



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

R196:1984

Värmeväxlartaket

**Utvärdering av experimentbyggnad
i Herrljunga**

**Gundi Johannesson
Bengt Bergqvist
Gunnar Rise**

INSTITUTET FÖR BYGGDOKUMENTATION	
Accnr	
Plac	Ser

K
Ant

Byggforskningsrådet

R196:1984

VÄRMEVÄXLARTAKET

Utvärdering av experimentbyggnad i Herrljunga

Gundi Johannesson
Bengt Bergqvist
Gunnar Rise

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810289-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för Byggnadsteknik I, Lunds Tekniska Högskola, Lund

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

R196:1984

ISBN 91-540-4299-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

Liber Tryck Stockholm 1984

INNEHÅLL

FÖRORD		Sid 3
1	SAMMANFATTNING	4
2	INLEDNING	6
2.1	Bakgrund	6
2.2	Syfte	6
2.3	Systembeskrivning	7
2.4	Beskrivning av experimentbyggnad	7
3	MÄTNINGAR	16
3.1	Mätpunkternas placering	16
3.2	Mätapparatur	19
4	MÄTRESULTAT	20
4.1	Databas	20
4.2	Utvärderingsmodeller	20
4.3	Värmebalans i luftspalt och på takyta	21
4.3.1	Temperaturändring i spalt	21
4.3.2	Värmeövergångstal på takyta	27
4.3.3	Möjligt energiutbyte av en ventilerad spalt i tak	27
4.3.4	Hastighets- och temperaturfördelning i taket	29
4.4	Värmeväxlars egenskaper	31
4.4.1	Värmeväxlars temperaturverkningsgrad	32
4.4.2	Värmeväxlarens värmelagrande egenskaper	39
4.4.3	Yttemperatur på VVX-kassetterna	43
4.4.4	Yttemperatur i kanalsystemet	47
4.5	Fuktbalans i luftspalt	49
4.5.1	Uttorkning av spalt	49
4.5.2	Vattenläckage	52
4.5.3	Luftläckage inifrån	52
4.6	Inomhusklimat sommartid	52

FÖRORD

Denna rapport redovisar mätresultat från en experimentbyggnad med värmväxlartak. Takkonstruktionen, som utvecklats av AB Strängbetong i samarbete med Aeromator Trading Co AB möjliggör bl a värmeåtervinning ur frånluft, tillvaratagande av solvärme, nattkylning med sval uteluft sommartid.

Projektledare har varit tekn dr Gudni Johannesson, LTH *) som även utfört huvuddelen av arbetet. Ansvarig för projektet har varit professor Lars Erik Nevander, avdelningen för husbyggnadsteknik, LTH.

Mätdatainsamlingssystemet har lagts upp av Ulf Leander och Lars Olsson vid LTH.

Strängbetong har medverkat vid mätdatainsamlingen genom Bengt-Olov Gunnarsson, Herrljunga och vid rapportsammanställningen genom Gunnar Rise och Bengt Bergqvist, Stockholm.

*) Gudni Johannesson driver numera egen konsultfirma i Reykjavik, Island.

1 SAMMANFATTNING

Värmeväxlartaket kännetecknas av att värme- och ventilationssystemet samverkar med takkonstruktionen och möjliggör

- värmeåtervinning ur frånluft
- tillvaratagande av solvärme
- nattkylning av uteluft
- bortventilation av fukt i taket

Taket är underifrån räknat uppbyggt av betongelement med hålkana-
ler, isolering, luftspalt samt tätskikt.

Frånluftens värmeinhåll tillvaratas genom värmeväxling i betong-
elementens hålkanaled och genom att en värmepump sänker från-
luftens temperatur ytterligare innan den lämnar byggnaden.

Tilluften förvärmns i luftspalten av solvärme, transmissionsför-
luster genom taket, värmeväxling i hålkanalederna samt eventuell
ytterligare uppvärmning i takaggregatets värmebatteri innan den
blåses in i lokalen. Lokalen kan också värmas av fläktluftvärmare.

Värmeväxlartaket egenskaper har teoretiskt redovisats i BFR-
rapporten R111:1980. Dessa egenskaper visade sig vara så positiva
att en experimentbyggnad beslöts uppföras. Härigenom kunde i för-
studien gjorda antaganden beträffande t ex temperaturverknings-
grader hos takets värmeväxlardel, infångad solenergi hos takets
solvärmedel etc praktiskt undersökas. Experimentbyggnaden upp-
fördes vid Strängbetongs fabrik i Herrljunga, där en 3.000 m²
gjuthall uppfördes med värmeväxlartak.

För att utvärdera takets egenskaper har avdelningen för Husbygg-
nadsteknik vid Lunds Tekniska Högskola haft ett mätprojekt som
löpt mellan 1982-02-17 och 1983-05-31. Mätvärden från 29 olika
mätpunkter har insamlats timvis. Totalt har ca 1,5 miljoner mät-
värden insamlats av datalogger. Mätvärdena har sedan behandlats
i mät dator.

Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad för frånluft under konti-
nuerlig drift har beräknats ligga kring 0,45. Motsvarande tempera-
turverkningsgrad för tilluft ligger kring 0,70.

Dessa verkningsgrader hänför sig till tilluftstemperaturen efter
luftspalt och aggregat men före håldäcksplattorna. Den förvärm-
ning av tilluften som sker i luftspalt och aggregat resulterar i
en lägre temperaturverkningsgrad för frånluft eller ca 35% för
systemet i sin helhet räknat mot uteluftens temperatur men tempe-
raturverkningsgraden för tilluft blir samtidigt hög eller ca 85%.
Förklaringen till att verkningsgraderna är olika för till- och
frånluft är att värmeväxlardelen, luftspalten och transportkana-
len har värmeutbyte med omgivningen.

Värmeväxlartaket kan tillvarata solvärme under ca 60% av den
aktuella drifttiden. För experimentbyggnaden är insamlad mängd
solenergi som kan tillvaratas ca 100.000 kWh/år motsvarande
ca 30 kWh/år, m² golvyta.

Då luftspaltens ventilation även kan ge temperatursänkningar är det viktigt att under eldningssäsongen enbart nyttja spaltventilationen då den ger tillskott.

Värmeväxlarens värmelagrande egenskaper gör det möjligt att ta hand om solvärme från luftspalten vår och höst utan att övertemperaturer uppstår. Sommartid när värmebehov inte föreligger utnyttjas inte värmeväxlaren utan enbart tilluft körs parallellt genom bägge hälfterna av systemet och frånluften evakueras direkt till det fria utan att passera betongkanalerna.

2 INLEDNING

2.1 Bakgrund

Idén till värmeväxlartaket togs fram redan under 1978. I en förstudie publicerad i BFR-rapporten R111:1980 - "Mekaniskt ventilerad takkonstruktion som värmeväxlare och solfångare" har teoretiska studier av takets olika funktioner utförts. Takkonstruktionen har också undersökts genom laboratorieprov på Husbyggnadsteknik, LTH, med avseende på den konvektiva värmeöverföringen i takkonstruktionens hålskanaler och dess dynamiska egenskaper att lagra och avge värme.

Jämfört med konventionella takkonstruktioner och ventilations-system har värmeväxlartaket flera fördelar, som t ex

- taket kan användas som värmeväxlare för värmeåtervinning ur frånluft. Ventilationsvärmeväxlare behövs därför inte
- taket kan tillvarata såväl direkt som diffus solstrålning
- taket kan sommartid kylas med sval uteluft nattetid. Höga rumstemperaturer sommartid kan därför undvikas
- transmissionsförluster genom taket kan delvis nyttiggöras för uppvärmning av tilluft
- fukt i taket kan bortventileras
- distributionen av till- och frånluft kan lösas med mindre mängd plåtkanaler genom integration av det bärande takbjälklaget och kanalsystemet för ventilation

Såväl förstudien som laboratorieproven gav så intressanta resultat att Strängbetong beslöt prova värmeväxlartaket genom fullskaleförsök. Vid Strängbetongs fabrik i Herrljunga skulle en ny gjuthall för betongelement uppföras och denna valdes som experimentbyggnad. Strängbetong utförde byggprojekteringen medan VVS-projekteringen gjordes av Theorells i Solna. Experimentbyggnaden var färdig i januari 1982.

2.2 Syfte

Värmeväxlartaket syftar främst till förbättrad energihushållning och arbetsmiljö i hallbyggnader. Avsikten med detta projekt är att med hjälp av praktiska mätningar verifiera de fördelar som teoretiskt redovisats i BFR-rapporten R111:1980.

Följande frågor har bl a studerats

- temperaturverkningsgrad hos takkonstruktionen som värmeväxlare
- optimal växlingsfrekvens för tilluft-frånluftsströmningen genom takkonstruktionens hålskanaler
- takets förmåga att tillvarata solvärme
- takventilationens förmåga att ventileras bort fukt ur konstruktionen

- hur förloppen skall styras och regleras med avseende på betongens termiska tröghet

2.3 Systembeskrivning

Värmeväxlartaket kännetecknas av att värme- och ventilationssystemet samverkar med takkonstruktionen och möjliggör

- värmeåtervinning ur frånluft
- tillvaratagande av solvärme
- nattkylning med uteluft
- bortventilation av fukt i taket

Taket är underifrån räknat uppbyggt av betongelement med hålkana-
ler, isolering, luftspalt samt tätskikt. Värmeväxlartakets och
luftbehandlingsaggregatets principiella utseende framgår av
FIG 2.3.1.

För att kunna jämföra i vilka avseenden som systemet skiljer sig
från konventionella takkonstruktioner och ventilationssystem
visas i FIG 2.3.2 en konventionell takkonstruktion; TT-tak med
isolering och tätskikt av papp samt ventilationssystem med roter-
ande värmeväxlare.

2.4 Beskrivning av experimentbyggnad

Byggnad

Stiftelsen Herrljunga Industrilokaler och AB Strängbetong upp-
förde under 1981 en gjuthall med värmeväxlartak. Totala byggnads-
volymen är 35,000 m³, totala takytan är 4.000 m². 700 m² utnyttjas
för värmeåtervinning ur frånluft. Arean är vald efter erforderlig
tillluftsflöde.

Gjuthallen har ytterväggar av prefabricerade sandwichelement,
golvbjälklaget är utformat som platta på mark och takkonstruk-
tionen framgår av FIG 2.4.1.

I gjuthallen tillverkas företrädesvis fasadelement av betong.
Fuktavgivningen i samband med gjutningarna gör att luftfuktig-
heten i rumsluften är hög ca 50-80%, även vintertid. Byggnaden
togs i drift i början på 1982.

Värme- och ventilationssystem

Byggnadens värme- och ventilationssystem framgår av figurerna
2.4.2 - 2.4.6.

Frånluftens värmeinhåll tillvaratas genom värmeväxling i betong-
elementens hålkana-
ler och genom att en värmepump sänker från-
luftens temperatur ytterligare innan den lämnar byggnaden. Värme-
pumpens kondensorvärme utnyttjas för uppvärmning av tappvarm-
vatten pga stort tappvarmvattenbehov. Studien av värmepumpen
ligger dock utanför detta BFR-projekt.

Tilluften förvärms i luftspalten av solvärme, transmissionsför-
luster genom taket, värmeväxling i hålkana-
lerna samt eventuell
ytterligare uppvärmning i takaggregatets värmebatteri innan den
blåses in i lokalen.

Lokalen kan också värmas av fläktluftvärmare.

Vid gjuthallens ena kortsida finns en blandarstation där cement, ballast och vatten blandas till betong. Under vinterhalvåret då ballasten är kall används varmvatten för att få rätt betongtemperatur. Ackumulatortankarna i värmesystemet utnyttjas för att utjämna variationerna i tappvarmvattenbehovet.

ANM

Värme- och ventilationssystemet är mer omfattande i denna experimentbyggnad än i fortsatta planerade utföranden. Ventilations-systemets utförande för experimentbyggnaden har styrts av mätdatainsamlingskrav och av att man velat studera olika luftföringsprinciper.

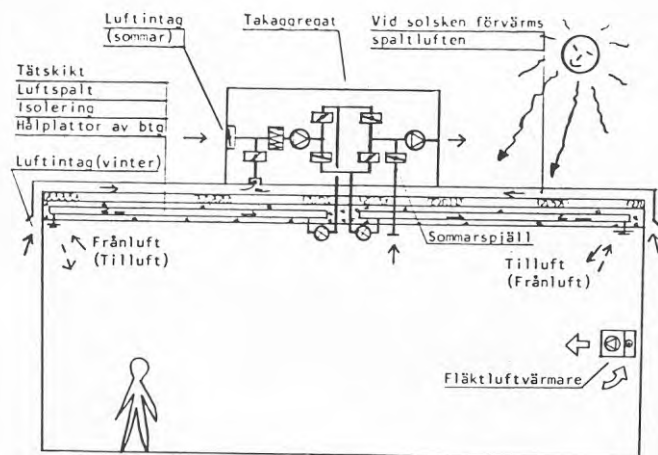


FIG 2.3.1 Värmeväxlartaket - normalfallet

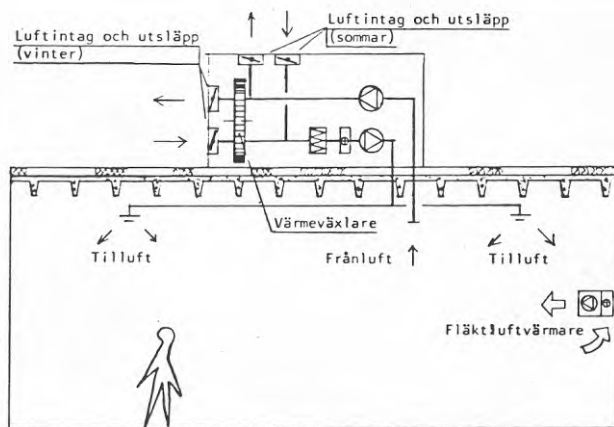


FIG 2.3.2 Konventionell takkonstruktion och värme- och ventilationssystem

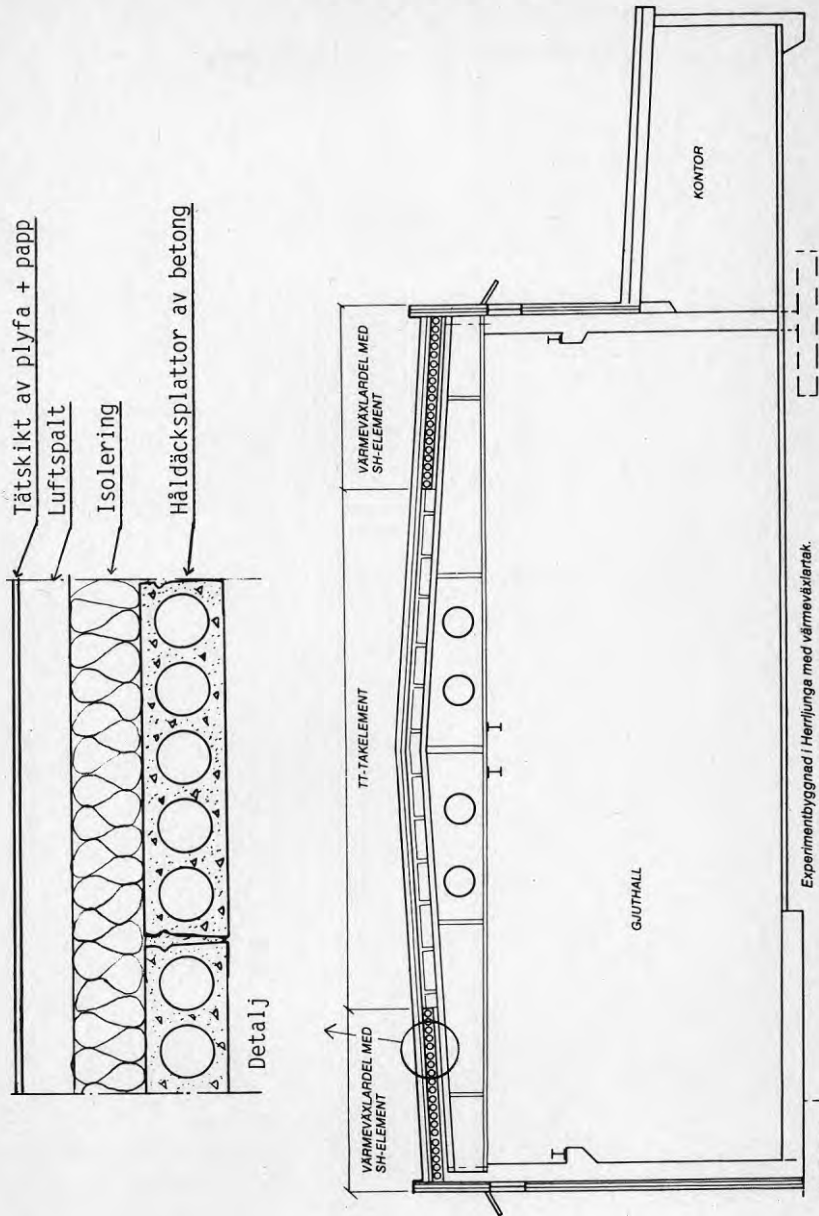
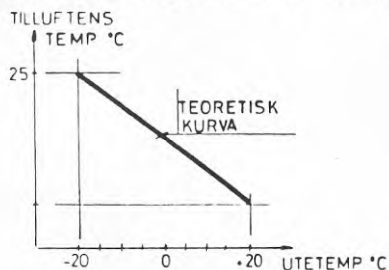


FIG 2.4.1 Takkonstruktion

Funktion TA1

Aggregatet styrs med styrur.
 Tilluftfläkten styr frånluftfläkten.
 Hel- alt halvfart styrs manuellt.
 Tilluftens temperatur efter filtret regleras.
 Temperaturen styrs som en funktion av utetempe-
 raturen enligt angiven kurva med spjällen.

GT1A
 GT3A
 ST4



Sommar drift/vinter drift styrs av blandnings-
 temperaturen, GT1A, via reglercentralen.
 Omkoppling till vinter drift sker vid ca +15°C
 blandningstemperatur, återkoppling till sommar-
 drift vid ca 3°C högre temperatur.

GT1C
 RC9

Spjäll som skall vara öppna resp stängda vid
 sommar- resp vinterfall framgår av bif flödes-
 scheman.

ST1

Omkoppling mellan vinter drift 1 och 2 sker med
 tilreläer som växlar var 60:e minut
 (inställbart 5-60 min).

Tilluftens temperatur efter tilluftfläkten
 regleras. Börvärde +15°C.
 Utgivare för ev kompensering från utetempa-
 raturen.

GT1b
 GT3B

Filtervakterna ger larm vid för högt tryckfall
 över resp filter.

GP7

Flödesvakter (typ fasvinkelvakt) ger larm då
 flödet över fläktarna upphör.

GX7

Vid stopp av fläktarna stängs samtliga spjäll.
 Vid för hög temperatur i kanalerna stoppar
 brandtermostaten fläktarna.

ST1, ST4
 GT7

GP7 Filtervakt
 GT1 Temperaturgivare
 GT3 " "
 GX7 Flödesvakt (fasvinkelvakt)
 RC1 Reglercentral
 ST9 Motorventil
 ST1 Spjällmotor
 ST4 " "
 GT7 Brandtermostat
 RC9 Reglercentral

2 st
 3 "
 2 "
 2 "
 2 "
 1 "
 2 "
 9 "
 2 "
 1 "

FIG 2.4.2

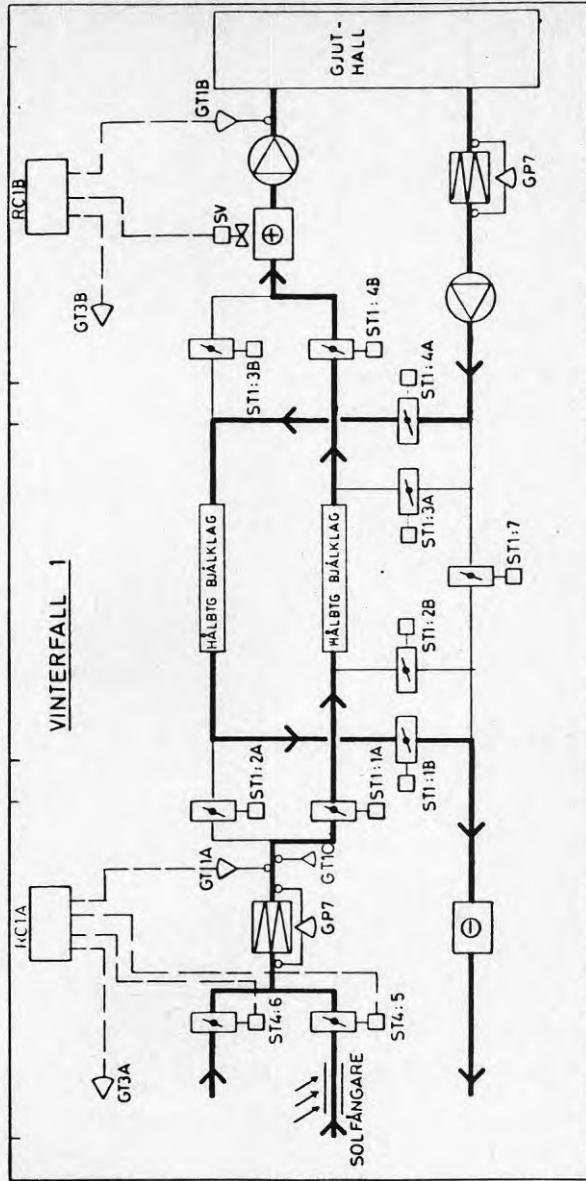


FIG 2.4.3 Flödesschema TA1

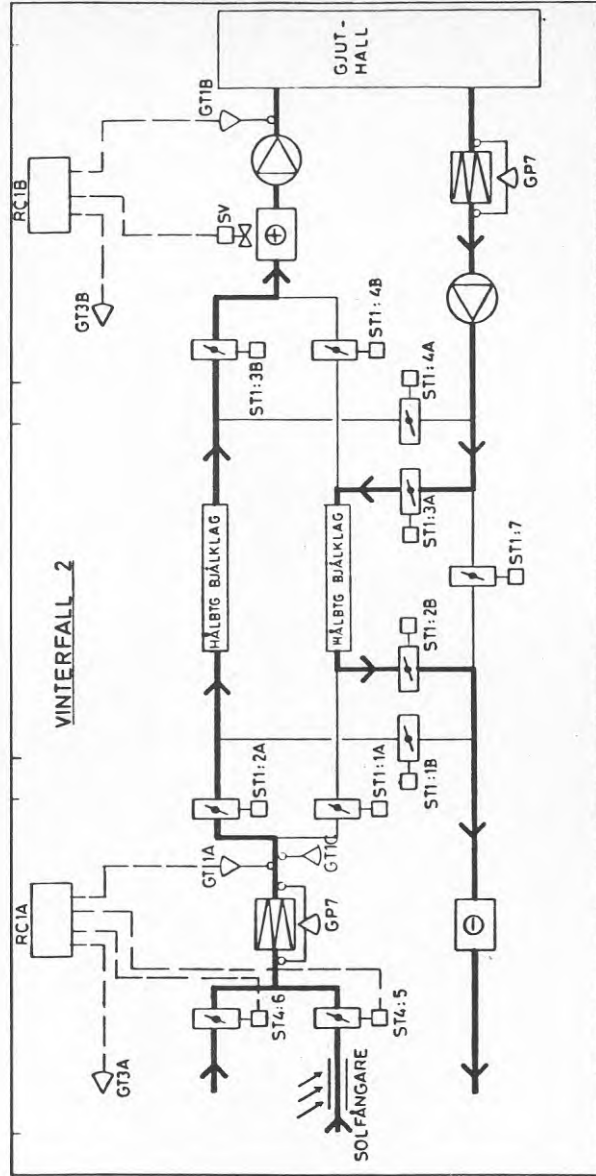


FIG 2.4.4 Flödesschema TA1

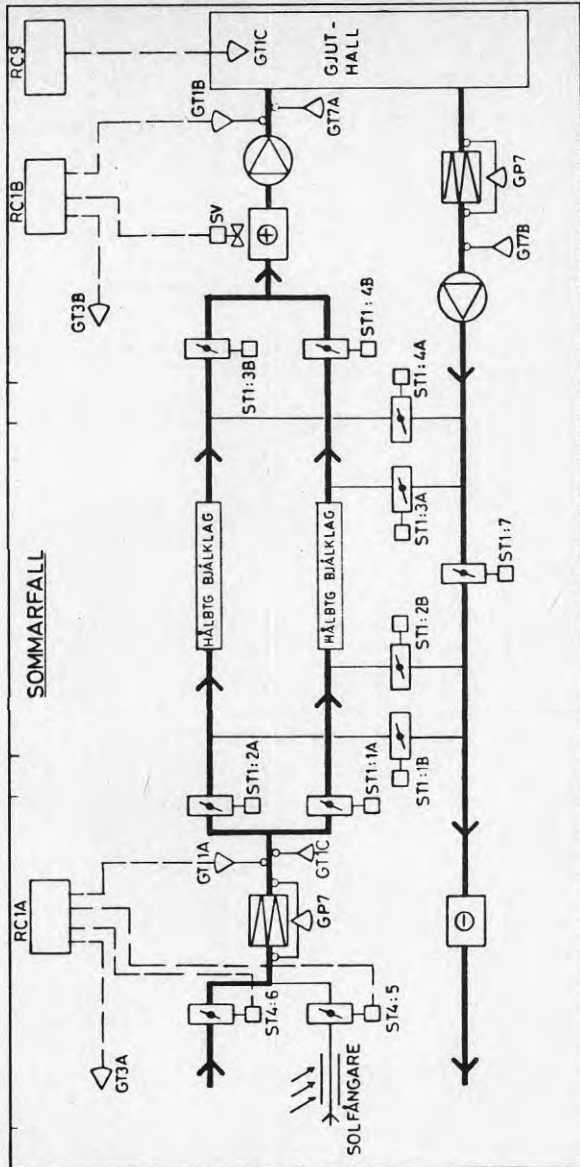


FIG 2.4.5 Flödesschema TA1

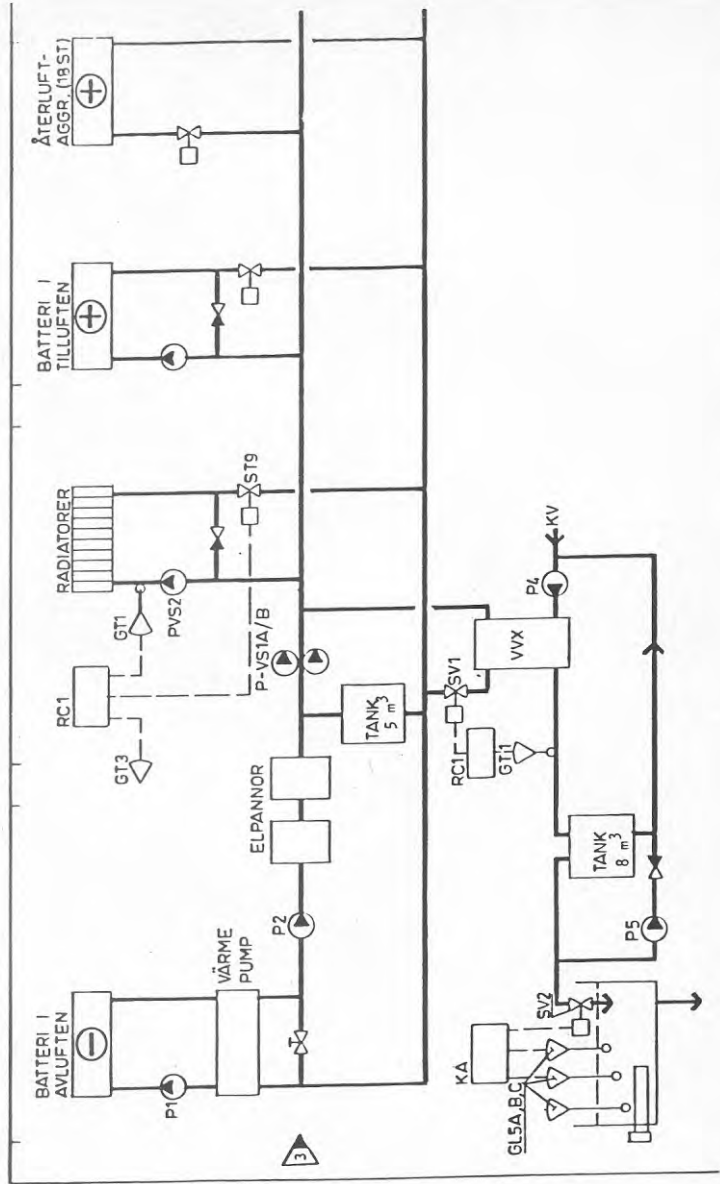


FIG 2.4.6 Värmesystem



FIG 2.4.7 Strängbetongs gjuthall i Herrljunga

3 MÄTNINGAR

3.1 Mätpunkternas placering

I projektets förutsättningar var mätningarna begränsade till att gälla ventilationssystemet med omslutande komponenter dvs den ventilerade luftspalten och det system av hålskanaler i SH-plattor i tak som utnyttjas som värmeväxlare. I FIG 3.1 visas en schematisk systemskiss med inlagda mätpunkter. På aggregatrummets tak mätes klimatvariablerna, vindhastighet, solinstrålning och nederbörd.

På tilluftssidan mätes dels uteluftens temperatur GT1 och fukthalt GF1, dels inloppstemperaturerna i spaltinloppen vid gavlarna. Takets yttemperatur mätes i två punkter, GT2 och GT3, på var sin sida om aggregatet. Spaltluften tas in i ett kryprum under aggregatet och sedan vidare via ett spjäll i aggregatrummets golv in i en blandningskammare där luften blandas med luft direkt från det fria. Spaltluftens temperatur före blandning mätes i GT6 och fukthalt och temperatur efter blandning och filtrering mätes i GT7 och GF7.

Efter blandning och filtrering styrs tilluftsströmmen fram till kanalsystemets ena hälft och frånluftsströmmen styrs till den andra. Eftersom strömningsvägarna växlas periodvis, kommer mät-punkterna i kanalsystemet att ligga växelvis i tilluft- och från-luftvägarna. I den ena tilluftvägen mätes tilluftens temperatur och fukthalt före betongkanalerna i GT8 och GF8. När tilluft finns i kanalen, bör tillståndsvariablerna i denna punkt bli i det närmaste identiska med tillståndet i GT7 och GF7. Nästa mätpunkt ligger mitt i betongkanalen på gränsen mellan den del närmast aggregatet som är isolerad på undersidan av SH-plattan och resten som lämnas oisolerad. Där mätes även yttemperaturen på plattans undersida som ger ett mått på risken för kondensbildning.

Efter betongkanalen samlas tilluften i en kanal och förs tillbaka till aggregatrummet. Temperaturen efter betongkanalen mätes i GT13 och temperaturen efter det att luften har passerat samlingskanalen in till aggregatet mätes i GT11. Luften passerar sedan fram till ett eftervärmningsbatteri. Mellan eftervärmningsbatteriet och tilluftsfläkten mätes lufttemperaturen i GT19. Temperaturskillnaden mellan GT11 och GT19 ger information om eftervärmningens andel av tilluftens uppvärmning.

Samtidigt som tilluften passerar den ena halvan av kanalsystemet går det frånluft i den andra. Frånluften evakueras via don under tak i lokalen och förs via en samlingsledning fram till aggregatet där den filtreras. Efter filtret och före frånluftfläkten mätes temperatur och fukt i punkterna GT10 och GF10. Från frånluftfläkten passerar frånluften åt höger i FIG 3.1 till en samlingskanal som går under tak mot den bortre ändan av hålsplattorna. Före denna samlingsledning mätes temperaturen i GT12 och efter den i GT14. Mitt i kanal mätes sedan temperaturen GT16. GT18 är placerad på samma sätt som GT17 på den andra kanalhalvan. Efter kanalen förs luften rakt upp genom aggregatrummet och passerar där ett kylbatteri till en värmepump innan den blåses ut genom ett ytterväggsgaller.

Nedkylningen av luften i kylbatteriet mätes inte eftersom värmepumpens funktion inte var inkluderad i forskningsprojektet.

Två logiska signaler mätes. GR1 som växlar med flödesriktningen i värmeväxlarventilen och GR2 som växlar med driftsättet, dvs mellan sommar- och vinterfall.

De olika mätvariablerna har försetts med en löpande numrering som återkommer i den grafiska redovisningen av mätresultaten. En lista över mätpunkter och motsvarande variabler finns i TAB 3.1.

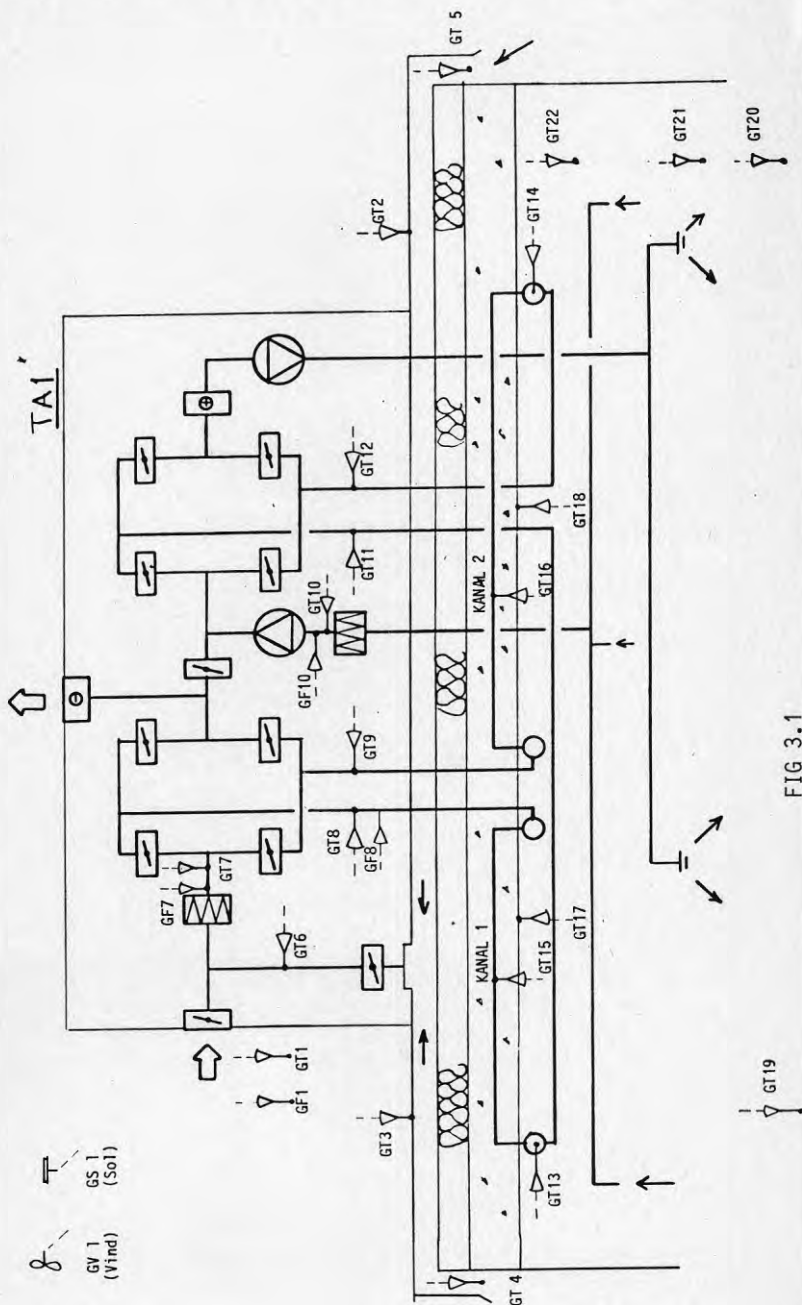


FIG 3.1

TAB 3.1 Mätvariabler, löpande numrering

<u>Variabel</u>	<u>Mätpunkt</u>	<u>Förklaring</u>
1	GT1	Uttemp
2	GT2	Yttemp papp öst
3	GT3	Yttemp papp väst
4	GT4	Inlopp spalt väst
5	GT5	Inlopp spalt öst
6	GT7	Efter bland och filt
7	GT17	Betongtemp isoler - gräns 1
8	GT18	Betongtemp isoler - gräns 2
9	GT19	Temp i aggregatrum
10	GT6	Frånluftspalt f bland
11	GT21	Temp i lokal
12	GT22	Temp i lokal
13	GF1	Fukt ute
14	GF7	Fukt e bl o tillf
15	GF8	Fukt före till kanal 1
16	GF10	E frånluft filt lokal
17	GR2	Sommar/vinter
18	GN	Nederbörd
19	GT8, GT9	} Riktning 1
20	GT15, GT16	
21	<u>GT13</u> , GT14	
22	GT11, GT12	} Riktning 2
23	GT8, GT9	
24	GT15, GT16	
25	<u>GT13</u> , GT14	
26	GT11, GT12	
27	GV, GT10	E frånluft filt lokal
28	GV1	Vindhast
29	GS1	Solinfall W/m ²

3.2 Mätapparatur

Mätsystemet är uppbyggt kring en datalogger av märket Fluke 2240C för loggen som har 30 ingångar är placerad i aggregatrummet. Från loggern går en kabel ned till kontorsdelen där en bordsdator av märket HP-85 står. Loggern sveper med jämna fem-minuters mellanrum över alla mätgångar och levererar resultatet till datorn som under varje hel timme tar in värdena, bearbetar dessa och under slutet av varje timme registrerar medelvärden och andra beräknade storheter på magnetband. I slutet av varje dygn skrivs en dygnsrapport ut där vissa storheter plottas över dygnet och där max-, min- och medelvärden anges för de uppmätta storheterna. Vidare ges information om eventuella fel i mätningarna. Dessa dygnsrapporter var enbart ämnade för att ge en snabb överblick över hur systemet och mätningen fungerade. Vidare bearbetning skulle ske med hjälp av magnetbanden som byttes var 14:e dag. Vid mätningens början laddades datorn med styrprogrammet som med operatörens hjälp ställde klockan och satte igång mätningen. En kassett preparerad för lagring av data sattes in i datorn och mätningen kunde börja. Vid elavbrott, dvs när strömmen återkommer, söker datorn upp ett s k "Autostart"-program på bandet som ger både i ljud och text en varning till operatören om att ställa klockan och starta mätningen igen.

På mätsidan koncentrerades mätställena i och kring aggregatrummet för att spara ledningsdragning. Detta lyckades delvis men byggna- den är ganska stor och den förbrukade mängden termoelementtråd var snabbt uppe i 1 km.

Fukthalterna mättes med VAISALA HMP 140

Nederbörden mättes med OTA KEIKI M 34

Vindhastighet mättes med BELFORT 5-120

Solinfall mättes med KIPP & ZONEN CM 5

Under året har man gjort en uppföljning av fuktvariationerna i plywoodskivorna under takpappen. Detta har huvudsakligen skett med hjälp av mätrondeller som har fällts in i plywoodskivorna innan pappen lades på.

Rondellerna och tillhörande mätinstrument T301 COW är inhämtade från Cowiconsult i Danmark.

4 MÄTRESULTAT

4.1 Databas

Som beskrivits i kapitel 3 registrerades timsvisa data på magnetband i bordsdatorns inbyggda bandspelarenhet. I slutet av varje timme lagrades 29 värden. Pga att en viss förbearbetning av mätdata redan ägt rum, finns det vissa olikheter mellan uppsättningen av mätpunkter och datamängden. I huvudsak beror detta på växlingsintervallet, som innebär att mätpunkter i de olika systemhalvorna ömsom ligger i tilluftflödet och ömsom i frånluftflödet. Under dessa förhållanden hade en vanlig medelvärdesbildning gett meningslösa resultat. Under mätningen har därför styrsignalen GR1 som ändras vid växling av strömningsriktning använts för att vid varje fem-minuters mätning byta ut motsvarande mätvärden i de bägge kanalhalvorna, så att de resulterande sekvenserna hela tiden representerar antingen frånluft- eller tilluftsidan. Efter denna behandling kan medelvärdena under varje timme registreras på samma sätt som om mätningarna hade gällt en vanlig rekuperativ värmeväxlare där strömningsriktningarna är oförändrade.

I TAB 3.1 visas de lagrade mätvärdenas innebörd.

Mätdata finns lagrade på 30 datakassetter. Mättiden sträcker sig över perioden 1982-02-17 till 1983-05-31.

Utöver den information som finns lagrad på magnetband föreligger resultat från mätningar på plywoodskivor under takpapp och ett antal observationer angående byggnads-, produktions- och driftstekniska detaljer som har observerats och i några fall rättats till.

4.2 Utvärderingsmodeller

Den totala mängden insamlade data är av storleksordningen 950.000 värden per år. För att reducera omfattningen till resultat som kan informera en genomsnittligt intresserad läsare, krävs därför en grafisk framställning.

Systemet och dess funktion har vissa karaktäristiska drag som gör resultaten speciellt svårhanterliga. Tre olika driftfall för ventilationssystemet föreligger; nämligen sommarfall, vinterfall och avstängt. Systemet är avstängt på natten och på helgerna när verksamheten i lokalerna ligger nere. Vid en viss uppnädd temperatur på tilluften växlas det över till sommarfall, vilket innebär att bägge systemhalvorna körs parallellt med enbart tilluft i kanalsystemet. På ett och samma dygn kan man därför mycket väl ha alla tre driftfallen. Värmeväxlarens dynamiska egenskaper gör att värme lagras mellan olika driftperioder, vilket innebär att den ena perioden inte kan betraktas oberoende av den andra.

Resultaten kommer huvudsakligen att åskådliggöras på fyra olika sätt, beroende på de effekter som analyseras och beskrives.

För det första väljs ett dygn eller en längre period ut som används för att åskådliggöra hur olika förlopp ser ut. Detta ger också en kvalitativ och en kvantitativ uppfattning om olika parametrars betydelse.

För det andra bildas medelvärden av registrerade värden över varje mätperiod som normalt omfattar ca två veckor.

För det tredje klassificeras data inom varje mätperiod enligt någon vald variabel och ett medelvärde bildas för varje klass och redovisas tillsammans med antalet observationer inom varje klass.

För det fjärde kommer resultaten i vissa fall att jämföras med hypotetiska samband där en eller flera av de observerade variablerna ingår.

4.3 Värmebalans i luftspalt och på takyta

En del av mätprogrammet gick ut på att utröna storleken av temperaturhöjning pga solvärme under uppvärmningssäsongen och även utröna hur den energivinst som görs kan utnyttjas i uppvärmnings-syfte.

Vidare skulle takventilationen ventileras bort fukt i takkonstruktionen. Denna fuktventilation som är nära förknippad med värmebalansen i och kring luftspalten behandlas i nästa avsnitt.

4.3.1 Temperaturändring i spalt

I den teoretiska förstudie som föregick projektet finns en lång utredning om hur temperaturen ändras längs en genomströmd spalt. Temperaturen följer en exponentiell kurva och närmar sig ett jämviktsläge på ett visst avstånd från inloppet. I det aktuella objektet visade sig avståndet mellan spaltinloppet och aggregatet vara tillräckligt långt för att uppnå detta jämviktsläge. Dessutom visade sig att detta jämviktsläge låg ganska nära takets ytemperatur. Det innebär att mätningen av takets ytemperatur är en mer pålitlig källa om man skall ta reda på uppvärmningen av tilluften som går via spalten än den mätning av spaltluftens temperatur som utförs i aggregatet.

I FIG 4.3.1.1 visas den periodvisa relativa fördelningen av temperaturskillnaden mellan takyta och uteluft. Motsvarande fördelning visas i FIG 4.3.1.2a för temperaturskillnaden under drifttimmarna mellan kl 6 och kl 17. Temperaturvinsten i genomsnitt för varje mätperiod och om luftspalten hade ventilerats enbart när takytan var varmare än luften visas i FIG 4.3.1.2b.

För jämförelse visas fördelning av uteluftens temperatur i FIG 4.3.1.3.

Förutom mätning av uteluftens temperatur vid aggregatet mättes inloppstemperaturen i spaltinloppen vid gavlarna. Pga spaltens längd har dessa temperaturer ringa inverkan på spaltluftens temperatur när den når aggregatet. Temperaturerna plottas i FIG 4.3.1.5 för östra spaltinloppet. I östra spaltinloppet ligger temperaturerna ganska nära spaltinloppet men i det västra kan skillnaden vara upp till 6°C. Orsaken till temperaturhöjningen i västra spaltinloppet visade sig vara luftläckage från blandarstationen ut mot luftspalten.

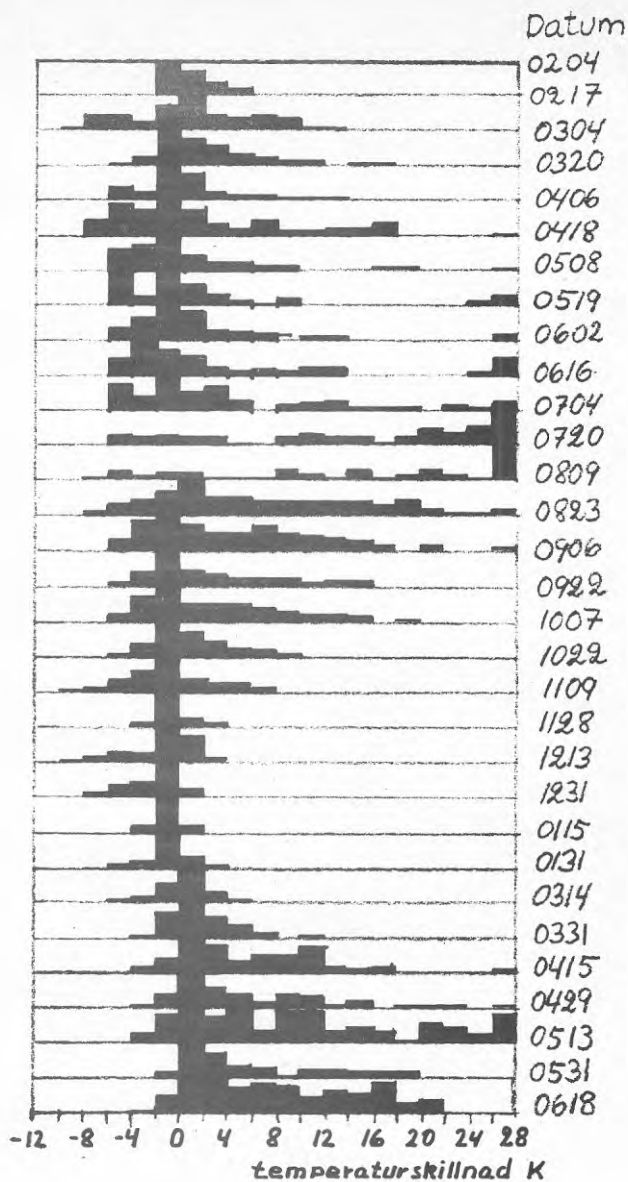


FIG 4.3.1.1 Periodvis relativ fördelning av temperaturskillnad mellan uteluft och takyta. Alla värden över 26°C samlade i stapeln längst till höger.

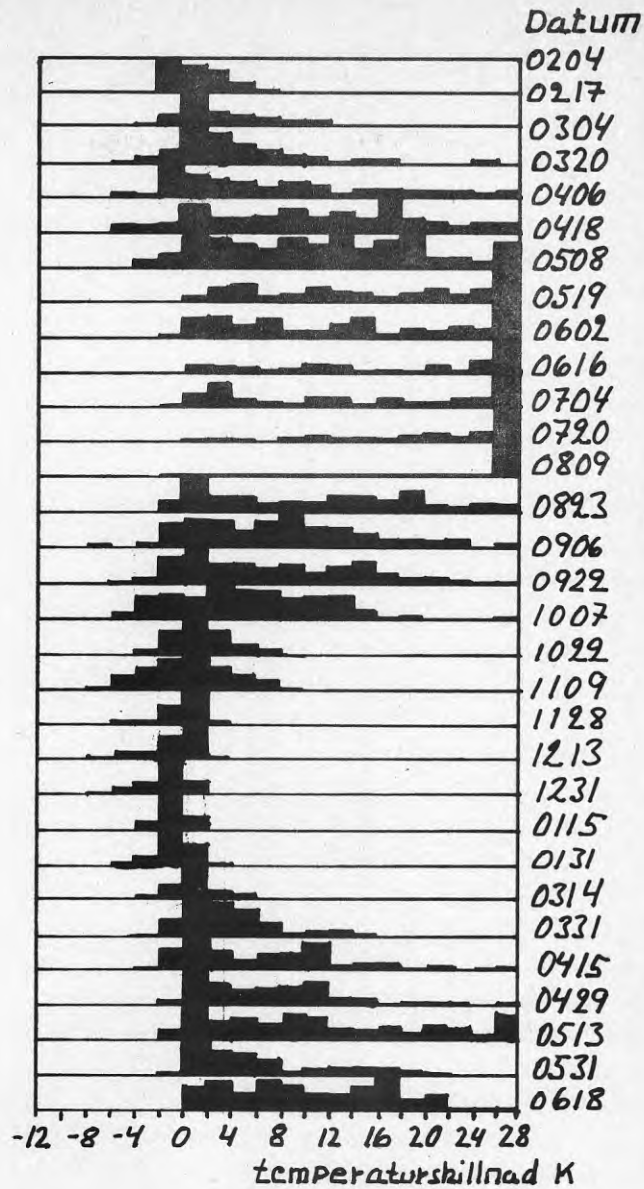


FIG 4.3.1.2a Periodvis relativ fördelning av temperaturskillnad mellan uteluft och takyta när systemet är i drift, dvs mellan kl 6 och kl 17.

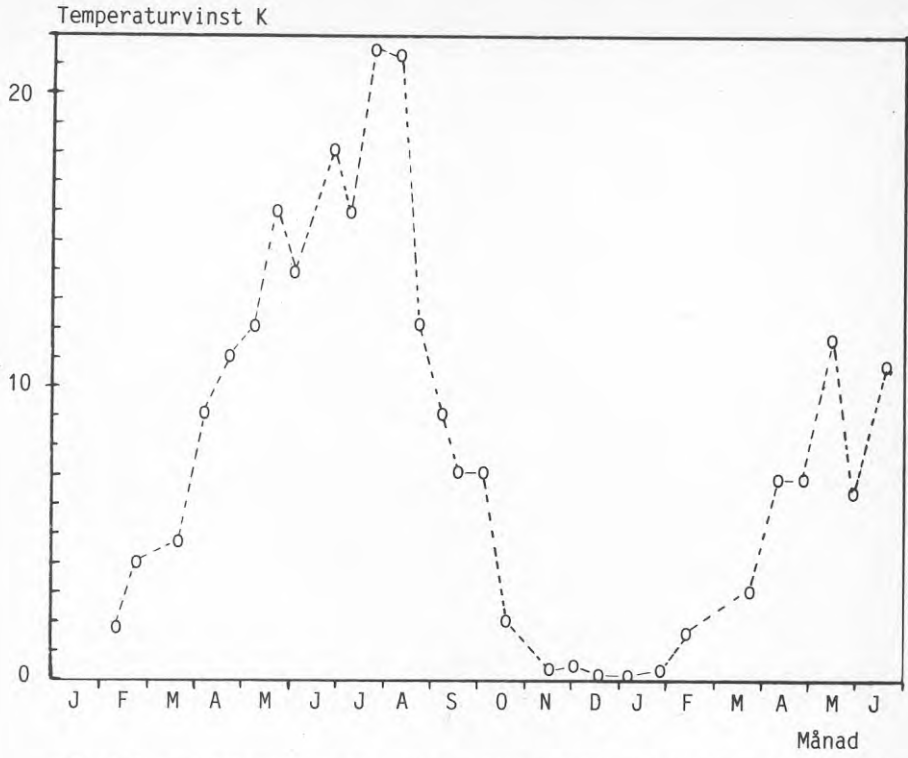


FIG 4.3.1b Möjlig temperaturvinst genom ventilation av luftspalten när systemet är i drift. Spalten ventileras enbart när takytan är varmare än luften.

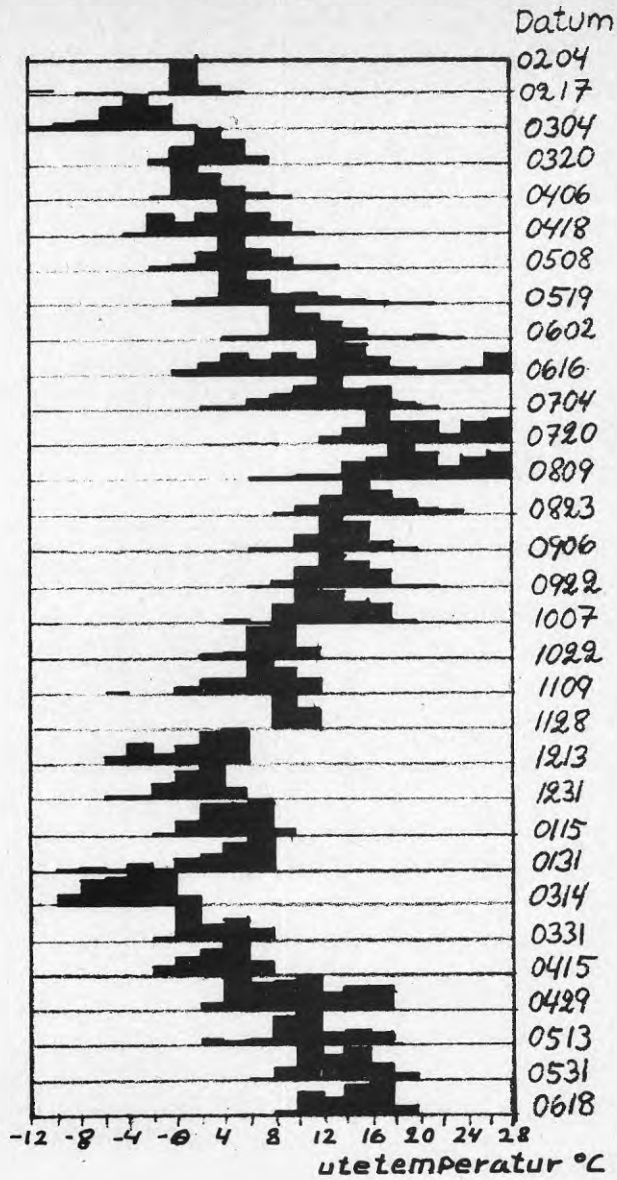


FIG 4.3.1.3 Relativ periodvis fördelning av uteluftens temperatur.
Alla värden över 26°C finns samlade i stapeln längst till höger.

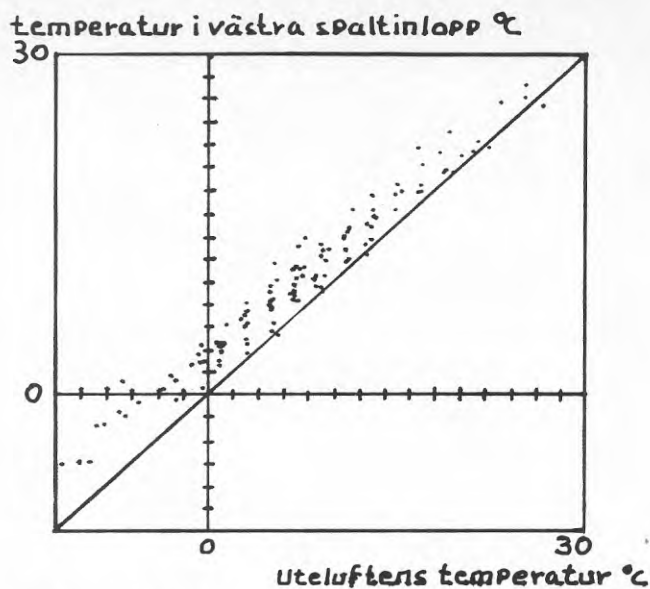


FIG 4.3.1.4 Temperatur i västra spaltinlopp som funktion av uteluftens temperatur. Enbart vinterdrift

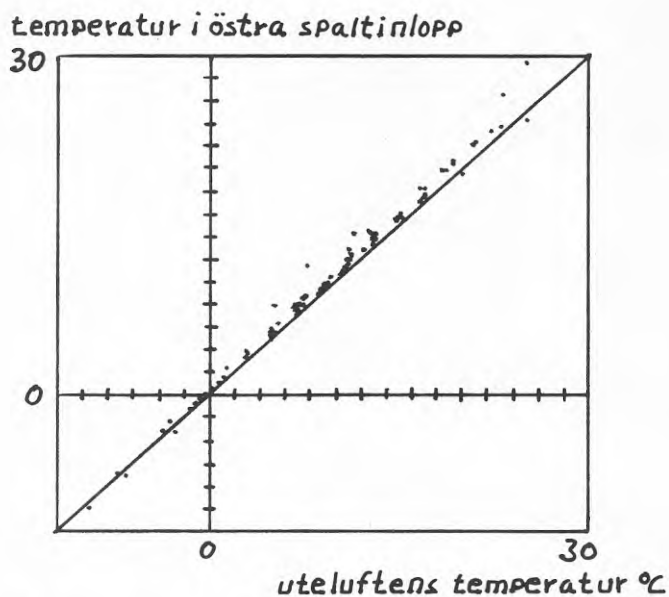


FIG 4.3.1.5 Temperatur i östra spaltinlopp som funktion av uteluftens temperatur. Enbart vinterdrift

4.3.2 Värmeövergångstal på takyta

I den teoretiska förstudien fanns en utredning av sannolikt värmeövergångstal, α -värde på takytan som funktion av vindhastigheten, (FIG 6.2.2. S 40). Där konstaterades att värmeövergångstalet på takytan borde ligga någonstans mellan Schwarz kurvor för en byggnads lovart- och läsida. I FIG 4.3.2.1 visas α -värdet för konvektion och strålning beräknat från en värmebalans på takytan som inkluderar absorberad solstrålning. Schwarz kurvor har lagts in i figuren men korrigerade uppåt med $+5 \text{ W/m}^2\text{K}$ för att inkludera även värmeöverföring pga strålning. Genom att välja att göra denna analys på de mätningar som visar mellan 10 och 12 K övertemperatur på takytan kan den motstrålande temperaturen i genomsnitt förmodas ligga nära uteluftens temperatur. Resultaten ligger till största delen kring 2/3-delar mellan läsida och lovart.

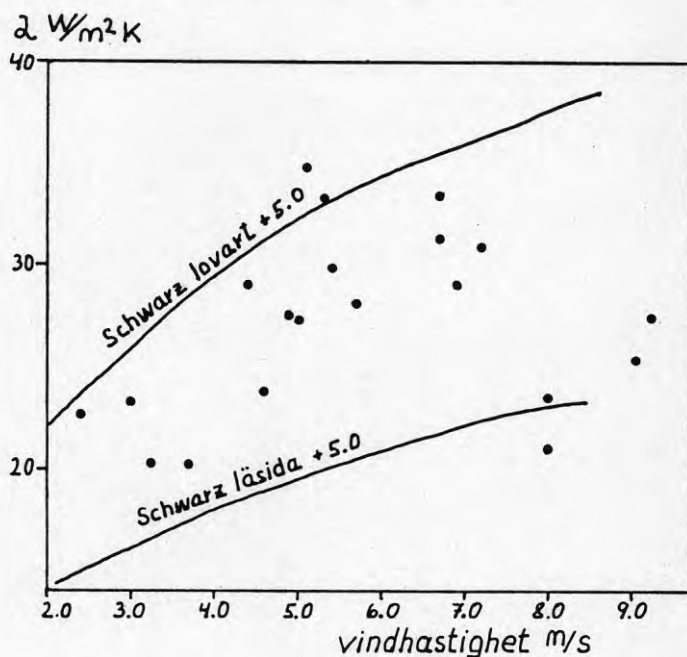


FIG 4.3.2.1 Värmeöverföringstal α för konvektion och strålning på takytan beräknat för mätperioder med 11°C övertemperatur på takytan.

4.3.3 Möjligt energiutbyte av en ventilerad spalt i tak

För att undersöka hur mycket energi som kan tas ur en ventilerad luftspalt i tak under ett år har frekvensen av olika temperaturskillnader mellan takyta och uteluft under året beräknats. Denna storhet har registrerats kontinuerligt oberoende av driften och resultaten har därför generell betydelse.

I mätningarna har förekommit en del avbrott under året. Denna framställning bygger på antagandet att de mätvärden som har erhållits är representativa för hela året.

Luftens möjliga temperaturhöjning under året anges i gradtimmar per år vilket är produkten av förekomst och temperaturskillnad inom varje klass om två grader. Motsvarande energivinst beräknas

$$\Delta Q = l_1 \cdot 0,33 \cdot \Delta$$

l_1 är det totala luftflödet genom spalten m^3/h

Δ är temperaturhöjningen i spalt i gradtimmar per år

ΔQ är energivinst i kWh/år

Det finns olika faktorer som begränsar utnyttjandet av den maximala energivinsten; dels är det rent fysikaliska fenomen som värmeöverföringen mellan takyta och luften i spalten och att med ökat flöde kommer spaltens sluttemperatur att sjunka, dels det att värmeöverskottet i spalten ej kan utnyttjas när det är som störst pga att uppvärmningsbehov ej föreligger.

I det aktuella systemet var tilluftflödet $18.000 \text{ m}^3/\text{h}$. Luftspaltens längd var 60 m på den östra sidan och 72 m på den västra. Luft-hastigheten i spalten låg högst kring $1,6 \text{ m/s}$ och under dessa förhållanden når temperaturfördelningen i takkonstruktionen och luftspalten jämvikt innan spaltluften når aggregatet.

För att relatera till olika driftförhållanden har energivinsten beräknats med en övre gräns för uteluftens temperatur dvs att alla energitillskott som sammanfaller med utetemperaturer över denna max-gräns utelämnas.

Perioden mellan 82-02-18 och 83-02-17 har körts med olika antaganden för denna gränstemperatur. Resultatet visas i FIG 4.3.3.1.

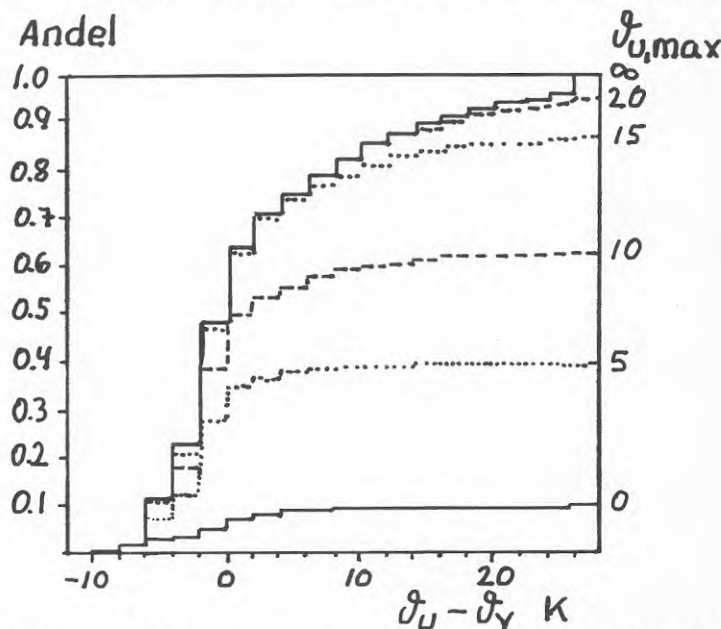


FIG 4.3.3.1 Kumulativ frekvensfördelning av temperaturskillnad mellan takyta och uteluft. I de olika fördelningarna inberäknas enbart mätningar där värdena sammanfaller med utetemperaturer under den angivna gränsen, $T_{u, \max}$.

Det maximala energitillskott som kan utnyttjas blir starkt beroende av gränstemperaturen för uppvärmning. Om spaltluften inte utnyttjas vid utetemperaturer över 10°C betyder det att positivt tillskott från spalten endast uppnås under 23% av totaltiden, vilket motsvarar ca 60% av drifttiden.

I FIG 4.3.3.2 visas motsvarande energitillskott dels i gradtimmar, dels i antal kWh per år för det aktuella projektet. I normala fall torde den möjliga energivinsten ligga omkring 20.000 gradtimmar eller 100.000 kWh/år. Om innetemperaturens börvärde är högt, ökar denna siffra men också om byggnaden och systemet har stor tröghet och kan jämna ut energitillskotten under dygnet.

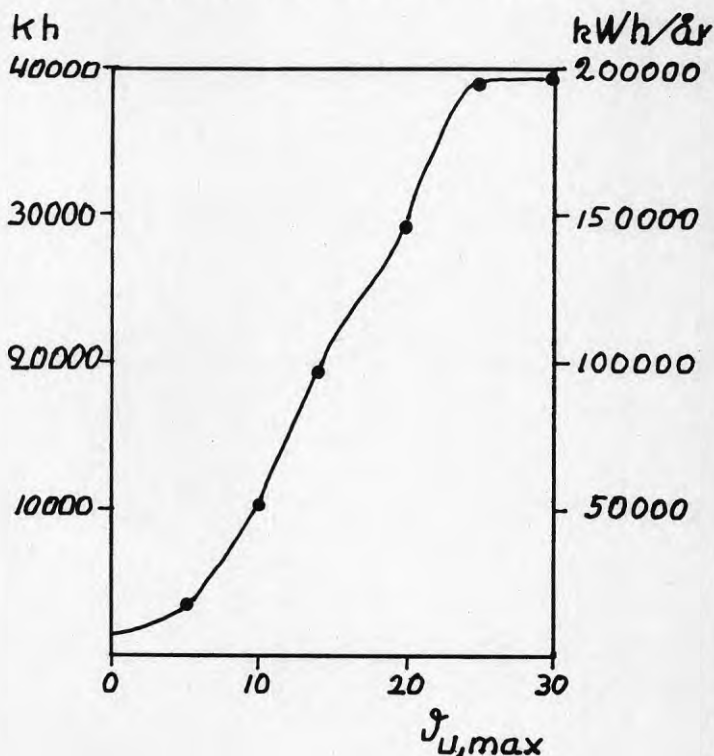


FIG 4.3.3.2 Energivinst i luftspalt i experimentbyggnaden med varierande maximal utetemperatur för uppvärmningsbehov. Energivinsten anges dels som gradtimmar, dels som energivinst för tilluftflödet.

4.3.4 Hastighets- och temperaturfördelning i taket

Mätning av hastighetsfördelning och temperaturfördelning i den ventilerade luftspalten utfördes under en solig vårdag 1982-04-15. Hastigheten och temperaturen mättes med en varmtrådsanemometer sedan 20 st \varnothing 10 mm hål hade borrats genom taktätskiktet. Dessa hål tätades efter mätningen med silikongummi.

Mätpunkternas placering samt uppmätta hastigheter och temperaturer visas i FIG 4.3.4.1. Hastigheten i spalten varierar mellan 0,3 m/s vid takfot och 1,5 m/s vidnock.

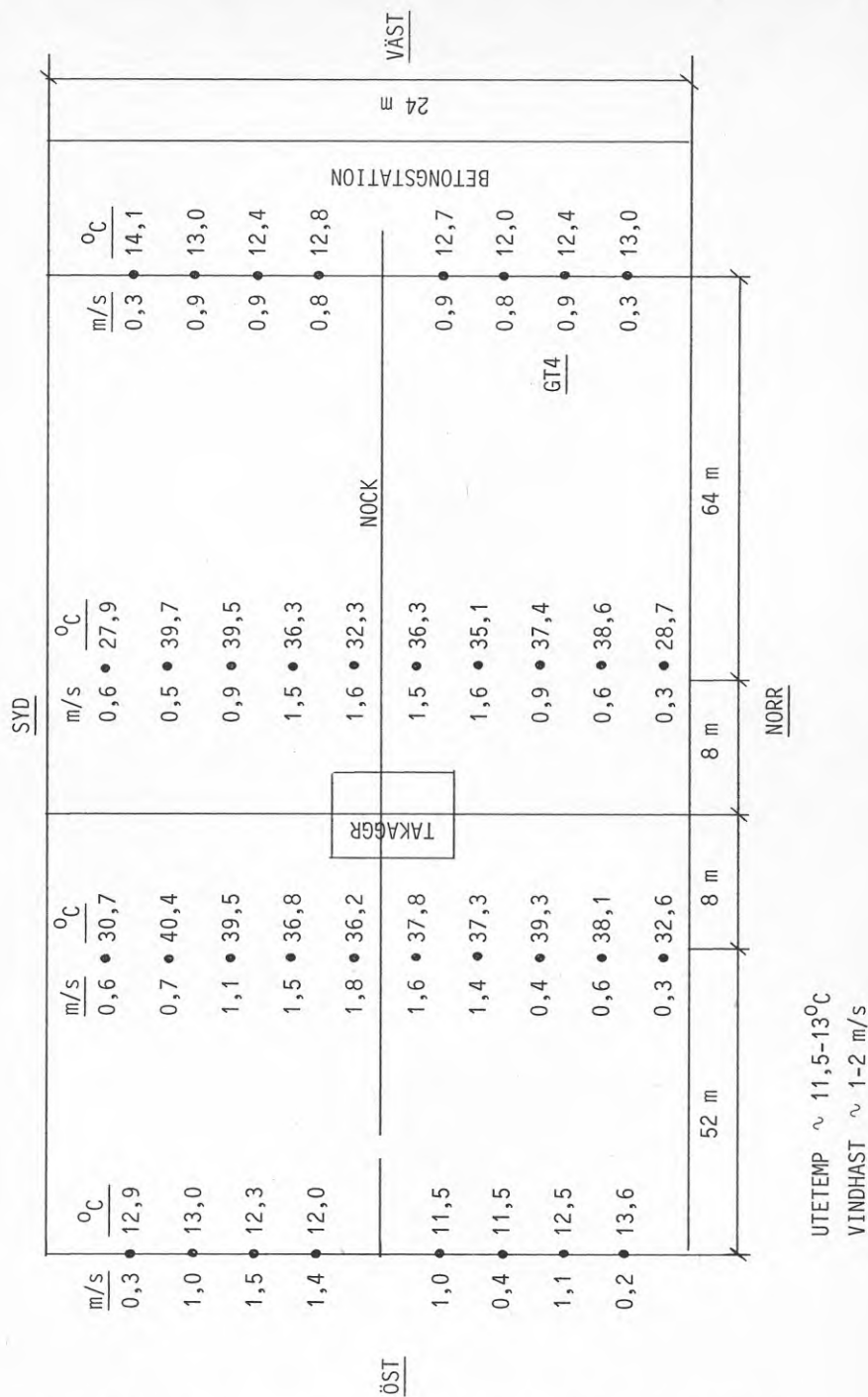


FIG 4.3.4.1 Hastighets- och temperaturfördelning i luftspalt

4.4 Värmeväxlars egenskaper

Huvudändamålet med projektet var att studera betongvärmeväxlarens funktions sätt. Värmeväxlarnas primära egenskap dvs verkningsgraden beräknas från mätningar av temperaturen men även andra egenskaper som värmelagring, kondensbildning m m har studerats. Verkningsgraden kan definieras på många olika sätt.

Temperaturverkningsgraden för frånluft anger hur mycket temperaturen sänks när den passerar växlaren som andel av den totala temperaturskillnaden mellan frånluft och tilluft före växlaren. Enligt beteckningssystemet för mätdata, se TAB 3.1, betyder detta

$$\xi_{\text{frånluft}} = \frac{\vartheta_{(22)} - \vartheta_{(19)}}{\vartheta_{(22)} - \vartheta_{(23)}} \quad (4.4.1)$$

Denna definition har valts genom att avsikten är att belysa värmeväxlarens egenskap som komponent. Om man i stället hade valt att visa systemets temperaturverkningsgrad för frånluft hade ekvationen i stället blivit

$$\xi_{\text{frånluft}}^{\text{system}} = \frac{\vartheta_{(22)} - \vartheta_{(19)}}{\vartheta_{(26)} - \vartheta_{(10)}} \quad (4.4.2)$$

Denna verkningsgrad blir lägre eftersom tilluften värms upp dels i spalten, dels i aggregatet vilket betyder att potentialen för värmeväxling i själva verket är lägre.

Om frånluften kyls ner till dagpunkten kommer ånga att fällas ut. Därmed frigörs ångbildningsvärmerna och motverkar därmed temperatursänkningen. Trots en minskad temperatursänkning har en större mängd energi återvunnits. För att uttrycka detta förhållande kan den s k entalpiverkningsgraden uttryckas som

$$\xi_{\text{frånluft}}^{\text{entalpi}} = \frac{i_{(22)} - i_{(19)}}{i_{(22)} - i_{(23)}} \quad (4.4.3)$$

där i är luftens entalpi motsvarande de valda temperaturmätningarna i Ekv (4.4.1).

Entalpiverkningsgraden blir beroende av temperaturer och fukthalt hos frånluft och utluft.

I mätdata finns enbart tillräckligt underlag för att mäta temperaturverkningsgraden men med kännedom om denna kan man beräkningsvägen komma fram till en sannolik entalpiverkningsgrad.

När tilluften passerar kanalsystemet går den först igenom den isolerade delen där den huvudsakligen tar upp återvunnen värme från frånluften. I betongkanalernas oisolerade del och transportkanalen tar tilluften upp dels återvunnen värme från frånluften, dels transmissionsvärme inifrån lokalen.

I det stationära fallet tar tilluften upp mer värme än vad frånluften avger och därmed blir temperaturverkningsgraden för tilluft som den definieras i Ekv (4.4.4) alltid högre än temperaturverkningsgraden från frånluften enligt Ekv (4.4.1).

$$\xi_{\text{tilluft}} = \frac{\vartheta_{(26)} - \vartheta_{(23)}}{\vartheta_{(22)} - \vartheta_{(23)}} \quad (4.4.4)$$

Det är naturligtvis delvis oundvikligt eftersom VVX-kanalerna ligger på insidan av det isolerade höljet men också en medveten strategi eftersom man kan räkna med en viss överskottsenergi under tak som på detta sätt utnyttjas för förvärmning av tilluften. Den erhållna verkningsgraden är därmed inte ett mått på hur stor del av frånluftens värme som återvinns utan anger hur stor del av det totala uppvärmningsbehovet för tilluften täcks i värmeväxlaren. Detta är naturligtvis riktigt endast i den mån att frånluftstemperaturen från lokalen är lika med temperaturen på den luft som tillförs.

I en hög lokal med stor inre värmeproduktion kan lufttemperaturen under tak vid utsug vara åtskilliga grader över temperaturen i vistelsezonen. För en värmeväxlare med hög verkningsgrad kan tilluften värmas mer än nödvändigt och lokalen få ett värmeöverskott. Beroende på dessa omständigheter utnyttjas den höga verkningsgraden till fullo enbart under vinterns kallaste månader.

Värmeväxlarens värmelagrande egenskaper bidrar till ett jämnare inomhusklimat. En ökning i inomhustemperaturen t ex pga solbelastning måste först värma upp frånluftssidan under en period för att sedan ge en ökad temperatur på tilluften i nästa växlingsperiod. Dessutom reagerar kanalväggarna långsamt på luftens temperaturändringar. Om tilluften förvärms i den yttre luftspalten pga sol dämpas denna temperaturändring i kanalerna. Dessa egenskaper kommer att studeras speciellt under soliga dagar.

Som ovan beskrivits, medför nedkylning av frånluften kondens i värmeväxlaren i betongkanalernas kallaste del dvs den isolerade delen av VVX-kanalerna och samlingskanalen från isolerade ändan fram till aggregatet. Mängden kondens beror dels på frånluftens temperaturverkningsgrad, dels på fuktillskottet i lokalen. Denna kondens måste dräneras bort.

Kondens kan även förekomma på SH-plattornas insida mot lokalen. Den mest kritiska punkten där är på gränsen mellan hållplattornas isolerade och oisolerade del.

I följande avsnitt kommer värmeväxlarens egenskaper enligt ovan att studeras med hjälp av mätresultaten.

4.4.1 Värmeväxlarens temperaturverkningsgrad

För varje mättillfälle har verkningsgraden för frånluft beräknats och använts som en klassificerande variabel. Den relativa frekvensfördelningen för varje mätperiod om ca 14 dagar visas i FIG 4.4.1.1. Under perioden 82-02-04 till 82-06-02 går systemet för det mesta i vinterdrift och verkningsgraden ligger ungefär normalt fördelat kring intervallet 0,4-0,5. Under sommaren fram till 82-10-07 kör systemet för det mesta i sommar drift. Verkningsgraden ligger kring 1,0 men är i detta fall en meningslös storhet eftersom frånluften körs kontinuerligt samma väg genom kanalsystemet. 82-10-07 blir vinterdriften övervägande men 82-10-22 ställdes systemet om till kontinuerlig sommar drift fram till 83-01-31. Under våren -83 fram till 83-06-18 var systemet sedan fast inställt på vinterdrift. Pga värmeväxlarens dynamiska egenskaper får den ingen entydig verkningsgrad vid den typ av drift som det här rör sig om. Att ge ett värde på verkningsgraden är en förenkling av det verkliga förloppet men ett sannolikt medelvärde av de fördelningar som visas i figuren ligger kring 0,45.

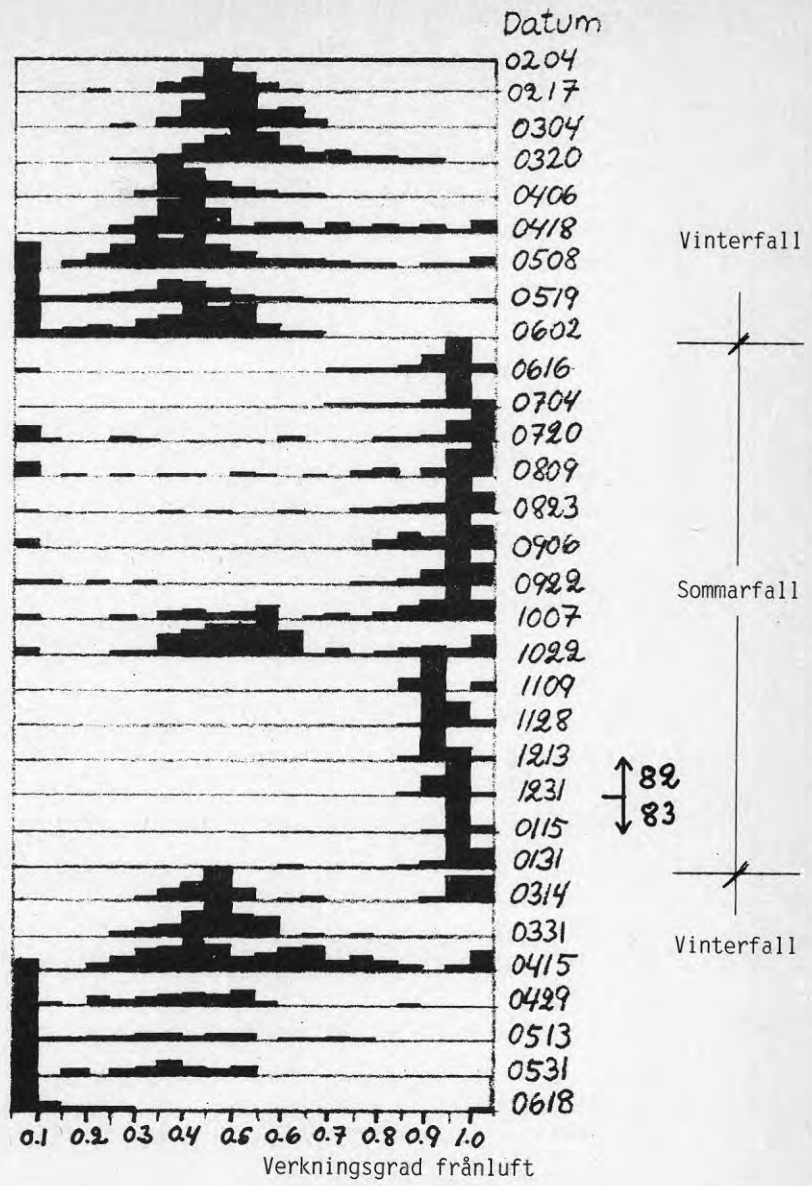


FIG 4.4.1.1 Periodvis relativ fördelning av VVX-takets verkningsgrad för frånluft. Under hösten 82 fram till 83-01-31 var systemet inställt på enbart sommar drift. Ett skattat medelvärde från ovanstående mätningar ligger kring $0,45 \pm 0,05$.

I FIG 4.4.1.2 visas en 5-dagars period med vinterdrift under dagtid och avstängd nattetid. Verkningsgraderna för frånluft och tilluft har ritats som funktion av tiden. På morgonen när driften startas står betongkanalerna relativt varma. Temperaturverkningsgraden för frånluften blir då relativt låg men ökar under dagens lopp upp mot 0,5. En liten topp i verkningsgraden mitt på dagen beror på att uteluftens temperatur då ökar vilket innebär att värmewäxlingen sker mot en lägre tillufttemperatur än den som registreras. P.s.s. sjunker verkningsgraden igen när utetemperaturen börjar avta på eftermiddagen. På tilluftssidan är verkningsgraden stabilare även om den ändras uppåt när verkningsgraden för frånluft ändras nedåt och omvänt.

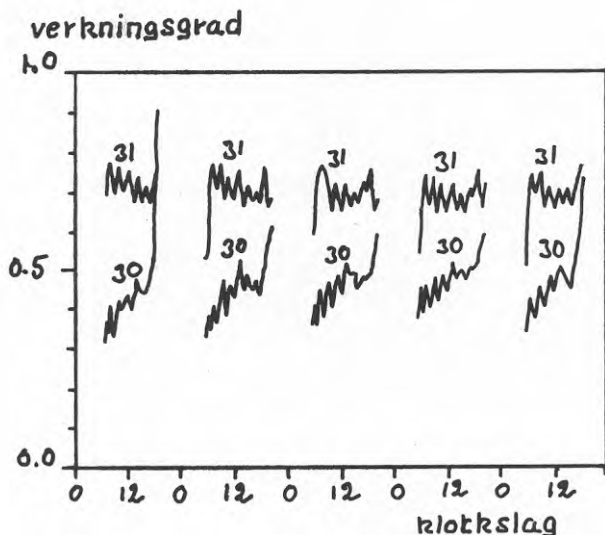


FIG 4.4.1.2 I figuren visas verkningsgraden för frånluft (30) och tilluft (31) under en kall vinterperiod (83-02-07 till 83-02-15). Systemet är avstängt nattetid. På morgonen vid gångtidens början är verkningsgraden för frånluft lägst eftersom betongkanalerna då står relativt varma.

I FIG 4.4.1.3 visas avkylningsprocessen för frånluften. Driftperioderna kan identifieras av det tandade utseendet på temperaturkurvorna när värmewäxling äger rum. Från figuren kan man se att frånluftens temperatur sjunker ca 8°C när den passerar värmewäxlaren medan den totala temperaturskillnaden mellan frånluften före växlaren och uteluften är ca 24°C . Därmed är systemverkningsgraden endast ca 0,33 vilket bör jämföras med komponentverkningsgraden ca 0,45. Skillnaden förklaras om uppvärmningsprocessen på tilluftssidan studeras.

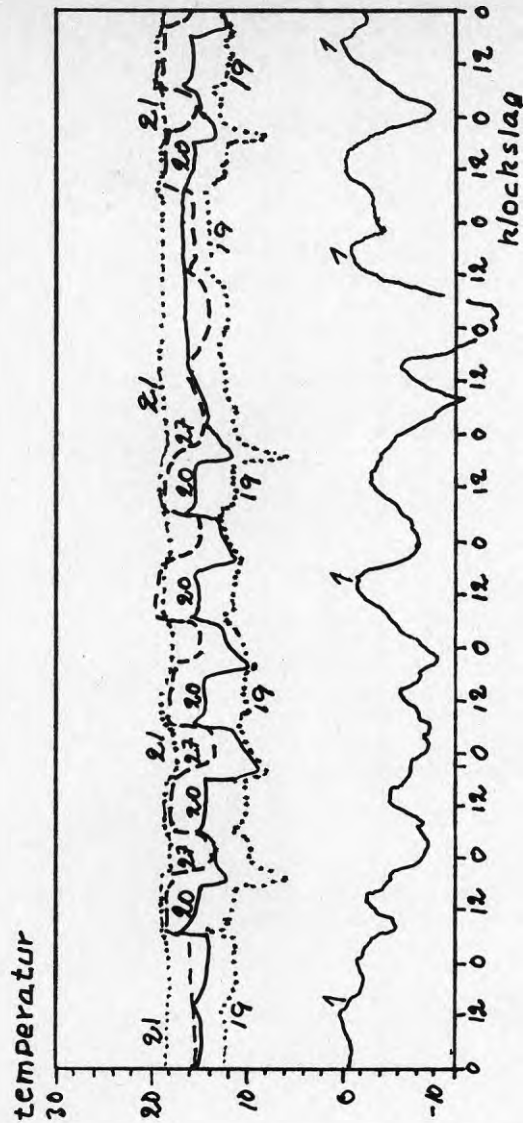


FIG 4.4.1.3 Frånluftens avkylningsprocess under en vinterperiod (83-02-06 till 83-02-15). (27) visar temperaturen hos frånluft från lokal, (21) visar temperaturen före VVX-kanalen, (20) visar temperaturen i VVX-kanalen på gränsen mellan isolerad och oisolerad del, (19) visar temperaturen efter VVX-kanalen och (1) visar utetemperaturen.

I FIG 4.4.1.4 visas temperaturen efter blandning och filter (6). Under perioder utan sol bör denna temperatur ligga nära uteluftens temperatur; men den ligger under drift ca 4°C högre under den betraktade perioden.

Om man följer uppvärmningsprocessen för tilluften i FIG 4.4.1.4 då visar man att vid ca -8°C ute värms luften ca 4°C innan den når värmeväxlaren. I värmeväxlaren värms luften ca 18°C till 14°C och i eftervärmningsbatteriet värms luften till 18°C som sammanfaller med frånlufttemperaturen. Av 26°C temperaturdifferens behöver endast 4°C eller ca 15% tillföras i värmebatteriet. Förvärmningen i luftspalten och aggregatet verkar positivt på temperaturverkningsgraden för tilluft. Systemets verkningsgrad blir på detta sätt 85% medan komponentens verkningsgrad ligger kring 70%.

Denna komponentverkningsgrad överensstämmer med FIG 4.4.1.5 där temperaturverkningsgraden för tilluft per period och klass har plottats som funktion av temperaturverkningsgraden för frånluft. Från figuren har sambandet mellan verkningsgraderna skattats till

$$\xi_{\text{tilluft}} = 0,9 - 0,5 \cdot \xi_{\text{frånluft}}$$

För en temperaturverkningsgrad för frånluften kring 0,4 ger detta en temperaturverkningsgrad för tilluften kring ca 0,7.

Genom att beräkna verkningsgraden för värmeväxlarens olika delar fås en information om hur värmeåtervinningen fördelar sig på värmeväxlarens olika beståndsdelar. I FIG 4.4.1.6 visas hur verkningsgraden för frånluft är uppdelad på kanalsystemets olika delar. Verkningsgradsandelens har plottats som funktion av temperaturverkningsgraden för frånluft.

f_1 är den andel av värmeåtervinningen som sker i transportkanalen fram till betongkanalerna. Från figuren ses att den är ca 5%. Förklaringen till denna temperatursänkning är sannolikt att transportkanalen har strålningsutbyte med ytor i lokalen som är kallare än frånluften som sugts ut under tak. $f_2 - f_1$ är kylningen i betongkanalernas oisolerade del. Den är ca 50% och resten av värmeåtervinningen sker i värmeväxlarens isolerade del ca 45%. Enligt teorin skulle en isolerad kanal ge betydligt bättre verkningsgrad för frånluft och om man ser på att den isolerade kanal-delen var endast hälften så lång som den oisolerade, så ser man också att så är fallet.

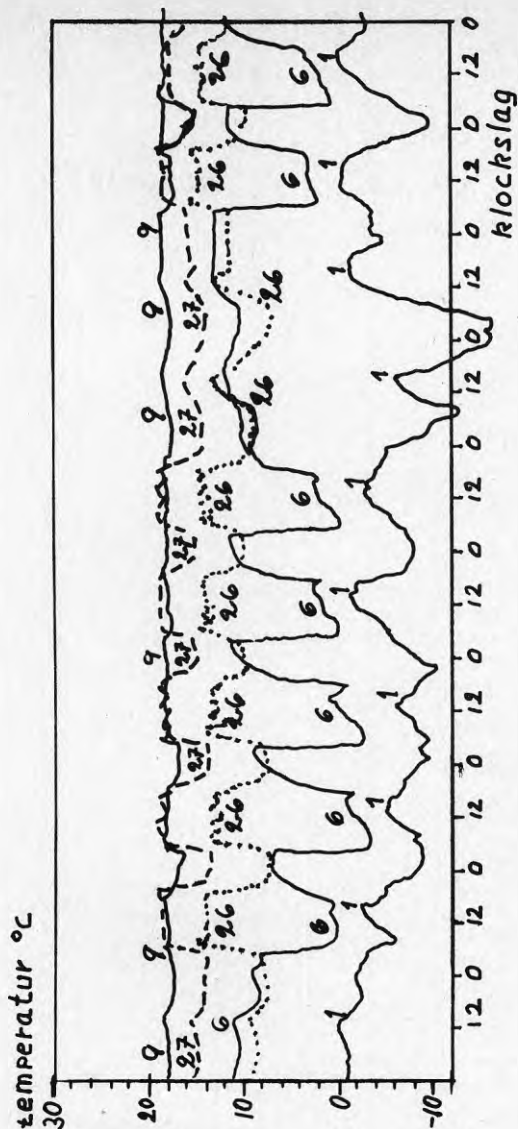


FIG 4.4.1.4 Tilluftens uppvärmningsprocess under en vinterperiod (83-02-06 till 83-02-15). Kurva (1) visar uteluftens temperatur, (6) temperaturen efter blandning och filter, (26) temperaturen efter värmväxlaren, (9) temperaturen efter eftervärmningsbatteri och (27) visar frånluftens temperatur. Systemet är avstängt nattetid och under helger.

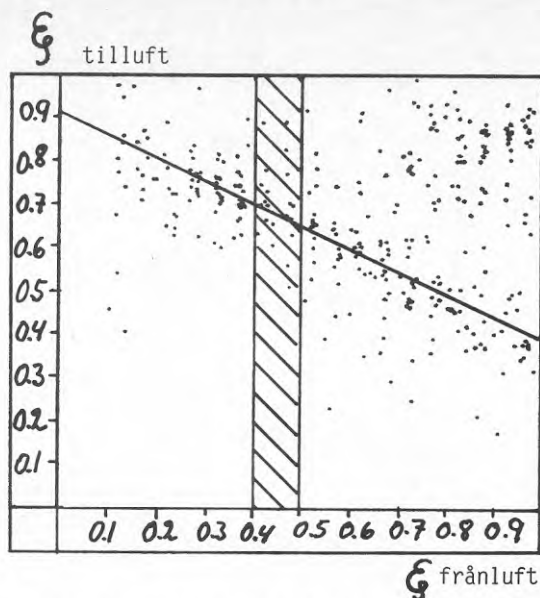


FIG 4.4.1.5 Samband mellan värmeväxlartakets verkningsgrader för tilluft och frånluft. Från figuren har sambandet skattats till ξ tilluft = $0,9 - 0,5 \cdot \xi$ frånluft

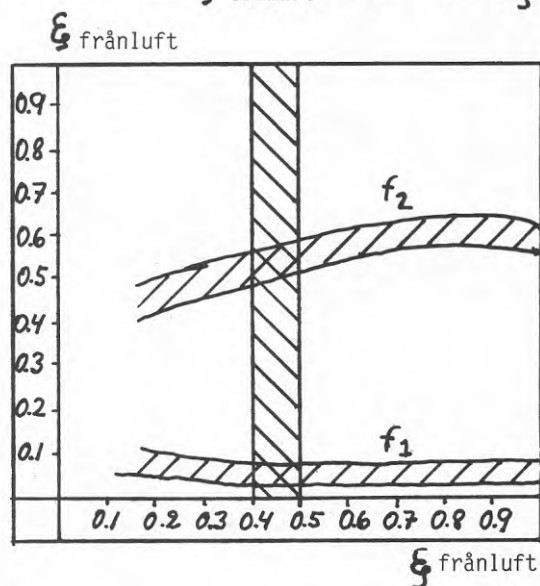


FIG 4.4.1.6 I figuren visas hur verkningsgraden för frånluft är uppdelad på kanalsystemets olika beståndsdelar. f_1 avser den del av verkningsgraden som hänför sig till transportkanalen fram till betongkanalen. f_2 avser den del av verkningsgraden som hänför sig till transportkanalen och betongkanalernas oisolerade del. Den skuggade stapeln avser det intervall där verkningsgraden för frånluft är mest frekvent förekommande.

I FIG 4.4.1.7 visar hur tilluftens temperaturverkningsgrad är fördelad på systemets olika delar. Verkningsgradsandelens är uppritad som funktion av temperaturverkningsgraden för frånluft. t_1 avser den del av temperaturverkningsgraden som hänför sig till transportkanalen från värmeväxlarkassetterna fram till aggregatet. För normalfallet, dvs när frånluftens temperaturverkningsgrad är 0,45, ligger denna del kring ca 5%. $t_2 - t_1$ utgör den oisolerade betongkanalens andel som i normalfallet ligger kring ca 55%. Den isolerade delen av betongkanalerna står sedan för resten eller ca 40%.

Om temperaturverkningsgraden för frånluft är ca 45% och för tilluft 70% då innebär det att uppvärmningen av tilluft till $\frac{70-45}{70} = 36\%$ utgörs av transmissionsvärme till värmeväxlaren och till 64% av återvunnen värme ur frånluften.

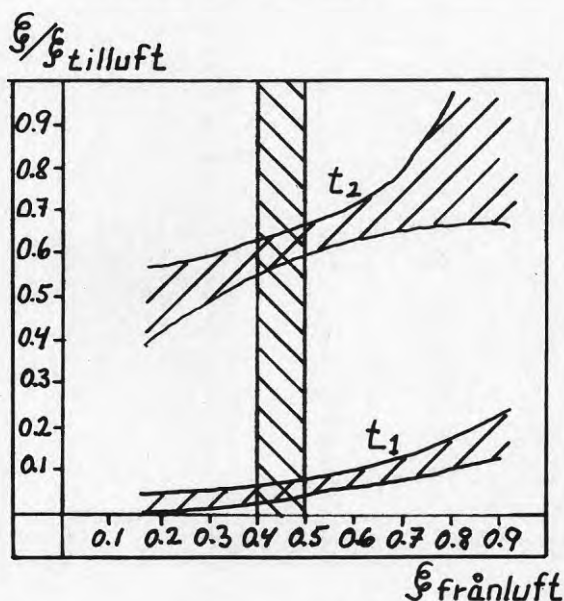


FIG 4.4.1.7 I figuren visas hur verkningsgraden för tilluft är uppdelad på kanalsystemets olika beståndsdelar. t_1 avser den del av verkningsgraden som hänför sig till transportkanalen från värmeväxlarkassetterna fram till aggregatet. t_2 avser den del av verkningsgraden som hänför sig till transportkanalen samt betongkanalernas oisolerade del. Den skuggade stapeln avser det intervall där verkningsgraden för frånluft är mest frekvent förekommande.

4.4.2 Värmeväxlarens värmelagrande egenskaper

I FIG 4.4.2.1 visas hur stor andel av den totala temperaturökningen på tilluftssidan sker i värmeväxlarkassetterna och transportkanalerna. Denna andel visas som funktion av temperaturverkningsgraden för frånluft. Vid normal verkningsgrad hos frånluften 40-50% motsvarar temperaturökningen normal verkningsgrad för tilluften eller ca 70%. Om verkningsgraden för frånluften ökar, sjunker värmeväxlarens andel i uppvärmningen av tilluften.

Anledningen till att frånluftens temperaturverkningsgrad ökar är främst den att när tillufttemperaturen efter blandning och filter (23) är växande, är frånluftskanalerna kallare relativt denna temperatur än i det stationära fallet. Verkningsgraden för frånluftens som den har definierats får därför en skenbar ökning när temperaturen (39) är växande och sedan minskar verkningsgraden när denna temperatur sjunker igen. Tilluftens temperaturverkningsgrad får av samma anledning ett motsatt förlopp och dessutom utgör förvärmningen i luftspalten en relativt större del av luftens uppvärmning på tilluftssidan när stora variationer i tilluftstemperaturen förekommer. Det fenomen som figuren visar har därför till ringa del med verkliga ändringar i temperaturverkningsgraderna att göra utan ger uttryck för värmeväxlarens värmeutjämnande egenskaper.

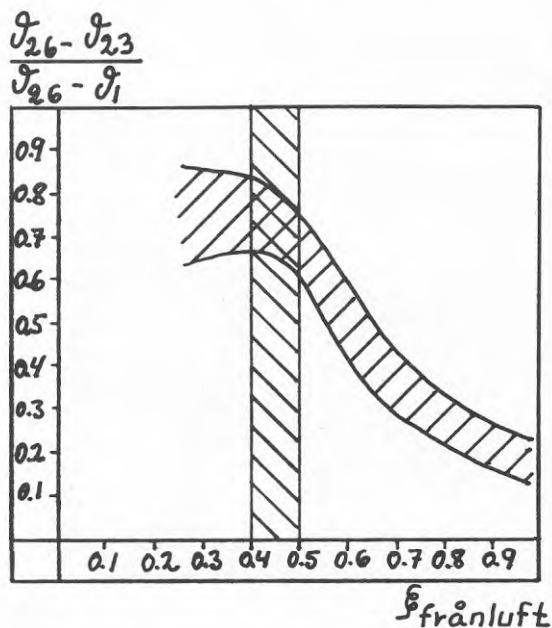


FIG 4.4.2.1 Andel av den totala temperaturökningen på tilluftssidan som sker i VVX-kassett och transportkanal

Värmeväxlarnas värmelagrande egenskaper utgör en förutsättning för att effektivt kunna utnyttja den förvärmning av luften som sker när tilluften dras igenom luftspalten under en solig dag. I FIG 4.4.2.2 visas temperaturförloppet på tilluftssidan under två soliga vardag. Kl 6 på morgonen är utemperaturen (1) kring 5°C och ökar under dagen. Tillufttemperaturen efter luftspalten (6) ökar snabbt när solen kommer upp och tillåts öka fritt utan att uppblandningen med direkt återluft påbörjas. Denna temperaturpuls dämpas ut i VVX-kassetterna. Tilluftens maximitemperatur under arbetstid blir inte högre än 25°C. Vid arbetstidens slut står VVX-kassetterna varma och laddas ur och ger värme till lokalen under natten.

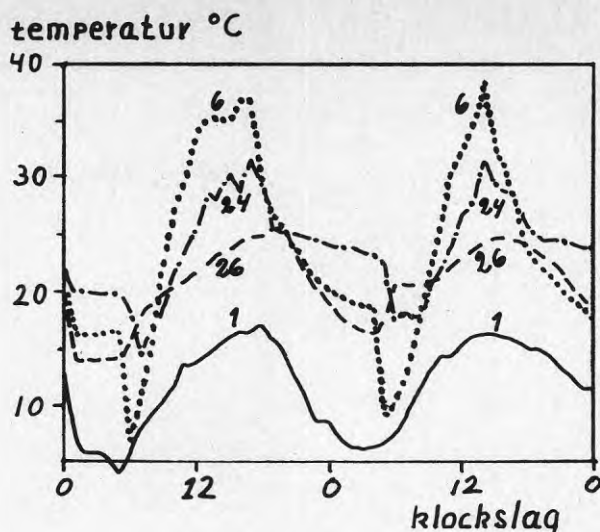


FIG 4.4.2.2 Temperaturförlopp på tilluftssidan under en solig vårperiod (83-05-23 till 83-05-24). På morgonen vid 6 när systemet startas är utetemperaturen ca 5°C men VVX-kassetterna står varma. Under dagen värms tilluften före växlaren (6) men får ett mer dämpat förlopp längs VVX-kanalerna (24) och (26).

I FIG 4.4.2.3 illustreras skillnaden mellan värmewäxling i håldäckplattor och en konventionell värmewäxlare. Utetemperaturen är i detta fall låg. För att uppnå en behaglig inblåsningstemperatur med en konventionell värmewäxlare fordras shuntkoppling av den solvärmda luftspalten i taket. Att inte behöva göra en sådan koppling har väsentliga fördelar. För det första blir all reglering enklare och mindre känslig för störningar om driftfallet inte behöver ändras under enstaka soliga dagar under eldnings-säsongen och för det andra kan värmestillskottet från den solvärmda luftspalten föras in i byggnaden och delvis lagras till natten när det behövs.

I FIG 4.4.2.4 visas frånluftens temperatur före och efter värmewäxlaren under de två dyggen. För jämförelse har temperaturen efter en hypotetisk konventionell värmewäxlare med temperaturverkningsgrad för frånluften på ca 0,5 inlagts som en streckad kurva i diagrammet. Frånluften från byggnaden blir under drifttiden i genomsnitt 3 å 4 grader varmare jämfört med VVX-taket vilket ger ett mått på skillnaden i energiförlust mellan dessa två sätt att återvinna värme för enstaka dagar med hög värmelast.

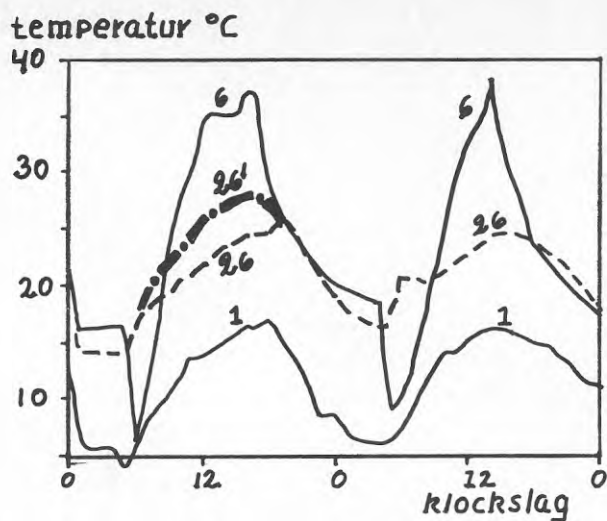


FIG 4.4.2.3 Jämförelse mellan inblåsningstemperaturen till lokalen efter värmewäxling i betongkassetterna (26) och inblåsningstemperaturen (26') till lokalen efter en hypotetisk värmewäxlare utan värmelagring men med samma temperaturverkningsgrad för tilluften som VVX-taket. Jfr FIG 4.4.2.2

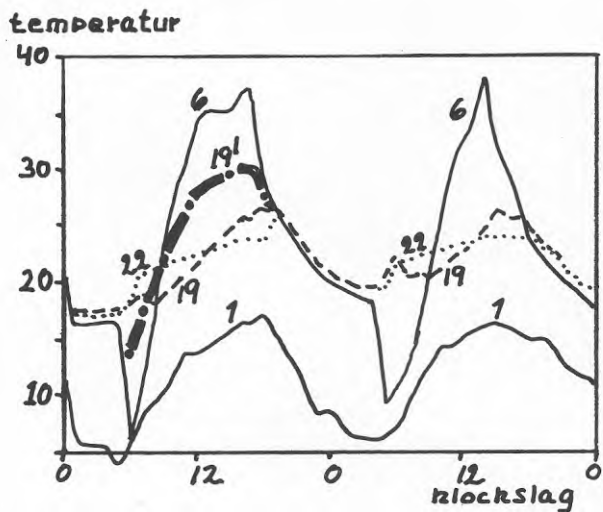


FIG 4.4.2.4 Frånluftstemperaturer före (22) och efter (19) värmewäxlartaket ett soligt dygn. Streckade linjen visar frånluftstemperaturen efter en hypotetisk värmewäxlare med temperaturverkningsgrad 0,5 på frånluften.

Slutligen plottas temperaturverkningsgraderna för frånluft och tilluft under de två dagarna, se FIG 4.4.2.5. Tilluftens verkningsgrad ligger kring 1,0 vilket innebär att inblåsningens luftens temperatur och frånluftens temperatur före växlaren är ganska lika. Frånluftens temperaturverkningsgrad ligger kring 0 vilket innebär att den största delen av värmetillskottet i den solvärmda luftspalten tillförs byggnaden. Detta överensstämmer med den tolkning av temperaturförloppen i systemet som har redovisats ovan.

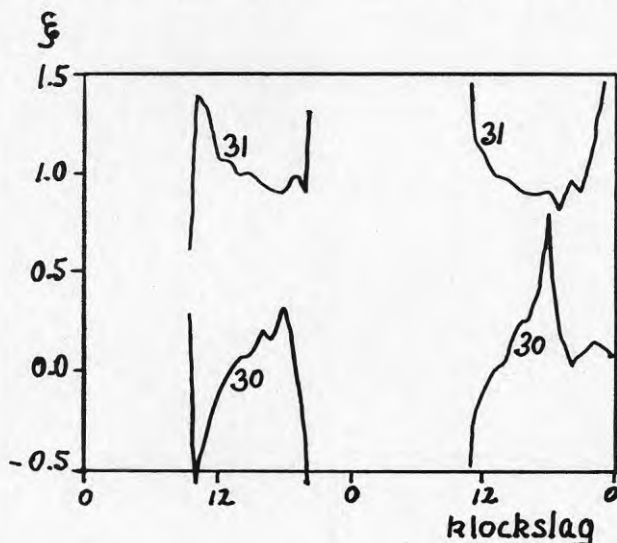


FIG 4.4.2.5 Temperaturverkningsgrader för frånluft (30) och tilluft (31) under två soliga värddygner

4.4.3 Yttertemperatur på VVX-kassetterna

Som det har beskrivits i det inledande kapitlet kan kondens uppstå såväl i som på värmväxlarkassetterna och anslutande kanaler. Kondensrisken beror av luftens ånghalt och yttertemperatur hos betongen.

Som det har diskuterats i avsnitt 4.4.1 är systemets temperaturverkningsgrad för frånluft endast 0,33 medan värmväxlarenhetens verkningsgrad ligger kring 0,45. Med en annan planering av systemet kan denna skillnad reduceras men det betyder naturligtvis lägre yttertemperaturer i betongkanalerna och ökad kondensrisk i motsvarande mån. De mätvärden som redovisas i detta avsnitt måste tolkas mot denna bakgrund.

Yttertemperaturen på gränsen mellan VVX-kassetternas oisolerade och isolerade del har registrerats i två punkter (16) och (17). I FIG 4.4.3.1 visas ett samband mellan utetemperatur och lägsta yttertemperatur på VVX-kassetterna mätt i mätpunkt (7). Sambandet visas för två olika tidsintervall, dels period 17-22 (82-10-22 till 83-01-31) där systemet var i sommar drift under vintertid, dels period 23-99 (83-02-01 till 83-06-18) där systemet kördes i vanlig vinter drift.

Under sommar drift körs uteluft genom kanalerna i en riktning vilket medför större temperaturnedsättning i kanalerna än om värmewäxling äger rum. Detta framkommer också tydligt ur FIG 4.4.3.1. När uteluftens temperatur ligger kring 0°C går yttemperaturen ned till 8°C om sommarfallet körs och 15°C när vinterfallet körs med värmewäxling. Inomhustemperaturen har i genomsnitt legat kring 19°C vid 0°C utomhus. Att köra sommarfallet vintertid är onormalt och behandlas inte här även om den erhållna informationen är av intresse för lufttransport i sådana kanalsystem i största allmänhet.

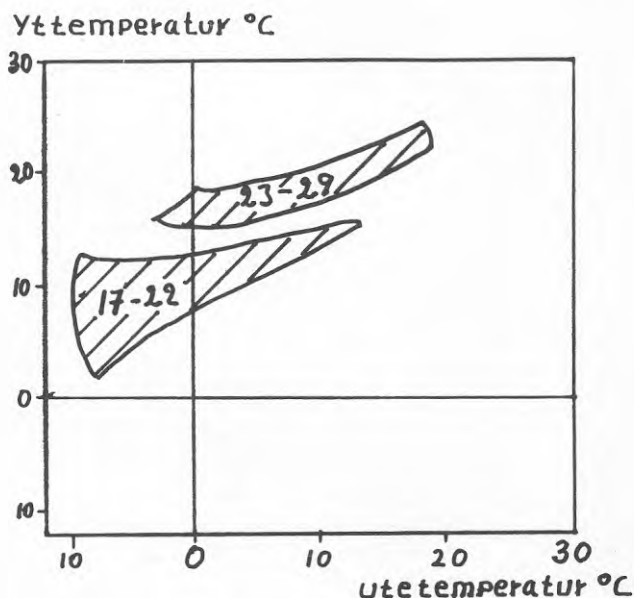


FIG 4.4.3.1 Lägsta yttemperatur på VVX-kassetternas sida mot lokalen som funktion av uteluftens temperatur. För sommarfall, period 17-22 och för vinterfall, period 23-29

Enligt FIG 4.4.1.7 skall 45% av temperaturökningen på tilluftsidan ha skett i kanalsystemets isolerade del. Vid 0°C utomhus-, 19°C inomhustemperatur och 70% temperaturverkningsgrad betyder det att lufttemperaturen i kanalen på gränsen mellan isolerad och oisolerad del blir

$$0 + 0,7 \cdot 0,45 \cdot (19 - 0) = 6,0^{\circ}\text{C}.$$

Om man däremot tar hänsyn till att i det aktuella fallet i genomsnitt 30% av temperaturökningen hos tilluften sker före värmewäxlaren bör temperaturen i stället bli

$$0 + 0,7 \cdot 0,45 (0,7 \cdot (19 - 0)) + 0,3 (19 - 0) = 9,9^{\circ}\text{C}.$$

För frånluften gäller motsvarande att kanalluftens temperatur på gränsen mellan isolerad och oisolerad del utan förvärmning i aggregatet bör bli

$$19 - 0,45 \cdot 0,55 (19 - 0) = 14,3^{\circ}\text{C}$$

och på samma sätt om hänsyn tas till denna förvärmning som den faktiskt har varit

$$19 - 0,45 \cdot 0,55 (0,7 \cdot (19 - 0)) = 15,7^{\circ}\text{C}$$

I det förra fallet blir medeltemperaturen under drift $10,2^{\circ}\text{C}$ och i det senare $13,0^{\circ}\text{C}$.

I FIG 4.4.3.2 redovisas för hela mätperioden den lägsta yttemperaturen på VVX-kassetternas oisolerade del satt i relation till värmeväxlersystemets in- och utloppstemperaturer.

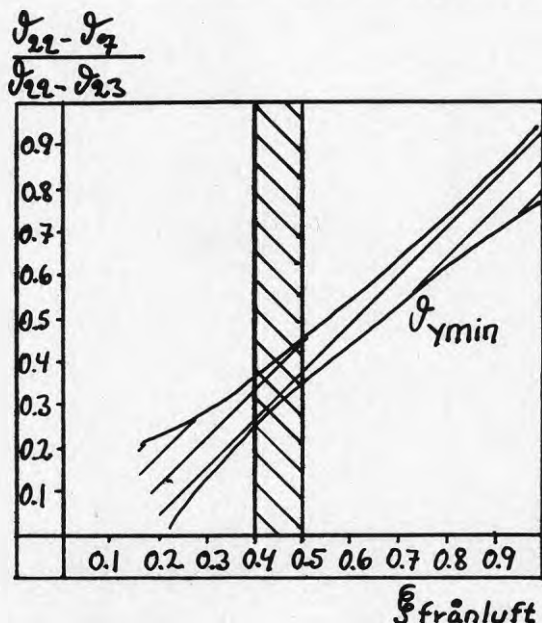


FIG 4.4.3.2 Lägsta yttemperatur på VVX-kassetternas oisolerade del satt i relation till in- och utloppstemperaturerna på värmeväxlersystemet. Denna relation ges som funktion av temperaturverkningsgraden för frånluft.

Vid en normal verkningsgrad för frånluften 0,45 ligger temperaturskillnaden mellan frånluft före växlaren (22) och lägsta yttemperatur på VVX-kassetten (7) mellan 30 och 40% av temperaturskillnaden mellan frånluft före växlaren (22) och tilluft före växlaren (23).

Risken för kondens om systemet körs direkt mot uteluften är alltså av samma storleksordning som för en dubbelglasad fönsterruta. All förvärmning av luften t ex i en solvärmad spalt eller via diverse systemförluster bidrar naturligtvis till minskad risk för ytkondens.

I FIG 4.4.3.3 visas hur temperaturförloppet på kassettytan ser ut under en kall vinterperiod. Inloppstemperaturen i VVX-systemet på tilluftssidan under drift ligger kring 0°C och på frånluftssidan kring 19°C . Under natten när systemet står stilla laddas

kassetterna upp till ca 15°C och kyls ned under dagen till ca 12°C eller till knappt 40% av skillnaden mellan inlopp och utlopp. Yttertemperaturkurvans sågtandade form beror på att växlingsperioderna inte nödvändigtvis harmoniserar med mätintervallen.

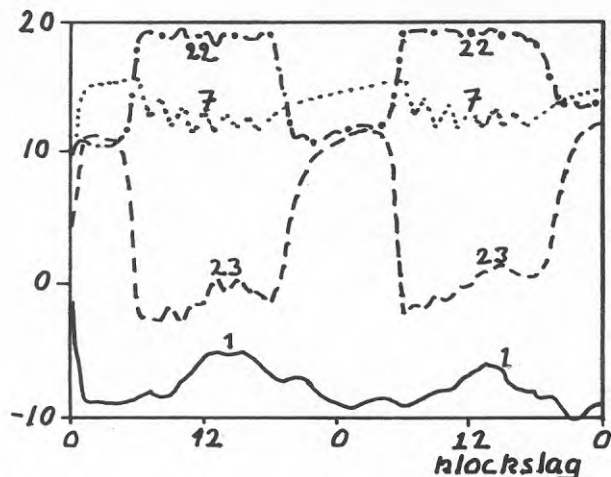


FIG 4.4.3.3 Lägsta yttertemperatur på VVX-kassetterna (7). Plottad tillsammans med VVX-systemets inloppstemperatur på tilluftssidan (23) och på frånluftssidan (22) under en kall vinterperiod (83-02-08 till 83-02-09) när lufttemperaturen (1) går ned mot -10°C.

Figuren illustrerar systemförlusternas betydelse för yttertemperaturen. Vidare ses att temperaturskillnaden enligt den statistiska analysen för den normala verkningsgraden gäller just under kalla vinterperioder. Under de faktiska förhållandena kan fuktproduktionen inomhus uppgå till ca 79/m³ utan att det blir ytkondens men hade inloppstemperaturen till systemet varit -10°C hade yttertemperaturen gått ned till ca 8°C och den högsta tillåtna fuktproduktionen inomhus blivit 59/m³.

I FIG 4.4.3.4 visas de aktuella ånghalterna i uteluften, efter blandning och filter och i frånluften. Under natten är systemet avstängt och mätresultaten för mätpunkten efter blandning och filter är därför ej signifikanta. Under natten stiger ånghalten i lokalen, eftersom ventilationen är avstängd. Fuktproduktionen i lokalen kan beräknas som skillnaden mellan (14) och (16). Den är störst när driften startas ca 59/m³ men avtar under dagen och är ca 39/m³ vid drifttidens slut.

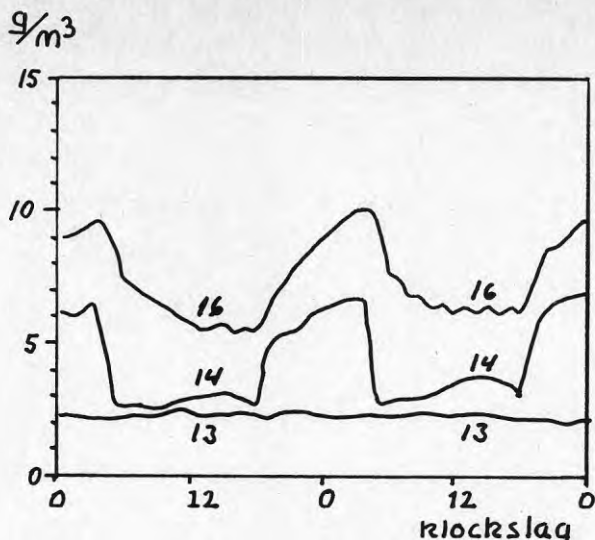


FIG 4.4.3.4 Ånghalten i uteluften (13), efter blandning och filter (14) och i frånluft från lokal (16). Kanal (14) visar otolkbara resultat när systemet inte är i drift.

4.4.4 Yttemperatur i kanalsystemet

För att bedöma om kondens kan uppstå i kanalsystemet måste man veta temperatur och fukthalt hos frånluften från lokalen och temperaturen på frånluften efter VVX-systemet. Denna temperatur kan uttryckas med hjälp av temperaturverkningsgraden för frånluft.

$$\vartheta_{(19)} = \vartheta_{(22)} - \epsilon_{\text{frånluft}} (\vartheta_{(22)} - \vartheta_{(23)})$$

I ekvationen används samma teckenkonvention som för mätningarna.

FIG 4.4.4.1 visar beräknad mätnadsånghalt efter värmeväxlarkanalerna som funktion av utetemperatur och för tre olika temperaturer på frånluft från lokalen om temperaturverkningsgraden på frånluft antas lika med 0,45. Om den relativa ånghalten utomhus ligger nära 100% utgör skillnaden mellan frånluftens mätnadskurva och uteluftens mätnadskurva den högsta fuktproduktion i lokalen innan det börjar fällas ut kondensvatten. Denna fuktproduktion visas som funktion av utetemperatur i FIG 4.4.4.2 för tre olika frånluftstemperaturer. Figuren visar att under de givna förutsättningarna avtar den högsta tillåtna fuktproduktionen med ökad utetemperatur. I regel brukar dock den relativa fuktigheten utomhus vara lägre vid höga utetemperaturer. För zon 6 t ex ligger månadsmedelvärdet för 1931-1960 på 89% i januari och 81% i maj. Motsvarande temperaturer är $-1,7$ och $8,9^{\circ}\text{C}$. Spaltventilationen ökar under vissa förhållanden tillluftens ånginnehåll men solstrålningen på taket medför samtidigt ökad tillufttemperatur.

Vidare kan man inte riktigt dra den slutsatsen att den fuktmängd som fälls ut i kanalsystemet motsvarar produktionsöverskottet jämfört med kurvorna i FIG 4.4.4.2. Varje g fukt som fälls ut frigör $2,4$ kJ som räcker till uppvärmning av 1 m³ luft med $2,4^{\circ}\text{C}$.

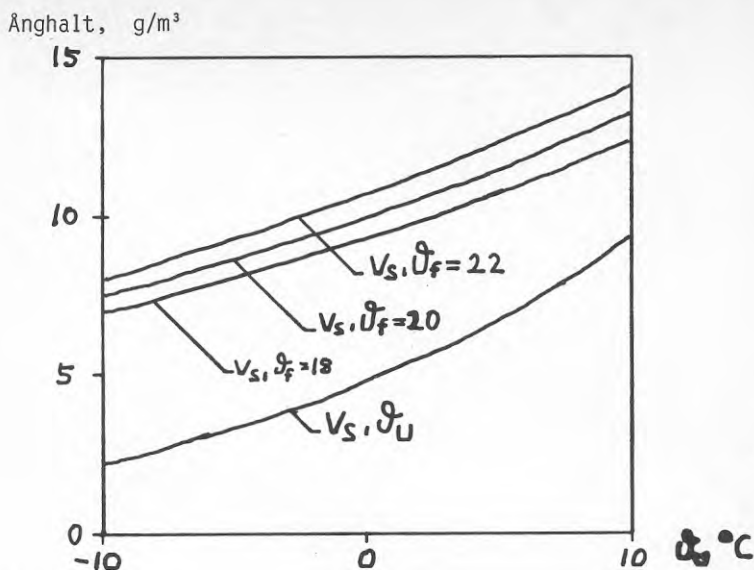


FIG 4.4.4.1 Mättnadsånghalt efter värmexväxlare som funktion av utetemperaturen och för tre olika temperaturer på frånluft från lokal. Temperaturverkningsgraden för frånluft antas lika med 0,45. Mättnadsånghalten för uteluften har lagts in för jämförelse.

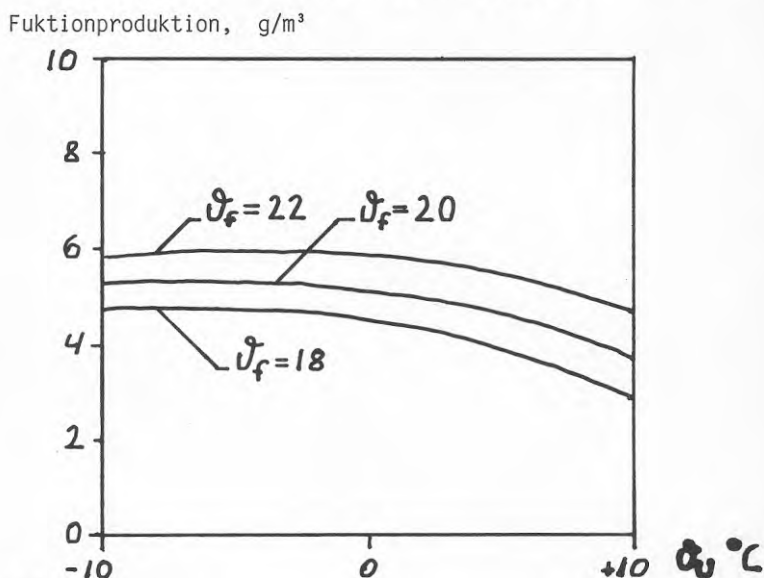


FIG 4.4.4.2 Kurvorna anger den fuktproduktion i lokalen vid vilken kondens påbörjas i VVX-kanalernas kallare del. Tre olika frånluftstemperaturer förutsättes och att uteluftens RF är 100%.

Den värmelagrande kanalväggen ställer in sig till en temperatur som blir ett vägt medelvärde av den varma och den kalla luftström-
mens temperatur samt omgivningens temperatur. Det kan därför kondensera på väggarna även om frånluften i regel ligger ovanför
mättnadsgränsen.

De mätningar som har gjorts inom projektets ram har inte en sådan
detaljeringsgrad att det motiverar en fullständig behandling av
dessa fenomen.

4.5 Fuktbalans i luftspalt

Luftspalten i taket ventileras med undertryck när ventilations-
systemet är igång. I vinterfallet tas vid kall väderlek hela till-
luftflödet för byggnaden via spalten men när taktemperaturen
stiger under soliga dagar blir tilluftflödet en blandning av spalt-
luft och direkt friskluft där dessa två luftmängder proportioneras
för att deras temperatur inte skall överskrida en viss gräns.

För att fukt inte skall kunna lagras i konstruktionen måste ut-
torkningen via luftspalten vara större än den fukt mängd som kom-
mer in i konstruktionen. Fukten kan komma in i konstruktionen på
följande sätt

1. läckage via otätheter i det yttre tätskiktet
2. luftläckor i det inre tätskiktet
3. diffusion genom det inre tätskiktet
4. om spalten ventileras när takytan är kallare än uteluften
pga utstrålning

Eventuell fukt kan lagras i plyfan under det yttre tätskiktet.

Fuktbalansen i taket har följts på två olika sätt. För det första
genom att mäta uteluftens relativa ånghalt och spaltluftens rela-
tiva ånghalt vid aggregatet. För det andra genom att mäta fukt-
kvoten i speciella rondeller av plywood som fälldes in i plywood-
skivan under papptäckningen på fyra ställen i taket.

4.5.1 Uttorkning av spalt

I FIG 4.5.1.1 visas fuktförloppet i den ventilerade spalten under
ett klart vårdygn 83-04-05. Spaltventilationen är kallare än ute-
luften. I början minskar luftens ånghalt på vägen genom spalten
vilket innebär att fukt fälls ut. Detta kan man se genom att
kurvan för uteluftens ånghalt (13) ligger över ånghaltskurvan för
tilluft efter spalt. När solen kommer upp och börjar värma taket
vänds utvecklingen och under resten av dagen tar spaltluften
upp betydligt mer fukt än vad som fälldes ut under morgonen.

Netto-uttorkningen kan uppskattas till $21 \text{ g/m}^3\text{h}$, dygn. Om luft-
flödet är $18.000 \text{ m}^3/\text{h}$ motsvarar detta 378 kg/dygn för hela taket.
Varje viktsprocent fukt i plyfan över hela taket motsvarar
ca 370 kg vatten vilket betyder att en sådan dag skulle kunna ge
en minskning av plyfans fuktkvot med en viktsprocent. Genom att
jämföra ytorna för nedfuktning och uttorkning i FIG 4.5.1.1 ser
man att netto-uttorkningen skulle kunna öka med ca 20-25% under
dygnet om spaltventilationen styrdes mot noll när yttemperaturen
på taket låg under uteluftens temperatur.

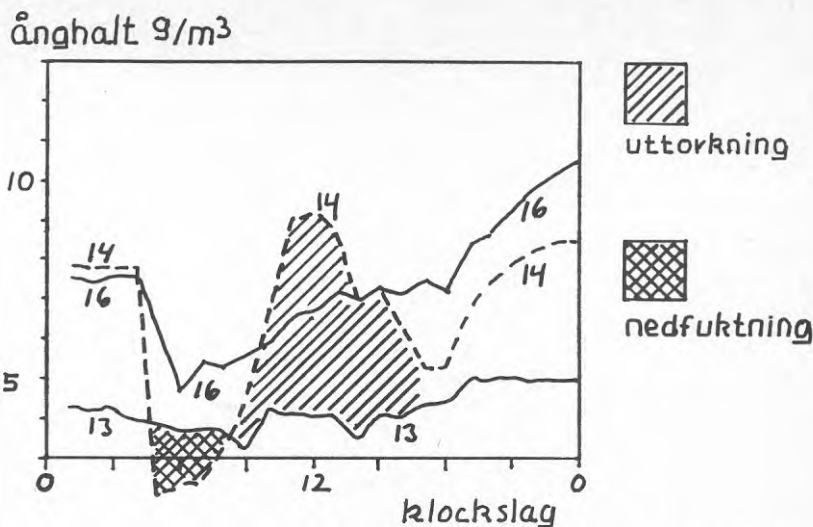


FIG 4.5.1.1 Uttorkning av luftspalten i taket under en solig vårdag 83-04-05. (13) avser ånghalt utomhus, (14) avser ånghalt i tilluft efter luftspalt och (15) avser ånghalt från luft från lokal. På natten mellan 18 och 06 står systemet stilla och mätvärdena (13) och (14) blir meningslösa.

I FIG 4.5.1.2 visas spaltventilationens fuktutbyte med en relativ frekvensfördelning för alla perioder. Om våren 1982 jämförs med våren 1983 syns att uttorkningen -83 är mycket effektivare än vad som skedde under våren -82. Detta har med olika inställningar av systemet att göra. Under våren -82 var man fortfarande försiktig när det gällde systemets förmåga att jämna ut värmeöverskott. Vid en viss högsta temperatur 18°C från luftspalten blandades spaltluften med friskluft för att hålla tillufttemperaturen nere på denna nivå. Under våren -83 togs denna begränsning bort. Förutom energivinsten blev spaltventilationen mycket effektivare ur fuktsynpunkt.

Ett annat karaktäristiskt drag i fördelningen är den tidvisa fuktutfällningen under årets alla månader. Detta stämmer också med FIG 4.3.1.1 som visar på ett betydande negativt värmeutbyte. Här gäller därför samma slutsats att ventilationen av luftspalten bör stängas av när takytans temperatur ligger under lufttemperaturen.

För att följa fukttillståndet i plyfan under papptätskiktet monterades in mätrondeller.

I stort har fukthalten i plyfan följt en kurva som motsvarar uteluftens relativa fuktighet. På enstaka ställen där luftläckage inifrån har kunnat konstateras har en förhöjd fukthalt noterats.

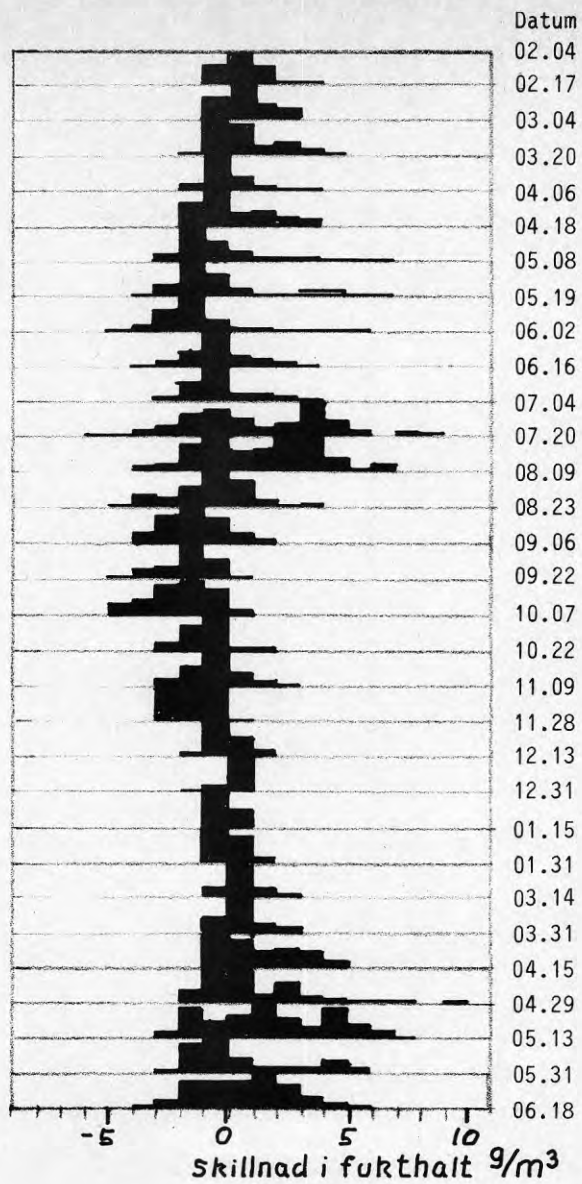


FIG 4.5.1.2 Relativ frekvensfördelning av ventilationsluftens fuktutbyte i luftspalten.

4.5.2 Vattenläckage

Vattenläckage genom det yttre tätskiktet har ej konstaterats.

4.5.3 Luftläckage inifrån

Spaltventilationen med undertryck ökar risken för luftläckage utifrån. Under mätningarna konstaterades ett större luftläckage pga missad tätning vid västra luftintaget vid blandarstationen. Vidare sågs tecken på ett mindre luftläckage vid en brandlucka omedelbart öster om takaggregatet. Vid en inspektion i samlingskammaren för spallluften under takaggregatet fanns inga spår av cementdamm efter ett års drift, vilket tyder på att tätheten i övrigt varit bra.

4.6 Inomhusklimat sommartid

Värmeväxlarens värmelagrande egenskaper gör det möjligt att ta hand om solvärme från luftspalten vår och höst utan att övertemperaturer uppstår. Sommartid när värmebehov inte föreligger utnyttjas inte värmeväxlaren utan enbart tilluft körs parallellt genom bägge hälfterna av systemet och frånluften evakueras direkt till det fria utan att passera betongkanalerna.

I FIG 4.6.1 visas temperaturerna i hallen under två varma sommar dagar (82-08-03 till 82-08-04). Utetemperaturen (1) svänger mellan 15 och 30°C. Ventilationssystemet är enbart igång mellan kl 06 på förmiddagen och 18 på eftermiddagen. Till- och frånluftstemperaturen ligger ganska lika under dagen, ökar från ca 24°C till 28°C. Pga utjämnningen i kassetterna ligger tilluftstemperaturen ca 3°C under uteluftens temperatur på förmiddagen.

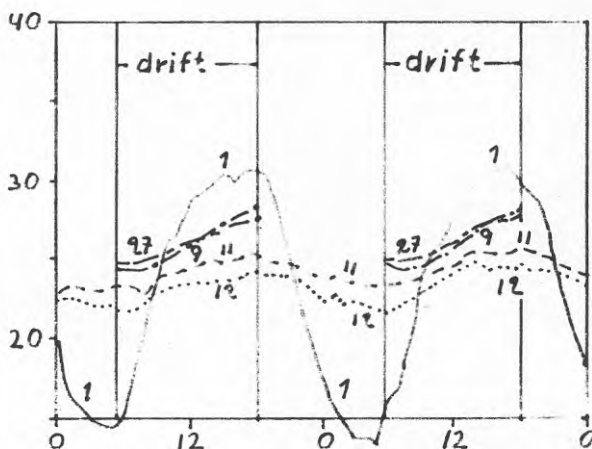


FIG 4.6.1 Klimat i hallen under en varm sommarperiod (82-08-03 till 82-08-04). (1) är utetemperatur, (9) är tilluftstemperatur i hallen, (11) och (12) är temperaturer på olika nivåer i hallen och (27) är temperaturen hos frånluften från lokalen.

Byggnadens tröghet resulterar i en ganska jämn temperatur inuti hallen. Temperaturgradienten blir ca 3°, dvs det blir ca 3°C kallare i vistelsezonen än vad frånluften vid taket indikerar. Temperaturen i vistelsezonen ligger kring höst 24°C under eftermiddagen.

Genom att ventilera på natten skulle både värmeväxlarkassetterna och byggnaden i sin helhet kunna kylas ned och det skulle i sin tur pga trögheten resultera i en lägre temperatur under arbetstid. I systemet finns möjlighet att ställa in på kontinuerlig drift om så önskas, t ex under långvariga extrema värmeböljor eller i lokaler med höga interna värmelaster.

**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 810289-4
från Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen
för Byggnadsteknik I, Lunds Tekniska Högskola, Lund.**

R196: 1984

ISBN 91-540-4299-2

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

**Art.nr: 6704196
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:
Svensk Byggtjänst, Box 7853
103 99 Stockholm**

Cirka pris: 30 kr exkl moms