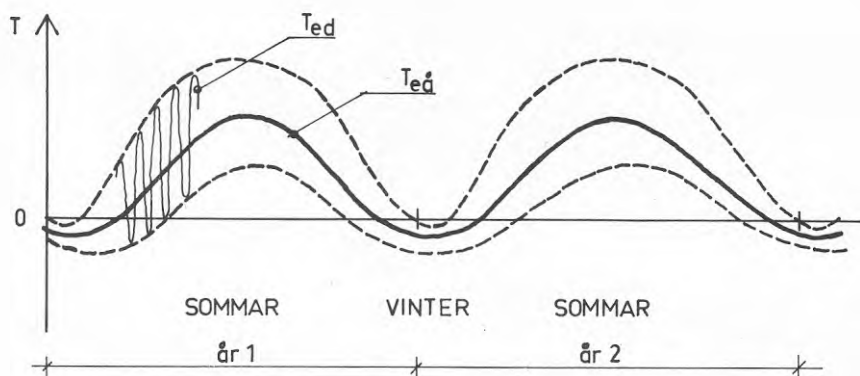
$$\Delta T = T_e - T_0 \quad (4.3)$$

En beräkning av  $T_e$  måste baseras på

- o uteluftens temperatur  $T_e$  ( $^{\circ}\text{C}$ )
- o direkt och diffus solstrålning  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ )
- o fasadytans absorptionsfaktor  $a$  (1)
- o yttre värmeövergångsmotstånd  $\alpha_y$  ( $\text{W}/\text{m}^2 \text{ } ^{\circ}\text{C}$ )

Nylund (1975) ger en utförlig beskrivning av hur  $T_e$  kan beräknas. De beräkningar som redovisas nedan är huvudsakligen baserade på Nylund (1975).

Det är praktiskt att utgå från en modell där  $T_e$  delas upp i en del som varierar över året,  $T_{e\ddot{a}}$ , och en del som varierar över dygnet,  $T_{ed}$ , se FIG 4.2.



Figur 4.2 Temperaturvariation, årsperiodisk och dygnsperiodisk.

$T_{e\dot{a}}$  ger den ekvivalenta dygnsmedeltemperaturens variation över året. Eftersom temperaturen också varierar kraftigt timme för timme över dygnet måste en dygnsperiodisk del,  $T_{ed}$ , läggas till.  $T_{ed}$  är ett mått på hur mycket temperaturen timme för timme avviker från dygnsmedeltemperaturen  $T_{e\dot{a}}$ .

$$T_e = T_{e\dot{a}} + T_{ed} \quad (4.4)$$

Uppdelningen i en svängning med lång period (ett år) och en med kort (ett dygn) motiveras bl a av att kramlor i vissa fall måste dimensioneras med hänsyn till utmattning. Då kan antalet farliga svängningar beräknas som produkten av antalet dygnessvängningar per år och avsedd livslängd i år. Kritiska är t ex svängningar som ger plasticering i kramlor.

I Nylund (1975) ges följande uttryck (här något modifierade) för  $T_{e\dot{a}}$  och  $T_{ed}$  (sydfasad)

$$T_{e\dot{a}} = T_1^{\text{med}} + \frac{a}{\alpha_y} \cdot I^{\text{med}} \quad (4.5)$$

$$T_{ed} = 5 \cdot \cos\phi_1 + \frac{a}{\alpha_y} (I - I^{\text{med}}) \quad (4.6)$$

$$I = I^{\text{med}} \left(1 + \frac{\pi}{2} \cos\phi_1\right) + (I^{\text{max}} - (1 + \frac{\pi}{2}) I^{\text{med}}) \cos\phi_2 \quad (4.7)$$

$$\phi_1 = (t/12 - 1) \quad (\text{radianer})$$

$$\phi_2 = t\pi/6 \quad (\text{radianer})$$

$$t = \text{klockslag} \quad (\text{h})$$

$$T_1^{\text{med}} = \text{uteluftens dygnsmedeltemperatur} \quad (^\circ\text{C})$$

$a$  = absorptionsfaktor

$$\alpha_y = \text{yttre värmeövergångsmotstånd} \quad (\text{W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C})$$

$$I^{\text{medel}} = \text{solinstrålning, dygnsmedel} \quad (\text{W/m}^2)$$

$$I^{\text{max}} = \text{solinstrålning, maxvärde (dygn)} \quad (\text{W/m}^2)$$

Val av koefficienter kan ske enligt följande:  $T_1^{\text{med}}$ ,  $I^{\text{medel}}$ ,  $I^{\text{max}}$  kan erhållas ur Taesler (1972),  $a$  är beroende av främst fasadytans färg

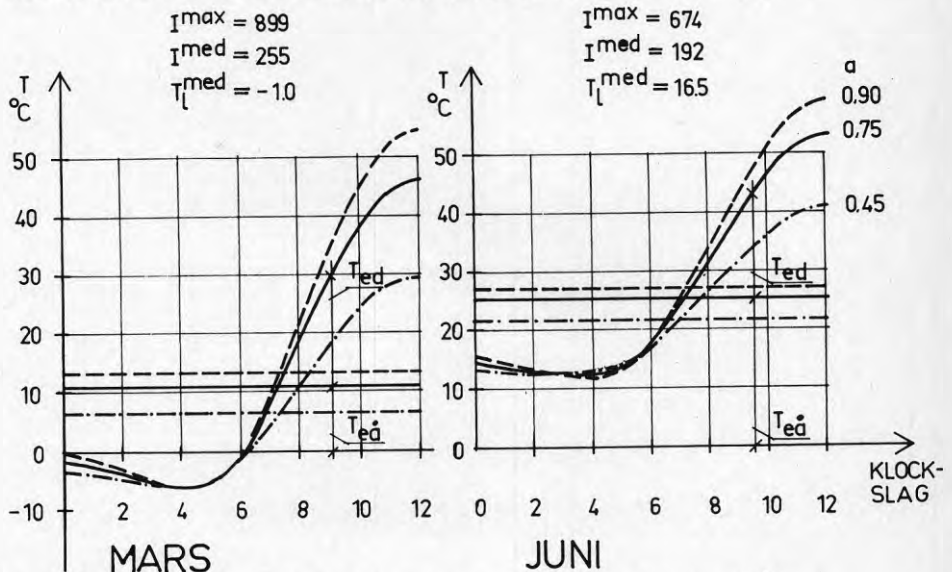
$$\text{ljusa ytor} \quad a \approx 0.45$$

$$\text{mörkgrå ytor} \quad a \approx 0.75$$

$$\text{svarta ytor} \quad a \approx 0.90$$

$\alpha_y$  brukar sättas till  $16 \text{ W/m}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$ .

I FIG 4.3 visas en beräkning för breddgrad  $60^\circ\text{N}$ , molnfri himmel. Förutsättningar i övrigt enligt figuren. EKV (4.5 - 4.7) förutsätter att dygnet är symmetriskt kring kl  $12^{\text{00}}$  med avseende på solinstrålning och temperatur. Detta gäller i stort sett för sydfasader. För väst- och östfasader kan ekvationerna omvandlas om tidsskalan förskjuts.



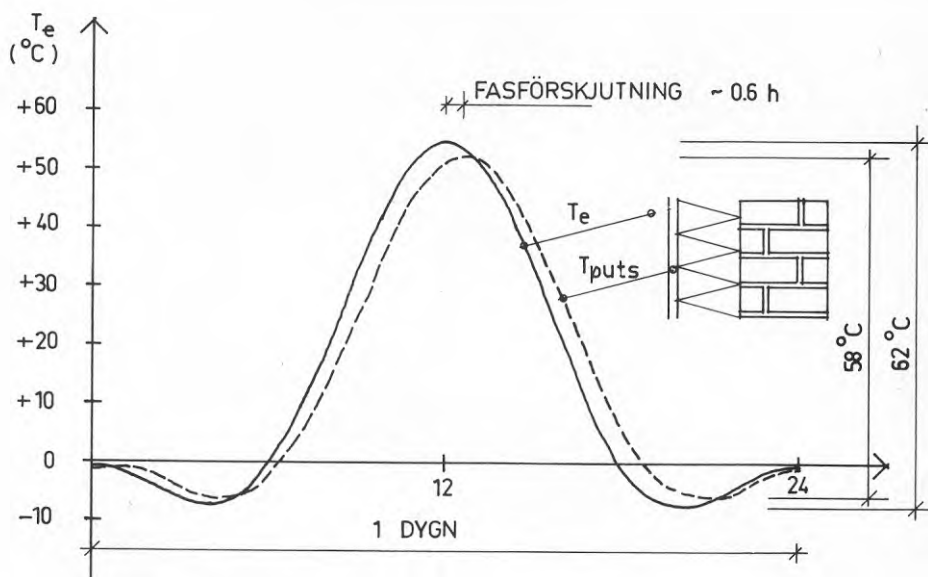
Figur 4.3 Variation i ekvivalent utetemperatur för 21 mars  $60^\circ\text{N}$ , molnfri himmel och motsvarande för juni.

Det framgår av FIG 4.3 att temperaturamplituden i rätt hög grad påverkas av fasadytans färg. Detta motiverar att ljusa färger bör föredras framför mörka. Störst dygnsamplitud kan inträffa i mars.

Det bör påpekas att ekvivalent utetemperatur inte alltid kan anses lika med fasadskiktets temperatur. Två faktorer blir här av betydelse;

- fasförskjutning mellan  $T_e$  och fasadskiktets temperatur
- dämpning, som ger mindre amplitud i fasadskiktet än i  $T_e$ .

De två nämnda faktorerna har liten betydelse i fallet puts på tilläggsisolering. Putsen är dels relativt tunn och dels är det värmeisolering bakom. FIG 4.4 visar resultatet av en beräkning där puts-skiktet antagits relativt tjockt, 30 mm. Värmeisoleringen bakom är 100 mm mineralull ( $100 \text{ kg/m}^3$ ). Beräkningen visar att både fasförskjutning och dämpning blir liten. Det innebär att man i regel bör kunna anse att puts-kakans temperatur blir densamma som ekvivalenta utetemperaturen enligt EKV (4.4). En förutsättning är då att det finns en effektiv värmeisolering bakom puts-kakan.



Figur 4.4 Beräkningsresultat, fasförskjutning mellan ekvivalent utetemperatur  $T_e$  och puts-kakans temperatur  $T_{puts}$ .



Ur dimensioneringssynpunkt är dygnsamplituden intressant då utmattningsrisk i kramlor skall bedömas. Sprickrisken bestäms av den sammanlagrade verkan av fukt och temperatur.

För att beräkningar skall kunna utföras måste ett nolltillstånd definieras. Förslagsvis kan nolltillståndet bestämmas som det spänningstillstånd som skulle uppstå om det ständigt vore årsmedelförhållanden med avseende på temperatur och fukt.

Det betyder att dimensionerande spänningstillstånd i princip kan tecknas

$$S_{\text{dim}} = S_0 + \text{tillägg}$$

$S_0$  representerar spänningar (lasteffekt) vid nolltillstånd. Tillägg (avdrag) görs sedan för avvikelser från nolltillståndet.

- 1) Inverkan av om putsarbetet utförts under gynnsam eller ogynnsam årstid.
- 2) Inverkan med hänsyn till variation i dygnsmedeltemperatur över året.
- 3) Inverkan med hänsyn till variation inom dygn.

#### 4.13 Fuktvariationer

I avsnittet om krympning diskuteras förstagångskrympningen. En del av denna är reversibel. Storleken på den reversibla delen måste uppskattas, Nylund (1978).

I princip kan dimensionerande fuktbetingad rörelse  $\epsilon_w$  tecknas

$$\epsilon_w \cong \epsilon_{kr}^m + A \cdot \cos\left(2\pi \cdot \frac{t}{T}\right)$$

$A$  = amplitud, ungefär  $A \cong \epsilon_{kr}^m / 2$

$\epsilon_{kr}^m$  = förstagångskrympning vid årsmedelförhållanden

$t$  = tidpunkt (dygn),  $t=0$  vid årets början

$T$  = 365 dygn

$\epsilon_w$  = fuktbetingad rörelse vid tiden  $t$

När det gäller fukt är det främst årssvängningen som måste beaktas. Detta är motiverat med hänsyn till att putsakans fukttröghet torde vara tillräckligt stor för att putsakans fuktillstånd inte skall svänga inom dygn. Detta till skillnad från temperatursvängningar som med mycket liten fasförskjutning följer omgivningens temperaturändringar, se FIG 4.4.

#### 4.14 Egentyngd

När det gäller egentyngd är det stora skillnader mellan de olika metoderna. AJ, Serporock och tm-metoden ger relativt stora egentyngder, 400-450 N/m<sup>2</sup>. Dessa metoder har relativt tjocka putsskikt, 20-25 mm, och tung isolering, ungefär 100 kg/m<sup>3</sup>. ISPO och Varmotex är exempel på metoder som har låg egentyngd, 100-150 N/m<sup>2</sup>. Putsskikten är här tunna och isoleringen är lätt cellplastisolering.

Det är givetvis för de tunga systemen som egentyngden får en avgörande betydelse. Egentyngden måste beaktas i kombination med övriga inverkingar som temperatur, fukt och vindsug.

Vid beräkningar används här beteckningen  $q_0$  (N/m<sup>2</sup>) för egentyngd. Det är ofta praktiskt att ange hur stor egentyngd som faller på varje kramla (då sådana används). Om kramlorna är placerade i ett rutmönster,  $b \times c$ , erhålls  $q_0 \cdot bc$  (N/kramla), eller med  $n = \frac{1}{bc}$  (kramla per m<sup>2</sup>)  $q_0/n$  (N/kramla).

#### 4.15 Vindlast

Enligt SBN 1980 blir dimensionerande vindsug

$$q_{\text{sug}} = \mu q \quad (4.9)$$

$\mu$  = formfaktor

$q$  = hastighetstryck

Formfaktorn får sättas till

$\mu = 0.6$  för hela fasadarean

$\mu = 2.0$  för randzoner

Då  $\mu = 2.0$  tillämpas behöver denna vindlast inte kombineras med någon

annan vindlast. Randzonens bredd får sättas till

$$l_i = 0.1 \times \text{husbredd dock } l_i \leq 0.5 \times \text{hushöjd.}$$

Dimensionerande värde på vindens hastighetstryck är beroende av terrängtypen och bebyggelsen. För vindriktningar från hav in mot land vid Götalandskusten tillämpas förhöjda värden, se SBN 1980. Exceptionell vindlast anges nedan. Vanlig vindlast får antas till 25% av värden för exceptionell vindlast.

#### Exempel

Dimensionerande exceptionella hastighetstryck  $q$  för hushöjd 15 m blir för

- |                              |                           |
|------------------------------|---------------------------|
| o skogslandskap eller städer | $q = 0.53 \text{ kN/m}^2$ |
| o öppen Götalandskust        | $q = 1.00 \text{ kN/m}^2$ |

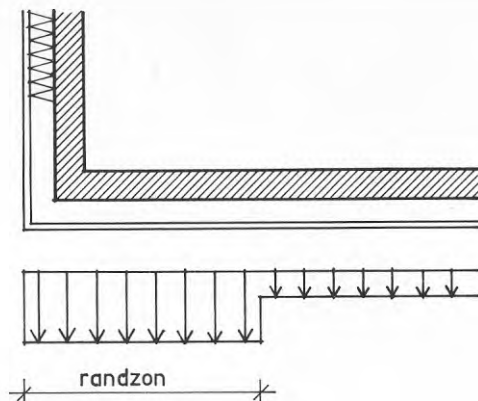
Det senare är extremvärde för aktuell hushöjd. De flesta hus torde ligga i områden motsvarande skogslandskap eller städer. Med 3 kramlor per  $\text{m}^2$  blir då kraft per kramla i

$$\text{randzon } 0.53 \cdot 2/3 = 0.35 \text{ kN/kramla}$$

$$\text{utanför randzon } 0.53 \cdot 0.6/3 = 0.11 \text{ kN/kramla.}$$

Vindsuget blir alltså relativt stort i randzonen. Detta kan motivera en tätare placering av kramlor i randzoner. Utanför randzonerna kan en utglesning ske om inte andra faktorer som egentynghet och temperaturrörelser blir avgörande.

I hörn där putskakan fortsätter obruten runt hörnet blir det en ökning av den vindlastupptagande förmågan. Detta kan få en betydelsefull positiv inverkan eftersom randzonen i många fall är smal.



Figur 4.5 Vindsug vid hörn

#### 4.16 Krypning och spänningsrelaxation

Diskussionen kring problemet fri och fasthållen krympning berör också problemet krypning. Här görs en praktisk avgränsning som innebär att begreppet krypdeformation endast används för att beteckna det som händer efter det att putsen klart lämnat det plastiska skedet.

Krypdeformationen brukar beaktas genom att E-modulen för korttidsbelastning divideras med ett tal större än 1.

Krypdeformationens inverkan uppskattas enligt följande:

- o E-modul för korttidslast,  $E_0$  bestäms (antas)
- o Kryptalet  $\phi$  uppskattas med ledning av konstruktionens dimensioner, ålder, materialsammansättning, omgivande miljö. För betong anges  $3 < \phi < 6$ .
- o Krypdeformationen  $\epsilon_{cr}$  definieras  $\epsilon_{cr} = \phi \cdot \frac{\sigma}{E_0}$  (4.10)
- o Inverkan av krypdeformation kan beaktas genom att en fiktiv E-modul införs

$$E = E_0 / (1 + \phi). \quad (4.11)$$

En fråga som är av speciellt intresse är att avgöra om krypdeformationen ger upphov till någon påtaglig spänningsrelaxation. En sådan är gynnsam genom att sprickrisken då reduceras.

En uppfattning om vilken betydelse krypningen har på spänningar i putskakan kan erhållas genom att räkna på två fall. Dels utförs spänningsberäkning för  $E = E_0$ , dvs korttidslast och dels för  $E = E_0/(1+\phi)$ .

Beräkningen utförs här för en normal kramlemetod. Relativt veka kramlor med  $k = 33\ 000$  n/m och kramlor i rutmönster  $b \times c = 0.5 \times 0.5$  antas. Putsskiktets tjocklek  $d = 0.02$  m,  $E_0 = 7\ 500$  MPa, putsfältets längd  $L = 15$  m,  $\epsilon_0 = 1^0/00$ .

#### Resultat

Kryptal $\phi$	$\sigma^{\max}$ Pa	%
0	206	100
4	189	92
8	174	84

Beräkningsresultatet visar att spänningsreduktionen p g a spänningsrelaxation blir relativt liten. Höga värden på kryptalet  $\phi$  får alltså inte föranleda slutsatsen att den spänningsreducerande verkan också skulle bli stor. Anledningen till att inverkan här blir relativt liten är att den rådande spänningsnivån ligger lågt.

Beräkningen ovan kan anses representativ för metoder med eftergivliga kramlor (AJ, Serporock, tm). För metoder baserade på principen puts på fast underlag får spänningsrelaxationen rimligen större betydelse.

## 4.2 Dimensionering av olika komponenter

### 4.2.1 Kramlor och infästningar

Kramlan är förbindelselänk mellan putskaka och befintlig vägg. Kramlan måste därför vara infäst i både putskaka och befintlig vägg.

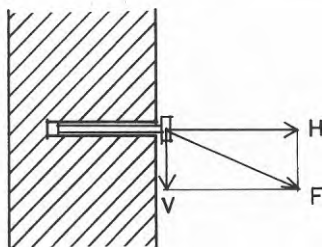
Det dimensioneringsproblem som här blir aktuellt innehåller åtminstone följande element:

- o Statiskt verknings sätt hos det bärande systemet
- o Dimensionerande lastfall och lastens periodicitet
- o Materialparametrar och deformationsegenskaper hos kramlor och infästningar

## o Säkerhet

Statiskt verkningssätt bestäms av egenskaper hos ingående komponenter. Som exempel kan här nämnas att det i detta avseende är avsevärda skillnader mellan AJ, Serporock och  $t_m$ , se avsnitt 3.52.

Ett elementärt krav på det bärande systemet är givetvis att det skall ge fullgod säkerhet mot att putskaka och isolering faller ner. För att detta krav skall kunna uppfyllas måste, för infästningen, beräknade värden ligga inom tillåtet område.



Figur 4.6 Horisontell och vertikal kraftverkan på infästning

Relationen mellan  $V$  och  $H$  varierar från metod till metod. För AJ-metoden är  $V/H \approx 0$ . För Serporockmetoden bestäms  $V/H$  av den ledade kramlans lutningsvinkel.

Principiellt kan, för given infästning, tillåten kombination av  $V$  och  $H$  framställas i form av ett  $s-k$  interaktionsdiagram.

Brottlast (utdragslast), för infästningen, bestäms genom utdragsprov. Tillåten last erhålls efter division med aktuell säkerhetsfaktor. Storleken på säkerhetsfaktorn bör bestämmas med hänsyn till i vilken grad omfördelning av laster kan ske. Möjligheten till lastomfördelning framstår som god för samtliga kramlemetoder. Det innebär att om en enstaka kramla skulle sakna lastupptagande förmåga kan angränsande kramlor ta över dess bärande funktion utan risk för fortskridande ras.

Speciellt i fall där kramlorna kan utsättas för deformationer i det plastiska området måste risk för utmattning i materialet beaktas. Detta är mest aktuellt då kramlorna är inspända i väggen (konsoler), se KAP 3.

Laster kombineras till lastfall. Med anknytning till SBN 80 kan följande schema ställas upp över aktuella lastkombinationer.

TABELL 4.1 Lastkombinationer för dimensionering av infästningar

	Lastfall		Lastfall	
	Vanligt	Exc1	Exc2	Exc3
Egentyngd	x	x	x	x
Vindlast	25%	25%	25%	100%
Temperaturändr		x		
Fuktighetsändr } krypning, krypning }			x	

Vanligt lastfall innefattar här endast egentyngd och 25% av den vindlast som anges för exceptionellt lastfall. Det kan bildas åtminstone tre kombinationer av exceptionellt lastfall. Det beror på att SBN 80 endast kräver att en exceptionell last i taget tas med. Med hänsyn till att temperaturändring och fuktighetsändring i huvudsak ligger i motfas till varandra kan lastfallen Exc1 och 2 var för sig bli mer ansträngande än om de skulle kombineras.

#### 4.22 Putskaka och armering

Dimensionering av putskaka och armering behandlas utförligt i KAP 3 med bilaga.





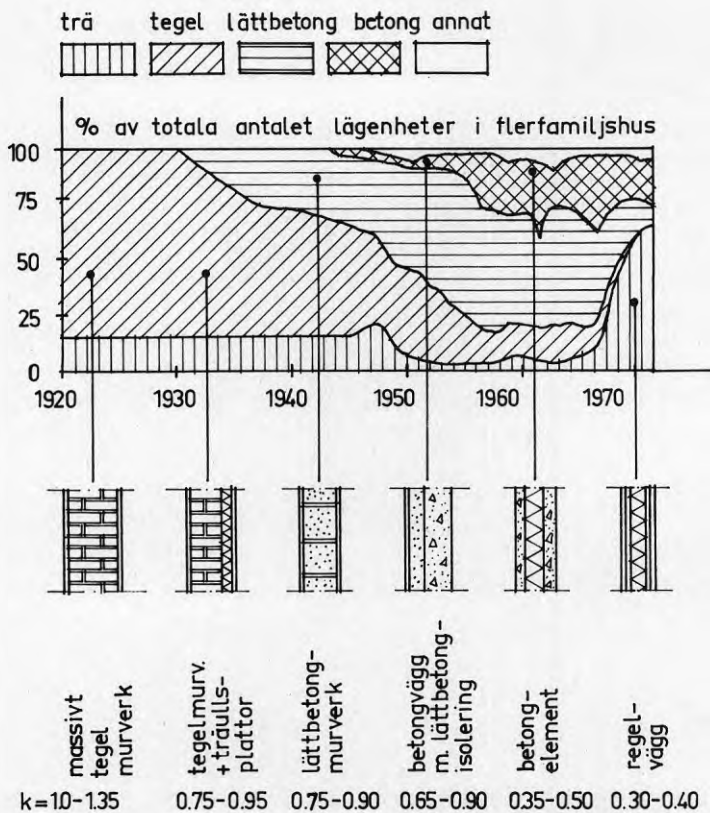
## 5 ENERGISPAREFFEKT

En tilläggsisolering ger primärt en ökning av den aktuella konstruktionens värmemotstånd. För att bedöma hur stor energibesparingen blir krävs dock även kännedom om flera sekundära faktorer.

## 5.1 Befintlig vägg, k-värde

Fram till i mitten av 60-talet dominerade murverk som material till ytterväggar i flerbostadshus. Dessa väggar har i regel k-värde som berättigar till energilån vid tilläggsisolering.

FIG 5.1 visar hur materialen fördelas i bostadsbeståndet. Ungefärliga k-värden anges också.



Figur 5.1 Material i ytterväggar i flerbostadshus. Källa: Höglund och Johnsson (1976).

Med utgångspunkt från material och skiktjocklekar kan givetvis  $k$ -värden för befintliga ytterväggar beräknas. Problemet blir då att hitta relevanta  $\lambda$ -värden. Speciellt när det gäller murverksväggar bör man kunna räkna med att beräknade  $k$ -värden någorlunda överensstämmer med verkliga. Om  $\lambda$ -värden enligt SBN används ger sannolikt en beräkning ett  $k$ -värde som snarare är för högt än för lågt. Det beror på att SBN:s  $\lambda$ -värden anges med säkerhetsfaktor.

För utfackningsväggar och liknande som kom i slutet av 60-talet gäller att de i många fall torde orsaka större energiförluster än vad som motsvaras av på vanligt sätt beräknade  $k$ -värden. Detta beror på att sådana väggar till skillnad från murverksväggar ofta har dålig lufttäthet.

#### Exempel 5.1

Beräkna  $k$ -värde för en putsad  $1\frac{1}{2}$ -stens tegelyttervägg enligt SBN.

För massivtegel  $1500 \text{ kg/m}^3$  anges  $\lambda = 0.60 \text{ W/mK}$   
 $1700 \text{ kg/m}^3$  "  $\lambda = 0.70 \text{ W/mK}$

Motsvarande  $k$ -värden blir  $k = 1.12$  respektive  $k = 1.25$ .

#### 5.2 Värmemotstånd i tilläggsisolering

Utan hänsyn till köldbryggor kan värmemotståndet i puts plus tilläggsisoleringen enkelt beräknas ur uttrycket

$$m_t = \frac{d_p}{\lambda_p} + \frac{d_i}{\lambda_i} \quad (5.1)$$

Enligt regler för energilån kan  $m_t$  beräknas enligt SBN. För puts anges  $\lambda_p = 1.0$ . För mineralull och styrencellplast får  $\lambda$ -värdet sättas till 0.038 respektive 0.040. Det lägre värdet får tillämpas om skivorna är klistrade mot tätt materialskikt. Med hänsyn till att det normalt är vidhäftning mellan putsbaka och värmeisolering bör  $\lambda$  kunna sättas till 0.038.

#### Exempel 5.2

Beräkna  $m_t$  för tilläggsisolering med KC-puts 20 mm och styv mineralullsskiva 100 mm.

$$\text{Resultat: } m_t = \frac{0.02}{1.0} + \frac{0.10}{0.038} = 2.65$$

Inverkan av köldbryggor

Inverkan av köldbryggor är av mycket liten betydelse utom då regler används.

Att kramlor ger en liten köldbryggeeffekt beror främst på att andelen stålarea blir liten. Till detta kommer att kramlorna ofta består av rostfritt stål som har ett  $\lambda$ -värde som endast är en tredjedel av värdet för vanligt kolstål.

Beräkningar i Elmarsson (1979) kan sammanfattas i följande formel som uttryck för ökning av k-värde på grund av kramlor

$$\Delta k_k = 0.67 \cdot n \cdot d_i \cdot \lambda_s \left( \frac{k_e \phi}{\lambda_i} \right)^2 \quad (5.2)$$

$n$  = antal kramlor per  $m^2$

$d_i$  = isolertjocklek (m)

$\lambda_s$  = värmeledningsförmåga, stål rostfritt 17 (W/mK)  
kolstål 50

$k_e$  = k-värde efter tilläggsisolering (W/m<sup>2</sup>K)

$\phi$  = kramlornas diameter (m)

$\lambda_i$  = värmeledningsförmåga, isolering (W/mK)

Med normalvärden insatta i EKV (5.2) erhålls

$$\Delta k_k = 0.67 \cdot 3.5 \cdot 0.10 \cdot 17 \cdot \left( \frac{0.30 \cdot \phi}{0.04} \right)^2 = 224 \phi^2$$

För olika  $\phi$  erhålls  $\Delta k_k$  enligt tabell.

TABELL 5.1 Ökning  $\Delta k_k$  av k-värde på grund av kramlor.

Förutsättningar: 3.5 per  $m^2$ , isolertjocklek 100 mm.

$\phi$ (mm)	$\Delta k_k$ (W/m <sup>2</sup> K)	
	rostfritt	kolstål
4	$3.5 \cdot 10^{-3}$	$1.1 \cdot 10^{-2}$
5	5.6	1.6
6	8.1	2.4
7	11	3.2

EKV (5.2) ger en överskattning av kramlornas inverkan med växande stålandel och  $\lambda_s$ . Det betyder att man kan räkna med att inverkan av 3.5 kolstålkrallor ( $\phi = 7$  mm) per  $m^2$  ger något mindre inverkan än angivet värde  $\Delta k_k = 0.032$ .

Det framgår av tabellen att då rostfria kramlor används blir inverkan i de flesta fall betydligt mindre än  $\Delta k_k = 0.01 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

Om köldbryggans inverkan på  $m_t$  önskas kan den uppskattas med hjälp av

$$\Delta m_t \cong \frac{\Delta k_k}{k_e} \quad \text{och} \quad m_t \rightarrow m_t - \Delta m_t$$

Exempel 5.3

Antag  $\Delta k_k \cong 0.006$  och  $k_e = 0.30$ . Detta ger  $\Delta m_t = 0.006/0.30^2 = 0.07 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

Bestämmande för energispareffekten blir

$$\Delta k = k_{\text{före}} - k_{\text{efter}} \quad (5.3)$$

där  $k_{\text{efter}}$  inkluderar inverkan av köldbryggor.

### 5.3 Inverkan av luftrörelser

En otät yttervägg orsakar stora energiförluster även om konstruktionens k-värde vid vanlig beräkning framstår som bra (lågt).

Generellt kan sägas att en otät vägg i första hand skall förbättras genom tätning och en vägg med lågt värmemotstånd (høgt k-värde) ska förbättras genom tilläggsisolering.

De metoder som behandlas i denna rapport är i första hand avsedda att ge tillskott till värmemotståndet i ytterväggar. Man bör emellertid kunna räkna med att de i stort sett obrutna putsakor som det nya fasadskiktet utgör också kommer att fungera som lufttätning av från början otäta ytterväggar.

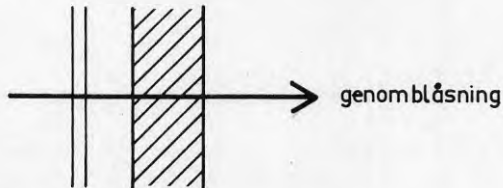
Den största energibesparande verkan av puts på tilläggsisolering kan därför förväntas vid tillämpning på ytterväggar som både är otäta och har lågt värmemotstånd.

### 5.31 Konvektion

Energitransport genom luftrörelser (konvektion) förekommer som egenkonvektion och påtvingad konvektion.

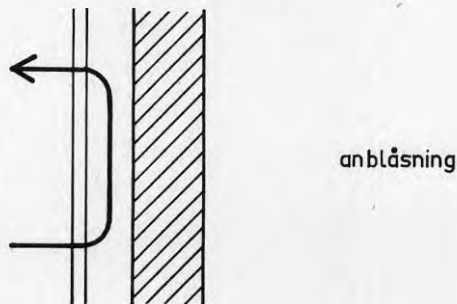
Vid normal noggrannhet, då isoleringsarbetet utförs, får egenkonvektionen mycket liten inverkan på isolerförmågan.

Påtvingad konvektion innebär att luftrörelser uppstår på grund av tryckdifferenser framkallade av t ex vindtryck, Bankvall (1980). Beroende på hur otätheterna är beskaffade kan det bli fråga om antingen genomblåsning eller anblåsning. Genomblåsning förutsätter att otätheter går rakt igenom väggen, FIG 5.2.



Figur 5.2 Genomblåsning

Anblåsning innebär att luftflöden uppstår i väggens plan, FIG 5.3.



Figur 5.3 Anblåsning

Den påtvingade konvektionen kan inte på något generellt sätt räknas in i k-värdet. Risken för påtvingad konvektion måste bedömas från fall till fall och åtgärder mot sådan måste vidtas.

Puts på tilläggsisolering kommer sannolikt i dominerade utsträckning att tillämpas då befintlig vägg är utförd i murverk. Sådana väggar har i regel god täthet. Risken för genomblåsning är då liten. Därför bör uppmärksamheten riktas mot problemet anblåsning.

### 5.32 Beräkning av luftrörelser i luftspalter

Den punkt som det främst finns anledning att granska är risken för skadliga luftflöden i luftspalter mellan värmeisolering och befintlig vägg.

Eftersom det är praktiskt omöjligt att utföra konstruktioner som har luftspalter med spaltvidden noll, är det av intressa att åtminstone få en uppfattning med vilken storleksordning de inverkar.

Finns det luftspalter i kontakt med uteluften kan man utgå från att tryckdifferenser pga vind också ger luftflöden i dem. Frågan blir då om luftflödena kan bli så stora att isolereffekten påtagligt försämrats.

För en spalt med given geometri och tryckdifferens kan luftflödet i spalten beräknas, Nevander & Elmarsson (1981). Luften i spalten tar med sig energi i proportion till differensen mellan temperaturer i inströmmande och utströmmande luft.

Om det uppstår ett luftflöde  $q$  i spalten kan motsvarande energitransport tecknas

$$P = \rho c q (T_{ut} - T_{in}) \quad (5.4)$$

Luftspalten antas beröra arean  $A$  av ytterväggen. Det betyder att den skenbara ökningen av väggens  $k$ -värde blir, se FIG 5.4a,

$$\Delta k_s = \frac{P}{A(T_i - T_u)} \quad (5.5)$$

En övre gräns för hur stor inverkan luftflödet kan få erhålls genom att sätta

$$T_{ut} = T_i - \frac{M_1}{M_2 + M_1} (T_i - T_u) \quad (5.6)$$

$$T_{in} = T_u$$

Luftflöden i spalten tecknas

$$q = bdu$$

Berörd väggarea

$$A = ld$$

Om ovan angivna samband kombineras erhålls

$$\Delta k_s = \frac{\rho cbu}{l} \left(1 - \frac{M_1}{M_1 + M_2}\right) \quad (5.7)$$

Med spaltvidder som kan bli aktuella blir luftflödet laminärt. Det betyder att lufthastigheten i spalten kan tecknas

$$u = \Delta p \cdot \frac{b^2}{12\eta l} \quad (5.8)$$

EKV 5.8 innebär att in- och utströmningsförlusterna försummas, vilket här kan ske för spaltvidder mindre än ungefär 10 mm.

Beteckningar, se FIG 5.4a.

$\rho c$  för luft  $1200 \text{ Ws/m}^3$

$l = 10 \text{ m}$  avstånd mellan öppna fogar

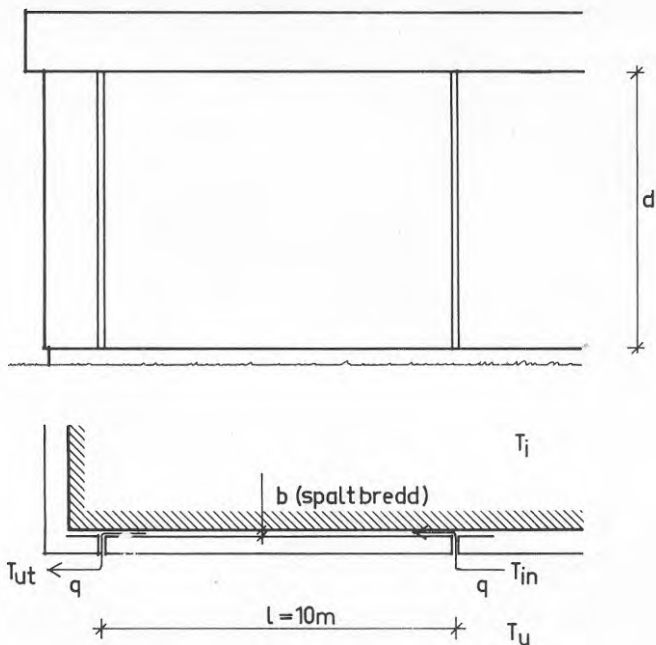
$\Delta p = 30 \text{ Pa}$  tryckdifferens

$\eta = 18 \cdot 10^{-6}$  viskositet

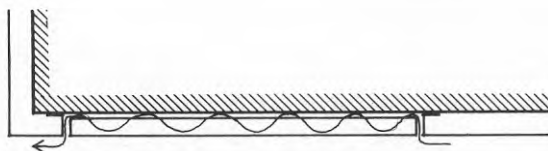
$M_1 = 1.0$  värmemotstånd i befintlig vägg

$M_2 = 2.5$  tillskott, värmemotstånd

$k_e = 1/3.5 = 0.286$  k-värde efter tilläggsisolering



Figur 5.4a Luftrörelser i spalt mellan isolering och befintlig vägg.



Figur 5.4b Luftrörelser i spalter och isolering.

Tabell 5.2 visar vilken maximal inverkan varierande spaltvidder,  $b$ , kan få,  $k = 0.286 + \Delta k_s$ .

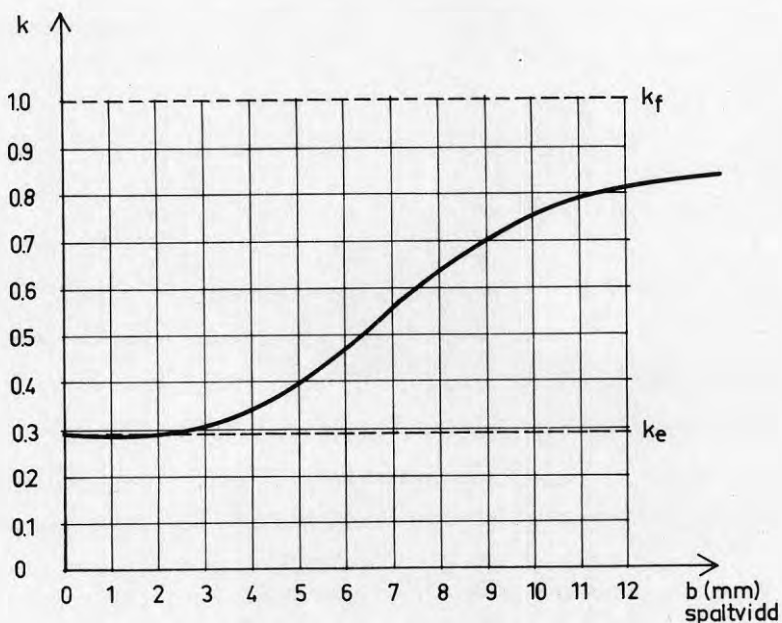
TABELL 5.2 Inverkan av luftspalt mellan isolering och befintlig vägg som funktion av spaltvidden  $b$ .

$b$ (mm)	$\Delta k_s$ (W/m <sup>2</sup> K)	$k$ (W/m <sup>2</sup> K)	
1	0.001	0.29	(0.28)
2	0.01	0.30	(0.28)
3	0.03	0.32	(0.30)
4	0.08	0.37	(0.34)
5	0.15	0.44	(0.39)
6	0.26	0.55	(0.47)
7	0.41	0.70	(0.55)



Eftersom beräkningen ovan rimligen ger en överskattning av luftspaltens inverkan har även en noggrannare beräkning utförts, se FIG 5.5 samt värden inom parentes i tabell 5.2. I den noggrannare beräkningen har det beaktats att temperaturen på spaltväggarna varierar från inlopp till utlopp (vid given spaltvidd). Oberoende av om kalkylen utförs mer eller mindre noggrant gäller att inverkan på energiförlusterna börjar göra sig märkbara vid spaltbredder på större än 3 mm. Det framgår av FIG 5.5 att det först är en antydning till att  $k$ -värdet skall minska. Det beror på att så länge spalten endast är någon mm bred blir luft-rörelsen så liten att spalten egentligen fungerar som en icke ventilerad luftspalt.

Vid beräkningarna har tryckdifferensen antagits till  $\Delta p = 30$  Pa. Det är troligen endast under korta perioder som denna tryckdifferens förekommer. Med hänsyn till detta blir inverkan på energiförbrukningen mindre än vad som framgår av beräkningen. I den noggrannare beräkningen har in- och utströmningsförlusterna beaktats.



Figur 5.5 Beräknat skenbart  $k$ -värde som funktion av spaltvidd.  
Se figur 5.4a.

Den redovisade kalkylen förutsätter att den luft som kommer in exempelvis i en öppen rörelsefog endast ger luftflöde i spalten mellan isolering och befintlig vägg. Om även luftströmmar uppstår i isoleringen kan inverkan på k-värdet bli större än vad beräkningarna visar, se FIG 5.4b. Det förefaller dock osannolikt att sådana luftströmmar skulle kunna få någon nämnvärd omfattning. Den värmeisolering som används har relativt stort strömningsmotstånd.

#### 5.4 Mått på energibesparing

I de hus som ingår i projektet har energiförbrukningen bestämts antingen direkt i oljeförbrukningen då husen haft oljeeldning eller genom avläsning på energimätare då fjärrvärme förekommit.

I samband med att energibesparande åtgärder skall vidtas i en byggnad måste beräknad energibesparing in som en avgörande del i beslutunderlaget. Ett problem är då att det egentligen inte finns något entydigt sätt att beräkna och mäta energispareffekter.

Ur fastighetsekonomisk synpunkt är det i första hand intressant att avgöra hur energileveranserna till huset påverkas, dvs hur behovet av köpt energi förändras.

På lång sikt är det givetvis så att det är bruttoenergiebehovet som blir bestämmande för kostnaderna. Därför kan man givetvis inte bortse från hur energisystemet utanför huset påverkas av energibesparande insatser.

Nettoenergiebehovet kan tecknas

$$w = \eta \cdot w_b \quad (5.9)$$

$w_b$  = bruttoenergiebehov

$\eta$  = verkningsgrad

Verkningsgraden ökar normalt med energiproduktionen i en anläggning. Det gör att bruttoenergiebesparingen kan bli mindre än förväntat.

Om  $\eta$  ses som en konstant gäller

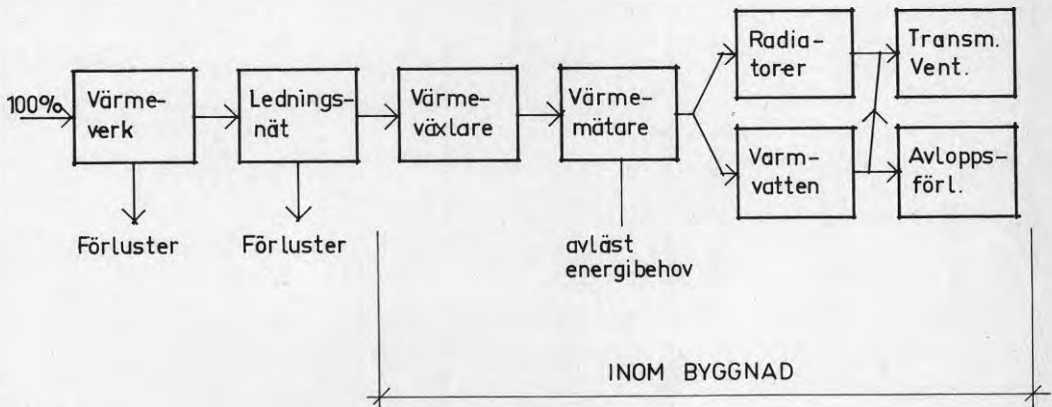
$$\Delta w_b = \frac{\Delta w}{\eta} \quad (5.10)$$

Om det beaktas att  $\eta$  avtar med avtagande energibehov blir besparingen

$$\Delta w_b = \frac{\Delta w}{\eta + \eta' w_b} \quad (5.11)$$

Termen  $\eta' w_b$  som tillkommer i nämnaren reducerar  $\Delta w_b$ . Om byggnaden är kopplad till ett fjärrvärmesystem blir givetvis termen  $\eta' w_b$  mycket liten såvida inte alla till fjärrvärmens anslutna tilläggsisolerar och reducerar sitt energibehov.

I FIG 5.6 visas ett schema för energiflöde vid fjärrvärme.

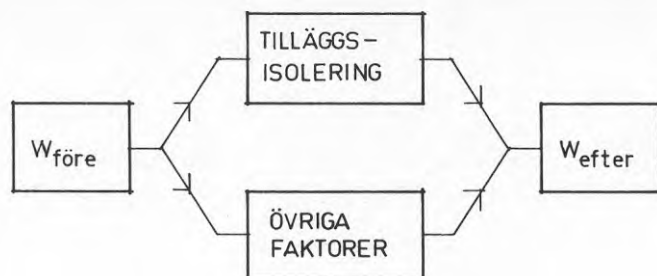


Figur 5.6 Energiflöde inom och utom byggnad.

En bedömning av energispareffekt baserad på avläsning på energimätare är osäker av flera skäl.

- o Energimätaren får tilltagande mätfel som funktion av tiden.
- o Inomhustemperatur, ventilation och varmvattenförbrukning kan förändras i samband med att en tilläggsisolering utförs.
- o Omflyttning

I detta projekt har den noggrannare uppföljningen skett för tre hus i Södertälje (AJ, G+R och Gyproc). Där har även inverkan av ovan angivna osäkerheter i viss mån studerats och beaktats.



Figur 5.7 Mätning av energibesparing efter principen före - efter.

För att underlätta jämförelser mellan oljebaserad värme och elvärme redovisas i tabell 5.3 några omvandlingstal.

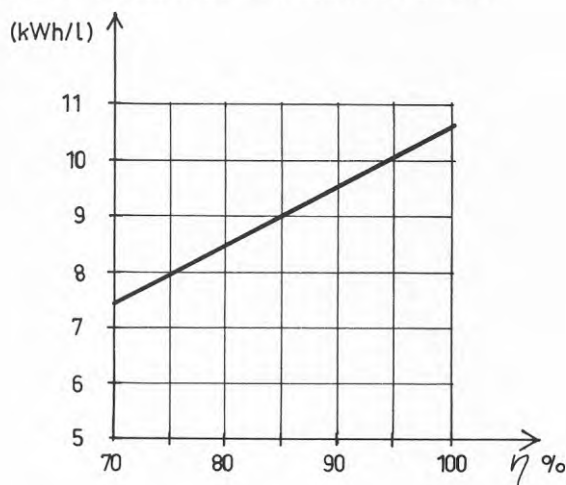
TABELL 5.3 Energiinnehåll i eldningsolja

Olje- kvalitet	Densitet kg/m <sup>3</sup>	Effektivt kWh/kg	kWh/l
Eo1	840	11.9	10.0
E4LS	930	11.4	10.6

Om det förutsätts att värmeenergin produceras genom lågsvavlig eldningsolja Eo4LS blir energiutbytet

$$10.6 \eta \text{ kWh/l}$$

där  $\eta$  är totalverkningsgraden, se FIG 5.8.



Figur 5.8 Samband mellan energiutbyte kWh/l olja och totalverkningsgrad  $\eta$ .

Vid jämförelse mellan fjärrvärme och elvärme brukar 1 l olja anses motsvara 8.5 kWh elenergi.

Vid beräkningar av energibehov är det ofta nödvändigt att studera energibalansen för hela byggnaden. Energiförbrukning och beräknad energibesparing erhålls då i kWh/år, se avsnitt 5.5. Hyran räknas per m<sup>2</sup> BRA. Därför ger energibesparingen uttryckt i kWh/(m<sup>2</sup>BRA år) en viktig upplysning eftersom denna enhet lätt kan kopplas ihop med inverkan på hyran. Eftersom länen är kopplade till m<sup>2</sup> isolerad fasadarea har beräkningar i avsnitt 6.33 baserats på energibesparing per m<sup>2</sup> isolerad area. I bilaga B6.2 visas hur bruksarea (BRA) definieras.

## 5.5 Beräkning av energibesparing

### 5.51 Specifikt energibehov

En byggnads energibehov (W) måste i princip alltid beräknas med utgångspunkt från effektbehovet (P). Eftersom effektbehovet varierar timme för timme under hela eldningssäsongen blir en beräkning på detta sätt tidskrävande.

Den vanliga metoden för överslagsberäkning av energibehov och energibesparing baseras på följande samband enligt bilaga B5.5

$$W = Q(U + L) \text{ kWh/år} \quad (\text{B5.7})$$

där Q är specifikt energibehov (°Ckh)

$$U = \sum Ak \quad (\text{W/K}) \quad (\text{B5.2})$$

$$L = 0.35 nV \quad (\text{W/K}) \quad (\text{B5.3})$$

W = årsenergiebehov

Se bilaga B5.5.

Energibesparingen tecknas

$$\Delta W = Q_u \cdot \Delta U \quad (\text{B5.4})$$

eller per m<sup>2</sup> väggarea

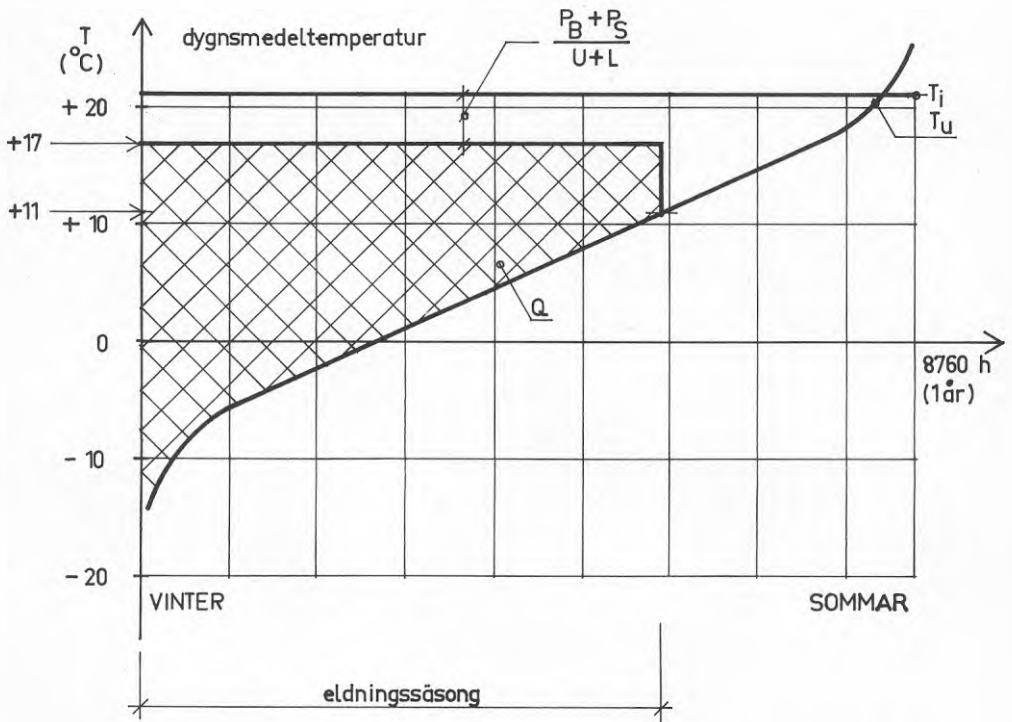
$$\Delta W = Q_u \cdot \Delta k \quad (\text{B5.5})$$

$\Delta k$  enligt EKV (5.3)

I bilaga B5.5 diskuteras frågan hur storheten  $Q_u$  kan uppskattas.

FIG 5.9 visar en förenklad modell för bestämning av  $Q$ . Den baseras på följande förutsättningar, VVS-handboken 1974.

- o Basenergin och solenergin,  $P_{BAS} + P_{SOL}$  antas tillräckliga för att värmeförsörjning inte skall behövas då dygnsmedeltemperaturen (utomhus) är högre än  $11^{\circ}\text{C}$ . Det innebär att eldningssäsongens längd motsvaras av den del av året som har utetemperatur mindre än  $11^{\circ}\text{C}$ .
- o Årsenergibehov beräknas med utgångspunkt från storheten  $Q$ , som är specifika värmebehovet bestämt under antagande att inomhustemperaturen är  $17^{\circ}\text{C}$ . Det förutsätts då att basenergi och solenergi kan höja temperaturen till normal rumstemperatur.



Figur 5.9 Förenklad modell för bestämning av specifikt värmebehov  $Q$ .

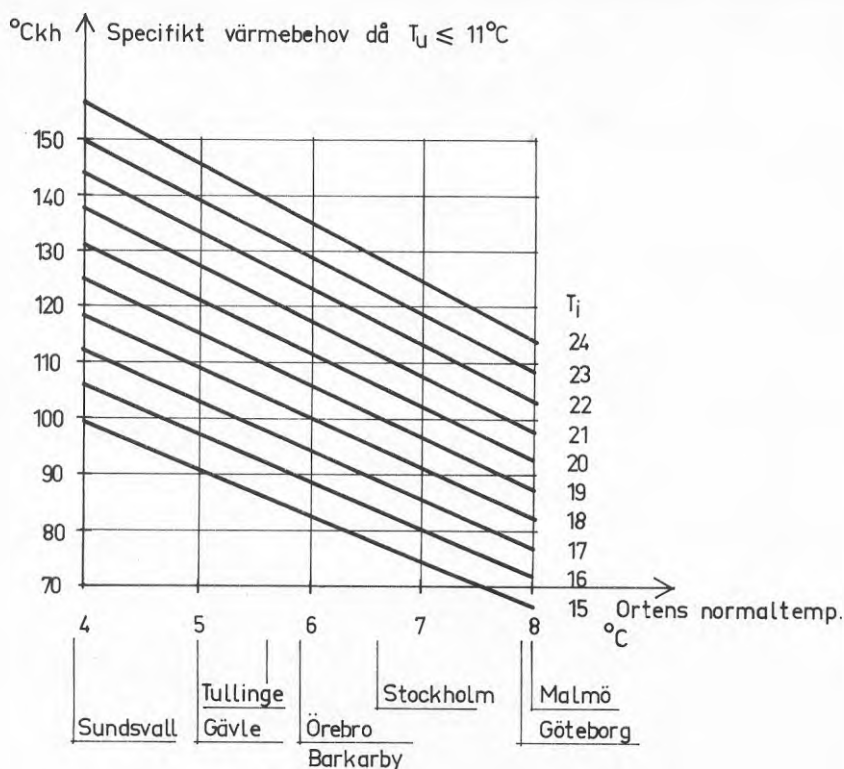
Det som här i första hand är av intresse är dock att få reda på  $Q_U$  som skall användas vid uppskattning av energibesparing. Det måste då observeras att  $Q_U$  i allmänhet är betydligt större än  $Q$ . Medan  $Q$  brukar bestämmas för  $T_i = 17^{\circ}\text{C}$  bör  $Q_U$  bestämmas för rådande rumstemperatur, t ex  $T_i = 21^{\circ}\text{C}$ , se bilaga B5.5. Hela den skrafferade arean mellan  $T_i$  och  $T_U$  skall alltså tas med i  $Q_U$ , FIG B5.3, bilaga B5.

En bestämning av  $Q_u$  enligt ovan medför sannolikt en viss överskattning av  $Q_u$ , se bilaga B5.5. Detta kompenseras dock av att en beräkning av energispareffekten enligt EKV (B5.5) inte tar hänsyn till att den operativa temperaturen ökar vid tilläggsisolering av ytterväggar, se bilaga B5.6. Det är rimligt att räkna med att dessa båda effekter tar ut varandra. Därför bör  $Q_u$  bestämmas med utgångspunkt från normal lufttemperatur i inneluften. Detta bör ge en någorlunda riktig bild av förväntad energibesparing genom tilläggsisolering. Om man vill ta hänsyn till inverkan av faktorer som för sig bör reduktion göras för ekvivalent ute-temperatur och ökning för operativ temperatur etc.

I FIG 5.10 visas samband mellan respektive ords normaltemperatur (årsmedeltemperatur) och  $T_i$ . Tabell 5.4 ger normaltemperaturen för några olika orter. Det framgår där att årsmedeltemperaturen i första hand avgörs av breddgraden. I vissa fall har dock lokala faktorer större inverkan. Som exempel kan Stockholm (centrum) och Tullinge nämnas. Tullinge, som ligger ett par mil söder om Stockholm, har ungefär  $1^{\circ}\text{C}$  lägre årsmedeltemperatur än Stockholm. Det gör att  $Q_u$  för Tullinge blir nästan 10% högre än för Stockholm.

TABELL 5.4 Normaltemperaturer (årsmedeltal)

Ort	Normaltemperatur $^{\circ}\text{C}$
Kiruna	-1.2
Umeå	3.4
Östersund	2.7
Falun	4.6
Västerås	5.9
Stockholm	6.6
Örebro	5.9
Göteborg	7.9
Kalmar	7.0
Nässjö	5.4
Malmö	8.0



Figur 5.10 Samband mellan respektive orts normaltemperatur, innetemperatur  $T_i$  och specifikt värmebehov.

De beräkningar som diskuterats ovan har genomgående avsett det energibehov som normalt täcks via radiatorer. Vid registrering av energiförbrukning genom avläsning på värmemätare får man i regel med den energitillförsel som erfordras för produktion av varmvatten.

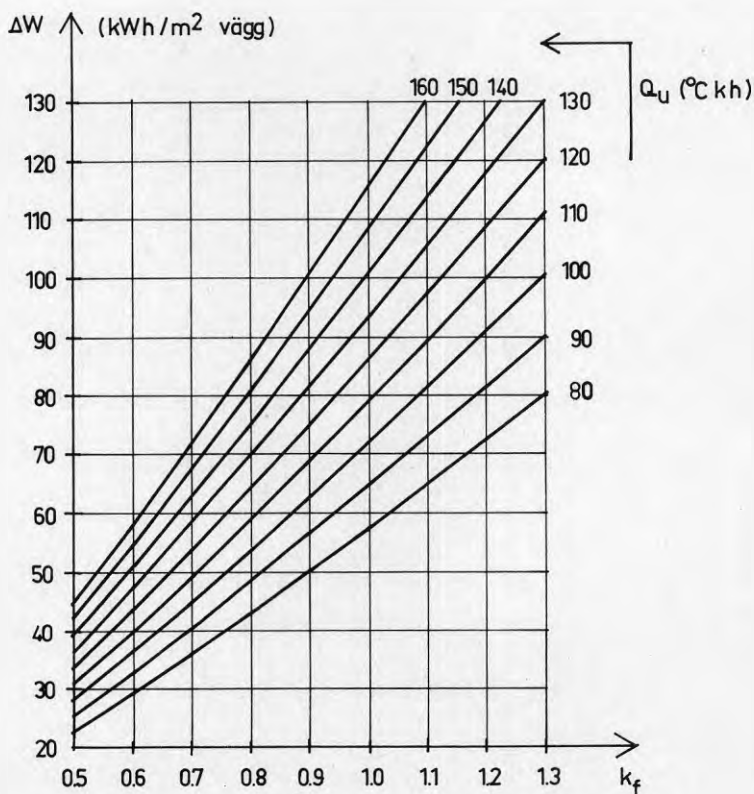
### 5.52 Resultaterande energibesparing

Värdet av energibesparingen vid tilläggsisolering av ytterväggar kan uppskattas med utgångspunkt från

- k-värde för tilläggsisolering  $k_f$
- specifik värmeförbrukning  $Q_u$
- tilläggsisoleringens tjocklek  $d_i$  och effektivitet
- energipris (kr/kWh)



Med utgångspunkt från EKV (5.3) och (B5.5) kan energibesparingen  $\Delta W$  ( $\text{kWh}/\text{m}^2 \text{ år}$ ) beräknas. FIG 5.11 ger ett samband mellan  $k_f$  och  $Q_u$ . Diagrammet baseras på 100 mm isolering med  $\lambda = 0.038$  och 20 mm puts ( $\lambda=1.00$ ). Köldbryggeeffekt motsvarande 3.5 kramlor per  $\text{m}^2$ , rostfria  $\varnothing 5$  mm, har medräknats. Putsens bidrag till värmotståndet är obetydligt. Därför gäller diagrammet för samtliga fall där  $\lambda$  kan sättas till 0.038 och där isolertjockleken är 100 mm. För tm-combi används både träullsplatta och mineralull. Man bör där kunna räkna med att den 20 mm tjocka träullsplattan ungefär motsvarar 10 mm mineralull.



Figur 5.11 Energibesparing  $\Delta W$  som funktion av specifikt värmebehov  $Q_u$  och k-värde  $k_f$  före tilläggsisolering (100 mm  $\lambda = 0.038$ ).

## Exempel 5.4

En yttervägg tilläggsisolerar med 100 mm mineralull  $\lambda = 0.038$  plus puts. Bestäm hur stor energibesparing som kan förväntas om byggnaden finns i västeråstrakten,  $k_{\text{före}} = 1.0$ .

Lösning:

Normaltemperaturen för Västerås är  $5.9^{\circ}\text{C}$ . Det förutsätts att inomhus-temperaturen är  $T_i = 21^{\circ}\text{C}$ . Detta ger  $Q_u = 118^{\circ}\text{Ckh}$  enligt FIG 5.10. Energibesparingen,  $\Delta W$ , kan nu erhållas ur FIG 5.11 med  $k_f = 1.0$  och  $Q_u = 118^{\circ}\text{Ckh}$  som ingångsvärden. Diagrammet ger  $\Delta W = 86 \text{ kWh/m}^2 \text{ år}$ . Om det antas att energipriset är  $0.25 \text{ kr/kWh}$  blir värdet av energibesparingen  $E_o = 0.25 \cdot 86 = 21.5 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  (per  $\text{m}^2$  isolerad area). Av FIG 6.3a,b framgår att  $E_o = 21.5 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  är tillräckligt för lönsamhet även om energibesparingen skall betala hela insatsen.

I fall där isolertjockleken avviker från den som angivits som förutsättning för FIG 5.11 måste energibesparingen beräknas enligt EKV (5.3) och (B5.5). Tabell 5.5 ger k-värde efter tilläggsisolering som funktion av  $k_{\text{före}}$  och isolertjocklek  $d_i$ .

TABELL 5.5 k-värde efter tilläggsisolering som funktion av  $k_{\text{före}}$  och isolertjocklek  $d_i$ . Förutsättning: värmeisolering  $\lambda = 0.038$ , puts 20 mm, kramlor  $3.5/\text{m}^2$  rostfria  $\emptyset 5\text{mm}$ .

$k_{\text{före}}$	$k_{\text{efter}}$							
	$d_i$	70	80	90	100	110	120	130
0.50	0.26	0.24	0.23	0.21	0.20	0.19	0.18	
0.60	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	0.20	
0.70	0.30	0.28	0.26	0.25	0.23	0.22	0.21	
0.80	0.32	0.30	0.27	0.26	0.24	0.23	0.21	
0.90	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22	
1.00	0.35	0.32	0.30	0.27	0.26	0.24	0.23	
1.10	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.24	0.23	
1.20	0.37	0.34	0.31	0.29	0.27	0.25	0.23	
1.30	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.25	0.24	

Markeringar i tabellen visar var gränsen går för att erforderliga k-värden, motsvarande nybyggnadsstandard, skall uppnås, 0.25 för norra Sverige och 0.30 för södra Sverige.

## 5.6 Sekundära effekter

### 5.61 Operativ temperatur

En tilläggsisolering medför generellt att temperaturfallet mellan inne-luft och vägg minskar. Följden blir att personer som vistas i ett till-läggsisolerat hus kommer att omges av varmare ytor än vad som var fal-let före tilläggsisoleringen. Upplevd inomhustemperatur  $T_{op}$  (operativ temperatur) kan bestämmas som ett medeltal av lufttemperatur och om-givande ytors strålningstemperatur, se SBN 1980 och bilaga B5.6.

Villkoret att  $T_{op}$  bör förbli oförändrad även efter en tilläggsisole-ring kan uttryckas som att temperatur  $T_1$  plus  $\vec{T}_y$  skall hållas konstant.

$$T_1 + \vec{T}_y = \text{konstant}$$

varav

$$\Delta T_1 = - \Delta \vec{T}_y$$

Det betyder att lufttemperaturen kan sänkas med exempelvis en halv grad om tilläggsisoleringen medför att  $\vec{T}_y$  också ökar med en halv grad.

Som mått på det bidrag till energibesparingen som den ökade yttempera-turen kan ge införs faktorn  $f_{op}$ , se bilaga B5.6, EKV (B5.17) och (B5.26).

Beräkningar, för ett typfall, redovisade i FIG B5.4a,b (bilaga) visar att  $f_{op}$  ligger i intervallet 0.05 till 0.15. Som överslagsvärde bör 0.10 kunna användas. En på sedvanligt sätt beräknad energibesparing bör allt-så ökas med cirka 10%.

### 5.62 Utvändig - invändig tilläggsisolering

Utvändig tilläggsisolering är normalt betydligt effektivare än in-vändig. En förutsättning är då att den utvändiga tilläggsisoleringens konstruktiva utformning är sådan att luftrörelser och fukt inte för-stör isolereffekten. Metoder med puts på tilläggsisolering torde väl uppfylla sådana krav.

## 5.621 Köldbryggor

I Andersson (1979) redovisas jämförelser mellan invändig och utvändig tilläggsisolering. Jämförelserna baseras på beräkningar för ett väggfält i  $1\frac{1}{2}$ -stens tegel. Bjälklag i betong förutsätts upplagda 12 cm in i tegelmuren. Mellanväggar i tegel ansluter till ytterväggen. Ett fönster  $1200 \times 1400$  antas finnas i väggfältet. Tabell 5.6 sammanfattar några beräkningsresultat.

Tabell 5.6 Värmeförlust från ett rum definierat i texten

Isoler- tjocklek (mm)	Värmeförlust		$Q_{inv}/Q_{utv}$
	$Q_{inv}$ (W)	$Q_{utv}$ (W)	
0	568	568	1
50	347	271	1.28
100	291	204	1.43

Det framgår av tabellen att 100 mm isolering på insidan istället för på utsidan ger ca 40% sämre isolereffekt. Förklaringen till detta är att invändig tilläggsisolering inte bryter köldbryggor i form av bjälklag och mellanväggar.

Det bör noteras att det går åt mindre isolering om den läggs på insidan. Kvoten  $Q_{inv}/Q_{utv}$  kan räknas om för att avse spareffekt per volymdel isolering. Då ändras kvoten för 100 mm från 1.43 till 1.18.

Troligen kan den mindre isoleringsåtgången inte räknas som någon egentlig fördel vid invändig isolering. Det beror på att både spill och arbetsmängd ökar vid anslutning till mellanväggar och bjälklag.

I föregående avsnitt behandlades inverkan på energibehov av förändringar i operativ temperatur. En invändig tilläggsisolering leder till högre yttemperatur på ytterväggens insida på samma sätt som vid utvändig isolering. Negativt för den invändiga isoleringen blir dock att mellanväggar och bjälklag närmast ytterväggen förblir kalla.

## Exempel 5.5

Beräkna förbättringen i k-värde av 100 mm mineralull.  $k_{\text{före}}$  antas till 1.10. Vid utvändig tilläggsisolering blir  $k_e = 0.28$  enligt tabell 5.5. Om isoleringen placeras på insidan kan  $k_{\text{efter}}$  uppskattas till  $0.28 \cdot 1.4 = 0.39$ .

Utvändig tilläggsisolering ger  $\Delta k = 1.10 - 0.28 = 0.82$

Invändig tilläggsisolering ger  $\Delta k = 1.10 - 0.39 = 0.71$

Den utvändiga tilläggsisoleringen ger alltså 13% bättre spareffekt än invändig isolering. Till detta kommer inverkan av högre operativ temperatur på grund av mindre köldbryggor vid utvändig isolering.

## 5.622 Värmekapacitet

Utvändig tilläggsisolering medför att den befintliga ytterväggs värmekapacitet kan tas i anspråk som en faktor i byggnadens energibalans. En invändig tilläggsisolering tar nästan helt bort möjligheten att utnyttja ytterväggs värmekapacitet. Det finns idag inga generella kvantitativa mått på vilken betydelse värmekapaciteten i ytterväggen har. Det står dock klart att "svaret står inte att finna i enbart förbättrad värmeisolering, det måste sökas i en kombination av värmeisolering, värmekapacitet, ventilationssystem och reglersystem", Lindh (1982).

Som exempel på storleksordningar kan följande jämförelse göras :

En  $1\frac{1}{2}$ -stens tegelvägg har värmekapaciteten

$$tjocklek \cdot \rho c \approx 0.37 \cdot 1600 \cdot 850 = 500 \cdot 10^3 \text{ Ws/m}^2\text{K}$$

Efter utvändig tilläggsisolering blir k-värdet

$$k = 0.28 \text{ W/m}^2\text{K}$$

och flödet som medeltal över eldningssäsongen om  $T_u^{\text{medel}} \approx 0^\circ\text{C}$

$$k (T_i - T_u^{\text{medel}}) \approx 0.28 \cdot 20 = 5.6 \text{ W/m}^2$$

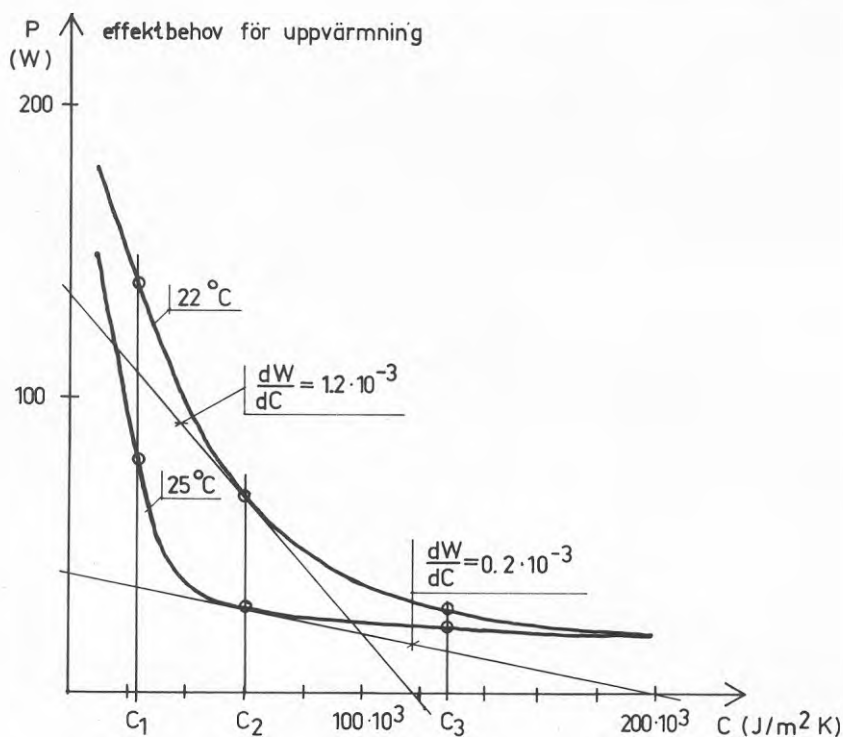
Kvoten mellan värmekapacitet och flöde blir

$$500 \cdot 10^3 / 5.6 = 90 \cdot 10^3 \text{ s/K} = 24 \text{ h/K.}$$

Det betyder att en grads ökning av den tunga väggens temperatur ger ett energilager som är tillräckligt för att underhålla flödet genom väggen

i ett helt dygn.

I Johannesson (1981) visas beräkningar som belyser värmekapacitetens betydelse. Beräkningarna gäller ett kontorsrum en solig februaridag i Stockholm. Från Johannessons rapport återges kurvor enligt FIG 5.12. Kurvorna visar hur medeleffektbehovet (från uppvärmningsanläggningen) avtar med ökad värmekapacitet. Värmekapaciteten anges som effektiv kapacitet, medeltal per  $m^2$  omslutande area. Två kurvor visas,  $T_{\max} = 22^\circ\text{C}$  och  $25^\circ\text{C}$ .  $T_{\max}$  anger den rumstemperatur över vilken instrålad solenergi ej kan nyttiggöras, den förutsätts bli avgiven genom forcerad ventilation. För rummet i exemplet varierar effektbehovet från ca 200 W då  $C$  är litet till ca 20 W då  $C$  är stort. I det senare fallet räcker alltså gratisenergin i det närmaste för att täcka behovet av uppvärmningsenergi. Då är värmekapaciteten tillräcklig för att hela gratisenergin skall kunna nyttiggöras.



Figur 5.12 Samband mellan energibehov (effekt) och värmekapacitet  $C$  för kontorsrum en solig februaridag. Maximal rumstemperatur  $22$  respektive  $25^\circ\text{C}$ .

Problemet invändig - utvändig tilläggsisolering kan studeras i anslutning till FIG 5.12. Det kan då konstateras att kurvornas lutning (derivata  $\frac{dw}{dC}$ ) bör kunna tas som mått på värmekapacitetens betydelse. Känsligheten för en förändring av värmekapaciteten blir i hög grad beroende av utgångsläget,  $C_1$ ,  $C_2$  eller  $C_3$ . Det har också stor betydelse hur stort  $T_{\max}$  som kan tolereras.

Sammanfattningsvis kan sägas att det är särskilt känsligt att genom en invändig tilläggsisolering reducera värmekapaciteten om

- o tillgänglig värmekapacitet från början är liten och om
- o toleransen mot variationer i rumsluftens temperatur är låg.





## 6 EKONOMI - LÖNSAMHET

### 6.1 Energisparstöd

Det står klart att tilläggsisolering av ytterväggar i regel inte framstår som särskilt lönsamt om energibesparingen skall betala normala ränte- och amorteringskostnader för hela insatsen. Normalt kombineras emellertid tilläggsisoleringen med en fasadrenovering. Det innebär att energibesparingen endast behöver betala den del av kostnaden som överskrider den nödvändiga renoveringskostnaden. Till detta kommer att en energibesparande investering till största delen kan finansieras med energisparlån. Dessa lån har en gynnsam amorteringsplan och för flerbostadshus utgår dessutom räntebidrag, se bilaga B6.

Genom bl a riksdagsbelust framgår att staten ser det som ett viktigt samhällsintresse att fastighetsägarna utför energibesparande investeringar. Genom de finansieringsmöjligheter som nu finns har staten sett till att det också blir fastighetsekonomiskt attraktivt att utföra tilläggsisoleringar.

### 6.2 Renoveringsbehov

#### 6.21 Tilläggsisolering vid renoveringsbehov

I samband med fasadrenovering kan tre olika investeringsfall urskiljas. Dessa fall betecknas i fortsättningen R, RT och T.

Fall R kan inträffa då det finns ett akut behov av fasadrenovering.

Fall RT inträffar då det finns behov av fasadrenovering vilken sedan utförts i kombination med en tilläggsisolering.

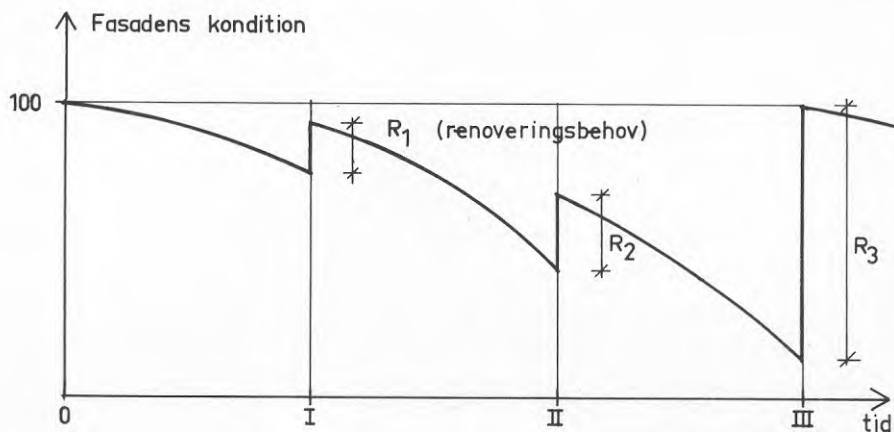
Fall T inträffar då det inte finns något behov av vanlig fasadrenovering. Det innebär att den energibesparing tilläggsisoleringen ger måste betala hela investeringen. Detta fall kan ses som ett specialfall av RT med renoveringsbehov lika med noll.

Valet kan anses stå mellan R och RT. Ofta framstår då det dyrare RT som lönsammare än det billigare R. Detta beror på att RT till största delen kan finansieras med förmånliga energilån, medan R måste finansieras med vanliga banklån (topplån) eller eget kapital som normalt måste värderas

minst i nivå med banklån (topplån).

### 6.22 Underhållsläge

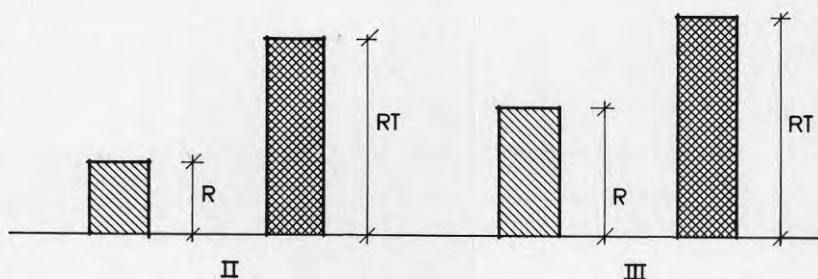
Beslutssituationen för en fastighetsförvaltare diskuteras i Wredling (1982). Underhållsläget för en fasad beskrivs enligt FIG 6.1.



Figur 6.1 Underhållsläget för en putsad fasad, 100% motsvarar nyskick.

I punkt III måste en genomgripande renovering utföras. Det räcker där inte längre med lagning och omfärgning. Om man ser till bostadsbeståndet i stort bör det finnas byggnader utefter hela skalan 0-III. De byggnader som i första hand är aktuella för tilläggsisolering ligger naturligtvis i närheten av punkt III på skalan. Det finns dock också anledning att överväga tilläggsisolering i samband med det renoveringsbehov som finns i punkt I och II på skalan. I FIG 6.2 visas hur investeringskostnaden principiellt fördelas vid olika alternativ.

En fasadrenovering och tilläggsisolering vid tidpunkt I eller II innebär att ett visst kvarvarande värde måste avskrivras direkt vid renoveringen. Om man å andra sidan väntar till tidpunkt III kan renoveringen bli mera komplicerad, exempelvis genom att den gamla putsen måste huggas ner före tilläggsisoleringen.



Figur 6.2 Kostnad endast fasadrenovering (R). Kostnad, fasadrenovering + tilläggsisolering (RT). Underhållsläge II och III se FIG 6.1.

FIG 6.3 i avsnitt 6.3 visar den stora betydelsen underhållsläget har för lönsamheten. Då renoveringsbehovet är relativt stort behövs det en mycket liten energibesparing för att insatsen skall bli lönsam.

### 6.3 Investeringskalkyl

För att kunna bedöma lönsamheten i en energibesparande insats krävs att någon form av investeringskalkyl utförs. Den enklaste formen av investeringskalkyl innebär att den så kallade återbetalningstiden beräknas. Den erhålls som kvoten mellan investering och årlig energibesparing. Denna metod kan användas för en grovsällning av olika tänkbara åtgärder.

En mera nyanserad kalkyl kan erhållas om kapitalvärdemetoden tillämpas. I bilaga B6 visas hur den metoden kan anpassas till de ändamål som är aktuella här.

Framställningen här ger i första hand underlag för en bedömning av när det är lönsamhet i att välja renovering + tilläggsisolering framför endast renovering. Då man överväger att utföra en tilläggsisolering av ytterväggar av enbart energisparskäl bör givetvis denna insats jämföras med lönsamheten hos andra tänkbara åtgärder.

### 6.31 Aterbetalningstid

Med tillämpning på tilläggsisolering kan återbetalningsmetoden beskrivas på följande sätt. Aterbetalningstiden beräknas enligt EKV (6.1)

$$t_a = \frac{G_{RT} - G_R}{E_0} \quad (\text{år}) \quad (6.1)$$

$G_{RT}$  investeringskostnad för renovering + tilläggsisolering (kr/m<sup>2</sup>)

$G_R$  investeringskostnad för endast (nödvändig) renovering (kr/m<sup>2</sup>)

$E_0$  energibesparing år 1 (kr/m<sup>2</sup> år)

Om det förutsätts att energipriset kommer att stiga snabbare än inflationen kan detta beaktas genom att  $E_0$  justeras uppåt.

Då återbetalningsmetoden tillämpas vid jämförelse mellan olika alternativ blir valkriteriet: Det alternativ som har den kortaste återbetalningstiden är gynnsammast.

Då det skall avgöras om ett givet alternativ är tillräckligt gynnsamt uppstår problem. Det blir då nödvändigt att använda "tumregler" som innebär att en investering bör utföras om  $t_a$  blir mindre än viss givet värde. Problemet ligger då i att fastställa detta värde. Den som har höga förräntningskrav sätter  $t_a$  lågt.

### 6.32 Kapitalvärdemetoden

Kapitalvärdemetoden (se bilaga B6) innebär, då den tillämpas på tilläggsisolering, att investeringens kapitalvärde,  $V$ , tecknas som skillnaden mellan energibesparing,  $E$  och kostnaden,  $G$  för investeringen. Om  $V$  blir större än noll anses investeringen lönsam.  $V$  erhålls genom summering över hela kalkylperioden.

Ofta har man anledning att välja mellan olika investeringsalternativ. Då beräknas först kapitalvärdet  $V$  för vart och ett av dessa. Det alternativ som ger det största kapitalvärdet bör väljas.

Villkor för att en investering skall vara lönsam blir alltså

$$V > 0 \quad (6.2)$$

Eftersom det är mest aktuellt att jämföra alternativen renovering, R och renovering + tilläggsisolering RT, blir kriteriet normalt

$$V_{RT} - V_R > 0 \quad (6.3)$$

för att RT skall föredras framför endast R.

### 6.33 Diagram

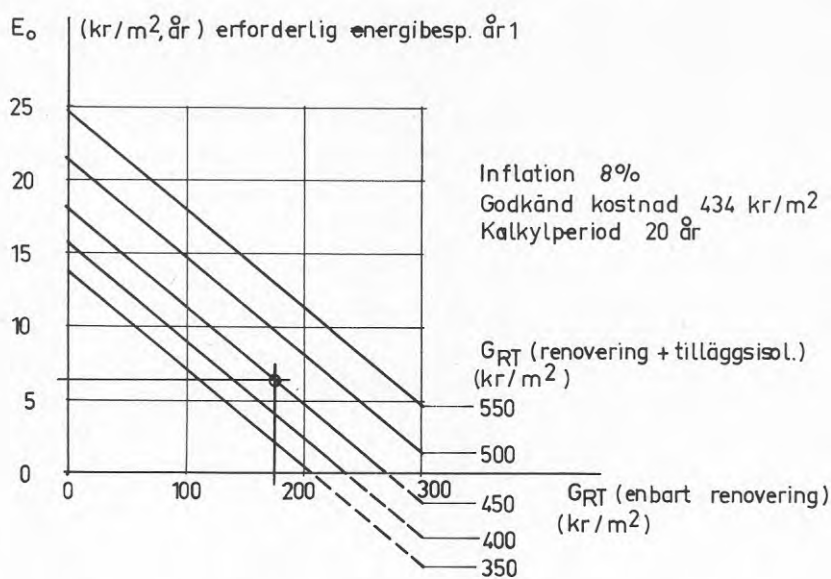
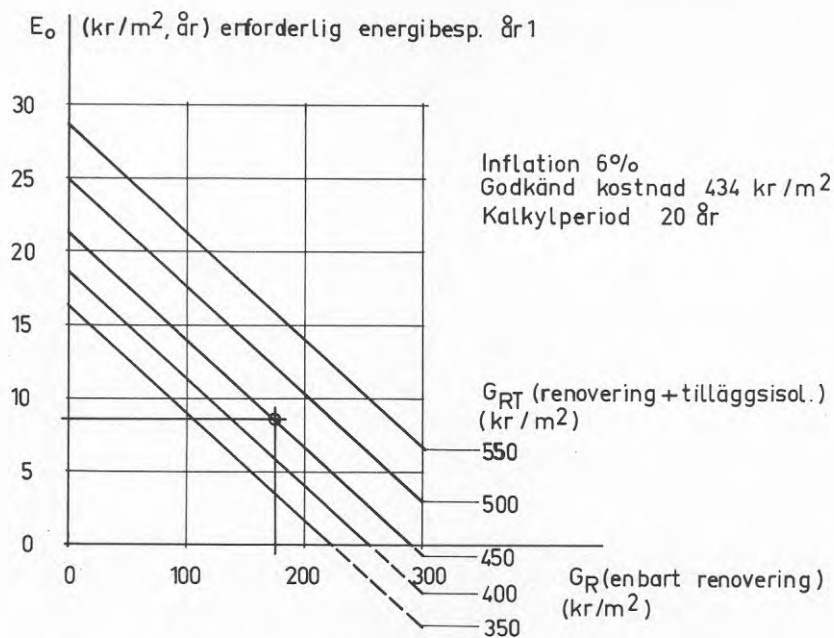
Om kapitalvärdeometoden skall tillämpas på ett sätt som beaktar lånevillkor, räntebidrag m m blir beräkningsarbetet omfattande. Nedan och i bilaga B6 visas resultatet av beräkningar som i huvudsak baseras på nu gällande lånevillkor m m. Försiktigtvis har energiprisstegringen endast antagits till en procentenhet över inflationen. Den årliga inflationen har också antagits relativt låg.

Diagrammen i FIG 6.3 a,b visar att renoveringsbehovet har stor inverkan på lönsamheten i en utvändigt tilläggsisolering. Diagrammen baseras på förutsättningar i bilaga B6 och att godkänd kostnad  $GK = 434 \text{ kr/m}^2$  som motsvarar  $m_t = 2.6 \text{ m}^2/\text{W/K}$ .

#### Exempel 6.1

Bestäm erforderlig energibesparing  $E_0$  ( $\text{kr/m}^2$  år) om kostnaden för renovering + tilläggsisolering är  $G_{RT} = 450 \text{ kr/m}^2$  och för enbart renovering är  $G_R = 175 \text{ kr/m}^2$ .

Resultat: Som ingångsvärden i diagrammen används 175 och  $450 \text{ kr/m}^2$  vilket ger  $E_0 = 8$  respektive  $6 \text{ kr/m}^2$  år beroende på vilket antagande om inflation som väljs.



Figur 6.3 a,b. Erforderlig energibesparing  $E_0$  för att puts på tilläggsisolering skall bli lönsam framför enbart fasadrenovering.

De tabeller som tillämpades i exempel 6.1 förutsätter att godkänd kostnad är  $434 \text{ kr/m}^2$  isolerad yta. I bilaga B6 finns ett par diagram, FIG B6.1, som kan användas då andra värden på godkänd kostnad gäller.

### Exempel 6.2

Tilläggsisolering utan renoveringsbehov.

Förutsättningar:

Godkänd kostnad  $GK = 400 \text{ kr/m}^2$

Investeringskostnad  $G_{RT} = 425 \text{ kr/m}^2$

Inget renoveringsbehov  $G_R = 0$

Antag inflationen till 8%.

Sökt:

Erforderlig energibesparing för lönsamhet.

Beräkningar:

Ingångsvärden i FIG B6.1b blir

$$G_{RT}/GK = 425/400 = 1.06$$

$$G_R/GK = 0$$

$$\text{varav } GK/E_0 = 23 \text{ och } E_0 = 400/23 = 17.4 \text{ kr/m}^2$$

### Exempel 6.3

Enligt exempel 6.2 med undantag av att ett renoveringsbehov  $G_R = 160 \text{ kr/m}^2$  förutsätts.  $G_R/GK = 160/400 = 0.40$  och  $G_{RT}/GK = 1.06$  ger  $GK/E_0 = 48$  och  $E_0 = 400/48 = 8.3 \text{ kr/m}^2$ .

FIG 6.3a,b och FIG B6.1a,b visar gränsen för lönsamhet sett över hela kalkylperioden. Att det blir överskott vid summering av nuvärden över hela kalkylperioden behöver naturligtvis inte utan vidare innebära att investeringen skall göras. Det kan t ex vara olämpligt av likviditets-skäl att underskott i början av kalkylperioden måste vägas upp av överskott som utfaller i slutet av perioden.

FIG B6.2 och B6.3 visar resultatet av en beräkning där energibesparingen antagits till  $E_0 = 16 \text{ kr/år m}^2$  (första året). Om energibesparingen skall betala hela investeringen går det inte ihop. Detta framgår av FIG B6.2. Underskotten i början kan inte helt vägas upp av överskotten i slutet om

kalkylperioden sätts till 20 år. En förlängning till 25 år ger dock överskott.

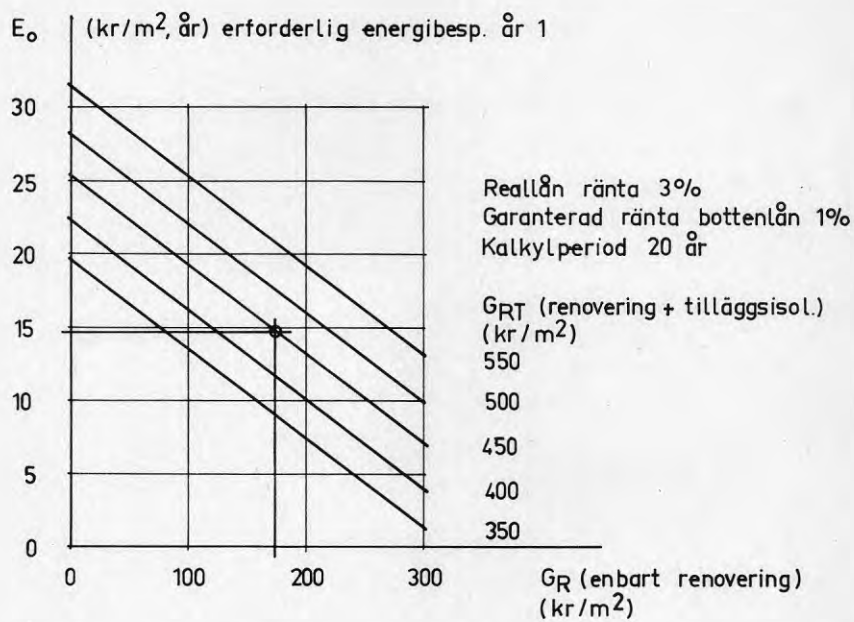
FIG B6.3 visar den mera relevanta situationen där en jämförelse görs mellan renovering + tilläggsisolering (RT) och enbart renovering (R). I början av kalkylperioden ger både RT och R underskott men RT ger de minsta underskotten. Det innebär att RT-alternativet redan från början blir gynnsammast. Sett över hela kalkylperioden blir i exemplet utfallet mycket gynnsamt för RT-alternativet även om kalkylperioden begränsas till 20 år.

De diagram som visas i FIG B6.1 baseras på försiktiga antaganden. Om de senaste tio årens ca 10-procentiga inflationstakt extrapoleras över kalkylperioden skulle i stort sett alla energibesparande åtgärder framstå som lönsamma.

I en statlig utredning SOU 1982:1 studeras vilka konsekvenser en omläggning från nuvarande lån (penninglån) till reallån skulle få. Där diskuteras en realränta på 2-3% och en garanterad ränta på 1%. Även om detta kan framstå som mycket låga räntor blir reallånen ogynnsammare sett över hela kalkylperioden än de nuvarande lånen. Detta framgår av FIG 6.4 som gäller för reallån med i övrigt lika förutsättningar som för FIG 6.3a,b.

Med förutsättningar enligt exempel 6.1 blir erforderlig energibesparing ungefär  $14 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  istället för  $8$  respektive  $6 \text{ kr/m}^2 \text{ år}$  med nuvarande låneregler.





Figur 6.4 Erforderlig energibesparing  $E_0$  för att puts på tilläggsisolering skall bli lönsam framför enbart fasadrenovering, reallån förutsätts.



## 7 FUKTPROBLEM

### 7.1 Funktion ur fuktsynpunkt

En utvändig tilläggsisolering medför att den befintliga väggen blir varmare efter än före åtgärd. Detta leder till att jämviktsfukthalten i väggen med tiden bör avta. Till detta kommer att fukttilförseIn till den befintliga väggen också normalt avtar. Det beror på att den nya putskakan utanför isoleringen kommer att fungera som en regnkappa.

Puts på utvändig tilläggsisolering kan normalt förväntas fungera bra ur fuktsynpunkt. Några punkter bör dock särskilt beaktas.

- o Fasaden får inte vara starkt nedfuktad då isoleringsarbetet utförs. Det kan i så fall ta mycket lång tid innan uttorkningen nått jämviktsnivå. Det innebär att negativ fuktpåverkan kan hinna uppstå under uttorkningsprocessen, exempelvis i form av korrosion på infästningsdetaljer och/eller nedsatt vidhäftning i klistringsbruk.

Vilken grad av nedfuktning som kan tillåtas är beroende av konstruktionsdelarnas fuktkänslighet samt uttorkningsmöjligheterna. Utvändig tilläggsisolering innebär att det blir ett i många fall avsevärt tillskott till ångmotståndet på väggens utsida. Det betyder att den befintliga väggens uttorkning i hög grad blir beroende av att uttorkning inåt kan ske. Kravet på låg fuktnivå i befintlig vägg, då utvändig tilläggsisolering skall utföras, är särskilt starkt då tilläggsisoleringen har stort ångmotstånd som då cellplast används och då möjligheterna till uttorkning inåt är små p g a ångtäta skikt på väggens insida.

- o Detaljutformning vid fönsterhål och liknande måste ta sikte på att regnfukt inte skall kunna ledas in i ytterväggen. Vid olämplig utformning kan relativt stora fuktmängder komma in på kort tid. Eftersom fukten sedan måste avges genom diffusion tar uttorkningen lång tid. Om befintlig vägg innehåller fuktkänsliga delar kan fuktskador uppstå. Ökad fukthalt i väggar ger dessutom alltid upphov till nedsatt värmeisolerande förmåga.

- o Extremt ångtäta fasadskikt innebär att hela väggen så småningom ställer in sig i fuktjämvikt med inneluften. Detta kan beräkningsmässigt leda till höga fukttillstånd p g a ångdiffusion speciellt i övergången mellan isolering och fasadskikt. Om fritt vatten i form av regnfukt dessutom kommer in förvärras tillståndet.

Med hänsyn till ovan angivna punkter är det motiverat att för varje isolersystem utföra fuktberäkningar baserade på för systemet aktuella materialegenskaper.

## 7.2 Kondensberäkning

En vanlig kondensberäkning utförd enligt exempelvis Nevander & Elmars-son (1981) ger viss information om vad som händer termiskt och fukt-  
mässigt då en yttervägg tilläggsisoleras.

Beräkningar redovisas här för tre fall.

### Fall 1

Väggen förutsätts uppbyggd av skikt med  $\lambda$ -värden, skiktjocklekar och ånggenomsläpplighet  $\delta$  enligt tabell.

TABELL 7.1 Kondensberäkning Fall 1

Skikt	m (m <sup>2</sup> K/W)	$\lambda$ (W/mK)	d (m)	$\delta$ (m <sup>2</sup> /s)
Inne $m_i$	0.20			
Puts		1.0	0.015	$10^{-6}$
Murverk tegel		0.6	0.37	$3.5 \cdot 10^{-6}$
Puts		1.0	0.015	$10^{-6}$
Mineralull		0.04	0.10	$20 \cdot 10^{-6}$
Puts		1.0	0.02	$2 \cdot 10^{-6}$
Ute $m_u$	0.05			

Utfallet av en kondensundersökning bestäms förutom av materialdata också av ute- och inneklimat. Här antas uteklimatet till  $T_u = -4.1$  och  $\phi_u = 90\%$  vilket motsvarar medelförhållanden under de två kallaste månaderna av en eldningssäsong i västeråstrakten.

För att få en uppfattning om hur förändrade förutsättningar påverkar beräkningsresultatet justeras förutsättningarna i Fall 1 på ett par punkter.

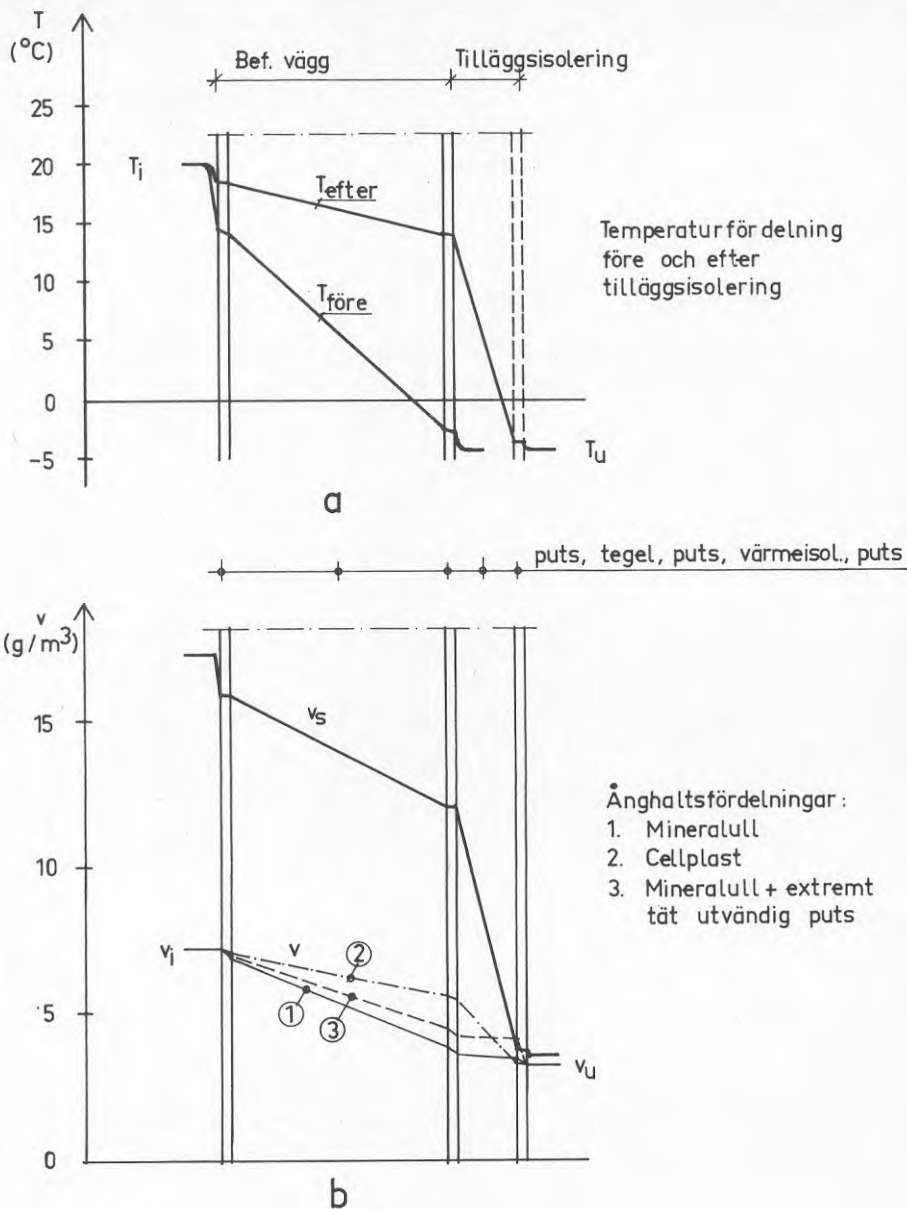
### Fall 2

Mineralullen förutsätts här utbytt mot cellplast med  $\delta = 0.6 \cdot 10^{-6}$ .

### Fall 3

Putsen på utsidan av mineralullen förutsätts i detta fall vara mycket ångtät med  $\delta = 0.5 \cdot 10^{-6}$ .

Beräkningsresultatet redovisas grafiskt i FIG 7.1 a,b.



Figur 7.1 a,b. Resultat av kondensberäkning

FIG a visar temperaturfördelning före och efter tilläggsisolering. Det framgår där att den befintliga väggens temperatur närmar sig temperaturen i ineluften.

Avgörande för om kondens p g a diffusion kan inträffa i något skikt är

om aktuell ånghalt tenderar mot mätnadsånghalten vid den aktuella temperaturen, se FIG 7.1 b.

För både Fall 1 och 2 gäller att aktuell ånghalt blir lägre än mätnadsånghalten överallt i väggen.

I Fall 3 har putsen på utsidan antagits mycket tät. Därför uppstår kondens i ytan mellan mineralull och utvändig puts. Den kondenserade fukt-mängden blir emellertid, enligt beräkningen, mycket liten, ungefär  $65 \text{ g/m}^2$  på två månader. Denna fuktmängd måste anses som betydelselös vid sidan av de stora kvantiteter fukt som kan tillföras putsskiktet genom slagregn.

Fuktinnehåll ( $w$ ) i material kan anges som  $\text{kg fukt per m}^3$  material. En fukttilförsel på  $65 \text{ g/m}^2$  till ett putsskikt som är  $0.02 \text{ m}$  tjockt ger en ökning av  $w$  med endast  $0.065/0.02 = 3.3 \text{ kg/m}^3$  vilket endast svarar mot någon procent av tillgänglig porvolym.

Även om ogynnsammare klimatförutsättningar antas förändras inte omdömet att det endast är mycket små fuktmängder som kan kondensera inuti väggen under en vinterperiod. De små fuktmängderna det blir fråga om torkar snabbt ut då vädret blir bättre med högre utomhustemperatur och sol- och himmelsstrålning mot fasaden. Detta gäller speciellt om kondenserad fukt på fasadskiktets insida kapillärt kan transporteras till utsidan för att där avdunsta.

### 7.3 Slagregn

#### 7.31 Putskakans fuktbalans

Puts på tilläggsisolering innebär att ett putsskikt ansluts till ett underlag som är icke sugande. Vid traditionell användning av puts på murverk gäller att underlaget ofta kan vara kraftigt sugande. Detta är principiellt fallet då lättbetong är underlag, Sandin (1980).

Den principiella skillnaden mellan puts på sugande och icke sugande underlag kan beskrivas på följande sätt.

Då slagregn träffar ett utvändigt putsskikt stiger fukthalten i putsen snabbt. Om slagregnet är kraftigt närmar sig fukthalten mätnadsvärdet för den aktuella putsen. Då slagregnet slutat börjar fukthalten i put-

sen att avta. Långsamt i fallet puts på icke sugande underlag och snabbt i det andra fallet då underlaget är sugande. I första fallet måste fukten avges huvudsakligen genom fuktavgivning utåt. I andra fallet reduceras fukthalten i putskakan genom att det sugande underlaget snabbt suger fukt från putsen in i underlaget.

Av det sagda framgår att man bör räkna med att putskakan, i fallet puts på icke sugande underlag, periodvis kan få hög fukthalt. Eftersom detta även kan inträffa i samband med temperaturer kring fryspunkten följer därav att risken för frysskador i putsen bör mötas genom att frysresistent puts används. Sådan puts erhålls genom luftinblandning och inte alltför låg cementshalt.

Det kan här nämnas att frysskador i någon nämnvärd omfattning inte observerats då puts på tilläggsisolering tillämpats. Det är möjligt att man i traditionell användning av puts förklarar skador som orsakade av frysning där orsaken egentligen varit en helt annan. Exempelvis framkallade av de skjuvspänningar (vidhäftningsspänningar) som uppstår mellan underlag och puts p g a temperatur- och fuktvariationer. Vid tillämpning av någon av kramlemetoderna bortfaller skaderisken p g a vidhäftningsspänningar.

#### Exempel 7.1

##### Putskakans uttorkning efter slagregn.

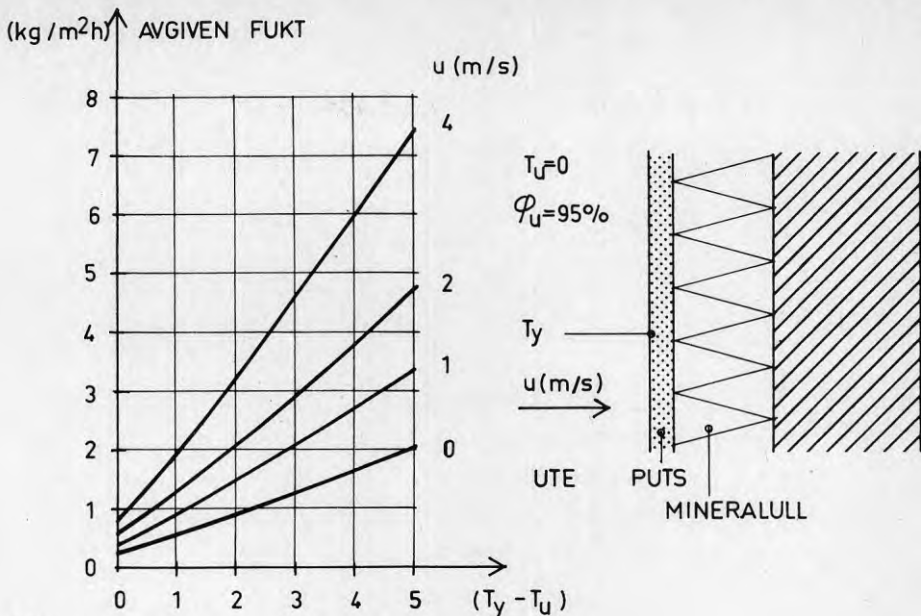
Frysskador kan endast uppstå då fukthalten ligger nära mättnad. Man kan därför räkna med att fuktavgivningen från putsen försiggår efter principen avdunstning från fri vätskeyta. Det förutsätts att fukten måste avges från putsen till uteluften.

Den mängd fukt som kan avges per tidsenhet bestäms främst av differensen mellan putsens och uteluftens temperatur ( $T_y, T_u$ ), samt vindhastigheten ( $u$ ). Putsens temperatur bestäms i sin tur av sol- och himmelsstrålning samt värmeinflöde inifrån.

FIG 7.2 visar hur mycket fukthalten,  $w$ , avtar per timme. Om  $t$  ex vindhastigheten är  $u=1$  och  $T_y-T_u=1^{\circ}\text{C}$  blir reduktionen i fukthalten ungefär  $1 \text{ kg/m}^3\text{h}$  eller  $24 \text{ kg/m}^3$  och dygn.

Beräkningen visar alltså att fukthaltsreduktionen kan gå relativt snabbt.

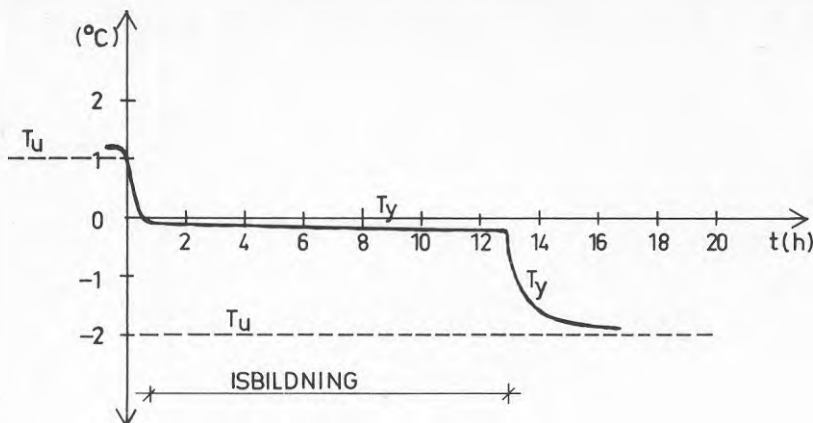




Figur 7.2 Reduktion av fukthalten  $w$  i en putskaka p g a avdunstning till uteluften

En faktor som har betydelse i sammanhanget är att putskakans temperatur kommer att stanna kvar vid  $T_y=0$  även om utetemperatur,  $T_u$ , sjunker under noll. Denna situation vidmakthålles så länge det finns ofruset vatten (och därigenom smältvärme) i putskakan. Fuktaavgivningen kan därför fortsätta även sedan utetemperatur,  $T_u$ , sjunkit under noll. Förhållandet mellan smältvärme och ångbildningsvärme är 13%. Det betyder att smältvärmets teoretiskt räcker för att avdunsta 13% av fukttätheten i putskakan innan den är genomfrusen. I verkligheten kommer en stor del av smältvärmets att avges genom vanlig värmeövergång från den nollgradiga putskakan till den kallare uteluften. En beräkning antyder att fukttätheten reduceras med ungefär 5% om  $T_u$  antas falla (momentant) från  $1^{\circ}\text{C}$  till  $-2^{\circ}\text{C}$ .

Vid beräkningen har förutsatts att avdunstningen kan fortgå obehindrat även från den partiellt frusna putsen. I verkligheten torde avdunstningen avta allteftersom en växande del av vattnet blir fruset. FIG 7.3 visar hur temperaturen,  $T_y$ , i putskakan avtar då  $T_u$  momentant ändras från  $1^{\circ}\text{C}$  till  $-2^{\circ}\text{C}$ , fukttätheten i putskakan har antagits till  $300 \text{ kg/m}^3$ . Temperaturen,  $T_y$ , sjunker först snabbt till noll. Därefter håller sig temperaturen strax under noll så länge det finns ofruset vatten. Då allt vatten frusit ansluter sig  $T_y$  till utetemperatur.



Figur 7.3 Putskakans temperatur,  $T_y$ , som funktion av tiden ( $t$ ). Utetemperaturen,  $T_u$ , antas avta momentant från  $1^{\circ}\text{C}$  till  $-2^{\circ}\text{C}$  vid tiden  $t=0$ .

### 7.32 Vattenfilm

Ett slagregn som är mycket kraftigt kan leda till att putsakakan blir i det närmaste vattenmättad. Om slagregnet fortsätter därefter kommer fritt vatten att rinna på fasaden. En vattenfilm bildas.

Vanlig KC-puts (utan vattenavvisande ytbehandling) har relativt stor vattensugande förmåga. Det betyder att man knappast behöver räkna med att vatten skall rinna på fasaden förrän hela putsakakan är mättad (kapillär mättnad).

#### Exempel 7.2

##### Putskakans förmåga att ta upp slagregn

En putsakakan i KC-puts 25 mm tjock antas ha en porvolym på 40%. Det ger en fukthalt vid mättnad på  $400 \text{ kg/m}^3$ . Hela denna volym kan i regel inte fyllas genom kapillärsugning. Om det antas att  $300 \text{ kg/m}^3$  kan tas upp, innebär detta  $300 \cdot 0.025 = 7.5 \text{ kg/m}^2$ . Ett slagregn som är mindre än  $7.5 \text{ kg/m}^2$  kan således helt absorberas av putsakakan. Större slagregn än  $7.5 \text{ kg/m}^2$  skulle då leda till att vatten börjar rinna på fasaden. Man kan troligen utgå från att slagregn som ger vattenfilm på putsad yta är sällsynta. Om det skulle inträffa i utsatta lägen blir det i första hand fasadens ränder som råkar ut för vattenfilm. Då tunna putsskikt med liten vattensugning används bör även relativt små fasadslagregn kunna leda till vattenfilm.

### 7.33 Sprickor och fogar

Sprickor kan endast leda in större fuktmängder i isoleringen genom vindtryck på vattenfilm. Risker med sprickor från fuktsynpunkt måste alltså ses i relation till sannolikheten för att vattenfilm skall bildas vid slagregn. Se beräkningen ovan, exempel 7.2.

Fogar ges normalt en bredd som hindrar att vattenfilm bildas över den. Detta uppnås om fogbredden sätts större än 4-5 mm. Fogutformningen måste givetvis vara sådan att vatten inte kan rinna in i väggen p g a tyngdkraften.

Vertikala fogar kan bildas genom uppskärning i efterhand. Dessa har utan synbara problem i många fall lämnats öppna. Det är rimligt förvänta sig att det också skall gå bra eftersom mineralullen bakom har mycket liten kapillärsugning.

Horisontella fogar måste ges en utformning som förhindrar att vatten av tyngdkraften kan ledas in i väggen. Detta motiveras av att vattenfilm lokalt inte kan uteslutas.

Utformning kring fönster måste ta sikte på att vatten hindras komma in i fasaden där. I samband med utvändigt tilläggsisolering erhålls djupa fönstersmygar. Den nedre delen av smygen måste utformas så att tillräcklig lutning på fönsterblecket erhålls. Teoretiskt kan vatten transporteras upp för en mycket brant lutning vid stark vind.

### 7.4 Instängd fukt

Den fukt som finns i den befintliga väggen då en tilläggsisolering utförs blir temporärt instängd. Uttorkningshastigheten blir beroende av ångtätheten hos tilläggsisolering och väggens insida.

I ogynnsamma fall är det tänkbart att relativa ånghalter på nära 100% kan kvarstå lång tid.

För att belysa problemet instängd fukt visas här ett exempel.

## Exempel 7.3

Uttorkning av instängd fukt

En yttervägg i lättbetong förutsätts vara nedfuktad p g a slagregn. Det ur uttorkningspsynpunkt ogynnsammaste fallet erhålls om väggens insida har en tät ytbehandling (ångmotstånd  $Z_i$ ), och om samtidigt tillläggsisoleringen består av cellplast.

TABELL 7.2 Förutsättningar till exempel 7.3

Skikt	m ( $\text{m}^2\text{K/W}$ )	$\lambda$ ( $\text{W/mK}$ )	d (m)	$\delta$ ( $\text{m}^2/\text{s}$ )	Z (s/m)
Inne	0.20				$Z_i$
Puts		1.0	0.015	$1 \cdot 10^{-6}$	
Lättbetong		0.20	0.20	$10 \cdot 10^{-6}$	
Puts		1.0	0.015	$1 \cdot 10^{-6}$	
Cellplast		0.04	0.10	$0.6 \cdot 10^{-6}$	
Puts		1	0.005	$1 \cdot 10^{-6}$	
Ute	0.05				

Som klimatförutsättning antas årsmedelförhållanden för mellansverige med  $T_u = 5.9^\circ\text{C}$ ,  $\phi_u = 85\%$ ,  $T_i = 21^\circ\text{C}$  och fukttillskott (fuktproduktion inomhus)  $3.5 \text{ g/m}^3$ , Nevander & Elmarsson (1981). Fukthalten i lättbetongen kan vid jämvikt antas vara ca  $30 \text{ kg/m}^3$ . Fasadslagregn på  $20 \text{ kg/m}^2$  kan i utsatta lägen förekomma. Om det antas att hälften därav stängs in blir fukthalten i lättbetongen  $w = 30 + 10/0.2 = 80 \text{ kg/m}^3$ . Ett  $w = 50 \text{ kg/m}^3$  svarar mot  $\phi = 90\%$  i lättbetongen. Det innebär att  $30 \text{ kg/m}^3$  eller  $30 \cdot 0.2 = 6 \text{ kg/m}^2$  måste avges för att den relativa ånghalten i lättbetongen skall komma ner till nivån 90%.

Överslagsmässigt kan erforderlig tid (t) för att  $6 \text{ kg/m}^2$  skall avges beräknas genom att fukten i lättbetongen antas avgiven från murverkets mitt där temperaturen är  $18.2^\circ\text{C}$ . Eftersom  $\phi$  skall avta från ca 100 till 90% sätts, vid beräkningen,  $\phi = 95\%$  för porluften i lättbetongen. Uttorkningstiden blir i hög grad beroende av hur ångtätt ( $Z_i$ ) ytskiktet på väggens insida är.

Beräkningen ger följande uttorkningstider som funktion av  $Z_i$ , se tabell 7.3.

TABELL 7.3 Uttorkning av instängd fukt, inverkan av tätt skikt på insida

$Z_i$ (s/m)	t (år)
0	0.8
10 000	1.0
20 000	1.2
30 000	1.4
40 000	1.6
50 000	1.7
100 000	2.2
$\infty$	4.3

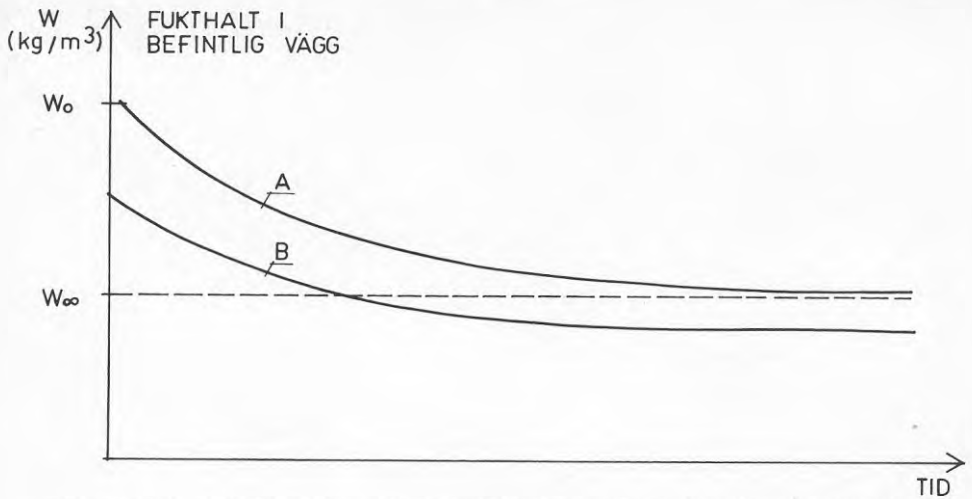
Beräkningen visar att högt fukttillstånd kan stå kvar under lång tid speciellt om det finns en ångtät beklädnad på väggens insida. Ett färgskikt (PVC 30-40  $\mu\text{m}$ ) ger ungefär  $Z_i = 50\,000$  s/m. Om uttorkningen skulle ske enbart utåt blir erforderlig tid över 4 år.

#### Kontroll av fukthalt

Innan tilläggsisolering utförs bör en kontroll göras med avseende på fukthalt i befintlig vägg. Omfattning och noggrannhet i denna kontroll bör anpassas till uttorkningsmöjligheterna efter tilläggsisolering.

Kontrollen kan ske genom att prover tas ut för bestämning av fuktkvot (fukthalt). Alternativt eller i kombination kan den relativa ånghalten bestämmas genom mätning i hål som tas upp i murverket. Mätvärdena kan sedan ställas i relation till sorptionskurvan för aktuellt material.

Det finns idag inte underlag för att formulera klara praktiskt tillämpbara fuktkriterier. Principiellt kan dock problemet beskrivas med utgångspunkt från ett samband mellan fuktnivå och tid, se FIG 7.4.



Figur 7.4 Principiella uttorkningsförlopp. Kurva A antas representera ett förlopp (gränskurva) som inte ger fuktproblem. Kurva B representerar ett fall där uttorkningen går tillräckligt snabbt.

I figuren representerar  $w_{\infty}$  en fuktnivå som är acceptabel på lång sikt. Det räcker dock inte bara att denna nivå nås. Det måste också ske i tiden så att fuktskador inte hinner uppstå under själva uttorkningsförloppet. Ett uttorkningsförlopp klart på säkra sidan representeras av kurva B.

Alla rimliga åtgärder bör vidtas för att förhindra höga fuktnivåer p g a instängd fukt.

## B3 SPÄNNINGAR OCH RÖRELSER

### B3.1 Beräkningsmodell, spänningar och rörelser

I kapitel 3 visas hur spänningar i putskakan kan beräknas med hjälp av enkla formler.

Egentligen är problemet puts på eftergivligt underlag komplicerat ur statisk synpunkt. Finita elementmetoder kan givetvis alltid användas. Då bör man kunna beakta ett stort antal faktorer på en gång; inverkan av fönsterhål, varierande fasthållning, ojämn uppvärmning m m.

Speciellt i syfte att studera inverkan av egentygnd och samtidig krympning visas här en beräkningsmetod som utgår från ett antal förenklade antaganden. Lösningen erhålls därigenom ur ett ekvationssystem med lika många obekanta som antalet kramlor i en rad.

Beräkningsmodellen som visas här baseras på att en putskaka (en vertikal eller horisontell remsa) bärs av kramlor och att den påverkas av egentygnd och krympning.

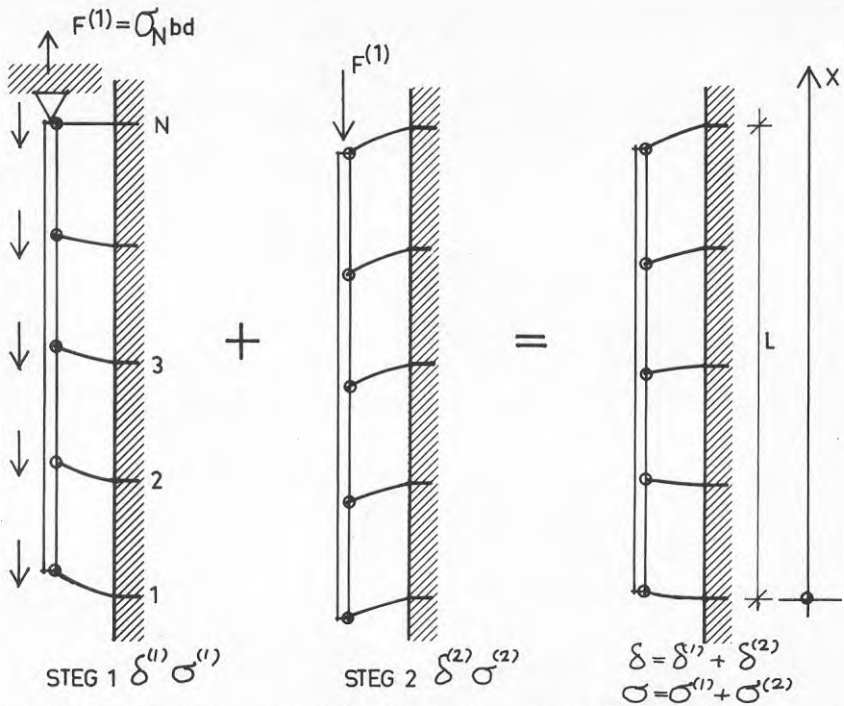
Spänningar och rörelser beräknas i två steg, 1 och 2. Steg 1 förutsätter att putskakan är fasthållen vid den översta kramlan (eller i en symmetri-linje då putsfältet är horisontellt). Steg 2 innebär att spänningar och rörelser bestäms då putskakan påverkas av den fasthållningskraft som beräkningen i steg 1 ger. Se FIG B3.1.

#### B3.11 Beräkning baserad på Hooke's lag

Det förutsätts här att Hooke's lag gäller för kramlorna, EKV (3.10)

$$f = k \cdot \delta$$

Förskjutningskraft  $f$  i kramlan antas variera linjärt med förskjutningen  $\delta$ . Koefficienten  $k$  är en proportionalitetsfaktor (styvhetsfaktor).



Figur B3.1 Beräkningsmodell för beräkning av rörelser och spänningar.

#### Steg 1

Putskakan antas fasthållen i punkt  $X=L$  så att rörelsen i den  $N$ :te kramlan blir noll, dvs  $\delta_N = 0$ . Se FIG B3.1.

Det förutsätts att puts-kakan påverkas dels av en yttre last  $q_0$  ( $N/m^2$ ) som i de flesta fall är egentyngd och dels en krympning  $\epsilon_0 \cdot L$ . Egentyngden  $q_0$  antas förd till punkter som ligger i anslutning till kramlornas infästningspunkter, se FIG B3.2 a,b.

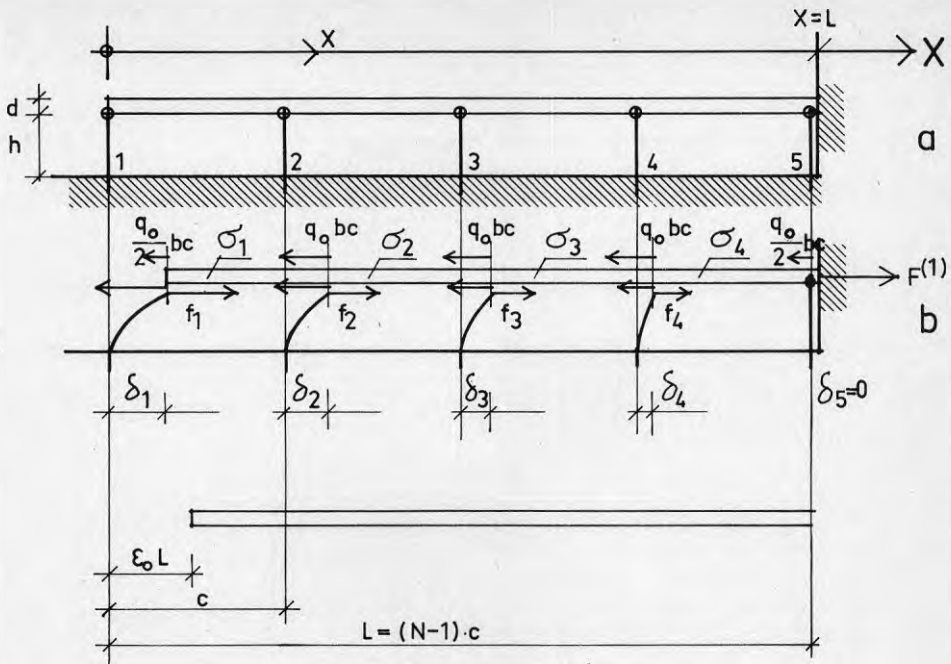
När putsfältet krymper uppstår förskjutningar i kramlorna  $\delta_1$   $\delta_2$  osv. Hooke's lag gäller för kramlorna, EKV (3.10)

$$f = k \cdot \delta$$

Spänningen i putsen mellan kramla  $i$  och  $i+1$  blir

$$\sigma_i = \frac{1}{bd} \left( \sum_{v=1}^i k_v \delta_v + bcq_0 \left( i - \frac{1}{2} \right) \right) \quad (B3.1)$$





Figur B3.2 a,b Putskakan fasthållen i den översta (högra) kramlan. Figur a) putska och kramlor. Figur b) beteckningar och jämvikt för putskan.

Skillnaden i förskjutning mellan två närliggande kramlor blir

$$\delta_i - \delta_{i+1} = \left( \epsilon_0 - \frac{\sigma_i}{E} \right) \cdot C \quad (\text{B3.2})$$

EKV (B3.1) och (B3.2) kombineras vilket ger

$$\delta_i - \delta_{i+1} + \sum_{v=1}^i K_v \delta_v = \epsilon_0 C - \left( i - \frac{1}{2} \right) \delta_0 \quad (\text{B3.3})$$

där koefficienterna  $K$  och  $\delta_0$  är

$$K_v = \frac{k_v C}{E b d} \quad (\text{B3.4})$$

$$\delta_0 = \frac{q_0 C^2}{E d} \quad (\text{B3.5})$$

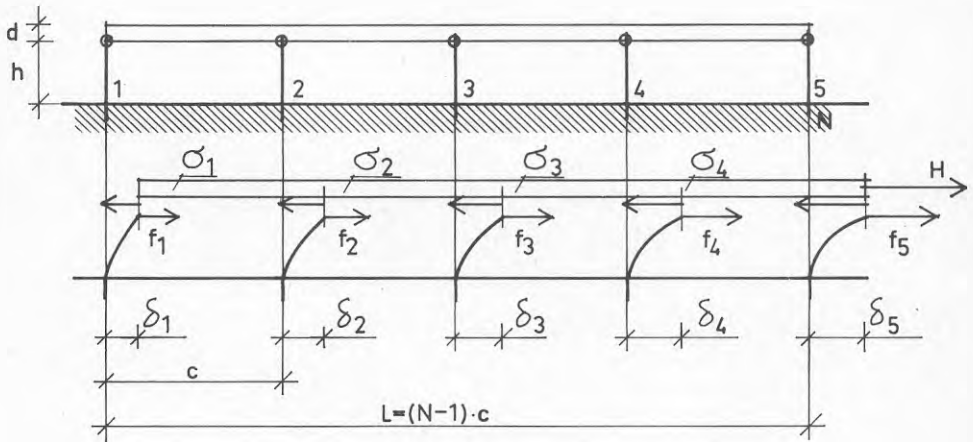
EKV (B3.3) ger  $\delta_1 \delta_2 \dots \delta_{N-1}$  och enligt förutsättning är  $\delta_N = 0$ .  
Spänningarna  $\sigma_1 \sigma_2 \dots \sigma_{N-1}$  erhålls ur EKV (B3.1) och

$$\sigma_N = \sigma_{N-1} + \frac{q_0 c}{2d} \quad (\text{B3.6})$$

Steg 2

I lösningen till steg 1 ingår  $\sigma_N$  varav fasthållningskraft

$$F(1) = \sigma_N^{(1)} \cdot bd \quad (\text{B3.7})$$



Figur B3.3 Deformation av fasthållningskraft.

Med utgångspunkt från FIG B3.3 kan följande samband ställas upp.

$$\delta_{i+1} = \delta_i + \frac{\sigma_i}{E} \cdot c \quad (\text{B3.8})$$

$$\sigma_i = \frac{1}{bd} \sum_{v=1}^i K_v \delta_v \quad (\text{B3.9})$$

som kan kombineras till

$$\delta_i - \delta_{i+1} + \sum_{v=1}^i K_v \delta_v = 0 \quad (\text{B3.10})$$

Uttrycket B3.10 representerar  $N-1$  ekvationer. Den  $N$ :te ekvationen erhålls ur villkoret att krafterna i kramlorna måste hålla jämvikt med  $H$ .

$$\sum_{v=1}^N K_v \delta_v = H \quad (\text{B3.11})$$

Enligt FIG B3.2 och B3.3 gäller

$$F^{(1)} + H = 0$$

I kombination med EKV (B3.7) och (B3.4) erhålls

$$\sum_{v=1}^N K_v \delta_v = - \frac{\sigma_N^{(1)}}{E} \cdot C \quad (\text{B3.12})$$

De härledda uttrycken kan sammanfattas i följande ekvationssystem.

Steg 1 som ger  $\delta_i^{(1)}$  och  $\sigma_i^{(1)}$

$$\delta_i - \delta_{i+1} + \sum_{v=1}^i K_v \delta_v = \epsilon_0 C - (i - \frac{1}{2}) \delta_0 \quad (\text{B3.3})$$

$$\sigma_i = \frac{E}{C} \left( \sum_{v=1}^i K_v \delta_v + \delta_0 (i - \frac{1}{2}) \right) \quad (\text{B3.1})$$

$$i = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$\delta_N = 0$$

$$\sigma_N = \sigma_{N-1} + \frac{E \delta_0}{2C} \quad (\text{B3.6})$$

Steg 2 som ger  $\delta_i^{(2)}$  och  $\sigma_i^{(2)}$

$$\delta_i - \delta_{i+1} + \sum_{v=1}^i K_v \delta_v = 0 \quad (\text{B3.10})$$

$$i = 1, 2, \dots, N - 1$$

$$\sum_{v=1}^N K_v \delta_v = - \frac{\sigma_N^{(1)}}{E} \cdot C \quad (\text{B3.12})$$

$$\sigma_i = \frac{E}{C} \sum_{v=1}^i K_v \delta_v \quad (\text{B3.9})$$

Förskjutningar och spänningar erhålls genom att addera lösningar i steg 1 och 2.

$$\delta_i = \delta_i^{(1)} + \delta_i^{(2)} \quad (\text{B3.13})$$

$$\sigma_i = \sigma_i^{(1)} + \sigma_i^{(2)} \quad (\text{B3.14})$$

I EKV (B3.13) och (B3.14) räknas  $\delta_i$  positiv för förskjutningar uppåt relativt kramlans nolläge och  $\sigma_i$  positiv för dragspänning.

Koefficienterna  $k_v$  och  $\delta_0$  bestäms av EKV (B3.4) och (B3.5). Krympningen  $\epsilon_0$  räknas positiv vid förkortning.

Ekvationssystem kan modifieras för att även få med inverkan av eventuell plasticering i kramlorna. Detta kan ske genom att substituera

$$\delta_v \rightarrow \delta_v - \delta_{pl,v}$$

$$\delta_i \rightarrow \delta_i - \delta_{pl,i}$$

$$\delta_{i+1} \rightarrow \delta_{i+1} - \delta_{pl,i+1}$$

$\delta_{pl}$  är den plastiska förskjutningen i respektive kramla, dvs hur mycket kramlans nolläge har förskjutits. Utifrån det nya nolläget gäller Hooke's lag, EKV (3.17). Beräkningen måste emellertid utföras iterativt eftersom  $\delta_{pl}$  inte är känd från början, se även avsnitt B3.12.

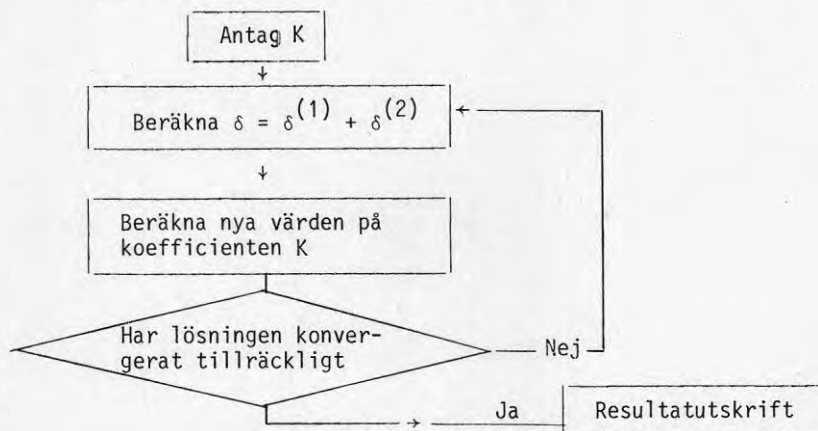
Beräkningen enligt ovan förutsätter att putskakan är förankrad i befintlig vägg via kramlor arrangerade i ett rutmönster  $b \times c$ . I de fall bärning sker genom vidhäftning och skjuvkrafter i isoleringen kan formlerna ovan användas om koefficienten  $k_v$  ersätts med

$$k_v = \frac{Gbc}{h} \quad (\text{B3.15})$$

$G$  = skjuvmodul i isolering (Pa)

### B3.12 Icke linjär lösning

EKV (B3.13) och (B3.14) har härletts under förutsättning att Hooke's lag gäller, dvs koefficienten  $k$  i EKV(3.10) är konstant. Det går emellertid att beräkna spänningar och rörelser i puts och kramlor även om Hooke's lag inte gäller. Beräkningsgången blir då



### B3.13 Beräkningsexempel

I normala fall har putsfälten en höjd på mer än ca 9 m (3-våningshus och högre). I regel maximeras avståndet mellan kramlorna till  $b=c=0.6$  m. Det innebär att en vertikal putsremsa med höjden 9 m blir infäst i  $9/0.6+1 = 16$  kramlor i rad. För att reducera beräkningsarbetet kan man åstadkomma skenbart färre kramlor genom att fördela ett mindre antal styvare kramlor över en oförändrad fasadarea.

För att åskådliggöra hur en putsbaka på kramlor fungerar statistiskt redovisas här några exempel.

De parametrar som måste införas vid beräkningen är

Putsfältets höjd (längd)	$L$	(m)
Putsskiktets tjocklek	$d$	(m)
Kramlans längd (konsol)	$h$	(m)
Antal kramlor per $m^2$	$n$	$(1/m^2)$
E-modul för puts	$E$	(Pa)
Kramlans styvhet	$k$	(N/m)

Krympning	$\epsilon_0$	(1)
Egentyngd	$q_0$	(N/m <sup>2</sup> )

## Exempel B3.1

I följande exempel sätts

$$\begin{aligned}
 L &= 10 \text{ m} \\
 d &= 0.02 \text{ m} \\
 h &= 0.10 \text{ m} \\
 n &= 4 \text{ m}^{-2} \\
 E &= 3 \cdot 10^9 \text{ Pa} \\
 k &= 20 \cdot 10^3, 40 \cdot 10^3, 80 \cdot 10^3 \text{ osv} \\
 \epsilon_0 &= 0.65 \cdot 10^{-3} \text{ (fri förkortning)} \\
 q_0 &= 400
 \end{aligned}$$

Förskjutningen i de olika kramlorna blir givetvis starkt beroende av eftergivligheten i kramlorna  $k$  (N/m).

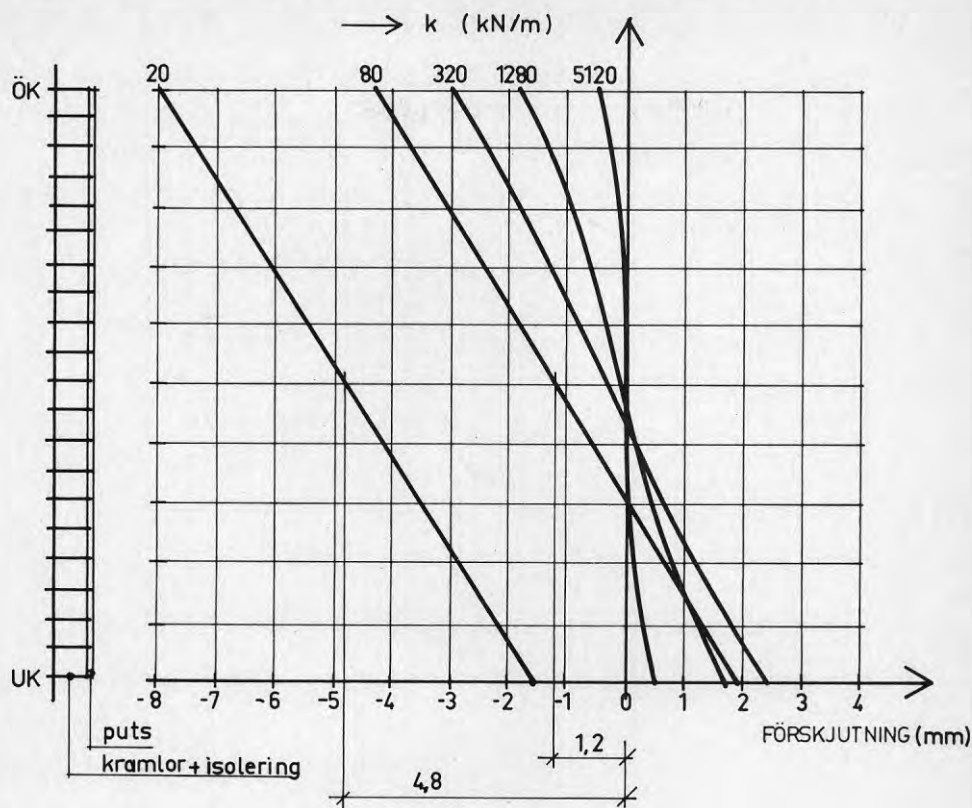
Då kramlorna har liten styvhet ( $k = 20000$  N/m) får egentyngden en stor betydelse. Både över- och underkant förskjuts nedåt.

Ju styvare infästning desto mindre inverkar egentyngden. Då exempelvis  $k = 80 \cdot 10^3$  uppvägs egentyngdens förskjutning neråt mot krympningens förskjutning mot mitten så att putskakans underkant får en förskjutning uppåt (knappt 2 mm).

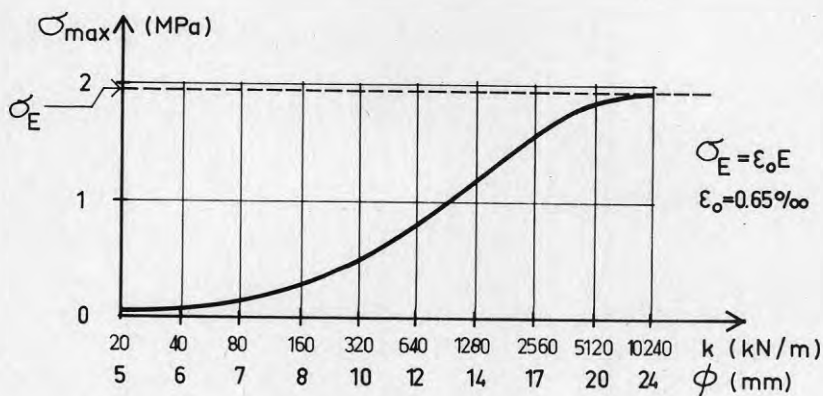
Vid mycket stora värden på  $k$  inträffar elastiska deformationer i putskakans istället för förskjutningar. Detta betyder samtidigt att det blir stora spänningar i putskakans drag.

Beräkningsresultatet, redovisat i FIG B3.4, förutsätter att kramlorna inte blir plasticerade. Med hänsyn till förskjutningarnas storlek skulle i varje fall de översta kramlorna bli plasticerade. Detta förändrar dock inte den principiella bilden.

Den slutsats man kan dra av beräkningen ovan är bl a att styvheten i kramlorna inte bör vara större än ca 40 kN/m. Detta är nödvändigt för att kramlorna skall ge efter då putskakans krymper utan att några större dragspänningar uppstår i putskakans drag, se FIG B3.5.



Figur B3.4 Förskjutningar i vertikal putsremsa för olika värden  $k$  på kramlornas styvhet. Förskjutning uppåt räknas positiv.



Figur B3.5 Dragspänning i putskakan ( $\epsilon_0 = 0.65\text{‰}$ ) som funktion av kramlans styvhet (diameter). Förutsättning i övrigt framgår av texten.

### B3.2 Fasthållning i hörn

Putssystem som baseras på att putskakan skall vara rörlig relativt den befintliga väggen måste i regel innehålla dilatationsfogar.

Då dilatationsfogar fördelas är det av vikt att veta i vilken grad hörn verkar fasthållande.

Här utförs en beräkning som syftar till att ge en uppfattning om hur hörnet fungerar i det här avseendet.

Differentialekvationen för en balk (platta) på elastiskt underlag är

$$y^{IV} = q/EJ$$

Lasten  $q$  representeras här av  $q = -k_i \cdot y$ . Genom att införa

$$\lambda = \left( \frac{k_i}{4EJ} \right)^{1/4}$$

kan ekvationen tecknas

$$y^{IV} + 4\lambda^4 y = 0$$

Fyra integrationer ger 4 integrationskonstanter som bestäms ur randvillkoren:

- 1)  $y(\infty) = 0$
- 2)  $y'(\infty) = 0$
- 3)  $y''(0) = 0$  eftersom  $M(0) = 0$
- 4)  $y'''(0) = \frac{F}{EJ}$  eftersom för  $x = +0$   $T = -P/2 = -F$  och  $y''' = -\frac{T}{EJ}$

Lösningen blir

$$y = \frac{F}{2\lambda^3 EJ} e^{-\lambda x} \cos(\lambda x)$$

$$\delta = y(0) = \frac{2}{2 k_i^{3/4} (EJ)^{1/4}} \cdot F$$

$$\text{Om } F = k_h \cdot \delta \text{ erhålls} \tag{B3.16}$$

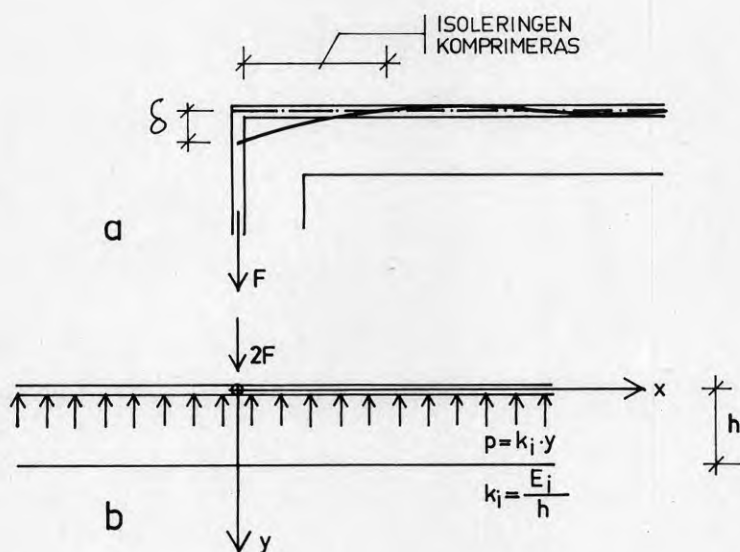
$$k_h = \frac{\sqrt{2}}{2} k_i^{3/4} (EJ)^{1/4} \tag{B3.17}$$



Genom att sätta  $\cos(\lambda x) = 0$  kan de  $x$ -värden som ger  $y=0$  erhållas. Den första nollpunkten inträffar för

$$x_0 = \frac{\pi\sqrt{2}}{2} \left(\frac{EJ}{k_i}\right)^{1/4} \quad (\text{B3.18})$$

Beräkningen ovan förutsätter att det är en led i hörnet. I verkligheten uppstår givetvis moment i hörnet. Om det förutsätts att det inte finns någon led vid  $x=0$ , se FIG B3.6b, blir  $k_h$  dubbelt så stor och  $x_0$  femtio procent större.



Figur B3.6a,b Deformation i hörn. Fenomen enligt a) beräknas enligt modeller redovisade i b).

Sammanfattningsvis kan följande ungefärliga uttryck användas.

$$k_h \approx k_i^{3/4} \cdot (EJ)^{1/4} \quad (\text{N/m}^2) \quad (\text{B3.19})$$

$$x_0 \approx 2.5 \cdot \left(\frac{EJ}{k_i}\right)^{1/4} \quad (\text{m}) \quad (\text{B3.20})$$

$$F = k_h \cdot \delta$$

$k_i$	bäddmodul, $k_i = \frac{E_i}{h}$	(N/m <sup>3</sup> )
$EJ$	putskekans styvhet	(Nm <sup>2</sup> /m)
$x_0$	avstånd från hörn till nollpunkt	(m)
$F$	kraft i hörnet	(N/m)
$\delta$	förskjutning i hörnet	(m)

Ur lösningen till differentialekvationen ovan kan även böjmomentet beräknas. Med förutsättning att hörnet fungerar som led erhålls

$$M = -y''EJ = -e^{-\lambda x} \frac{F}{\lambda} \sin \lambda x$$

$$M' = 0 \quad \text{ger} \quad x = \frac{\pi}{4\lambda} \quad \text{och}$$

$$M^{\max} = -0.456 \cdot F \cdot \left(\frac{EJ}{k_i}\right)^{1/4} \quad (\text{Nm/m})$$

$$F = k_h \cdot \delta \quad \text{varav}$$

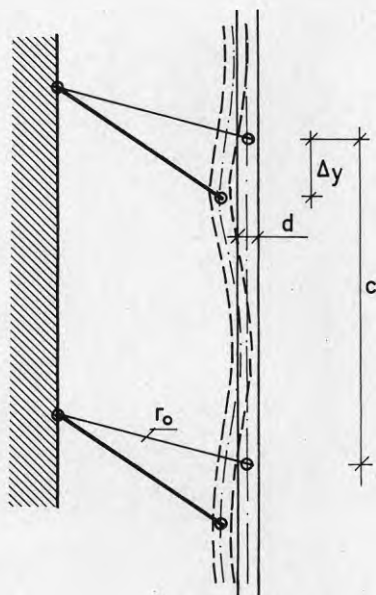
$$M^{\max} = -0.32 \cdot \sqrt{k_i EJ} \cdot \delta \quad (\text{Nm/m}) \quad (\text{B3.21})$$

### B3.3 Putskakans styvhet och böj deformation

#### B3.31 Böjstyvhets inverkan på förskjutningar

Putskakans böjstyvhet är intressant speciellt för metoder där värmeisoleringens kompression ingår som en komponent i lastupptagningar. Det är Serporock - och i viss mån AJ-metoden - som är aktuella här.

Hur böjstyvheten inverkar på förskjutningar i putsakakan visas principiellt i FIG B3.7.



Figur B3.7 Putskakans böj deformation, inverkan på förskjutning  $\Delta y$ .

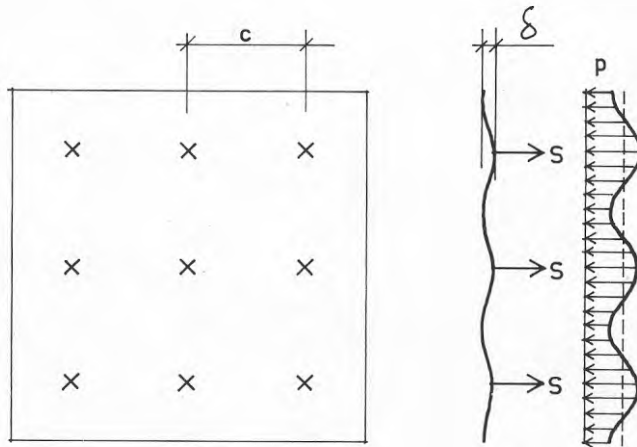
Ju mindre styvhet putsakakan har desto större blir  $\Delta y$  innan jämvikt uppstår.

Den extra förskjutning som beror på putsakakans böj deformation bör normalt kunna beaktas genom att kramlan antas ha en viss eftergivlighet även i axiell led. Därigenom kan krafter och rörelser i kramlor beräknas med helt styv putsakaka som förutsättning, Elmarsson (1983).

En uppskattning av böj deformationens inverkan bör kunna utföras på följande sätt.

Att beräkna utböjningen  $\delta$  med beaktande av att putskakans vilar på elastiskt underlag är teoretiskt möjligt. Här görs emellertid endast skattningen att  $\delta$  motsvarar utböjningen för en cirkulär fast inspänd platta belastad med jämt utbredd last  $p$  ( $N/m^2$ ).

Varje kramla verkar på arean  $c^2$ . Denna area approximeras till en cirkulär area som då får radien  $r = c/\sqrt{\pi}$ .



Figur B3.8 Putskakans böj deformation.

$$\delta = \frac{3a^4 p}{16Ed^3} \quad (\text{B3.22})$$

Trycket  $p$  tas upp som dragkraft  $S$  i kramlorna

$$S \approx pc^2$$

$$a = c/\sqrt{\pi}$$

som ger

$$\delta = S \cdot \frac{3c^2}{16\pi^2 Ed^3}$$

Utböjningen  $\delta$  motsvaras av att kramlan får en förlängning  $\Delta r = \delta/2$ .

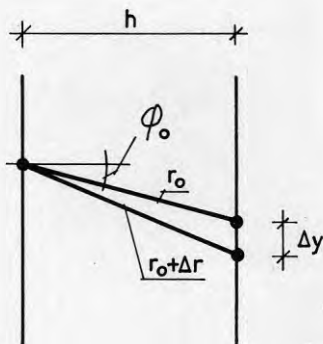
Detta ger

$$S = \frac{32\pi^2 Ed^3}{3c^2} \cdot \Delta r \quad (\text{B3.23})$$

Med  $c = 0.6 \text{ m}$     $E = 3000 \cdot 10^6 \text{ Pa}$     $d = 0.02 \text{ m}$    erhålls

$$S = 7 \cdot 10^6 \cdot \Delta r$$

En förlängning  $\Delta r$  av kramlan ger en förskjutning  $\Delta y$ , se figur B3.9.



Figur B3.9 Geometri vid förlängning av kramla.

Ur figuren erhålls

$$\Delta y = r \cdot \sin \phi - r_0 \cdot \sin \phi_0$$

$$r_0 \cos \phi_0 = r \cos \phi$$

För Serporockmetoden gäller att  $\phi_0 \approx 15^\circ$ . Med 100 mm isolertjocklek blir förskjutningen ungefär

$$\Delta y \approx 3.8 \cdot \Delta r \quad (\text{B3.24})$$

Med förutsättningar enligt ovan blir inverkan av böjdeformation i det här avseendet liten.

Om böjsprickor uppstår kommer styvheten  $Ed^3$  dock att reduceras kraftigt. Därmed skulle inverkan öka.

### B3.32 Momentkapacitet

Putskakans momentupptagande förmåga är avgörande för hur lastfall med vindsug klaras.

En beräkning av momentkapaciteten kan utföras enligt de principer som gäller för beräkning av betongtvärsnitt.

Avgörande vid beräkningen av momentkapaciteten blir:

- o putskakans tjocklek
- o armeringens läge (effektiv höjd)
- o armeringsmängd
- o hållfasthetsdata för armering och puts

Beräkningar utförs här med beteckningar enligt Betonghandboken.

Putsskiktets tjocklek betecknas  $d$  medan avstånd från armering till tryckt kant (effektiv höjd) betecknas  $d_e$ . Effektiva höjden  $d_e$  kan variera i hög grad beroende på var armeringen läggs, centriskt eller excentriskt. För små värden på  $d_e$  blir tvärsnittet överarmerat även vid de små armeringsmängder som används i putskakor.

Följande definitioner och samband gäller:

$$\omega_{bal} = 0.8 / (1 + \epsilon_s / \epsilon_{co}) \quad \omega = \rho f_{st} / f_{cc}$$

$$\rho = \frac{A_s}{bd_e} \quad A_s = \frac{\pi \phi^2}{4}$$

Två fall måste behandlas

$$\omega \leq \omega_{bal} \Rightarrow \text{underarmerat tvärsnitt}$$

brottmoment

$$m_u = \bar{m} f_{cc} b d_e^2 \quad (B3.25)$$

$$\bar{m} = \omega(1 - 0.5\omega) \quad (B3.26)$$

$\omega > \omega_{ba1} \Rightarrow$  överarmerat tvärsnitt

$m_u$  enligt EKV (B3.25)

$\bar{m}$  erhålls enligt

$$\bar{m} = \rho \frac{\sigma_a}{f_{cc}} (1 - 0.5 \cdot \rho \frac{\sigma_a}{f_{cc}}) \quad (\text{B3.27})$$

$$\sigma_a = \frac{E_a \epsilon_{oc}}{2} \left( \left( 1 + \frac{3.2 f_{cc}}{\rho E_a \epsilon_{co}} \right)^{0.5} - 1 \right) \quad (\text{B3.28})$$

Det överarmerade fallet karakteriseras av att det blir tryckbrott i betongen (putsen) innan spänningen  $\sigma_a$  i armeringen uppnått flytgränsen, dvs  $\sigma_a < f_{yk}$ .

Ett samband mellan momentkapacitet  $m_u$  och  $d_e$  visas i FIG B3.10. Sambandet baseras på följande materialdata:

armering  $\ddagger$  1  $\phi$  c/c 19

$f_{st} = 250$  MPa flytgräns

$E_a = 200 \cdot 10^9$  Pa

puts  $f_{cc} = 3$  MPa brottgräns (tryck)

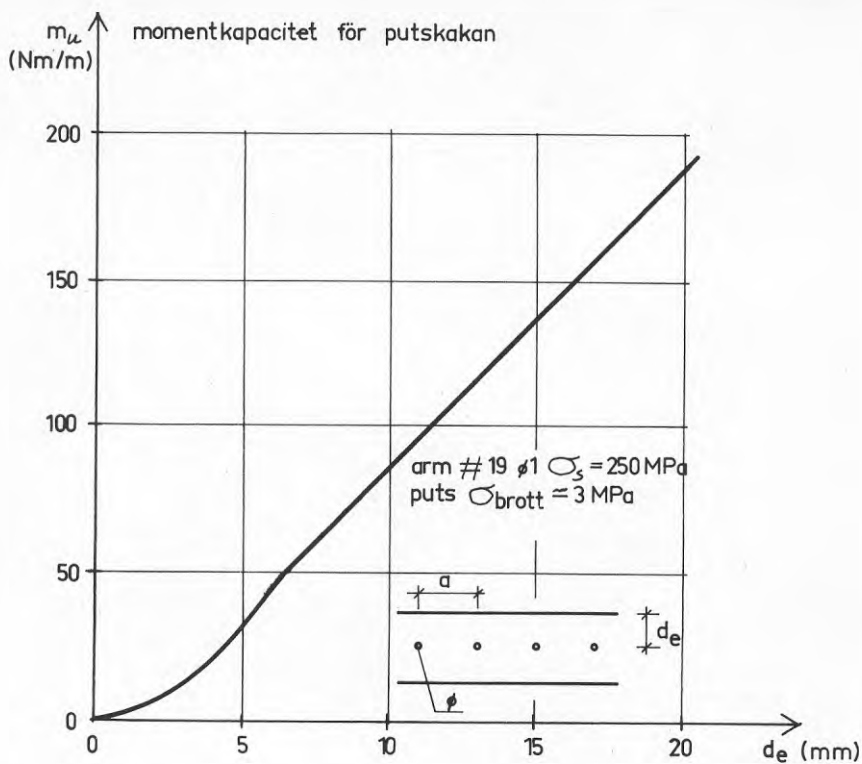
$\epsilon_{co} = 3.5$  ‰

Momentet  $m_u$  anges i Nm per breddmeter.

Vid vindsug får putskakan en momentfördelning ungefär motsvarande en balk upplagd på flera stöd (kramlor).

För metoder med armerad KC-puts och kramlor är putsskiktets totala tjocklek drygt 20 mm.

Om det antas att armeringen ligger centriskt i putskakan blir  $m_1 = m_2$  och effektiv höjd  $d_e = 20/2 = 10$  mm, se FIG B3.11.



Figur B3.10 Samband mellan brottmoment  $m_u$  i putskakan och effektiv höjd  $d_e$ .

FIG B3.10 ger då brottmomentet  $m \approx 85$  Nm. Erforderligt  $c$  med hänsyn till böjbrott av vindsug kan uppskattas med hjälp av EKV (B3.29). Med en säkerhet mot brott 1.5 erhålls

$$\frac{2 \cdot 85}{1.5} = \frac{q \cdot c^2}{8}$$

som för några olika värden på vindsuget  $q$  ger erforderligt  $c$ .

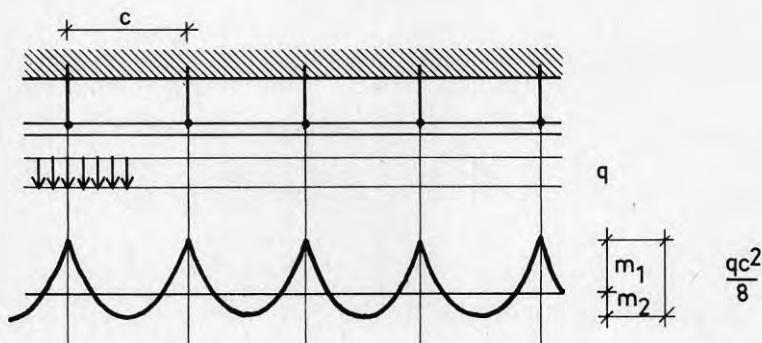
$q$ kN/m <sup>2</sup>	$c$ m
0.5	1.35
1.0	0.95
1.5	0.78
2.0	0.67



Vid normalt arbetsutförande kan man räkna med att armeringen kommer excentriskt och då ganska nära isoleringen. Om det antas att armeringen ligger 5 mm från isoleringen och 15 mm från utsidan blir enligt FIG B3.10  $m_1 = 137/1.5$  och  $m_2 = 35/1.5$ . Det innebär att  $m_1 + m_2$  blir praktiskt taget oförändrat jämfört med fallet centrisk armering.

Beräkningarna här tyder på att det är god säkerhet mot att vindsug skall ge brott i putskakan. För närvarande används i regel maximalt  $c \cong 0.6$  m.

Det framgår av FIG B3.11 att  $m_1 + m_2 = \frac{qc^2}{8}$  (B3.29)



Figur B3.11 Momentfördelning i putskakan.

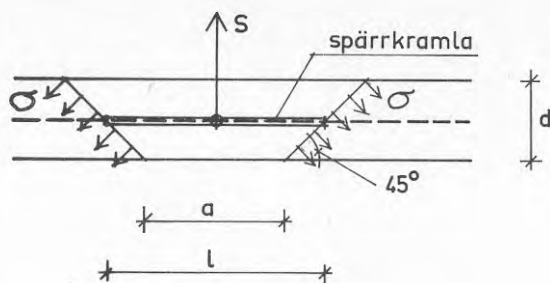
### B3.33 Genomstansning

En förutsättning för att böjbrott enligt avsnitt B3.32 ska uppstå är att lasten  $qc^2$  kan överföras till respektive kramla utan att sprött brott inträffar där. Brottlasten blir beroende av detaljutformningen av förbindelsen mellan kramla och putskaka. Med nuvarande utformning av systemen har det inte rapporterats några tendenser till brott av här aktuellt slag. Om avståndet mellan kramlorna ska ökas bör dock detta föregås av provningar med avseende på brottlast med hänsyn till skjuvbrott (dragbrott).

En överslagsberäkning kan utföras på följande sätt:

Om det förutsätts att en konisk kropp enligt FIG B3.12 dras ut blir uttrycket för brottlasten  $S$  bestämt av

$$\sigma = \frac{S}{\pi d(a + d)} \quad (\text{B3.30a})$$



Figur B3.12 Lokalt brott, genomstansning.

En avgörande faktor blir detaljutformningen av infästningen. Spärrkramlor (med längden  $l$  och centriskt placerade) ökar brottlasten. Om dessa har avsevärt större styvhet än armeringen bör man kunna sätta  $a + b = l$ , varav

$$\sigma = \frac{S}{\pi d l} \quad (\text{B3.30b})$$

Utdragskraften i kramlan kan sättas

$$S = qc^2 \quad (\text{B3.31})$$

$q$  = vindsug  $(\text{N/m}^2)$

$c$  = avstånd mellan kramlor  $(\text{m})$

En kombination av EKV (B3.30) och (B3.31) ger ett uttryck för maximalt avstånd  $c$  mellan kramlor med hänsyn till risk för genomstansning.

$$c < \sqrt{\frac{\pi l d \sigma}{q}} \quad (\text{B3.32})$$

$\sigma$  = draghållfasthet för puts

$d = 0.02 \text{ m}$ ,  $l = 0.07 \text{ m}$ ,  $\sigma = 0.25 \cdot 10^6 \text{ Pa}$

ger ett samband mellan  $c$  och  $q$  som visas i tabellen nedan

TABELL B3.1 Samband mellan vindsug och avstånd mellan kramlor.

$q$ ( $\text{kN/m}^2$ )	$c$ ( $\text{m}$ )
0.5	1.48
1.0	1.05
1.5	0.86
2.0	0.74

### B5.5 Beräkning av energiförbrukning

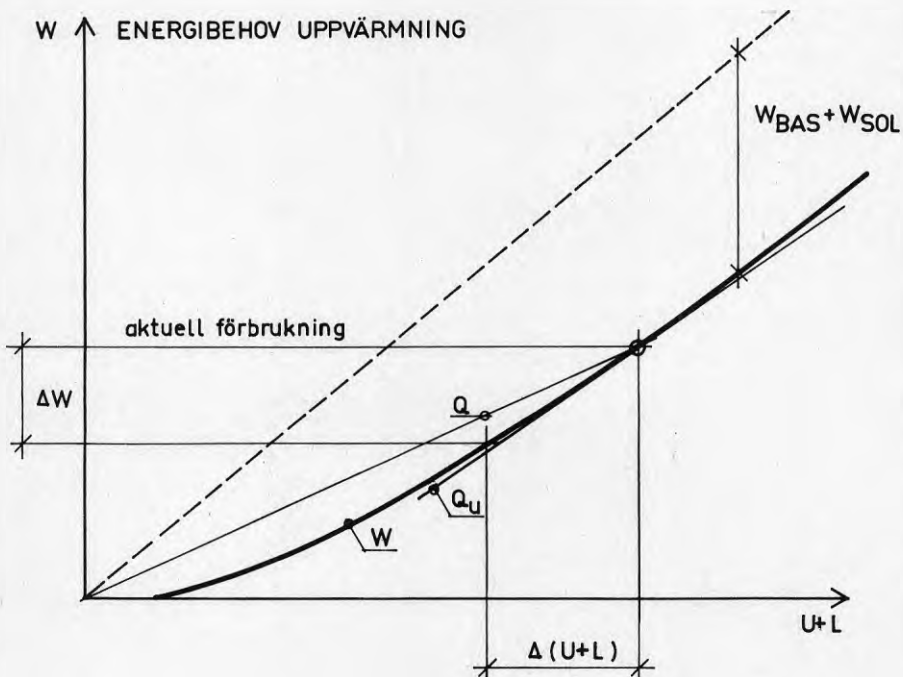
I kapitel 5 diskuteras hur energibehov och energibesparing kan beräknas.

En modell som i princip alltid kan användas utgår från EKV (B5.6) och (B5.9). Energibesparingen erhålls då genom

$$\Delta W = W_{\text{före}} - W_{\text{efter}} \quad (\text{B5.1})$$

Den energibesparing som kan förväntas vid tilläggsisolerering brukar ofta tecknas enligt EKV (B5.4). Denna ekvation är skenbart enkel. Det beror på att en mängd faktorer finns inkluderade i storheten  $Q_U$ , se avsnitt B5.51.

För ett hus kan det principiella sambandet mellan energibehov  $W$  och  $U+L$  åskådliggöras enligt FIG B5.1.



Figur B5.1 Samband mellan energiförbrukning (uppvärmning) och  $U+L$ . Specifika värmebehovet  $Q$  och  $Q_U$  åskådliggörs som sekant respektive tangent till kurvan  $W$ .

Storheterna  $U$  och  $L$  bestämmer transmissions- och ventilationsförluster.

$$U = \Sigma Ak \quad (B5.2)$$

$$L = 0.35 nV \quad (B5.3)$$

$A$  = area,  $m^2$ , med  $k$ -värde  $k$

$n$  = luftomsättningar per timme

$V$  = ventilerad volym

Det finns egentligen ingen enkel metod med vars hjälp man kan uppskatta energispareffekter.

I regel brukar dock följande enkla uttryck användas:

$$\Delta W = Q_u \cdot \Delta U \quad (B5.4)$$

Om ytterväggar tilläggsisolerats så att  $k$ -värdet minskas med  $\Delta k$  blir energibesparingen

$$\Delta W = Q_u \cdot \Delta k \quad (\text{kWh/m}^2 \text{ vägg}) \quad (B5.5)$$

$Q_u$  = specifik värmeförbrukning ( $^{\circ}\text{Ckh}$ )

Problemet med EKV (B5.4) är att hitta ett riktigt värde på  $Q_u$ . Denna fråga diskuteras i nästa avsnitt.

#### B5.51 Specifik värmeförbrukning

Specifik värmeförbrukning,  $Q$ , kan definieras med utgångspunkt från uttrycket för årsenergibehov

$$W = \int P dt \quad (B5.6)$$

Integration sker över den del av året då effektbehovet  $P > 0$ .  $W$  syftar här på den energi som måste avges från uppvärmningsanläggningen.

Genom att införa  $Q$  kan  $W$  tecknas

$$W = Q(U + L) \quad (B5.7)$$

Detta innebär att  $Q$  blir definierat av

$$Q = \frac{\int P dt}{U + L} \quad (B5.8)$$

Effektbehovet  $P$  kan tecknas

$$P = U(T_i - T_{ue}) + L(T_i - T_u) - P_{BAS} - P_{SOL} \quad (B5.9)$$

EKV (B5.9) kan förenklas till

$$P = (T_i - T_u)(U + L) - P_{BAS} - P_{SOL} \quad (B5.10)$$

Detta förutsätter att  $U$  justeras med hänsyn till solinstrålningen mot väggar och tak.

$$U \rightarrow U \frac{T_i - T_{ue}}{T_i - T_u} \quad (B5.11)$$

Kvoten mellan temperaturdifferenserna i EKV (B5.11) är, som viktat medeltal under eldningssäsongen, ungefär 0.90 - 0.95 för väggar och tak, Nevander (1980). Det lägre värdet gäller för södra Sverige och det högre för norra.

$P_{BAS}$  är värmeeffekt från personer och hushåll.

$P_{SOL}$  är instrålad solenergi genom fönster.

En kombination av EKV (B5.8) och (B5.10) ger

$$Q = \int ((T_i - T_u) - \frac{P_{BAS} + P_{SOL}}{U + L}) dt \quad (B5.12)$$

Ekvationen skall integreras över den tid som uppvärmningsbehov finns.

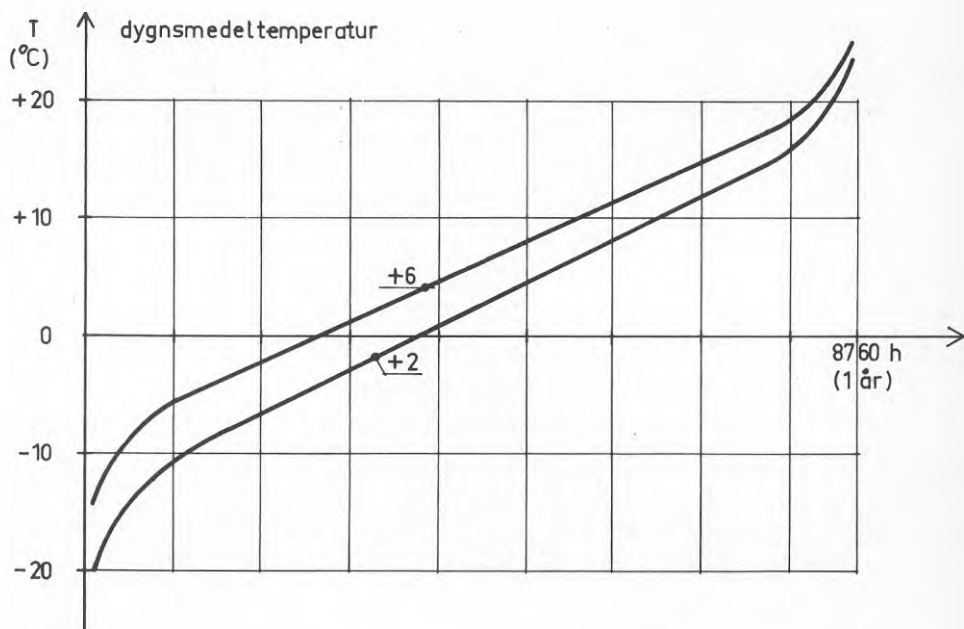
Denna ekvation kan ges en geometrisk tolkning med utgångspunkt från dygnsmedeltemperaturens fördelning över ett normalt år, VVS-handboken, se FIG B5.2. Där visas två kurvor, en för en ort med årsmedeltemperatur  $+6^{\circ}\text{C}$  och en för  $+2^{\circ}\text{C}$ . Dessa kurvor kan relativt enkelt användas för beräkning av energibehov eftersom temperaturfördelningen är rätlinjig inom tämligen stort tidsintervall.

FIG B5.3 visar hur ovannämnda kurvor kan användas för att erhålla specifika värmeförbrukningen  $Q$  och  $Q_u$ .

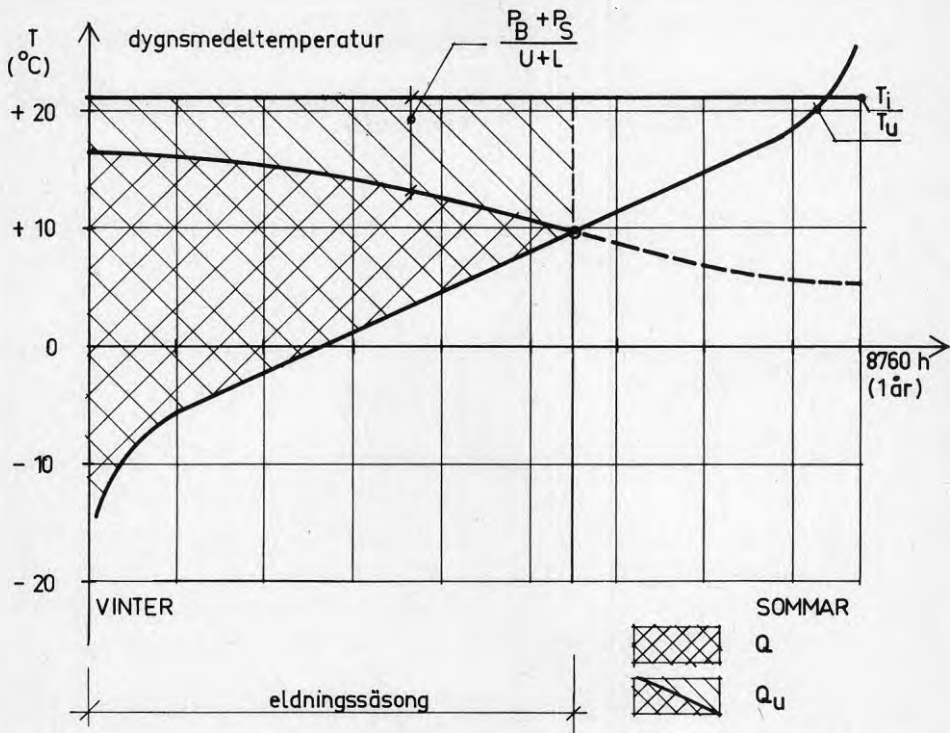
EKV (B5.12) integreras och tecknas

$$Q = Q_u - \frac{W_{BAS} + W_{SOL}}{U + L} \quad (B5.13)$$

där  $Q_u = \int (T_i - T_u) dt$



Figur B5.2 Dygnsmedeltemperaturfördelningen för två orter med normaltemperatur 2 respektive 6°C enligt VVS-handboken.



Figur B5.3 Geometrisk tolkning av specifikt värmebehov.  $Q_u$  motsvaras av hela ytan mellan  $T_i$  och  $T_u$  medan  $Q$  endast svarar mot den rutade ytan.

Integrationsintervallets längd påverkas i hög grad av  $P_{BAS} + P_{SOL}$ .  $Q_u$  svarar mot hela den skaffrade arean under linjen  $T_i$ . Den andra termen svarar mot den area som representerar "gratisenergin"  $P_{BAS} + P_{SOL}$ .

EKV (B5.7) och (B5.13) kan kombineras och efter differentiering erhålls

$$\Delta W = Q_u \cdot \Delta U \quad (B5.4)$$

där  $Q_u$  alltså bör tolkas som specifika värmebehovet utan hänsyn till basenergi och solinstrålning ( $P_{BAS} + P_{SOL}$ ), jämför även FIG B5.1. Det måste emellertid tilläggas att två faktorer kan verka reducerande på  $Q_u$ :

- a)  $Q_u$  minskar om den energibesparande insatsen påtagligt förkortar eldningsperiodens längd.
- b)  $Q_u$  kan också minska om det t ex soliga marsdagar uppstår övervärme av instrålad solenergi som före tilläggsisoleringen kunde nyttiggöras.

Orsakerna till att faktorerna a) och b) inte kommer med i EKV (B5.4) är att det vid differentieringen förutsatts att  $W_{BAS} + W_{SOL}$  inte ändras då  $U$  ändras.

## B5.6 Operativ temperatur

### B5.61 Sekundär spareffekt

Upplevelsen av termiskt inomhusklimat bestäms av både lufttemperaturen  $T_l$  och omgivande ytors temperatur  $T_y$ . Detta innebär att ett behagligt inomhusklimat kan uppnås vid avtagande lufttemperatur om omgivande ytors temperatur ökar. Detta sker då ytterväggar tilläggsisoleras.

En tilläggsisolering av ytterväggar ger därigenom en sekundär energisparmöjlighet. Hur stor denna blir är dock inte direkt belagt genom mätningar. Men det står klart att den har betydelse och att sparmöjligheten bör tas till vara genom att lufttemperaturen sänks efter en tilläggsisolering.

Den operativa temperaturen  $T_{op}$  kan definieras som en given funktion av lufttemperatur  $T_l$  och omgivande ytors temperatur  $T_y$ . Det gör att energispareffekten av ett högre  $T_y$  på ytterväggarnas insidor, efter en tilläggsisolering, kan beräknas, Elmarsson (1979).

### B5.62 Beräkning av sekundär spareffekt

EKV (B5.4) ger ett uttryck för den energibesparing som uppstår efter en tilläggsisolering av en yttervägg med förutsättningen att inomhustemperaturen förblir lika före och efter åtgärd.

$$\Delta W = \Delta U \cdot Q_u$$

Om nu lufttemperaturen samtidigt kan sänkas med  $\Delta T$  uppkommer härigenom en ytterligare minskning av energibehovet med

$$(U + L) \cdot \Delta T \cdot t$$



$t =$  eldningssäsong (h)

$U$  och  $L$  enligt EKV (B5.2) och (B5.3)

Av förenklingsskäl utförs kalkylen här för medeltemperaturtillstånden under eldningssäsongen. Sammanlagd energibesparing blir

$$\Delta W = \Delta U \cdot Q_u + (U + L) \Delta T \cdot t$$

Eftersom ytterväggen förutsätts tilläggsisolerad blir  $\Delta U = \Delta k \cdot A_v$

$A_v =$  isolerad area ( $m^2$ )

Det betyder att energibesparing per  $m^2$  isolerad area kan tecknas

$$\frac{\Delta W}{A_v} = \Delta k Q_u \left( 1 + \frac{(U + L) \Delta T \cdot t}{\Delta k A_v Q_u} \right) \quad (B5.14)$$

$Q_u$  kan i princip tecknas som produkten av eldningssäsongens längd  $t$  och medeltemperaturdifferensen  $(T_1 - T_u^{\text{medel}})$ . Det gör att EKV (B5.14) kan tecknas

$$\frac{\Delta W}{A_v} = \Delta k \cdot Q_u \left( 1 + \frac{U + L}{A_v (T_1 - T_u^m)} \cdot \frac{dT}{dk} \right) \quad (B5.15)$$

Den andra termen inom parentesen i EKV (B5.15) ger ett mått på den inverkan sänkningen  $\Delta T$  i lufttemperaturen kan få på energibesparingen.

Inför

$$f_{op} = \frac{U + L}{A_v (T_1 - T_u^m)} \cdot \frac{dT}{dk} \quad (B5.16)$$

Vid beräkning av möjlig energibesparing i samband med tilläggsisolering av ytterväggar bör alltså  $Q_u$  i EKV (B5.4) och (B5.5) multipliceras med faktorn  $(1 + f_{op})$  eller (se avsnitt 5.51)

$$\Delta W = \Delta k \cdot Q_u \cdot (1 + f_{op}) \quad (B5.17)$$

Det framgår av EKV (B5.16) att huvudproblemet nu blir att bestämma derivatan  $\frac{dT}{dk}$ .

Med utgångspunkt från det vanliga uttrycket för operativ temperatur kan derivatan härledas.

$$T_{op} = (T_1 + \bar{T}_y) / 2 \quad (B5.18)$$

$$\vec{T}_y = \Sigma \phi T_y \quad (\text{B5.19})$$

$\phi$  är en vinkelkoefficient från betraktaren (kontrollpunkten) till respektive yta med temperaturen  $T_y$ .

För en yttervägg gäller

$$T_y = T_1 - m_v \cdot k (T_1 - T_u^m) \quad (\text{B5.20})$$

$k$  = ytterväggens  $k$ -värde

$m_v$  = ytterväggens inre värmeövergångsmotstånd

Till en början antas här mycket förenklat att det rum (lägenhet) som beräkningen avser endast omsluts av en yttervägg med temperaturen  $T_y$  och övriga ytor förutsätts ha temperaturen  $T_1$ .

Om ytterväggen har vinkelkoefficienten  $\phi_v$  kommer övriga ytor att totalt få vinkeln  $1 - \phi_v$ . Detta tillsammans med EKV (B5.18)-(B5.20) ger

$$T_1 = \frac{2T_o - \phi_v m_v k T_u^m}{2 - \phi_v m_v k} \quad (\text{B5.21})$$

som efter derivering ger

$$\frac{dT_1}{dk} = \frac{2\phi_v m_v (T_{op} - T_u^m)}{(2 - \phi_v m_v k)^2} \quad (\text{B5.22})$$

EKV (B5.16) och (B5.22) kombineras

$$f_{op} = \frac{2\phi_v m_v}{(2 - \phi_v m_v k)^2} \cdot \frac{(T_{op} - T_u^m)}{(T_1 - T_u^m)} \cdot \frac{U + L}{A_v}$$

Inför

$$m = \frac{2\phi_v m_v}{(2 - \phi_v m_v k)^2} \quad (\text{B5.24a})$$

$$\kappa = \frac{T_{op} - T_u^m}{T_1 - T_u^m} \cong 0.90 \quad (\text{B5.25})$$

varav

$$f_{op} = m \cdot \kappa \cdot \frac{U + L}{A_v} \quad (\text{B5.26})$$

Av de storheter som ingår i EKV (B5.26) är  $m$  svårast att uppskatta. Det härledda uttrycket för  $m$  är enkelt men det måste då också beaktas att härledningen bygger på mycket förenklade förutsättningar.

#### Exempel

Antag att ett rum har följande data

$$A_V = 12.5 \text{ m}^2$$

$$U+L = 36 \text{ W/K}$$

$$\phi_V = 0.50$$

$$m_V = 0.14$$

$$k = 1.0$$

Lösning:

$$\text{EKV (B5.24) ger } m = 0.038$$

$$\text{sätt } \kappa = 0.90$$

$$f_{\text{op}} \cong 0.10 = 10\%$$

#### B5.63 Inverkan på operativ temperatur av radiator

Det är främst två saker som inte kommit med i EKV (B5.24a).

- a) inverkan av fönster i ytterväggen
- b) inverkan av radiatorer

Punkt b) har ett speciellt intresse eftersom en tilläggsisolering avser att ge sänkt total energiförbrukning. Det betyder att radiatorerna inte behöver avge så mycket energi efter som före åtgärd. Lägre energiavgivning betyder lägre yttemperatur på radiatorerna (det förutsätts att radiatorarean är oförändrad). Reducerad yttemperatur på radiatorerna verkar sänkande på den operativa temperaturen. Följden blir att en del av den positiva effekten på den operativa temperaturen förtas av lägre yttemperatur på radiatorerna.

EKV (B5.24a) får följande utseende om fönster och radiatorer tas med. Det förutsätts att det för alla ytor utom radiator, fönster och yttervägg gäller att  $T_y = T_1$ .

$$m = 2m_{ve} / (2 + \gamma_0 \phi_e - (m_f k_f \phi_f + m_{ve} k_v))^2 \quad (\text{B5.24b})$$

$$m_{ev} = m_v \phi_v - \phi_e \gamma_e / \alpha_e$$

$$\gamma_e = A_v / A_e$$

$$\gamma_0 = (U + L - k_v A_v) / \alpha_e A_e$$

I EKV (B5.24b) avser index:

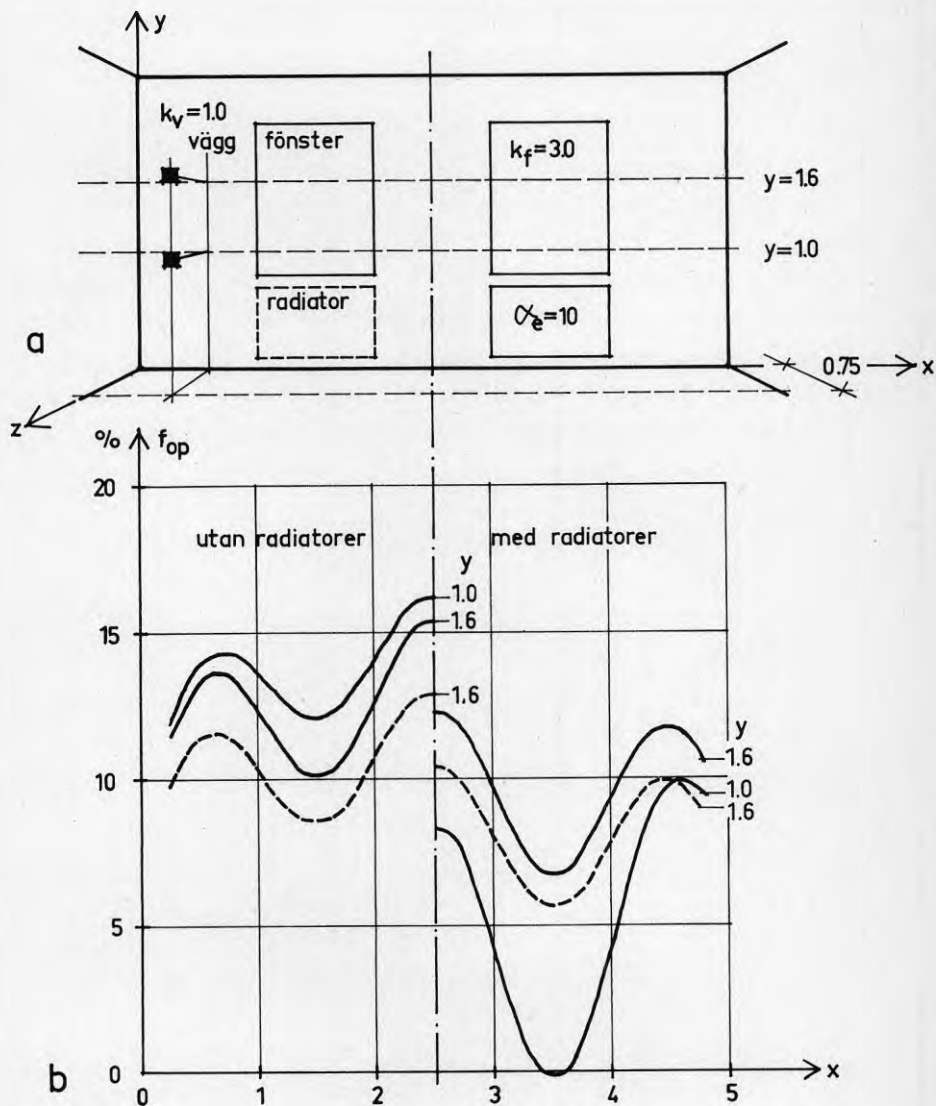
v = yttervägg

f = fönster

e = värmeelement, radiator

Vinkelkoefficienten för radiatorer  $\phi_e$  bestäms för en area som är hälften av  $A_e$  eftersom radiatorn förutsätts värmeavgivande även på baksidan.

FIG B5.4a visar ett rum där det förutsätts att det finns en yttervägg med två fönster och med eller utan radiator under dem. Den operativa temperaturen beräknas med utgångspunkt från det strålningsutbyte som kan ske mellan en liten plan yta placerad någonstans i rummet och omgivande ytor (yttervägg, fönster, radiatorer, mellanvägg, golv och tak). Intressant i det här fallet är att utgå från kontrollpunkter i närheten av vistelsezonens utkant i riktning mot ytterväggen. Problemet är nu att det blir olika värden på  $f_{op}$  beroende på vilken punkt man väljer.



Figur B5.4 a,b Beräknad extra energibesparing p g a ökad operativ temperatur. Inverkan blir beroende av från vilken punkt i vistelsezonen som väljs som kontrollpunkt.

FIG B5.4b visar resultatet av några beräkningar baserade på EKV (B5.24b), heldragna linjer. Den vänstra halvan av figuren visar  $f_{op}$  om värmeförlust sker utan radiatorer medan den högre delen visar motsvarande om det förutsätts en radiator under varje fönster. Radiatorerna ger en avsevärd inverkan. Beräkningsresultaten avser främst att visa hur  $f_{op}$  varierar med punkt i rummet (X,Y,Z) och förekomst av radiatorer.

Sammanfattningsvis tyder beräkningarna på att  $f_{op}$  kan ligga någonstans mellan 5 och 15%.

I B5.5 diskuterades problemet att energibehovet inte är någon linjär funktion av  $(U + L)$ . Något motsvarande gäller vid tillämpning av EKV (B5.24). Storheten  $m$  är en derivata  $\frac{dT}{dk}$  som vid beräkningar sedan skall multipliceras med förbättringen i k-värde  $\Delta k$  som långt ifrån är infinitesimalt. Ett bättre, men mera opraktiskt, uttryck för  $f_{op}$  kan tecknas

$$f_{op}^* = \frac{\int_{k_e}^{k_f} f_{op} dk}{k_f - k_e} \quad (B5.27)$$

Det visar sig att  $f_{op}$  varierar nästan linjärt med  $k$ . Det betyder att  $f_{op}^*$  kan beräknas som ett medeltal

$$f_{op}^* \cong (f_{op}(k_e) + f_{op}(k_f))/2$$

$k_e$  = väggens k-värde efter

$k_f$  = väggens k-värde före tilläggsisolering

I FIG 5.4b representerar de streckade kurvorna  $f_{op}^*$  enligt EKV (B5.27). Det förutsätts att k-värdet ändras från  $k_f = 1.0$  till  $k_e = 0.30$ . De heldragna kurvorna har beräknats för  $k = 1.0$ .

I figuren visas två nivåer 1.0 m och 1.6 m. Att den högra kurvan ( $y = 1$  m) får låga  $f_{op}$  beror på att kontrollpunkten kommer nära radiatorn. De låga värdena behöver inte ses som tecken på att tilläggsisoleringen i det här avseendet är utan verkan. De kan snarare vara ett tecken på att radiatorn före tilläggsisolering lokalt gav för hög operativtemperatur.

Jämför även avsnitt 5.51.

B6.1 InvesteringskalkylB6.11 Kapitalvärdemetoden

En bedömning av lönsamheten i en energibesparande investering måste utgå från en jämförelse mellan värdet av energibesparingen och kostnaden för investeringen, Andersson & Fjällström (1980) och Elmarsson (1979).

Energibesparande investeringar utförs i stor utsträckning med statligt stöd i form av gynnsamma lån, räntebidrag och förmånliga amorteringsplaner. Den beräkningsmetod som visas här ger möjlighet till att få med inverkan av exempelvis räntebidrag.

Kapitalvärdemetoden utgår från att investeringens värdeutfall,  $V$ , tecknas

$$V = E - U - G \quad (B6.1)$$

Villkor för lönsamhet blir enligt EKV (6.2)

$$V > 0$$

$E$  = nuvärdet av investeringens framtida nettoavkastning (energibesparingen)

$G$  = investeringskostnaden eller nuvärdet av alla framtida utbetalningar för de lån som finansierar investeringen

$U$  = nuvärdet av framtida underhållskostnader.

Med hänsyn till att tilläggsisolering till stor del kan finansieras genom förmånliga statliga energilån, är det rimligt att i en kalkyl se  $G$  som nuvärdet av annuiteten på de lån som finansierar investeringen.

B6.12 Beräkningsmetod

Följande beteckningar införs

$A$  = årlig amortering (kr/år)

$R$  = årlig ränta (kr/år)

$RB$  = räntebidrag (kr/år)

$m$  = marginals katt

$q$  = årlig inflation

$e$  = årlig energiprisstegring utöver inflationen

$r$  = real kalkylräntefot (eller kalkylränta =  $r + q$ )

$E_0$  = energibesparing år 1 (kr/m<sup>2</sup>)

$$G_0 = \text{investeringskostnad} \quad (\text{kr/m}^2)$$

$$GK = \text{godkänd kostnad enligt lånekungörelsen} \quad (\text{kr/m}^2)$$

I redovisningen här tas inte underhållskostnaden med. Motivet till detta är att det i regel gäller att jämföra två investeringsalternativ där det kan antas att underhållskostnaderna blir ungefär lika. Exempelvis kan det gälla:

- o puts eller alternativt puts på en tilläggsisolering
- o tilläggsisolering med plåt eller alternativt puts

Vid behov kan kalkylen kompletteras med hänsyn till underhållskostnaderna.

Värdeutfallet,  $V$ , kan tecknas

$$V = E_0 \underbrace{\sum_{t=1}^n \frac{(1+q+e)^t}{(1+q)(1+r)^t}}_{f_A} - \underbrace{\sum_{t=1}^n \frac{(R-RB)(1-m) + A}{((1+q)(1+r)^t)}}_G \quad (\text{B6.2})$$

De  $n$  termer som summeras är antingen  $n$  år eller om beräkningen kopplas till lånereglerna kan  $n$  sättas till antalet betalningsterminer. Dessa är i regel 2 per år.

Den första summan (i EKV B6.2) som är faktor till  $E_0$  betecknas  $f_A$ . Den andra summan som har med lånen att göra blir relativt komplicerad eftersom hänsyn skall tas till aktuella lånevillkor med räntebidrag  $m$  m. Olika lånevillkor gäller för den del av  $G_0$  som ligger under respektive över  $GK$ .  $G$  delas därför upp i två delar. En del  $GK$  och en del  $G_0 - GK$ , som kan betecknas som överkostnad. Den senare delen finansieras med topplån (eller eget kapital).

$$G = f_{GS} \cdot GK + f_{GT} \cdot (G_0 - GK) \quad (\text{B6.3})$$

Med införda beteckningar kan  $V$  tecknas

$$V = f_A \cdot E_0 - f_{GS} \cdot GK - f_{GT} (G_0 - GK) \quad (\text{B6.4a})$$

Om de införda koefficienterna beräknas kan EKV (B6.4a) enkelt användas för kalkylering. Om  $G_0 < GK$  bortfaller den tredje termen i EKV (B6.4a) varav

$$V = f_A \cdot E_0 - f_{GS} \cdot G_0 \quad (\text{B6.4b})$$



För beräkning av  $f_A$  erfordras en skattning av

- o kalkylperiod, som bör kunna sättas lika med amorteringstid för det längsta lånet
- o inflation  $q$
- o energiprisstegring,  $q + e$
- o real kalkylränta  $r$ , se avsnitt B6.25.

Om  $e$  sätts lika med  $r$  blir  $f_A \approx n$ . Koefficienterna  $f_{GS}$  och  $f_{GT}$  anger hur mycket som skall återbetalas i nuvärde per lånad krona. Om inflationen sättes till  $q=0$ ,  $RB=0$ ,  $m=0$  och  $r$  lika med låneräntefoten, blir  $f_{GS}$  respektive  $f_{GT}$  lika med 1. Inflationen och räntebidrag gör att, trots höga nominella räntor, speciellt  $f_{GS}$  kan bli betydligt mindre än 1.

### B6.13 Renovering eller renovering + tilläggsisolering

I avsnitt 6.32 anges kriteriet (EKV (6.3)) för att renovering + tilläggsisolering skall föredras framför enbart fasadrenovering.

$$V_{RT} > V_R$$

eller omformat till

$$\begin{aligned} V &= V_{RT} - V_R \\ V &> 0 \end{aligned} \tag{B6.5}$$

Med tillämpning av EKV (B6.4) erhålls

$$\begin{aligned} V_{RT} &= f_A E_0 - f_{GS} \cdot GK - f_{GT} \cdot (G_{RT} - GK) \\ \text{då } G_{RT} &\geq GK \end{aligned} \tag{B6.6a}$$

$$\begin{aligned} V_{RT} &= f_A \cdot E_0 - f_{GS} \cdot G_{RT} \\ \text{då } G_{RT} &< GK \end{aligned} \tag{B6.6b}$$

$$V_R = - f_{GT} \cdot G_R \tag{B6.7}$$

Lönsamhetsvillkoret enligt EKV (B6.5) kan nu tecknas

$$\frac{GK}{E_0} < \frac{f_A}{f_{GS} + f_{GT} \left( \frac{G_{RT}}{GK} - \frac{G_R}{GK} - 1 \right)} \tag{B6.8a}$$

$$G_{RT} \geq GK$$

$$\frac{G_K}{E_0} < \frac{f_A}{f_{GS} \cdot \frac{G_{RT}}{G_K} - f_{GT} \cdot \frac{G_R}{G_K}} \quad (\text{B6.8b})$$

$$G_{RT} < G_K$$

EKV (B6.8a,b) framställs i form av diagram i FIG B6.1a och b.

En extrapolering av de senaste årens inflation, lånevillkor för staliga energilån ger värden på  $f_{GS}$  som ligger långt under 1. För vanliga banklån (topplån) är villkoren avsevärt sämre. Räntefoten är hög, amorteringstiden relativt kort. Detta leder till att koefficienten  $f_{GT}$  kan bli ca dubbelt så stor som  $f_{GS}$ . Därav följer att stora ekonomiska fördelar kan vinnas genom att renovera i kombination med tilläggsisolering för att därigenom få tillgång till de gynnsammaste lånen.

#### B6.14 Beräkningar

Två diagram redovisas. Ett för låg och ett för något högre inflation.

Följande förutsättningar används som underlag för diagrammen, se avsnitt B6.16.

Kalkylränta, realränta	2%
Inflation (årlig)	6 resp 8%
Energiprisstegring utöver inflation	1%
Marginalskatt	0
Statslån, ränta och amorteringstid	12% 20 år
Bottenlån, " " "	12% 20 år
Topplån, " " "	14% 15 år
Garanterad ränta år 1	3%
Ökning av garanterad ränta per år	0.25%
Statslån, andel av låneunderlag	30%
Bottenlån, " " "	70%
Topplån antas finansiera den del som ligger över låneunderlag	
Kalkylperiod	20 år
Eventuella bidrag utöver lån beaktas ej.	

Låneräntorna har antagits något under den nivå som gäller 1983. Detta kompenseras dock gott och väl av att inflationen satts under den nivå

som gällt under de senaste åren.

Amorteringsplanerna baseras på de regler som gäller för statliga lån enligt BOFS och bottenlån enligt hypoteksinstitut (serielån).

Med angivna förutsättningar erhålls:

	Inflation	
	6%	8%
$f_A$	18.0	17.9
$f_{GS}$	0.824	0.699
$f_{GT}$	1.314	1.188

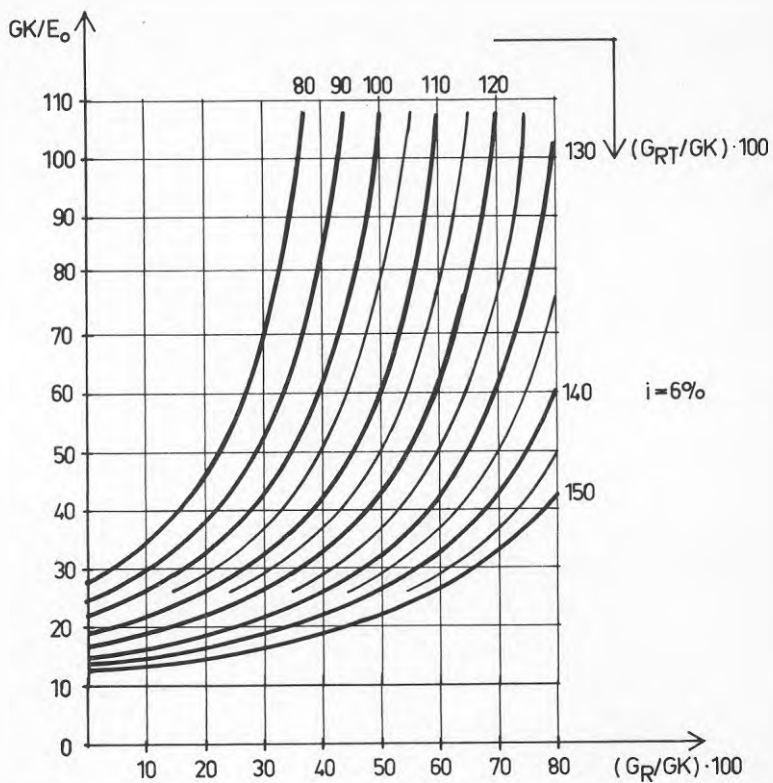
### B6.15 Real kalkylränta

Det kan diskuteras vilken real kalkylränta som skall användas. Redovisade diagram, avsnitt B6.16, baseras på  $r=2\%$ . Detta kan förefalla lågt vid jämförelse med nominella räntor. Med hänsyn till inflation, skatteregler, räntebidrag m m kan denna räntefot dock inte betraktas som exceptionellt låg. Detta stöds av att i diskussionen för och emot reallån (indexlån) har realräntor på 2 till 3% angivits.

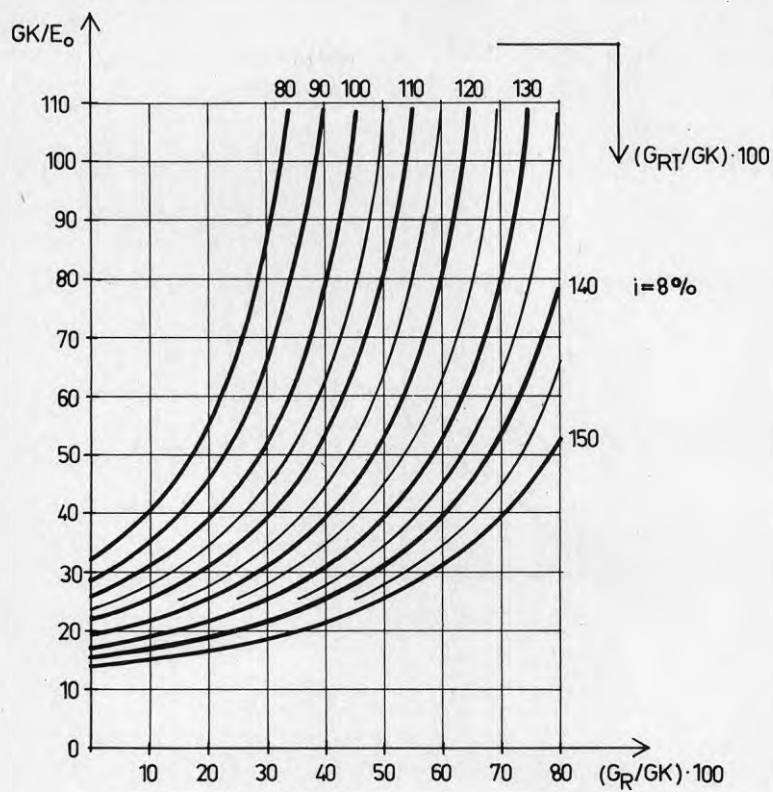
Kontrollberäkningar visar att den reala kalkylräntan inte får någon större inverkan på kalkylen vid tillämpning på det vanligaste fallet, dvs vid renoveringsbehov. Det blir då två effekter som verkar mot varandra. En ökning av kalkylräntan reducerar värdet av energibesparingen men ökar värdet av att gynnsamma energilån till viss del finansierar renoveringen.

### B6.16 Diagram

FIG B6.1a,b visar kurvskaror som kan användas för att undersöka om en åtgärd är lönsam eller ej. Figurerna baseras på antaganden enligt avsnitt B6.14. FIG B6.1a baseras på inflation 6% medan b baseras på 8%. Erfarenheten från de senaste 10 åren tyder på att 8% är ett mera realistiskt antagande än 6%. Beräkningsexempel i avsnitt 6.33 visar hur diagrammen kan användas.

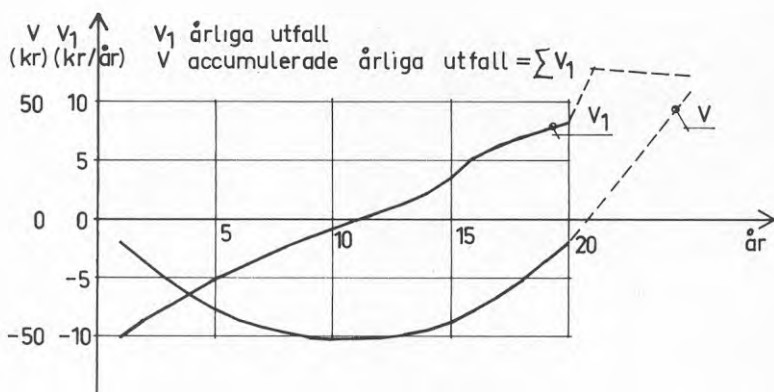


Figur 6.1a Kalkyldiagram baserat på förutsättningar enligt avsnitt B6.14. Antagen inflation 6%. Tillämpning: se exempel i avsnitt 6.33.



Figur 6.1b Kalkyldiagram baserat på förutsättningar enligt avsnitt B6.14. Antagen inflation 8%. Tillämpning: se exempel i avsnitt 6.33.

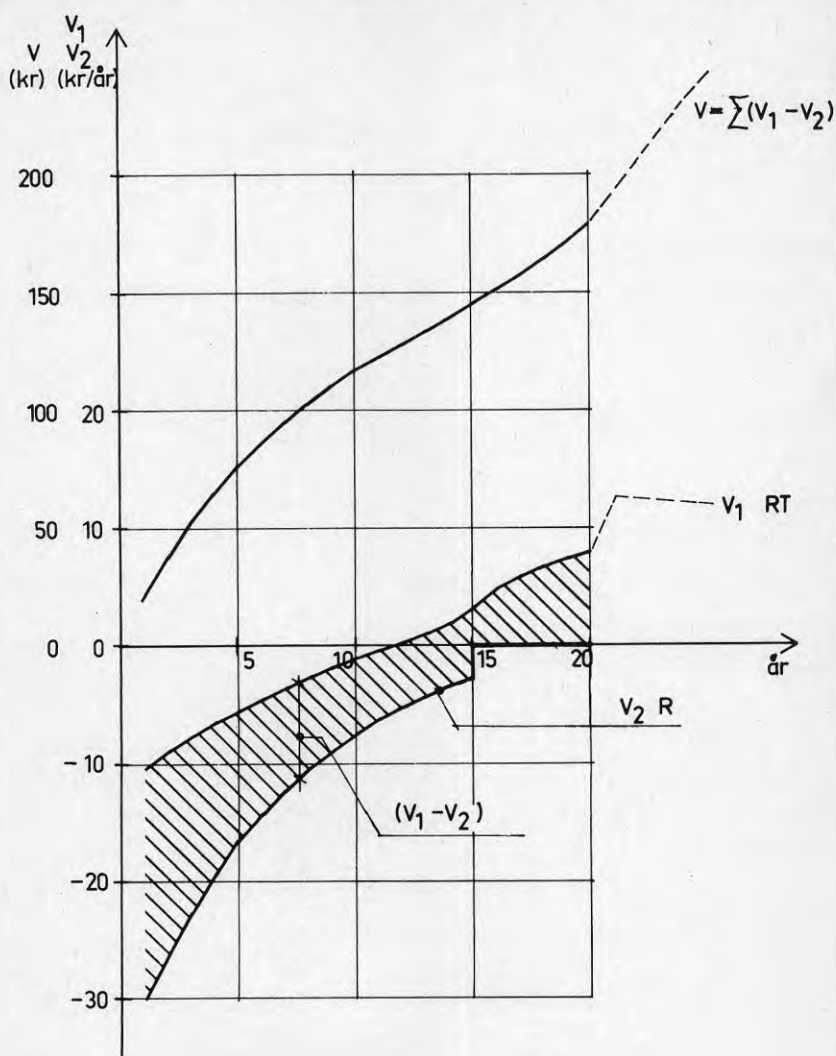
Diagrammen, enligt FIG B6.1a,b, baseras på en kalkylperiod på 20 år. Det enda detta diagram ger besked om är vad som måste gälla för att det skall uppstå överskott summerat över hela kalkylperioden. FIG B6.2 och B6.3 visar en beräkning som visar utfallen år för år under hela kalkylperioden. Som förutsättning gäller de som är redovisade i avsnitt B6.14 med inflation 8%. Vidare har antagits  $G_{RT} = 400 \text{ kr/m}^2$ ,  $G_K = 363 \text{ kr/m}^2$ ,  $G_R = 160 \text{ kr/m}^2$  och  $E_0 = 16 \text{ kr/m}^2$ . I figurerna betecknar  $V_1$  årliga utfall och  $V$  ackumulerade årliga utfall. FIG B6.2 visar ett fall där energibesparingen skall betala hela investeringen, dvs  $G_R = 0$ . Kurvan  $V_1$  visar att det blir underskott de första åren (11 år). Därefter blir det växande överskott som dock inte riktigt räcker till för att kalkylen efter 20 år skall hamna på plus ( $V < 0$ ). Efter 20 år är dock alla lån slutamorterade och det tar inte lång tid förrän kalkylen blir positiv om kalkylperioden förlängs.



Figur B6.2 Ekonomiskt utfall år för år om energibesparingen skall betala hela investeringen, förutsättningar framgår av texten.

FIG B6.3 visar det ekonomiska utfallet för det vanligaste fallet, dvs då fasaden är i behov av renovering ( $G_R = 160 \text{ kr/m}^2$ ). Kurvan  $V_1$  (samma som i FIG B6.2), som visar årligt ekonomiskt utfall för alternativ RT, ligger klart över kurvan  $V_2$  som visar årligt ekonomiskt utfall vid enbart renovering.

Skillnaden mellan  $V_1$  och  $V_2$  ger vinsten med att välja renovering + tilläggsisolering (RT) framför enbart renovering (R). Det framgår av kurvan  $V$  att det blir överskott redan första året.



Figur B6.3 Ekonomiskt utfall vid jämförelse mellan renovering + tilläggsisolering (RT) och enbart renovering (R), förutsättningar framgår av texten.

## B6.2 Läneregler

### B6.21 Areabegrepp

Areabegrepp finns i Svensk standard SS 02 10 50. Här ges ett kortfattat utdrag.

#### Byggnadsarea BYA

Med byggnadsarea avses den area som en byggnad upptar på marken. FIG B6.4 visar hur byggnadsarean skall mätas.



Figur B6.4 Bestämning av byggnadsarea

#### Bruksarea BRA

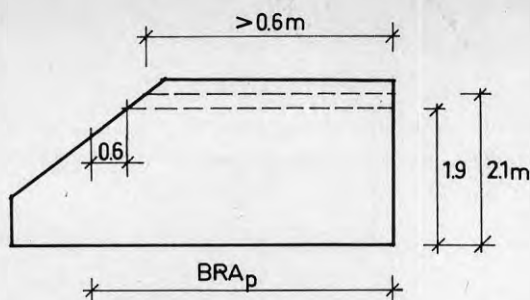
Med bruksarea avses area av nyttjandeenheter och gemensamma delar i en byggnad, begränsade av omslutande väggars insidor. Väggar, skåp m m inom en nyttjandeenhet (bostad eller lokal) ingår i BRA. Väggar mellan nyttjandeenheter och ledningsschakt större än  $0.5 \text{ m}^2$  är exempel på area som inte ingår i BRA.

Bruksarea indelas i

- o primär bruksarea  $p^{\text{BRA}}$
- o sekundär bruksarea  $s^{\text{BRA}}$
- o övrig mätvärd area

FIG B6.5 visar exempel på geometriska villkor vid bestämning av primär bruksarea.



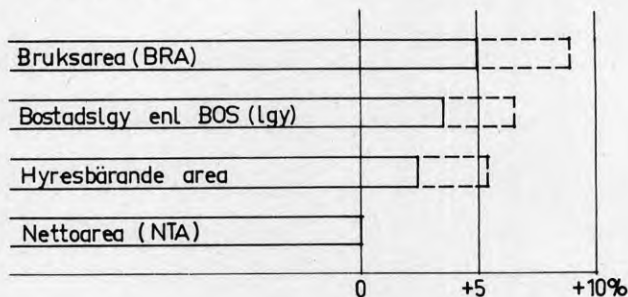


Figur B6.5 Primär bruksarea, geometriska villkor.

#### Nettoarea NTA

Med nettoarea avses area av rum begränsade av byggnadsdelar som väggar, pelare, ledningsschakt o d. Nettoarea för enstaka rum kan även kallas rumsarea.

FIG B6.6 visar ungefärliga samband mellan BRA och areabegrepp använda i äldre bostadsbestånd. BOS är förkortning för "Bostadsstyrelsens mätregler till bostadsfinansieringsförordningen".



Figur B6.6 Samband mellan BRA och areabegrepp i äldre hus.

#### B6.22 Villkor för energilån

Villkor för lån till värmeisolering finns i Bostadsstyrelsens författningssamling, BOFS. Här ges ett sammandrag av de regler som gäller enligt BOFS april 1983 för tilläggsisolering av ytterväggar.

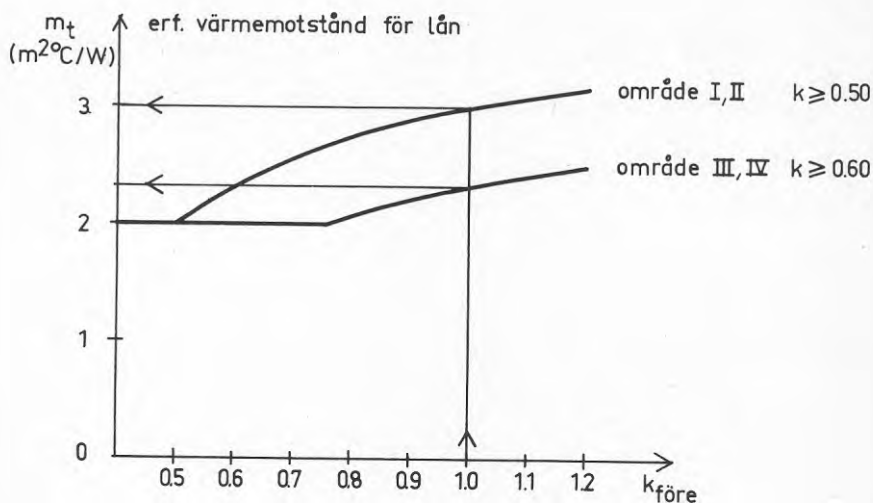
a) Befintlig vägg skall för område (SBN 1980)

- I, II ha  $k \geq 0.50$  och för
- III, IV ha  $k \geq 0.60$ .

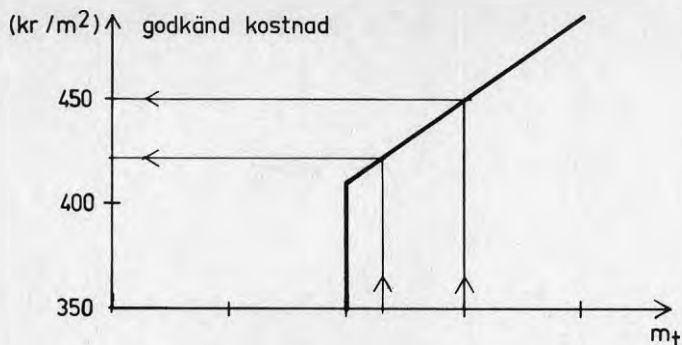
b) Tilläggsisoleringen skall i normalfallet ge en ökning av värmemot-

ståndet med minst  $m_t = 2.0 \text{ (m}^2 \text{ } ^\circ\text{C/W)}$

- c) Efter tilläggsisolering skall i normalfallet k-värde motsvarande nybyggnadsstandard enligt SBN 1980 uppnås. Det innebär för områden
- I, II  $k \leq 0.25$   
 III, IV  $k \leq 0.30$
- d) Energilånet baseras på begreppet godkänd kostnad (GK). Godkänd kostnad skall bestämmas som summan av två belopp
- |                      |                |
|----------------------|----------------|
| 1) tilläggsisolering | $40 m_t + 150$ |
| 2) fasadskikt, puts  | 180            |
- GK kan därmed tecknas  
 $GK = 40 m_t + 330$   
 Godkänd kostnad beräknas per  $\text{m}^2$  isolerad yta.
- e) Bidrag kan i vissa fall utgå vilket inte beaktats i denna rapport.



Figur B6.7 Erforderligt  $m_t$  som funktion av  $k_{\text{före}}$  för att k-värde motsvarande nybyggnad skall erhållas efter tilläggsisolering.



Figur B6.8 Godkänd kostnad som funktion av  $m_t$ , fasadskikt puts, (EKV B6.9).

Energilån erhålls efter ungefär samma regler som byggnadslån. Avgörande för lånets storlek är låneunderlaget (LU). Om det endast rör sig om energibesparande åtgärder baseras LU på godkänd kostnad (GK) enligt ovan. I många fall torde den energibesparande insatsen bli kombinerad med andra ombyggnadsåtgärder. Därvid inkluderas kostnaden för dessa i LU.

Energilånet erhålls som

statligt bostadslån	30% av LU
bottenlån	70% av LU

För insatser av mindre omfattning erhålls s k fördjupning, vilket innebär att statligt bostadslån erhålls för 100% av LU.

Som villkor för fördjupning gäller

LU < 25 000	för småhus
LU < 100 000	för flerbostadshus

Räntebidrag på energilån utgår inte för insatser i småhus. För flerbostadshus utgår räntebidrag bland annat för fallet utvändigt tilläggsisolering.

Räntebidraget, RB, beräknas enligt

$$RB = R_B + R_S - r_g \cdot LU \quad (B6.10)$$

$R_B$  ränta på bottenlån

$R_S$  ränta på statligt lån

$r_g$  garanterad räntefot respektive år

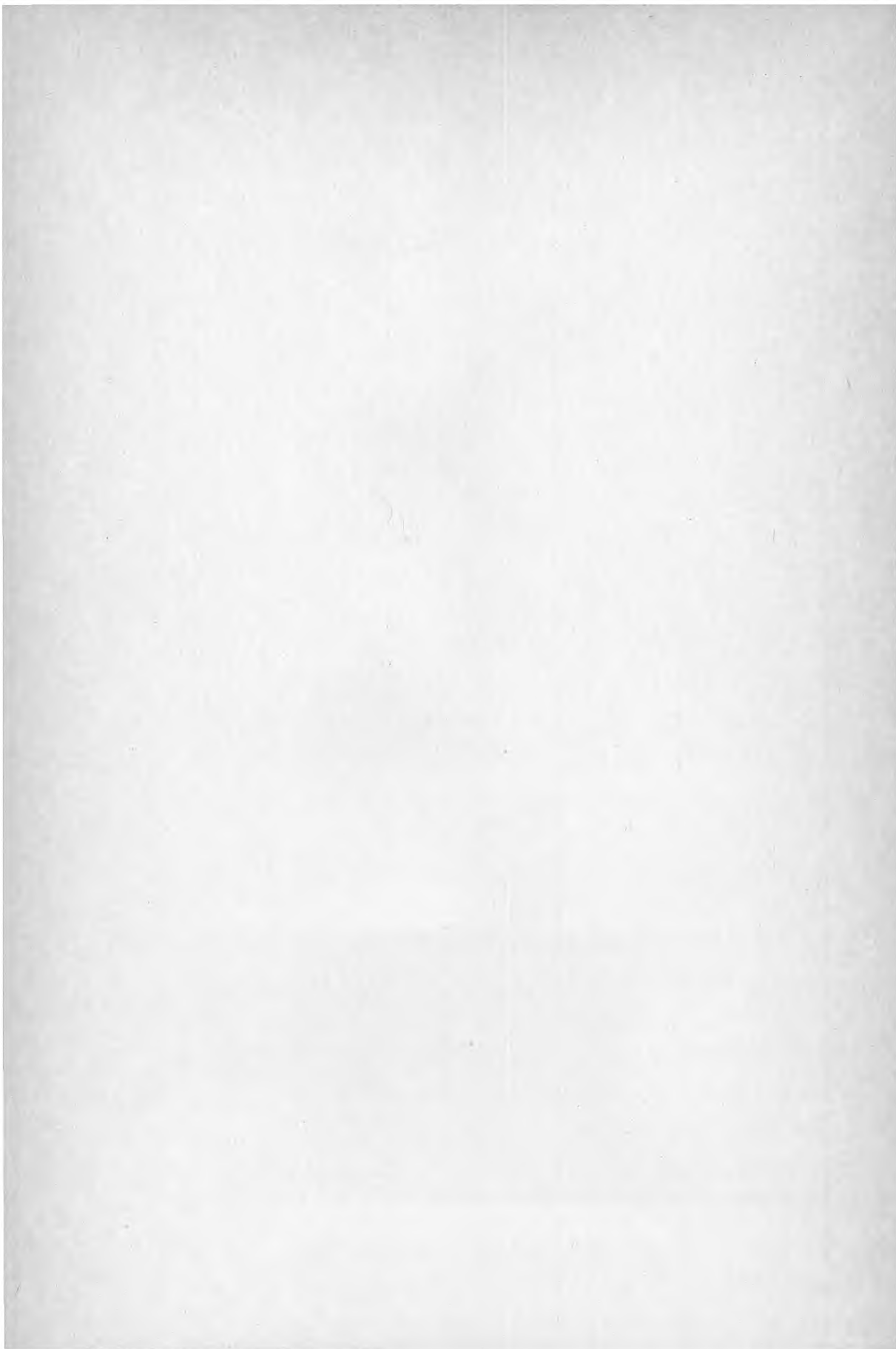
LU låneunderlag = godkänd kostnad

Amorteringar på både stats- och bottenlån sker enligt annuitetsprincipen.

## LITTERATURFÖRTECKNING

- Andersson, A-C, Fjällström, 1980. Energibesparande åtgärder i småhusbebyggelse från 1960-talet. Statens råd för byggnadsforskning. Rapport 4. Stockholm.
- Elmarsson, Nevander, 1978. Puts på tilläggsisolering. Institutionen för Byggnadsteknik. Rapport TVBH-3001. Lunds Tekniska Högskola. Lund.
- Elmarsson, 1979. Puts på tilläggsisolering. Statens råd för byggnadsforskning. T5:1979. Stockholm.
- Elmarsson, 1983. Puts på tilläggsisolering. Serporockmetoden. Institutionen för Byggnadsteknik. Rapport TVBH-3010. Lunds Tekniska Högskola.
- Johnsson, 1980. Att spara energi i flerbostadshus. SABO. Stockholm.
- Larsson, 1980. Puts på tilläggsisolering: SoS-metoden. Rapport CTH-A-HB 1980:2. Göteborg.
- Nevander, Elmarsson, 1981. Fukthandbok. Svensk Byggtjänst. Helsingborg.
- Nylund, P O, 1975. Temperaturrelöser hos fasadskivor. Statens råd för byggnadsforskning. Rapport 60. Stockholm.
- Nylund, P O, 1977. tm-combi-rörelser hos fasadskikt och rörelser/krafter i infästningsbeslag. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm. Ännu ej publicerad.
- Nylund, P O, 1981. tm-combi, redovisning av mätresultat. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm. Ej publicerat material.
- Karell, Lundqvist, Wredling, Ohman, 1981. Södertäljegruppen. G+R-, Gyproc- och AJ-metoderna. Statens råd för byggnadsforskning. Stockholm. Ej publicerad.













**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
780918-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till institutionen för byggnadsteknik, Lunds  
Tekniska Högskola, Lund.**

**R120: 1984**

**ISBN 91-540-4234-8**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6704120**

**Abonnemangsgrupp:  
W. Installationer**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst, Box 7853  
103 99 Stockholm**

**Cirka pris: 55 kr exkl moms**