



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

# R19:1989

REF/SBL

## Heatsys

### Ett program för simulering av värmesystem

Per Sahlin

INSTITUTET FÖR  
BYGGDOKUMENTATION

Accnr

Plac

Ser

## BYGGDOK

Institutet för byggdokumentation  
Hälsingegatan 49  
113 31 Stockholm, Sweden  
Tel 08-34 01 70  
Telex 125 63. Telefax 08-32 48 59

# Byggeforskningsrådet

R19:1989

HEATSYS

Ett program för simulering av värmesystem

Per Sahlin

Denna rapport hänför sig till forskningsanslag  
841139-5 från Statens råd för byggnadsforskning  
till Institutionen för Mekanisk värmeteori och  
kylteknik, KTH, Stockholm.

## REFERAT

HEATSYS är ett datorprogram användbart för simulering av dynamiska temperaturförlopp i bl a byggnader, värmesystem och kylsystem. Den aktuella versionen av HEATSYS ger stora möjligheter till systemsimulering. En del nackdelar kvarstår dock. Under arbetes gång har ett stort problem varit att begränsa omfattningen på denna första version. Idéerna är många om hur den vidare utvecklingen ska gestalta sig.

Den föreliggande versionen arbetar med en enkel explicit numerisk metod. Detta medför väsentliga förenklingar i programmeringsarbetet men innebär också problem vid simulering av system med stora skillnader i tidskonstanter, styva system. I Kommande versioner av HEATSYS kommer sannolikt en implicit integreringsmetod att användas. Detta ger möjlighet till stora tidssteg utan stabilitetsproblem.

Eftersom HEATSYS inte är ett standardprogram, är det önskvärt att ytterligare utvärdera behovet av denna typ av programvara innan utvecklingsarbetet fortskrider. Eventuella användare uppmanas därför ta kontakt med institutionen för Mekanisk värmeteorik och kylteknik på KTH och meddela sina åsikter om programmet.

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

Denna skrift är tryckt på miljövänligt, oblekt papper.

R19:1989

ISBN 91-540-5000-6

Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm

## INNEHÅLL

1.	INLEDNING	4
2.	PROGRAMMETS UPPBYGGNAD	5
2.1	Programfilosofi	5
2.2	Byggstenar	7
2.2.1	Volymer	7
2.2.2	Apparater	8
2.2.3	Väggar	8
2.3	Styrsystem	8
2.4	Klimatdata	9
2.5	Solstrålning	9
3.	EXEMPEL - källarlös tvåplansvilla i lättbetong	11
3.1	Modell	12
3.1.1	Byggnad	12
3.1.2	Solinstrålning	13
3.1.3	Värmesystem	13
3.1.4	Reglersystem	14
3.2	Körning	15
3.3	Kommentar	16
4.	EXEMPEL - Solassisterad värmepump för uppvärmning av tvåplansvillan	17
4.1	System	17
4.2	Modell	19
4.3	Reglersystem	19
4.4	Körning	20
4.4.1	Helårskörning	20
4.4.2	Tio dagar i mars	22
5.	SAMMANFATTNING	23
APPENDIX I:	Manual för körning av programmet	24
APPENDIX II:	Beskrivning av modellen för medietransport	39
APPENDIX III:	Värmepumpmodellen	42
APPENDIX IV:	Klimatdatafilen	44
APPENDIX V:	Teoretisk beskrivning av modellen	45
LITTERATUR		49

## 1. INLEDNING

HEATSYS är ett program för simulering av temperaturförlopp i termiska system. Det är utvecklat vid institutionen för Mekanisk värmeteori och kylteknik vid KTH i Stockholm. Syftet med arbetet har varit att utveckla ett användarvänligt verktyg som förenklar beräkningen av temperaturförlopp i byggnader och deras uppvärmnings och kylsystem. Även andra termiska system kan simuleras. System kan köras under godtyckliga tidsintervall och med olika typer av yttre påverkan (klimatdata). HEATSYS är skrivet i PASCAL och körs interaktivt på t ex en persondator.

Ett möjligt användningsområde är simulering av reglersystem. För att studera styrsystem till klimatanläggningar krävs en komplett modell av såväl klimatanläggningen och byggnaden som själva styrsystemet. Med ett fullständigt simuleringsprogram är det möjligt att justera ett reglersystem optimalt, utan kostsamma experiment på fältet.

Exemplet med reglersystem illustrerar en ofta förekommande svårighet där simulering kan vara till stor nytta. Man förstår delarnas individuella funktion men problem uppstår i samband med studium av delarnas samverkan. Det är svårt att på förhand inse följderna av alla tänkbara driftfall under året. Man förlorar lätt överblicken eller glömmar någon viktig komponent, som t ex värsolens inverkan på en reglerstrategi som fungerar utmärkt vintertid. HEATSYS är avsett att hålla reda på ett stort antal processer simultant, och låta användaren behålla överblicken.

Ett annat område där enkla tumregler idag ofta ersätter en genomgående analys är dimensionering av klimatanläggningar. Det har på senare tid blivit alltmer uppenbart att det är nödvändigt att ta hänsyn till byggnadens termiska tröghet för att kunna dimensionera klimatanläggningar korrekt. Tyvärr har de hjälpmedel som hittills stått till buds, krävt en alltför stor manuell arbetsinsats och har av denna anledning inte kommit till standardmässig användning.

Programmet är konstruerat med avseende på största möjliga flexibilitet. Det kan liknas med en räknedosa med många funktioner; HEATSYS är vad användaren gör det till. Värmesystem modelleras med ett antal byggstenar som fogas till varandra i godtyckliga strukturer. En enkel modell kräver ett fåtal byggstenar och en mer komplicerad kräver fler. Mängden indata för varje tillämpning är således inte bestämd i förväg, utan avgörs av användaren med hänsyn till noggrannhetskrav, datorkapacitet och tillgänglig ingenjörstid.

I denna rapport kommer programmets uppbyggnad och några möjliga användningsområden redovisas. Två körexempel refereras för att illustrera arbetsgången. I appendix I finns en manual för körning av programmet. Appendix II till IV innehåller detaljerade beskrivningar av modeller för medietransport och värmepumpar, samt en beskrivning av formatet på klimatdatafilen. I appendix V finns en mer teoretisk beskrivning av beräkningsmodellen.

## 2 PROGRAMMETS UPPBYGGNAD

Datorer kan vara kraftfulla hjälpmedel i många skilda sammanhang. Hittills har de mest generella tillämpningarna rört hantering av stora mängder information. Deras beräkningskapacitet utnyttjas främst för enstaka speciella tillämpningar. Det har visat sig att det stora flertalet program med anspråk på att vara generella beräkningshjälpmedel, lidit av minst en av följande två brister: Antingen har de varit generella nog att fylla ens behov - men varje enkel uppgift kräver specifikation av så många parametrar att användandet blir tidsödande och opraktiskt - eller så har programutvecklaren i alltför hög grad fixerat funktionen och därmed omöjliggjort behandlingen av andra problem, som lätt borde kunna lösas med en liknande metod. Det borde alltså finnas ett behov för generella beräkningsprogram där enkla problem behandlas enkelt men där även komplexa problem kan lösas.

## 2.1 Programfilosofi

Grundidén under utvecklingsarbetet har varit att låta användaren stå för beräkningsmodellen. Ingenjören får själv bestämma graden av komplexitet och noggrannhet. Programmet bistår med de nödvändiga verktygen för att underlätta arbetet. Förhoppningsvis kan därmed övertro på resultaten undvikas, eftersom användaren hela tiden är medveten om den beräkningsmodell som används.

Ett datorprogram kan aldrig ersätta ingenjörens känsla för de centrala faktorerna i ett system; resultatet blir aldrig bättre än modellen tillåter. Det är av denna anledning många "undergörande" program (med all rätt) möts med stor skepsis. Indata kan t ex vara nuvarande oljeförbrukning och tänkt värmepumpstorlek och ut kommer den exakta årliga besparingen för tio år framåt. Det är för bra för att vara sant.

I HEATSYS har användaren ett antal byggstenar till sitt förfogande. Dessa kan kombineras godtyckligt för att ge en adekvat modell av systemet. Byggstenarna kallas *volym*, *väggar* och *apparater*.

*Volym* innehåller någon typ av värmekapacitivt medium (t ex luft, vatten eller betong). En *volym* har endast en temperatur. Medium kan (om det är flytande) strömma från en *volym* till en annan. I en modell kan t ex en varmvattenberedare utan signifikant temperaturskiktning - eller ett rum i ett hus - utgöras av en *volym*. I en annan modell kanske ett helt hus modelleras med hjälp av en enda *volym*.

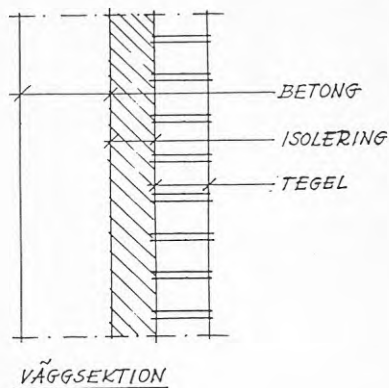
*Väggar* används för att modellera objekt som har en temperaturprofil, t ex en yttervägg med stor värmekapacitet eller ett värmelager.

*Apparater* transporterar medium mellan *volym*er och värmer det i vissa fall. Det finns för närvarande tre typer av apparater i programmet: pumphar, värmeväxlare och värmepumphar.

### Exempel - projektskiss

Man är intresserad av att undersöka hur temperaturprofilen i en yttervägg varierar med olika klimatförhållanden. Med ledning av denna delstudie ämnar man bestämma hur väggen ska modelleras i en senare studie av hela huset.

VERKLIGHET :



MODELL:

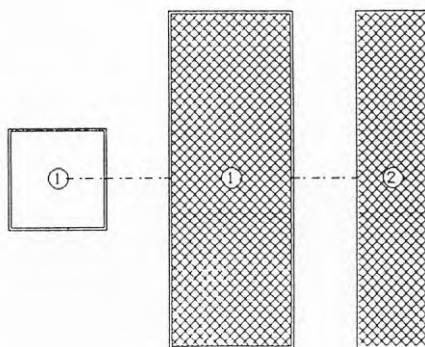


fig. 2.1

Väggen modelleras med hjälp av två *vägg*-element, ett för betongskiktet och ett för fasadbeklädnaden. Isoleringen bedöms ha så liten värmekapacitet att *väggarna* kan kopplas direkt till varandra med värmeövergångstal, som beräknats i enlighet med isoleringens värmemotstånd. *Vägg*-elementet som representerar fasadbeklädnaden, binds samman via ett värmeövergångstal med omgivningen vars temperatur varierar i tiden i enlighet med uppmätta temperaturdata. Hänsyn tas också till den effektutveckling som sker i fasadbeklädnadens ytskikt pga solinstrålning.



Temperaturprofilen i modellen kontrolleras vid olika tidpunkter under realistiska klimatförhållanden.

Resultatet av delstudien blir att huvuddelen av temperaturfallet uppträder i isoleringsskiktet och att betongens temperaturprofil sällan avviker nämnvärt ifrån den stationära räta linjen. Vid solinstrålning på fasadtegllet uppträder emellertid transienta effekter som bedöms ha inverkan på väggens totala funktion. Man beslutar att betongskiktets termiska massa kan sammanräknas med husets i den vidare studien men att tegelskiktet modelleras separat med ett *vägg-element*.

Huset modelleras med en enda *volym*, som står i förbindelse med omgivningen via en *vägg* som representerar fasadtegllet. Värmesystemet modelleras med flera *volym*er för radiatorer och varmvattenberedare. Till dessa kopplas en uteluftvärmepump och en serie cirkulationspumpar. Man bedömer att radiatortermostaternas tidskonstanter, är väsentliga för regleringen varför dessa modelleras separat. Placeringen av givaren för utetemperatur visar sig vara kritisk, och man kommer efter några experiment fram till att en placering på sydsidan mitt i solskenet blir mest gynnsam.

Exemplet är valt för att illustrera programmets flexibilitet. Men naturligtvis finns det begränsningar. Programmet kan ju bara simulera de fysikaliska förlopp som byggstenarna medger. Exempel på förlopp som inte kan modelleras i denna version är termiskt drivna strömningsförlopp i t ex en vattentank eller värmeledning i flera dimensioner. För att modellera denna typ av förlopp krävs mer avancerade modeller av t ex finit element typ. Det är emellertid möjligt att succesivt bygga ut HEATSYS till att omfatta även denna typ av förlopp.

## 2.2 Byggstenar

Användaren har en serie byggstenar till sitt förfogande. Dessa kan kopplas till varandra i godtyckliga kombinationer.

### 2.2.1 Volymer

*Volymen* är den mest fundamentala byggstenen. Den förekommer i alla modeller. *Volym*er utgörs av två termiska massor som har samma temperatur. Det som skiljer massorna åt är att den ena kan strömma från en *volym* till en annan och därmed överföra energi, medan den andra massan är fix. Vid t ex modellering av ett rum i ett hus, kan den ena massan utgöra luften i rummet och den andra värmekapaciteten i innerväggar och möbler. Användaren specificerar de båda termiska massorna.

Värmetransporten mellan två olika *volym*er eller mellan en *volym* och omgivningen (vars temperatur specificieras i klimatdatafilen), sker på två olika sätt, genom ledning/strålning och genom medietransport. Ledning och strålning regleras av en modifierad värmelednings-ekvation, i vilken användaren specificerar koefficienterna  $k_A$  och  $n$ .

$$Q = k_A(t_i - t_k)^n$$

Strömningen mellan två *volym*er i ett nätverk, regleras med hjälp av

s k flödeskoefficienter, som avgör hur lätt medium strömmar från en *volym* till en annan. De ekvationer som styr flödesbilden är redovisade i appendix II.

Totalflödet i systemet avgörs av de *apparater* som är inkopplade. Där specificerar användaren det önskade flödet. Användaren kan också specificera en reglerbar inre effektutveckling i en *volym*, för att modellera t ex en elradiator.

### 2.2.2 Apparater

De byggstenar som driver transporten av medium mellan *volym*er kallas *apparater*. De kopplas alltså ihop med *volym*er och kan inte köras separat. Det finns tre olika typer av *apparater*.

1. Pumpar arbetar mellan två *volym*er. De åstadkommer ett specificerat flöde och kan också samtidigt värma mediet under transporten. En elpanna med cirkulationspump, kan t ex modelleras med en pump.
2. Värmepumpar arbetar med separata flödeskretsar för kondensor respektive förångare. Användaren specificerar karakteristikor för kompressor, förångare och kondensor. Programmet räknar med en kvasistatisk modell för värmepumpens drift. Detta står närmare beskrivet i appendix III.
3. Värmeväxlare arbetar mellan fyra *volym*er i två separata kretsar. Användaren specificerar typ av värmeväxlare (medström eller motström) och värmegenomgångstalet vid typiska flöden. Programmet antar att värmeövergångstalen är lika på båda sidor vid de typiska flödena. Om något flöde förändras, justeras motsvarande värmeövergångstal, som om turbulenta strömningsförhållanden råder, dvs

$$\alpha = k \cdot Re^{0,8}$$

där  $Re$  är något mått på vätskans hastighet.

### 2.2.3 Väggar

*Väggar* deltar inte i transporten av medium, utan tänks bestå av fasta material. De kan anslutas till andra *väggar*, *volym*er eller till omgivningen. *Väggar* har en temperaturprofil som uppdateras med hjälp av integration av Fouriers ekvation för transient värmeledning i en dimension. Antalet celler i temperaturprofilen (upplösningen) anges av användaren.

## 2.3 Styrsystem

Det stora flertalet verkliga termiska system som har aktiva komponenter har också någon form av reglerutrustning. Av denna anledning måste också ett simuleringsprogram som strävar efter att modellera ett verkligt system ha möjlighet till simulering av reglersystem. HEATSYS är konstruerat så att användaren själv kan specificera enkla styrrutiner för de ingående komponenterna. De flesta viktiga parameterar i och emellan apparater och *volym*er, kan regleras med ett antal reglerstrategier. I manualen i appendix I, finns de befintliga reglerstrategierna beskrivna i detalj. Här ges

endast några exempel på möjliga styrmetoder.

I en styrstrategi, som kallas "kurva" i programmet, specificerar användaren en parameters förlopp över dygnet. Med denna metod kan t ex varmvattenkonsumtionen i en bostad modelleras på ett realistiskt sätt.

En annan styrstrategi kallas "följ". Där får den reglerade parametern följa en annan. Detta kan t ex användas för att låta flödet genom en fläkt regleras av vindstyrkan. På detta sätt kan man t ex modellera luftläckagets beroende av vindstyrkan.

I ytterligare en styrstrategi som kallas "ifthen", kan reglersystem som arbetar med en sk styrkurva modelleras.

Ytterligare styrstrategier kan enkelt adderas till de nu befintliga. En annan möjlighet till reglering är att skriva en egen PASCAL-rutin som länkas ihop med programmet, men nackdelen med detta är att en sådan rutin blir modellberoende och måste modifieras ofta.

## 2.4 Klimatdata

Alla passiva byggstenar, dvs *volymer* och *väggar*, kan anslutas till en omgivning på samma sätt som de ansluts till varandra. I denna omgivning råder temperaturförhållanden som specificerats i en klimatdatafil. Förutom de parametrar som reglerar värmeledningen och medietutbytet, ges även solinstrålningsparametrar, vid anslutning av väggar och volymer till omgivningen. Klimatdatafilen innehåller vidare uppgifter om vindstyrka, solstrålning och förekomsten av snötäcke. Uppläggnings av filen är närmare beskriven i appendix IV.

Klimatdata kan vara ordnade timvis eller med annat intervall.

Normalt används timvisa klimatdata som är baserade på uppmätta väderförhållanden. SMHI tillhandahåller rådata för ett stort antal platser i Sverige för de senaste åren, som kan omvandlas till HEATSYS format. Detta öppnar möjligheten att direkt kalibrera sin modell mot verkliga förhållanden. Om energiåtgången för ett visst år är känd för en byggnad, kan HEATSYS-modellen köras med klimatdata för samma år och därmed kan modellens relevans kontrolleras på ett enkelt sätt.

Användaren kan också skapa egna klimatdatafiler med hjälp av HEATSYS, där de ingående storheterna ges en önskad variation. Detta tillvägagångssätt står närmare beskrivet i appendix I.

Timvisa klimatdata för 1971 finns tillgängliga på HEATSYS-format.

## 2.5 Solstrålning

För att dimensionera klimatanläggningar korrekt, måste hänsyn tas till den instrålade soleffekten. HEATSYS har rutiner som beräknar effekten på en godtyckligt orienterad yta med eller utan fönsterglas, baserat på timvisa mätdata av total och diffus solinstrålning på en horisontell yta.

Problemet att beräkna den direkt infallande strålningen är av geometrisk natur och har en entydig lösning (Brown, 1974). När det

gäller den diffusa komponenten går emellertid meningarna isär. Problemet är att den diffusa strålningen sällan är isotrop, dvs lika stark ifrån alla riktningar. Området kring solskivan ger vid de flesta tidpunkter ifrån sig betydligt mer ljus än resten av himlen. Eftersom den diffusa strålningen står för en ansenlig del av den totala infallande energin, har viss möda lagts på att finna en vettig modell för denna.

Valet har fallit på en modell föreslagen av (Hay, 1979), där graden av anisotropi får variera med ett sk anisotropindex som väsentligen är kvoten mellan den direkta solinstrålningen och solarkonstanten.

Klimatdatafilen innehåller uppgifter om solinstrålningen på en horisontell yta. Problemet att räkna om dessa uppgifter till soleffekten på en vertikal yta är mycket illa konditionerat vid låga solhöjder. Detta kan få till följd att små avvikelser i t ex tiden för solens uppgång, ger stora fel i beräknad instrålning. Lyckligtvis undviks i allmänhet denna svårighet i praktiken, då solen oftast är skymd av omkringliggande objekt vid dessa låga solhöjder. I HEATSYS får användaren i grova drag ange formen av den horisont, som omger systemet. Ur denna synvinkel betraktas systemet som litet, dvs horisontens profil anses vara densamma för alla punkter i systemet.

## 3. EXEMPEL - källarlös tvåplansvilla i lättbetong.

HEATSYS lämpar sig för studier av klimatanläggningars reglering för t ex reglerstudier. Framställningen är långt ifrån komplett. Den är endast avsedd att illustrera en möjlig arbetsmetod.

Modellen ska vara tillräckligt komplex för att tillåta vissa detaljstudier, som t ex lämplig placering av temperaturgivare inomhus och utomhus, samtidigt enkel nog för att det ska vara möjligt att simulera ett helt år med rimliga exkveringstider. Huset som valts är en enfamiljvilla i två plan. Det har väggar och bjälklag i lättbetong.

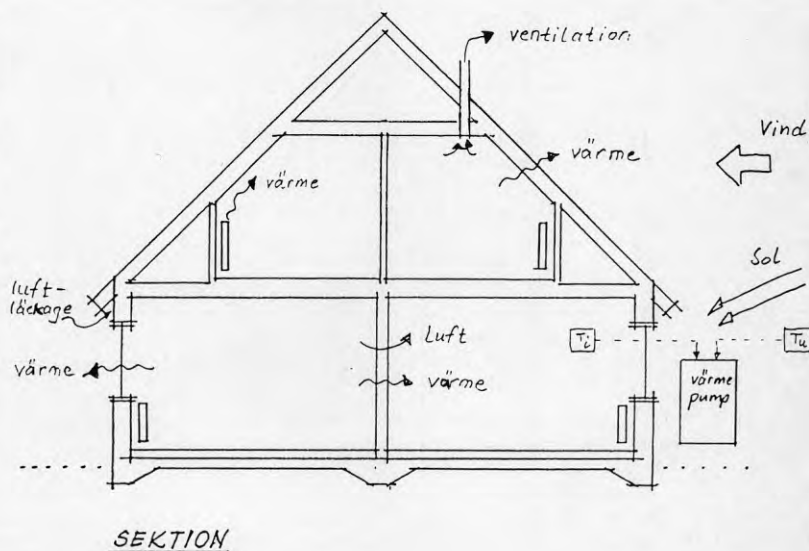


fig. 3.1

Data för huset:

	kA (kW/°C)
Ytterväggyta: 102 m <sup>2</sup> , 0,25 m lättbetong	0,06
Fönster: 12 m <sup>2</sup> 2-glas	0,04
Ventilation: 180 m <sup>3</sup> /h	0,06
Övrigt (fönsterkarmar, golv, tak, dörrar, köldbryggor)	0,11
	kA <sub>tot</sub> = 0,27 kW/°C
Total termisk massa utom ytterväggar	6,2 kWh/°C

### 3.1 Modell

#### 3.1.1 Byggnad

Huset modelleras med fyra *volymer*, fortsättningsvis kallade *huvudvolymer*, (nr 1 - 4 i fig 3.1), representerande fyra huvudutrymmen i byggnaden, norr och söder samt över- och undervåning. *Volymer*na har luft som flyktig massa och en extra termisk massa motsvarande innerväggar, bjälklag osv.

Dessa *volymer* är anslutna till väggar (nr 1 - 4 i fig 3.1) med värmeövergångstal till väggytan. *Volymer*na är dessutom direkt anslutna till omgivningen, både med värmegenomgångstal och flödeskoefficienter. Värmeläckage från *volymer*na till omgivningen sker i denna modell på tre olika sätt:

- genom *ytterväggarna*, vars insidor är anslutna till *volymer* 1 - 4 och vars utsidor är anslutna till omgivningen .
- genom ventilation. En pump (*apparat* 2) suger luft ur *volymer* 2. Denna pump kan regleras för att följa vindstyrkan utomhus och därigenom ta hänsyn till ventilationshastighetens beroende av densamma.
- genom direkt ledning till omgivningen. Denna komponent tar hänsyn till t ex läckage genom fönster, snickerier och köldbryggor; dvs allt som inte täcks av de övriga två komponenterna.

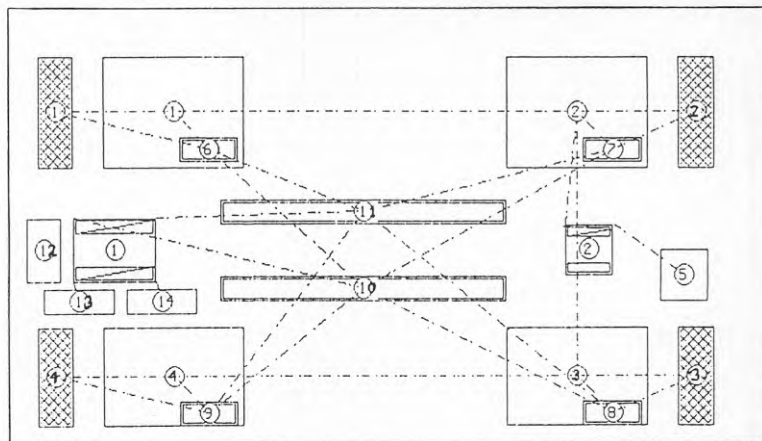


Fig 3.2. *Volymer* representeras av rektanglar i den grafiska presentationen på bildskärmen, *väggar* av streckade rektanglar och *apparater* av en rektangel med två inskrivna mindre rektanglar. Komponenter som är anslutna till varandra, binds ihop av streckade linjer. Byggstenar som ej är direkt anslutna till omgivningen (t ex radiatorerna) får en dubbel ram.

### 3.1.2 Solinstrålning

Solexponerade ytor har definierats i de fyra *huvudvolymerna*, för att modellera solinstrålning genom fönster. Tvåglasfönster med olika orientering har valts. Den instrålade effekten avsätts direkt i *huvudvolymerna* och inte på innerväggarnas ytor som varit korrektare. (Det hade varit möjligt att definiera separata *innerväggar* och avsätta effekten på dessa, om det bedömts som viktigt att lösa upp detta förlopp).

Delar av *ytterväggarnas* utsidor har också definierats som solexponerade ytor med absorptionsfaktorer som motsvarar en röd kulör. Solenergi tillförs alltså husets innandöme dels som direkt instrålning och dels via värmeledning genom bestrålade *ytterväggar*.

### 3.1.3 Värmesystem

Till var och en av *huvudvolymerna* har *volym* motsvarande radiatorer anslutits (vol 6 - 9 i fig 3.2). Värmeöverföringen vid en radiatoryta är väsentligen av konvektiv karaktär. I modellen har detta ickelinjära fenomen ansetts viktigt och av denna anledning har följande samband använts för värmeegenomgången från radiatorvatten till husets innandöme:

$$Q = 0.0163(\Delta t)^{1.25},$$

per radiator.

Radiatorerna är dessutom anslutna till insidan av *ytterväggarna* för att modellera effekten av lokal temperaturförhöjning bakom radiatorpanelerna. (Detta förlopp hade återgivits mer naturtroget om separata *väggelement* definierats för ytan bakom radiatorerna)

Alla radiatorerna är flödesmässigt anslutna till en *volym* motsvarande framledningen (vol 11 i fig 3.2) och en motsvarande returledning (vol 10 i fig 3.2). Till dessa *volym* är en värmepump (app 11 i fig 3.2) ansluten. *Volym* för fram- resp returledning är nödvändiga för att modellera parallellkopplade radiatorsystem, eftersom apparater endast kan anslutas till en *volym* för utflöde och en för inflöde. Det kan synas rimligt att välja mycket små *volym* (och därmed värmekapaciteter) på olika "interface"-*volym*. En alltför liten *volym*, kan emellertid ge upphov till numeriska svårigheter. Denna problematik är närmare belyst i appendix I. I den aktuella modellen har fram- och returledningens *volym* valts till 0,05 m<sup>3</sup>.

Ytterligare "interface"-*volym* är 5, 13 och 14, som är nödvändiga eftersom *apparater* bara kan anslutas till *volym* och ej direkt till omgivningen. *Volym* 12 i figuren är endast ansluten till omgivningen och följer dess temperatur med en kort tidskonstant, så kort som möjligt med hänsyn till numerisk stabilitet. Denna *volym* tjänar som "känslspröt" åt reglerystemet.

Den modell som nu beskrivits kan utnyttjas för att illustrera t ex studier av olika reglerystem. Modellen är bara en första version. Om den skulle utnyttjas för en verklig reglerstudie, skulle den sannolikt behöva revideras och förfinas på många punkter. Förmodligen har många viktiga förlopp modellerats alltför grovt, medan andra fått en mer rimlig eller kanske alltför stor

uppmärksamhet.

Avslutningsvis ska de första stegen i en studie av ett enkelt reglersystem skisseras. Syftet är inte att dra några slutsatser beträffande systemets funktion, utan tjänar endast som illustration. I nästa exempel behandlas reglersystemet och dess funktion något mer ingående.

Det bör i detta sammanhang också nämnas att den beskrivna modellen naturligtvis kan användas för annat än reglerstudier. Några experiment där värmepumpens storlek varierats har utförts. Dessutom har olika kombinationer av värmepump och elpanna undersökts. Uppslagen är många och resultaten är ofta intressanta, men tyvärr omfattas detaljredovisning av denna typ av studier inte av syftet med denna rapport.

### 3.1.4 Reglersystem

Den kanske vanligaste principen för reglering av villavärmepumpar är användning av en sk styrkurva. Denna bygger på det förenklade antagandet att den önskade framledningstemperaturen ( $t_f$ ) i varje tidpunkt är en funktion utomhustemperaturen ( $t_u$ ), dvs ingen hänsyn tas till husets termiska massa. Funktionen är normalt icke-linjär, men i detta starkt förenklade exempel har en linjär funktion valts för att illustrera principen:

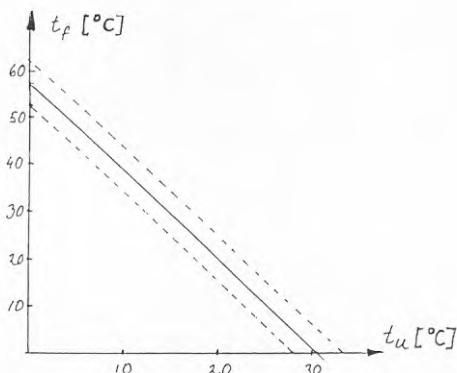


fig. 3.3

I exemplet genomlöps följande sekvens en gång per tidssteg:

```
IF  $t_{vol}(11) > -1,88 \cdot t_{vol}(12) + 62,5$  THEN stoppa värmepumpen
IF  $t_{vol}(11) > -1,88 \cdot t_{vol}(12) + 52,5$  THEN starta värmepumpen
```

där  $t_{vol}(11)$  och  $t_{vol}(12)$  är framlednings- resp utomhustemperaturen. Vid beräkning av styrkurvan har inget avseende fästs vid sk gratis-effekter i huset, som t ex värme från hushållsapparater och människor. Av denna anledning kan den uppnådda inomhustemperaturen ej förväntas bli tillräcklig. Solenergin räknas i detta avseende ej som en gratis-effekt, eftersom den ingår som en separat del i beräkningen. Som en parentes kan nämnas att det hade varit möjligt att definiera en effektutveckling i huset som liknar den verkliga gratisenergens variation över dygnet.



### 3.2 Körning

För att skapa överblick, har hela systemet körts ett år inledningsvis. Detta ger upplysning om intressanta perioder att undersöka närmare samt en uppfattning om den totala energiåtgången.

På en ordinär persondator utan flyttalsprocessor tar en dylik körning några timmar, varför den lämpligen utförs nattetid. Exekveringstiden är starkt beroende av storleken på det simulerade systemet samt den önskade tidsupplösningen. Programmet är i sin nuvarande version ej optimalt i detta avseende.

Under körningen samplas och lagras förloppen hos viktiga variabler som väljs av användaren. Presentationen av dessa data är i den aktuella versionen av programmet mycket enkel. I figur 3.4 återges förloppen av några intressanta temperaturer i systemet. Samplingsfrekvensen är alltför låg för att tillåta några detaljstudier men en grund för vidare studier ges med hjälp av dessa kurvor.

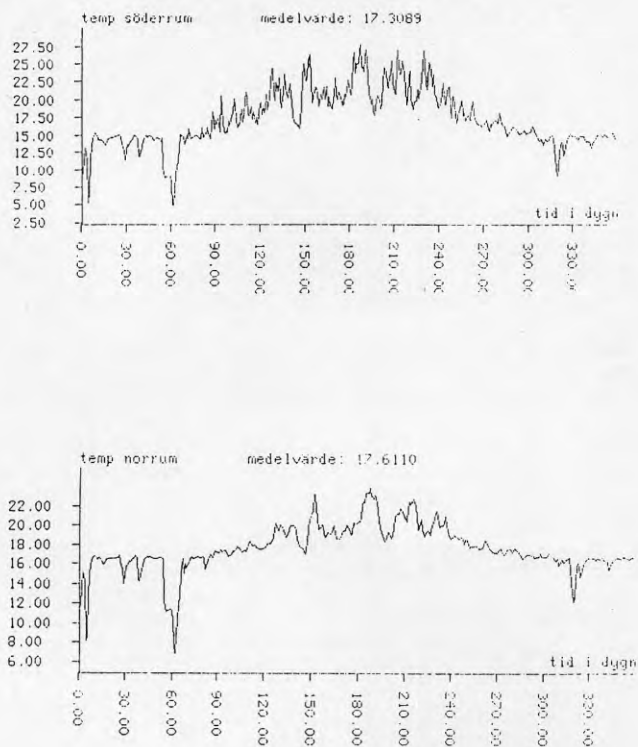
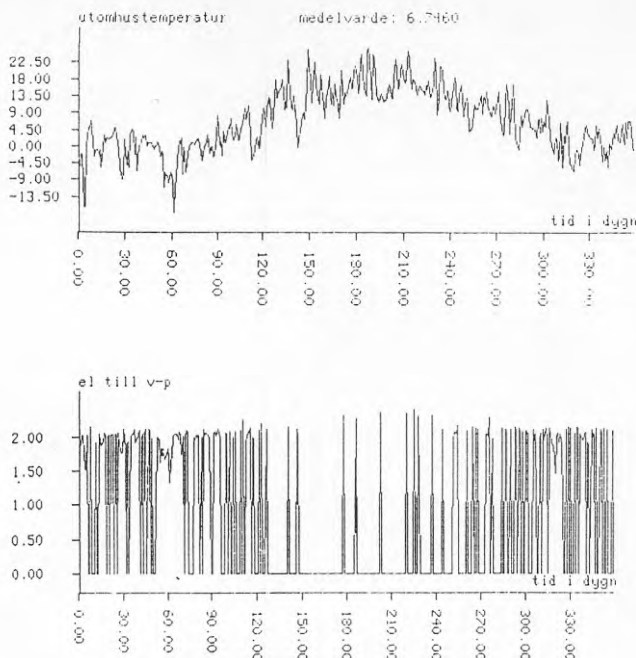


fig. 3.4



forts. fig. 3.4

### 3.3 Kommentar

Rumstemperaturerna sjunker kraftigt under perioder med låg utetemperatur vintertid. Detta beror naturligtvis på att värmepumpen inte ger tillräcklig effekt. Det behövs tillsatsvärme.

Reglersystemet verkar fungera hyggligt vintertid, men under vår och höst ger solinstrålningen förhöjda temperaturer. Detta är naturligt nog mest framträdande i söderrummet (vol 2 i fig 3.2).

Under sommaren behövs kyleffekt för att upprätthålla rätt inomhustemperatur och eftersom värmepumpen i denna tillämpning endast varit kopplad för uppvärmning, har temperaturen blivit alltför hög.

Kurvan över värmepumpens effektförbrukning bör inte ligga till grund för några detaljstudier eftersom samplingsfrekvensen är alltför låg. Man kan emellertid få en grov uppfattning om driftstatistiken. Under månadskiftet februari/mars gick värmepumpen oavbrutet, men förmådde inte värma huset tillräckligt.

Om studien fortsatt, kunde vi som ett nästa steg koppla in en elpatron som tillsatsvärme (lämpligen en reglerad effektutveckling i *volym 11*) och kört systemet 15 feb. till 10 mars för att kontrollera funktionen under den kalla perioden i månadskiftet. Det skulle också vara intressant att låta solen skina direkt på reglersystemets känslkropp (vol 12), för att se vilken följd detta får på inomhusklimatet under t ex april.

#### 4. EXEMPEL - Solassisterad värmepump för uppvärmning av tvåplansvillan

En av de mest tilltalande aspekterna med systemsimulering är att den kreativa processen kan underlättas. Utopiska system konstrueras och testas (och förkastas oftast) på ett enkelt sätt utan kostsamma experiment. Detta öppnar möjligheter för fler okonventionella lösningar, som kanske annars skulle förkastats direkt pga den risk som alltid är förknippad med radikala nykonstruktioner.

I det följande beskrivs ett system som man tidigare kanske hade varit tvungen att realisera i ett experiment, för att studera det närmare.

Återigen är varken det verkliga systemet, dess modell eller analys, genomarbetad utan tjänar endast som illustration.

##### 4.1 System

I en solassisterad värmepump, låter man i detta exempel solen förvärma luften som passerar förångaren, för att därigenom höja värmefaktorn under den tid solen skiner.

Två huvudproblem i sammanhanget är:

- att den ökade effekten igenom värmepumpen ger ökade temperaturdifferenser i förångare respektive kondensator, då solen skiner, om kompressorhastigheten hålls konstant. Denna oönskade effekt kan i vissa fall äta upp en stor del av den potentiella vinsten.
- att en ekonomiskt väl dimensionerad värmepump bör hållas i drift under en stor del av dygnet, inte endast när solen skiner. Detta medför att vinsten som görs under solskens-tid "späds ut" över resten av dygnet, då värmepumpen går i normaldrift.

I det aktuella systemet åtgärdas det första problemet med att ett tvåkompressorsystem används, så att värmepumpen kan gå med reducerad effekt solskens-tid. Vikten av det andra huvudproblemet kan minskas genom att värmepumpen hålls igång med att ladda en ackumulator under solskens-tid, oberoende av om ett uppvärmningsbehov föreligger för stunden.

Det undersökta systemet är mycket enkelt. Luften till värmepumpen tas från utrymmet mellan absorbatör och täckglas i en konventionell solfångare (20 m<sup>2</sup>). En stor del av konvektionsförlusterna i solfångaren tillförs då värmepumpen. Härigenom uppnås totalt sett en effektivare solfångare. En tank på 4 m<sup>3</sup> med god temperaturskiktning används som ackumulator.

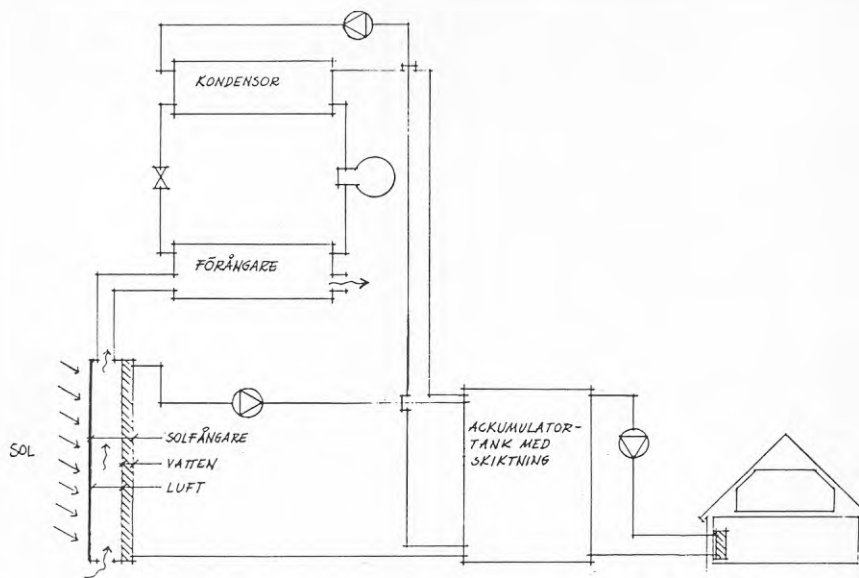


fig 4.1

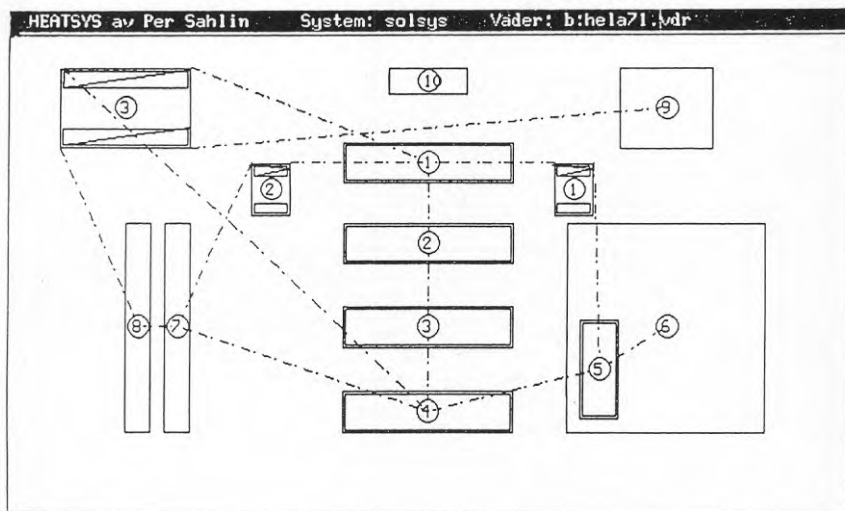


fig 4.2

Regleringen av systemet är kritisk. Det gäller att värmepumpen går vid rätt tidpunkt, och att ackumulatorn bara laddas då värme kommer behövas inom en nära framtid.

Det reglersystem som prövats är relativt komplicerat, men långt ifrån optimalt. Värden på viktiga parametrar har endast uppskattats grovt.

För att tillåta viss jämförelse med systemet i det föregående exemplet, har värmepumpen samma prestanda vid fulldrift. Det hus till vilket systemet anslutits har samma totala värmeförlust som det tidigare, men i detta fall har det modellerats annorlunda för att tjäna behovet i denna studie.

## 4.2 Modell

Solfångaren modelleras med två *volym* (7 och 8 i fig 4.2). Absorbatorn tänks som en vattenfylld tank med extra termisk massa (plåt och ram). Denna *volym* bildar en krets via en pump (*app* 2 i fig 4.2) med fyra *volym* (1-4 i fig 4.2) representerande tanken med skiktning. Vätska återförs till absorbatorn från *volym* 4. *Volym* 8 modellerar luften i solfångaren. Den är termiskt ansluten till absorbatorn och omgivningen. Värmepumpens (*app* 3 i fig 4.2) förångarkrets suger luft ur *volym* 8 som står i flödesmässig förbindelse med omgivningen. Värmepumpens kondensorkrets suger vatten ur ackumulatortankens kalla del (*vol* 4 i fig), värmer det och returnerar det till *volym* 1. *Volym* 5 representerar radiatorerna i huset, den står i termisk förbindelse med huset (*vol* 6) på samma sätt som i det föregående exemplet. Huset har försatts med samma solexponerade yta som den som var riktad åt söder i det föregående exemplet. Ytterväggarnas termiska massa har lagts i *volym* 6 och solinstrålningen på dessa har försumrats. *Apparat* 1 sköter cirkulationen i radiatorkretsen. *Volym* 9 är endast ett "interface" mot omgivningen för värmepumpen. *Volym* 10 används för att följa utetemperaturens variation.

## 4.3 Reglersystem

Ett reglersystem bestående av flera "ifthen" sekvenser har implementerats. Huvuddelen av värmepumpens reglering är densamma som i föregående exempel,

IF  $t_{vol(1)} > -1,88 \cdot t_{vol(10)} + 62,5$  THEN stoppa värmepump

IF  $t_{vol(1)} < -1,88 \cdot t_{vol(10)} + 52,5$  THEN starta värmepump

men dessutom styrs valet av kompressor i detta exempel,

IF  $t_{vol(7)} > t_{vol(1)} + 25$  THEN deleffekt

IF  $t_{vol(7)} < t_{vol(1)} + 25$  THEN fulleffekt.

Den senare sekvensen gör att värmepumpen går med lägre kompressoreffekt då solen skiner (hög absorbatorntemperatur) för att utnyttja den högre lufttemperaturen maximalt.

Pumpen som driver vätska genom absorbatorn (*app* 2, för direktladdning av ackumulatorn) ska bara gå då effekttillskottet är positivt,

```
IF tvol(7) > tvol(1) + 5 THEN starta app 2
```

```
IF tvol(7) > tvol(1) + 0 THEN stoppa app 2.
```

Detta regelsystem kan ligga till grund för en första utvärdering av systemet. Om vinsten i jämförelse med det tidigare exemplet blir signifikant, vore det önskvärt med ett förfinat regelsystem.

#### 4.4 Körning

Systemet har körts under ett år med samma klimatdata som användes i det föregående exemplet. Den totala energiåtgången blev endast några tiotals procent lägre, varför det är tveksamt om idén förtjänar ytterligare uppmärksamhet. Vi ska emellertid studera några perioder under året med högre upplösning för att närmare kontrollera systemets funktion.

##### 4.4.1 Helårskörning

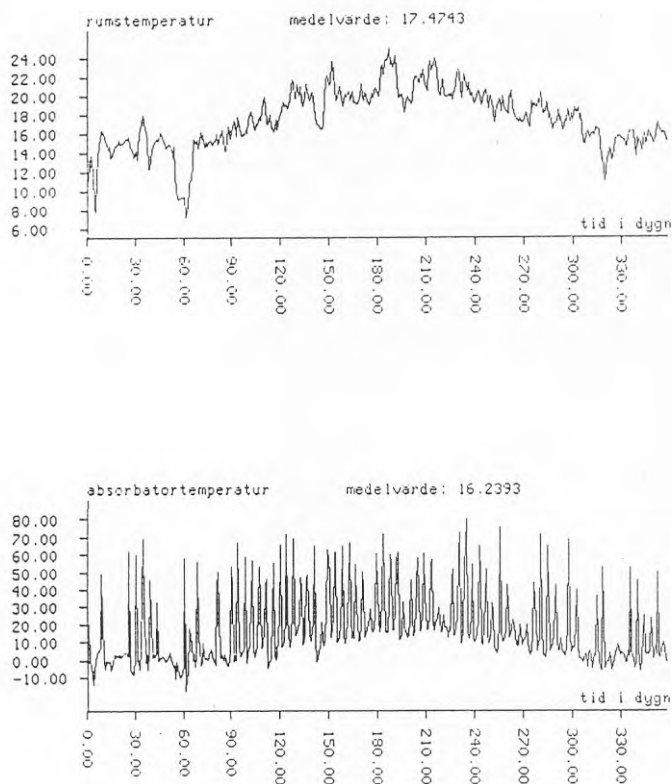
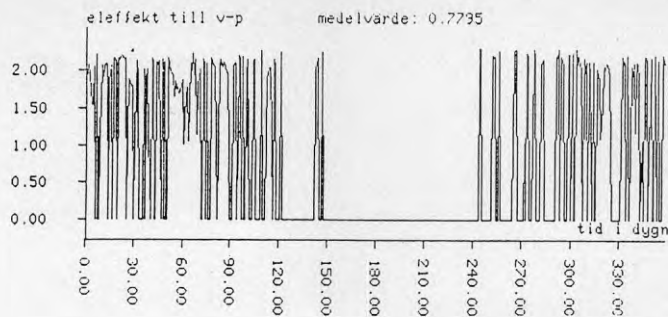


fig. 4.3



forts. fig 4.3

Rumstemperaturens variation visar att styrsystemet inte varit någon stor succé i detta avseende. Fluktuationerna är stora, även under vinterhalvåret, då temperaturen hölls relativt konstant i det föregående exemplet. Det hade varit önskvärt att reglera radiatorerna på något sätt. Det kan också noteras att den kalla perioden vid månadsskiftet feb/mars, varit lika känbar för detta system. Den ackumulerade energin i tanken var alltför liten, för att räkna över dessa dagar (tidskonstanten är bara något dygn med 4 m<sup>3</sup> vatten i tanken). Det hade behövts tillsatsenergi.

Absorbatortemperaturen har tidvis varit tillräckligt hög för att värma systemet direkt, utan värmepump, men tydligen har detta inte bidragit i någon stor utsträckning till det totala energibehovet.

Värmepumpen har varit i drift ungefär lika mycket som i förra exemplet, med undantag för sommaren. Vid början av mars har värmepumpen gått med lägre kompressoreffekt under några perioder. Av denna anledning har systemet körts igen från 5/3 till 15/3 med högre upplösning och fler följda parametrar.

#### 4.4.2 Tio dagar i mars

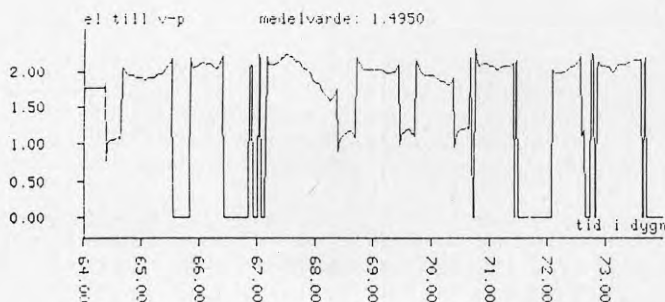
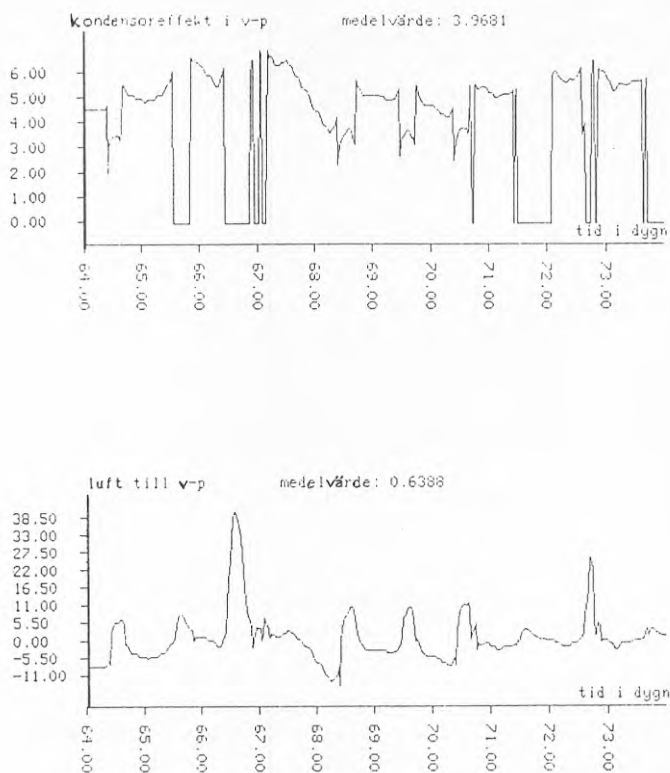


fig. 4.4



forts. fig 4.4

Kurvorna över värmepumpens drift, visar att systemet fungerat som det varit tänkt, men att vinsten i värmefaktor under perioderna med deffekt inte givit något signifikant bidrag till den totala värmefaktorn.

Luften till värmepumpen har fått en markant högre temperatur, då värmepumpen och dess förångarfläkt gått med lägre effekt. Detta kan studeras under dygn 68-70. Under dygn 66 har värmepumpen varit ur drift under soltimmarna och då har lufttemperaturen i solfångaren ökat kraftigt. Det hade naturligtvis varit önskvärt att värmepumpen gått med deffekt under denna period.

Förmodligen skulle en signifikant besparing (i jämförelse med det föregående exemplet) kunna uppnås genom förfining av systemet (kanske främst reglersystemet). Det är emellertid tveksamt om denna besparing någonsin skulle betala de ökade investeringskostnaderna i akkumulatortank, solfångare och extra kompressor.



## 5. SAMMANFATTNING

Den aktuella versionen av HEATSYS ger stora möjligheter till systemsimulering. En del nackdelar kvarstår dock. Under arbetets gång har ett stort problem varit att begränsa omfattningen på denna första version. Idéerna är många om hur den vidare utvecklingen ska gestalta sig.

Den föreliggande versionen arbetar med en enkel explicit numerisk metod. Detta medför väsentliga förenklingar i programmeringsarbetet men innebär också problem vid simulering av system med stora skillnader i tidskonstanter, styva system. I kommande versioner av HEATSYS kommer sannolikt en implicit integreringsmetod att användas. Detta ger möjlighet till stora tidssteg utan stabilitetsproblem. Studier av lämpliga integrationsmetoder bedrivs för närvarande och om de ekonomiska förutsättningarna finns, kommer en lämplig metod att implementeras inom en snar framtid. För övrigt kvarstår även många problem av kosmetisk karaktär, främst vad det gäller den grafiska presentationen av system. Dessa kommer naturligtvis att åtgärdas om programmet får stor spridning.

Eftersom HEATSYS inte är ett standardprogram, är det önskvärt att ytterligare utvärdera behovet av denna typ av programvara innan utvecklingsarbetet fortskrider. Eventuella användare uppmanas därför ta kontakt med institutionen för Mekanisk värmeteori och kylteknik på KTH och meddela sina åsikter om programmet.

## APPENDIX I

**Manual för körning av programmet**

HS är konstruerat för att vara lättanvänt. Ett meny-system i kombination med online-instruktioner befriar användaren ifrån att hålla långa kommandon aktuella i minnet. Utgående från en huvudmeny väljer användaren ibland ett antal undermenyer i en trädstruktur.

Då programmet startats väljer man först "bygg"-menyn, för att antingen bygga upp ett nytt system med de tillgängliga byggstenarna eller för att läsa in ett tidigare skapat system från sekundärminnet. I "bygg"-menyn ges även möjlighet att editera system. Nya byggstenar kan infogas eller redan befintliga kan förändras. Däremot kan inte tidigare infogade byggstenar tas bort. Problemet kan liknas med att ta bort en godtycklig byggsten ur ett hus. Det kan gå bra med ett taktegel, men problem uppstår med grundstenarna.

När systemet är färdigskapat måste klimatdata göras tillgänglig, genom att välja "väder"-alternativet i huvudmenyn. Detta är nödvändigt även om systemet saknar utbyte med omgivningen. Innehållet i klimatdatafilen är givetvis oväsentligt i detta fall.

En karta över programmet ur användarens synvinkel, med alla dess menyer, finns på sidan I:3. De aktuella onlineinstruktionerna, som återfinns på sidorna efter kartan, är ordnade i samma ordning som de olika menyerna (eller rutinerna) på kartan (från vänster till höger, uppfifrån och ner, som orden på en baksida).

När systemet är färdigt och klimatdata finns tillgängliga, kan simuleringen startas genom att "kör"-alternativet väljs i huvudmenyn. Användaren tillfrågas om tidpunkterna för simuleringens början och slut och därefter får användaren välja ett lämpligt tidssteg. Detta val behöver belysas ytterligare.

Val av tidssteg

HS arbetar med en enkel explicit numerisk metod. Detta ställer krav på valet av tidssteg. Valet måste bli en kompromiss mellan å ena sidan god noggrannhet men lång exekveringstid (korta tidssteg) och å andra sidan snabbare exekvering men med risk för numerisk instabilitet. Noggrannheten är i allmänhet inget problem. Genom att pröva successivt kortare tidssteg, gör man sig snabbt en bild av den uppnådda noggrannheten. Den numeriska stabiliteten fordrar emellertid en del eftertanke. Det är de snabbaste fysikaliska förloppen i modellen som sätter en övre gräns för

tidsstegets längd. Det är nödvändigt att tänka på detta redan när systemet konstrueras, så att snabba förlopp undviks, där det inte är fysikaliskt nödvändigt. Det kan t ex vara frestande att ge "interface"-volymer, som används för att koppla ihop andra byggstenar, en mycket liten termisk massa.

Det är kombinationen av små termiska massor med stora värmeövergångstal, som ger systemet snabba tidskonstanter. Om tidssteget,  $dt$ , väljs så att

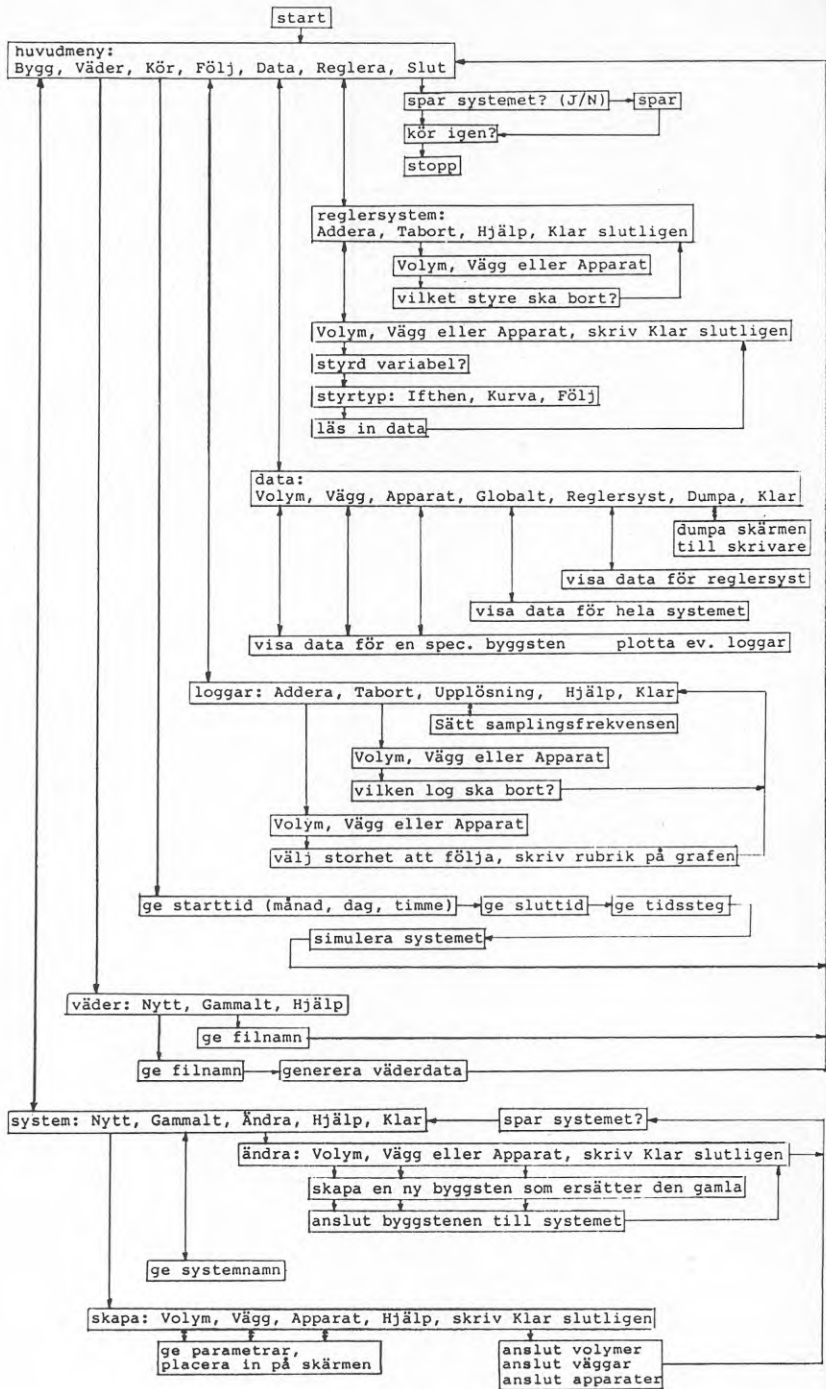
$$dt < \min_i ( m(i) * c_p / k_A(i) ),$$

där  $m(i) * c_p$  är termiska massan hos volym nummer  $i$  och  $k_A(i)$  är summan av alla värmeövergångstal till volymen, blir simuleringen stabil under förutsättning att bara linjära samband angivits för värmeövergången i systemet ( $n=1$  i alla värmeledningsekvationer). Om "väggar" ingår i systemet får  $m(i)$  beteckna massan hos en cell i väggen. "min" innebär det minsta värdet över alla  $i$ .

$k_A(i)$  i uttrycket ovan ska inkludera effekten av strömnade medium mellan volymerna, för att stabiliteten ska kunna garanteras. Ett tidssteg som är beräknat utan hänsyn till denna effekt presenteras som förslag (default) vid inläsning av tidssteget

Förekomsten av reglersystem ställer ofta krav på tidssteget. Om t ex en värmepump, i ett verkligt system, slås av och på flera gånger per timme, måste tidssteget i modellen vara väsentligt mindre än en timme för att god noggrannhet ska uppnås.

Det bör nämnas att det i de allra flesta fall går snabbast att finna ett lämpligt tidssteg genom upprepade experiment (spar undan systemet först!), snarare än genom beräkning av uttrycket ovan. På detta vis är det också naturligare att ta hänsyn till rimliga fysikaliska krav på tidsupplösningen (jmf. exemplet med värmepumpen i föregående stycke).



## On-line texter:

### Introduktionsstext

Programmet simulerar temperaturförlopp i tiden i olika värmesystem. Systemen byggs upp av användaren m h a tre olika komponenter: Volymer, Väggar och Apparater.

Volymer har endast en temperatur och innehållet kan strömma från en Volym till en annan (ex: ett rum i en byggnad eller en varmvattenberedare i ett värmesystem). Väggar kan ha en temperaturprofil. Det finns tre typer av Apparater: värmepumpar, värmeväxlare och pumpar.

Alla kommandon förkortas till en bokstav. Kommandon kan 'staplas' på varandra om man känner till kommande frågor. Hjälptexter finns som alternativ i de flesta menyer. Ytterliggare hjälptexter kan nås genom att närsomhelst trycka på '?', följt av <return>. Systemet ritas på skärmen genom att trycka på '\*', följt av <return>. Defaultvärden (förslag) visas före '>' i promptern vid inläsning av tal. De läses in genom att trycka på <return> direkt.

### **huvudmeny: Bygg, Väder, Kör, Följ, Data, Reglera, Slut**

- B- kommandot används för att bygga upp ett system att simulera. Det måste alltid användas innan vidare kommandon kan ges (utom V-kommandot).
- V- kommandot används för att läsa in klimatdata. Väderdata måste alltid finnas tillgängliga för att köra ett system, även om systemet inte har något utbyte med omgivningen.
- K- kommandot startar simuleringen. Användaren frågas om tidpunkterna för simuleringens början och slut (månad, dag, timme) och tidssteget. Tidssteget bestämmer noggrannheten i simuleringen och måste vara mindre ju mer detaljerat systemet är (små tidskonstanter). Om någon temperatur under simuleringen börjar svänga okontrollerat, är tidssteget vanligen för stort. Utskriften på skärmen kan stoppas genom att hålla en tangent nedtryckt.
- F- kommandot används för att markera att en variabels tidsförlopp ska lagras. Förloppet presenteras grafiskt under D-kommandot.
- D- kommandot används för att se ytterliggare data om simuleringen, t ex flödesbilden eller Väggarnas temperaturprofiler vid simuleringens slut. Enheterna på de olika storheterna skrivs ej ut men är baserade på effektenheten kW och tidsenheten timmar. Innehållet på skärmen kan dumpas till skrivaren under D-kommandot.

R- kommandot används för att reglera systemet. De flesta systemparametrarna kan regleras m h a olika styrmetoder.

S- kommandot avslutar programkörningen. System med tillhörande reglersystem kan sparas om så önskas.

**reglersystem: Addera, Tabort, Hjälp, Klar**

### Reglersystem

A skapar ett nytt styre i en byggsten. Volymer och Apparater kan ha upp till fem styren vardera. Väggar har inga styren i denna version.

T tar bort styren.

Ett styre är en enhet som fästs vid en byggsten med uppgift att styra någon av parametrarna i byggstenen (ex. pumphastigheten eller flödeskoeff). Flera parametrar kan regleras i både Volymer och Apparater. En lista kan nå antingen genom "?", när frågan om vilken variabel som ska styras ställs, eller genom att välja "R" i datamenyn.

Den styrda variabeln regleras i enlighet med en styrstrategi. Det finns tre olika i denna version:

- IFTHEN, låter den styrda variabeln anta olika fixa värden beroende på temperaturen hos en vald Volym.
- KURVA, låter användaren specificera den styrda variabelns förlopp över dygnet.
- FÖLJ, låter den styrda variabeln variera i enlighet med någon annan systemvariabel.

Mer specifik information ges under respektive alternativ.

Om samma variabel styrs av mer än ett aktivt styre samtidigt (vilket ofta är praktiskt), blir resultatet i enlighet med det styre som har det högsta numret. Detta blir aktuellt t ex om man vill ha olika styrstrategier vid olika tidpunkter på dygnet. Det är då enklast att specificera en strategi, i botten, som alltid är aktiv och överrida den med en annan som bara är aktiv under den önskade tiden.

Om ett styre tas bort (eller blir inaktivt) får den styrda variabeln det värde som den sist hade när systemet simulerades. Det är viktigt att tänka på detta när styren tas bort.

Styrbara variabler i de olika byggstenarna

## Styrssystem för Volymer

## Variabler att regelera:

- 1- inre-effekt, en reglerbar effektutveckling mätt i kW
- 2- utflödeskoeff, mäter hur lätt medium ska strömma in i Volymen från omgivningen.
- 3- flödeskoeff till den första Volymen som är ansluten från den reglerade Volymen
- 4- flödeskoeff till den andra Volymen ... ( som 3 )
- 5- flödeskoeff...

## Styrssystem för Apparater

## Reglerbara variabler:

- |   |   |   |   |
|---|---|---|---|
| 1- uteffekt, reglerar den termiska uteffekten   |   |   | P |
| 2- värmekapacitetsflödet i sänkan   | V | X | P |
| 3- värmekapacitetsflödet i källan   | V | X |   |
| 4- slagvolymen  | V |   |   |
| 5- 'on', reglerar om värmepumpkompressorn är igång eller ej. 'on' < 0.5 gör att kompressorn står. 'on' > 0.5 gör att kompressorn går. | V |   |   |

V - applicerbart på värmepumpar  
 X - applicerbart på värmeväxlare  
 P - applicerbart på pumpar

Strategier för regleringen av de styrbara variablerna

IF THEN: arbetar med ett uttryck av typen:

(temp(x) betyder temperaturen på Volym nummer x, timme är beteckningen på tiden på dygnet, decimalt)

```
IF (timme > starttid AND timme < sluttid) THEN BEGIN
  IF temp(n) > koeff1 * temp(k) + gränstemp1 THEN
    styrdvariabel = faktor1 * basvärde;
  IF temp(n) < koeff2 * temp(k) + gränstemp2 THEN
    styrdvariabel = faktor2 * basvärde;
END if;
```

Tänk på att om styret ska vara aktivt t ex från 20:00 till 05:30, fungerar det inte med starttid 20.0 och sluttid 5.5 i uttrycket.

IF THEN- strategin kan bl a användas för att efterlikna regler-system som arbetar med sk styrkurva. Utomhus-temperaturen kan då följas med en separat "monitor"-Volym, som ansluts till omgivningen och som utgör Volym nummer k ovan.

KURVA: ger möjlighet att specificera ett tidsförlopp över dygnet hos den styrda variabeln. Användaren tillfrågas om variabelns värde och tidpunkten (på dygnet) för nästa värde-växling. När användaren anger 24.0 som nästa tidpunkt, avslutas inläsningen. Ett stort antal värden och tidpunkter kan anges (begränsas av datorminnet) men minst två måste anges.

FÖLJ: låter den styrda variabeln följa en annan variabel enligt:

```
IF (timme > starttid AND timme < sluttid) THEN
    styrdvariabel = koeff1 * följdvariabel + koeff2;
```

De variabler som kan följas är:

- 1 - utomhustemperaturen
- 2 - den totala solinstrålningen
- 3 - den diffusa solinstrålningen
- 4 - vindstyrkan
- 5 - temperaturen på Volym nummer k

Denna strategi kan t ex användas för att låta en pumps hastighet regleras med avseende på vindstyrkan, för att simulera läckageluftens (in i ett hus) beroende av vindstyrkan.

I tillämpningar där solen ej är intressant kan dessa fält i klimatdatafilen ersättas med andra data, som kan göras tillgängliga mha FÖLJ.

#### **data: Volym, Vägg, Apparat, Globalt, Reglersyst, Dumpa, Klar**

Kort om datapresentationen av statusvariabler och parametrar (främst för on-line bruk)

Globala data

"tid" (timmar) är den tid på året (ifrån nyårsafton) som det senaste systemet körts till.

"systemtid" är samma tid, om systemet just körts, annars är det den tid som systemet kördes till innan det sparades sist.

"ute-energi" är den energi som systemet avgivit till omgivningen under den senaste simuleringen.

vädertiden är den tid (i timmar) för vilken det aktuella vädret gäller.

Data för Volymer

Alla uppgifter är baserade på tidsenheten timmar och effektenheten kW.

"mcp" är den del av den termiska massan som deltar i



strömningen mellan Volymer.

"extra mcp" betecknar fast termisk massa.

"numeriskt tryck" är storhet som används för att beräkna flödesbilden.

"inre effekt" är en ställbar intern effektutveckling. Den regleras med sk. styren som specificeras under reglermenyn.

Alla flöden som anges är värmekapacitetsflöden, dvs.  $m\text{prick} \cdot cp$ .

#### Data för Väggar

Alla uppgifter är baserade på tidsenheten timmar och effektenheten kW.

#### Data för Apparater

Alla uppgifter är baserade på tidsenheten timmar och effektenheten kW.

Alla flöden som anges är värmekapacitetsflöden, dvs.  $m\text{prick} \cdot cp$ .

#### Spara följda statusvariabler

De loggade värdena sparas på en textfil i tidsföljd. Filens första rad utgörs av loggens rubrik. Andra raden är ett heltal som anger antalet lagrade värden. Tredje raden utgörs av två flyttal som anger tiden i timmar från nyåret, för körningens början resp. slut. Rad fyra innehåller en flyttals-faktor som mätvärdena ska multipliceras med för att de ska få rätt storlek (för att tillåta kompaktare lagring). De övriga raderna utgörs av de loggade värdena lagrade som heltal.

#### **Loggar: Addera, Tabort, Upplösning, Hjälp, Klar**

A- används för att sätta en flagga på en systemvariabel som varerar under simuleringen och därmed lagra dess tidsförlopp. Under Data kommandot i huvudmenyn kan sedan tidsförloppet på den följda parametern studeras. Möjlighet ges också att spara variabelns förlopp som en textfil. Exempelvis kan temperaturen i en Volym följas eller el-effekten som en värmepump förbrukar.

T- tar bort dylika flaggor.

U- ändrar upplösningen, dvs. hur ofta variabeln ska samplas. Tänk på att det måste finnas plats på disken att lagra stora mängder data om upplösningen är stor.

Flaggor bevaras ej om systemet lagras på diskett, utan måste specificeras för varje programkörning.

Följande storheter kan följas:

För Volymer:

- temperaturen.
- effektflödet till anslutna Volymer. Energiinnehållet i strömmande medium bestäms av värmekapacitiviteten och temperaturen. Nollnivån för energin är vald så att nollgradigt medium anses sakna energi.
- effektflödet till anslutna Väggar.
- effektflödet till omgivningen.

För Väggar:

- insidans temperatur.
- utsidans temperatur.
- effektflödet till anslutna Volymer.
- effektflödet till anslutna Väggar.
- effektflödet till omgivningen.

För apparater:

För värmepumpar:

- den nyttjade eleffekten.
- kondensoreffekten.

För värmeväxlare:

- effekten genom värmeväxlaren.

För pumpar:

- den termiska effekten.

### Systemsimulering

Användaren specificerar följande:

- starttid för simuleringen. Månad (1-12), dag (1-30) och timme ges. Alla månader har 30 dagar i programmet. Timmen anges decimalt, exempelvis 22:30 anges som 22.5.
- sluttid för simuleringen.
- tidssteg i timmar. Valet av tidssteg är viktigt för programmets funktion. Kort tidssteg (i förhållande till systemets egna responstid) ger god noggrannhet men kan leda till oacceptabelt lång exekveringstid. Långt tidssteg kan leda till numerisk instabilitet. Valet måste bli en kompromiss. Det bästa är i allmänhet att experimentera med succesivt längre tidssteg och samtidigt studera avvikelserna ifrån den lösning som fås med korta tidssteg (den mest exakta). Systemet bör ha lagrats innan man börjar experimentera.

Om man anger samma sluttid som starttid utförs ingen simulering.

Om man håller någon tangent nedtryckt under simuleringen, stoppas den tillfälligt.

**väder: Nytt, Gammalt, Hjälp**

N används för att bygga upp en ny väderdatafil och samtidigt läsa in den.

G används för att läsa in en befintlig väderfil.

Generera väderdata

Väderdata kan genereras av användaren genom att väderstorheterna får variera i enlighet med ett funktionsuttryck under ett visst tidsintervall.

följande parametrar anges:

- starttid för vädret (månad (0-12), dag (1-30), timme (0.0-24.0)).
- sluttid för vädret. Mellan dessa tidpunkter kan ett system köras med den genererade väderfilen.
- tidssteg för väderfilen. Dvs. hur tätt ska funktionen samplas. Detta tidssteg har ingenting att göra med det tidssteg som väljs vid simuleringen.
- Koefficienterna (A-G) i följande uttryck:

$$A + B\sin(2\pi(t + C)/24)^D + E\sin(2\pi(t + F)/8640)^G,$$

anges separat för storheterna temperatur, total solinstrålning på horisontell yta, diffus instrålning på horisontell yta samt vindstyrka. t är tiden i timmar från nyårsdagens morgon. Om uttrycket blir negativt för solinstrålningen eller vindstyrkan, sätts det till noll.

- Snötäcke (J/N). Programmet behöver denna uppgift för att beräkna markens reflektion.
- Ny sluttid för väderfilen. Om den nya sluttiden är mindre än den gamla, avslutas inläsningen. Om den är större, specificeras nya koeff (A-G).

Förekomsten av snötäcke meddelas programmet genom att den totala solinstrålningen får ett minustecken framför sig under dessa perioder.

**system: Nytt, Gammalt, Ändra, Hjälp, Klar**

N används för att bygga upp ett nytt system eller för att komplettera ett tidigare inläst med ytterliggare komponenter.

G används för att läsa in ett system som tidigare lagrats på diskett. Om systemet var försett med reglersystem när det lagrades, återfå även det gamla reglersystemet.

Ä används för att ändra en komponent i ett tidigare inläst system.

**ändra: Volym, Vägg, eller Apparat, skriv Klar slutligen**

Att ändra en byggsten innebär att skapa en ny istället för en redan existerande. Alla parametrar och de anslutningar som utgår ifrån den ändrade byggstenen, specificeras pånytt. Anslutningar som utgår ifrån andra element till det som är under ändring, måste ändras ifrån sina ursprungselement.

### Filer

Systemnamn anges som en kombination av upp till 8 bokstäver och siffror.

Väderfilnamn anges pss., men med avslutningen .VDR.

Exempel: juni0130.VDR

Det uppbyggda systemet lagras på disken som fem filer med samma huvudnamn men med olika avslutningar: .STM, .MED, .VGG, .APP och .RGL.

Om det redan finns filer med dessa namn på disken, skrivs de över.

Filen med avslutning .STM, är en textfil som innehåller information som är gemensam för systemet. De övriga filerna är binära.

Mot slutet av filen <systemnamn>.STM lagras värden och tider för styrstrategin "Kurva". Man kan lägga till nya värden och tider (0-24) till redan existerande styren, men man kan inte skapa helt nya styren. Den övriga informationen i filen bör man inte ändra.

**skapa: Volym, Vägg, Apparat, Hjälp, skriv Klar slutligen**

M skapar en ny Volym. Användaren får specificera några parametrar och placera in Volymen grafiskt på skärmen.

V skapar en ny Vägg.

A skapar en ny Apparat. Användaren specificerar Apparatens typ och några av dess parametrar.

När alla objekt har skapats kommer användaren att tillfrågas hur objekten ska sammanslutas. Först genomlöps alla Volym, därefter Väggar och sist Apparater.

### Skapa Volym

Följande parametrar för Volymen ges av användaren:

- mcp, flyktig termisk massa i kWh/gradC. Dvs volym\*densitet\*värmekapacitivitet på den del av Voly-

men som kan strömma. mcp får i n t e vara noll, men naturligtvis kan alla flödeskoefficienter till och från Volymen sättas till noll.

- extra termisk massa i kWh/gradC. Denna del av Volymen får exakt samma temperatur som den övriga, men deltar ej i flödet mellan Volymen. (Ex. möbler och innervägar i ett rum i ett hus). Den får vara noll.
- solexponerad yta i m<sup>2</sup>. Om denna parameter är skild ifrån noll, tillfrågas användaren om ytterligare sol-relaterade data och första gången, även om sol-parametrar gemensamma för systemet.

Användaren placerar med kommandon in Volymen på skärmen och bestämmer dess grafiska storlek.

sol-data för Volymen eller Väggen:

- fönsterytans vinkel mot markplanet i radianer.
- fönstrets väderstreck i radianer.
- antal glas i fönstret (0-4) eller ytans absorption i % (5-100). Vid absorption tas ingen hänsyn till reflektionens beroende av infallsvinkeln. Detta görs däremot vid spec av antal glas. Ingen hänsyn tas till glasets egen absorption. Om antal glas specificeras vid solinstrålning mot en Vägg (för att t ex modellera någon slags solfångare), sätts själva väggytans absorption till ett.

sol-data gemensamma för systemet:

- ortens latitud i radianer.
- ortens longitud i radianer.
- systemets skuggvinkel vid olika tidpunkter. Här specificeras höjden och avståndet till olika objekt som skymmer systemet, genom att den solhöjd som är den minsta för vilken solen skiner på systemet anges, för varje hel timme. Dvs vinkeln mellan objektets högsta punkt och markplanet, sett från systemet.

### Skapa Vägg

Följande parametrar för Väggen ges av användaren:

- rho\*cp, densitet gånger värmekapacitivet i kWh/gradC m<sup>3</sup>.
- lambda, värmeledningstal i kW/m gradC.
- yta, Väggens yta i m<sup>2</sup>.
- antal temperaturpunkter i Väggen. Ju större antal som väljs desto bättre noggrannhet erhålls men på bekostnad av längre exekveringstid.
- Väggens tjocklek i m.
- solexponerad yta i m<sup>2</sup>, soldata beskrivs närmare i avsnittet Skapa Volym.

Användaren placerar med kommandon in Väggen på skärmen och bestämmer dess grafiska storlek.

## Skapa Apparat

### Skapa värmepump

Följande parametrar för värmepumpen ges av användaren:

- kompressorns slagvolym per tidsenhet i m<sup>3</sup>/h.
- förångareffekt vid en typisk arbetspunkt i kW.
- medeltemperaturdifferens i förångaren vid samma arbetspunkt i gradC. Programmet antar att värmeövergångstalen på köldmediesidan resp. köldbärarsidan är lika vid den typiska arbetspunkten.
- kA för kondensorn i kW/gradC. Programmet antar att kA, dvs. effekten/medeltemperaturdifferensen är konstant för alla effekter och flöden i kondensorn.
- förlusteffekt vid avstängd värmepump i kW. Dvs. den effekt som "läcker" igenom vp från varma till kalla sidan då kompressorn står.
- kompressordata. Programmet använder följande ekvationer för att parametrisera kompressorkarakteristiken:

$$\text{eleffekt} = V_{\text{sprick}} * \exp(e_0 + e_1 * T_1 + e_2 / T_2) * (1 / T_2 - 1 / T_1),$$

$$\text{kondensoreffekt} = \text{eleffekt} + V_{\text{sprick}} * \exp(q_1 + q_2 * T_1 + q_2 / T_2),$$

där  $V_{\text{sprick}}$  är slagvolymen i m<sup>3</sup> per timme.  $T_1$  och  $T_2$  är de absoluta kondensor- resp. förångartemperaturerna.  $e$ - och  $q$ -koefficienterna kan antingen väljas individuellt av användaren eller väljas i enlighet med förprogrammerade typiska värden för köldmedierna R22,

Användaren placerar med kommandon in värmepumpen på skärmen och bestämmer dess grafiska storlek.

Flödena, på varma och kalla sidan, ges när värmepumpen ska anslutas till systemet.

### Skapa värmeväxlare

Följande parametrar för värmeväxlare ges av användaren:

- typ av värmeväxlare. I denna version av programmet kan man välja mellan med- och motströmsvärmeväxlare.
- kA, dvs. effekt/medeltemperaturdifferens i kW/gradC för något typiskt flöde. Programmet antar att värmeövergångstalen på växlarens båda sidor är lika vid detta flöde. Om flödena därefter ändras, kommer värmeövergångstalen varieras som om flödet vore turbulent.

Användaren placerar med kommandon in värmeväxlaren på skärmen och bestämmer dess grafiska storlek.

Flödena, på varma och kalla sidan, ges när värmeväxlaren ska anslutas till systemet.

### Skapa pump

För pumpar anger användaren den termiska effekten i kW. Dvs hur mycket det medium värms som passerar igenom pumpen. Pumpen kan t ex vara en elpanna med stor värmeeffekt från elpatroner eller en cirkulationspump som endast tillför några tiotals watt.

Användaren placerar med kommandon in pumpen på skärmen och bestämmer dess grafiska storlek.

Flödet igenom pumpen anges då den ansluts till systemet.

### Anslut volym

Volymer kan anslutas termiskt till andra Volymer, Väggar och till omgivningen.

Anslutningsinformationen mellan två Volymer lagras i den ena Volymen. Varje Volym har plats för anslutningsinformationen för 4 förbindelser mellan Volymer, en förbindelse mellan Volym och Vagg och en förbindelse mellan Volym och omgivning.

Informationen utgörs av:

- Koefficienter för värmeöverföring. Den termiska ledningen mellan Volymer (och Väggar) regleras med ekvationen:  $Q_{prick} = kA \cdot (\Delta t)^n$ , där  $kA$  och  $n$  specificeras av användaren ( $n$  för att tillåta t ex hänsyn till strålningsutbyte).  $Q_{prick}$  är den överförda effekten och  $\Delta t$  objektens temp.skillnad.
- Flödeskoefficienter. Varje Volym (som deltar i en flödeskrets) får ett numeriskt tryck. Flödet ( $w_{prick}$ ) mellan två Volymer regleras av ekvationen:  $w_{prick} = f \cdot \Delta p$ , där  $f$  är flödeskoefficienten och  $\Delta p$  tryckskillnaden.

Det totala flödet styrs ifrån Apparater som är anslutna till systemet. Man bör sträva efter att hålla (summa flödeskoeff)/mcp konstant för alla Volymer i seriekretsar.

Volymer kan bara anslutas till Vaggars insida, från Volymen.

### Anslut Vagg

Väggar kan anslutas termiskt till andra Väggar, Volymer och till omgivningen. Anslutningsinformationen för Vaggens utsidas förbindelser finns lagrade i Väggen. Alla objekt som ansluts till Väggen (från respektive objekt) blir anslutna till Vaggens insida.

Det termiska effektutbytet styrs av:

$$Q_{prick} = \alpha A \cdot (\Delta t)^n.$$

Qprick är den överförda effekten. AlfaA är värmeöverföringstalet gånger ytan. AlfaA specificeras av användaren.  $\Delta t$  är temperaturskillnaden mellan Väggytan och anslutet objekt eller omgivning. n är en exponent som specificeras av användaren för att tillåta hänsyn till t ex strålning. Vid ren ledning sättes n till ett.

#### Anslut Apparat

Apparater kan bara anslutas till Volymer. Användaren specificerar vilka Volymer som ska anslutas.

Flödet genom Apparaten anges av användaren och flödet ute i systemet kommer att avgöras av flödeskoeff. I enkretssystem (seriekoppling) blir det totala flödet oberoende av flödeskoeff och avgörs helt av den anslutna Apparaten. Flöden anges som värmekapacitetsflöden, dvs volymflöde(m<sup>3</sup>/h)\*densitet(kg/m<sup>3</sup>)\*värmekapacitivitet (kWh/gradC kg).

Om en Apparat ska anslutas till omgivningen (t ex uteluft v-p) eller till flera Volymer (parallellkoppling), måste extra Volymer sättas in som gränssnitt. Dessa Volymer får inte ha en alltför liten termisk massa. Då krävs mycket små tidssteg i simuleringen.



## APPENDIX II

**Beskrivning av modellen för medietransport**

HEATSYS arbetar med en kvasistatisk modell av medietransporten i systemet, där totalflöden är givna av användaren. I ett nätverk av *volym* bestäms flödesfältet av flödeskoefficienter som avgör hur lätt medium ska flyta från en *volym* till en annan. Det är endast i parallellkretsar, där ett vätskeelement kan flyta i olika banor mellan två punkter, som flödeskoefficienter är av primär betydelse. I seriekretsar saknar flödesmotståndet teoretisk betydelse, eftersom totalflödet är givet. Det visar sig emellertid att den numeriska modellen medför vissa krav på flödeskoefficienterna även här.

Användaren specificerar värden på flödeskoefficienter mellan *volym* som är anslutna till varandra, samt mellan *volym* och omgivning. Det är endast förhållanden mellan flödeskoefficienter som är av betydelse; beloppen är oviktiga eftersom pump- och fläkteffekter inte beräknas i programmet. Dvs man kan multiplicera alla flödeskoefficienter i ett system med ett godtyckligt tal, utan att förändra någonting. I HEATSYS har alla *volym* ett numeriskt tryck som kan liknas med ett vanligt fysikaliskt tryck. Storleken på flödet mellan två *volym* med olika tryck bestäms av flödeskoefficienten mellan dessa. Om flödeskoefficienten fördubblas, fördubblas även flödet.

$$\dot{w} = f \Delta p,$$

där  $w$  är flödet,  $f$  är flödeskoefficienten och  $\Delta p$  är skillnaden i numeriskt tryck.

Numerisk modell

Den numeriska modellen medför att flödesfältet inte utbildas momentant, utan det tar, liksom för ett verkligt flödesfält, en viss tid för strömningen att uppnå fortvarighet. Den numeriska modellen fungerar som om det vore en kompressibel gas som strömmade laminärt (dvs flödet proportionellt mot tryckskillnaden). Utjämningsförloppet mot fortvarighet är accelererat till att gå så snabbt som möjligt (med hänsyn till numerisk stabilitet). Om det totala flödet i systemet varierar i tiden - dvs *apparaterna* som driver flödet är reglerade för att ge olika flöden vid olika tidpunkter - är det viktigt att flödesfältet utbildas så snabbt som möjligt. Detta medför att valet av flödeskoefficienter måste ägnas viss omsorg, även för seriekretsar. Nedan beskrivs hur flödeskoefficienter bör väljas för att utnyttja HEATSYS på bästa sätt. Vid parallellkretsar och vid kretsar med varierande totalflöde är det absolut nödvändigt att välja flödeskoefficienter med hänsyn till dessa regler, men även vid enkla seriekretsar är det en god vana att följa dem.

För varje *volym* kan en parameter,  $\beta$ , definieras:

$$\beta = \frac{V \rho c_p}{\sum f} p$$

där  $V$  är volymen,  $\rho$  och  $c_p$  densiteten respektive värmekapacitiviteten på det flyktiga mediet och  $\sum f$  summan av alla flödeskoefficienter till och från volymen.

Följande regler bör tillämpas vid val av flödeskoefficienter:

1. Seriekretsar:

Om  $\beta$  väljes ungefärligen lika för alla ingående *volymer* utbildas flödesfältet snabbast.

2. Flera separata flödeskretsar i samma system:

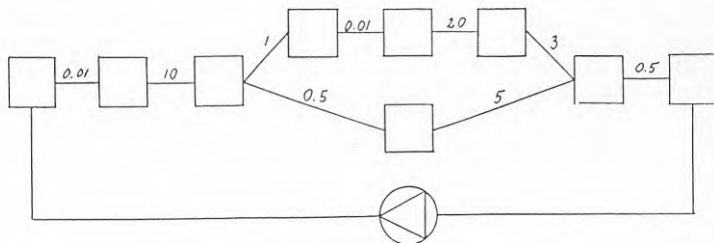
Välj flödeskoefficienter så att de  $\beta$ :n som är minst i varje individuell krets, är av samma storleksordning. Flödesfälten kommer då att utbildas lika fort i alla kretsar.

3. Parallellkretsar:

Välj flödeskoefficienter så att varje gren får rätt andel av det totala flödet. Välj  $\beta$  ungefärligen lika för *volymer* inom en gren.

Exempel

Ett nätverk av lika stora vattentankar står i förbindelse med varandra. Strömningen i förbindelserören är laminär. Förbindelserörens längd varierar. Detta medför att flödeskoefficienterna i modellen ska väljas omvänt proportionella mot förbindelserörens längd. Dvs om rörlängden fördubblas mellan två tankar med samma tryckskillnad, halveras flödet dem emellan. En direkt modellering enligt ovan, utan hänsyn till reglerna för val av koefficienter, leder till följande nätverk:



Definitionen av flödeskoefficienter leder till att addition av flera koefficienter i serie, sker som för  $k$ -värden. Totala flödeskoefficienten för den övre grenen blir således,

$$\frac{1}{f_{\text{ötot}}} = \frac{1}{0.5} + \frac{1}{0.001} + \frac{1}{20} + \frac{1}{3} \approx \frac{1}{0.01}$$

och för den undre.

$$\frac{1}{f_{\text{utot}}} = \frac{1}{0.5} + \frac{1}{5} \approx \frac{1}{0.45}$$

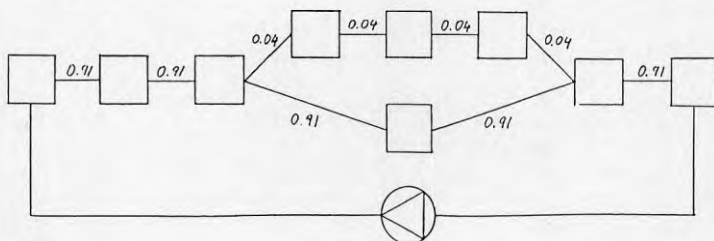
Välj (enl regel 3) koefficienterna lika för förbindelserna i den övre grenen:

$$\frac{4}{f_{\bar{o}}} = \frac{1}{f_{\bar{o}tot}} \quad \Rightarrow \quad f_{\bar{o}1} = f_{\bar{o}2} = f_{\bar{o}3} = f_{\bar{o}4} = 0.004$$

och på samma sätt för den undre,

$$f_u = 0.91.$$

Övriga koefficienter väljes lika med  $f_u$  enligt regel 1 och 2.



Dessa är de optimala flödeskoefficienterna ur numerisk synvinkel.

## APPENDIX III

**Värmepumpmodellen**

Modellen är avsedd att återge det väsentliga i en enkel värmepumps eller kylmaskins beteende, kvasistatiskt. Ingen hänsyn tas således till värmepumpens dynamik. Dess tidskonstant antas vara kortare än det övriga systemets.

Kylmaskinen som modellerats har följande komponenter:

- Kompressor, med karakteristik som anges av användaren.
- Förångare
- Kondensor
- Termostatisk expansionsventil.

Kondensor och förångare modelleras som enkla värmeväxlare med en temperatur konstant (köldmediets)

$$\theta_1 = \frac{\dot{Q}_1}{\dot{w}_1(1 - \exp(-kA_1/\dot{w}_1))} - 0.5,$$

$$\theta_2 = \frac{\dot{Q}_2}{\dot{w}_2(1 - \exp(-kA_2/\dot{w}_2))},$$

där  $\theta_1$  och  $\theta_2$  är temperaturdifferenserna vid inloppet till kondensorn respektive förångaren.  $\dot{Q}$  är effektflödet och  $\dot{w}$  är värmekapacitetesflödet ( $mc_p$ ) av värme- respektive köldbärare.

$kA_1$  är konstant i kondensorn (Användaren anger värdet). I förångaren varierar  $kA_2$  med effekten och med köldbärarflödet,

$$\frac{1}{kA_2} = \frac{c_1}{Q_2^{0.8}} + \frac{c_2}{w_2^{0.8}}$$

Användaren anger medeltemperaturdifferensen vid en typisk effekt. Vid denna punkt antas värmemotstånden på vvx båda sidorna vara lika (termerna i högerledet ovan lika).

Kompressorns karakteristik approximeras med följande uttryck:

$$E_k = V_s \exp(e_0 + e_1 T_1 + e_2/T_2)(1/T_2 - 1/T_1)$$

$$Q_1 = E_k + V_s \exp(q_1 + q_2 T_1 + q_3/T_2),$$

där  $E_k$  och  $Q_1$  betecknar eleffekten respektive kondensoreffekten.  $V_s$  är slagvolymen per tidsenhet.  $T_1$  och  $T_2$  är kondensorns respektive förångarens absoluta temperaturer.

Användaren anger  $V_s$ , samt koefficienterna  $c_0-c_2$ ,  $q_1-q_3$ . Koefficientanpassningen kan göras på olika sätt. En möjlighet är att logaritmera ekvationerna och anpassa koefficienterna grafiskt med hjälp av millimeterpapper. En annan är att använda ett generellt program för kurvanpassning. Ett specialprogram för just dessa ekvationer, som är mycket lättanvänt, är för närvarande under utveckling.

## APPENDIX IV

**Klimatdatafilen**

Klimatdatafiler kan genereras med hjälp av en speciell rutin i programmet eller sättas upp separat. En färdig fil med mätdata från 1971 finns att tillgå.

Klimatdatafilen består av 7 kolumner. Data kan skrivas med fritt format. Kolumnerna är:

1. Månadens nummer - heltal (1 - 12).
2. Dagens nummer - heltal (1 - 30).
3. Tiden på dagen i timmar - flyttal (0.0 - 24.0).
4. Temperaturen i grader C - flyttal.
5. Totala solinstrålningen på en horisontell yta  $\text{kW/m}^2$  - flyttal. Förekomsten av snötäcke meddelas programmet genom att sätta ett minustecken framför denna storhet.
6. Diffusa solinstrålningen på en horisontell yta i  $\text{kW/m}^2$  - flyttal.
7. Vindstyrkan i m/s - flyttal.

Alla data utom temperaturen bör vara medelvärden för tidsintervallet som föregår den angivna tiden. Temperaturen interpoleras linjärt i programmet och den bör vara ett medelvärde för tidsintervallet som omger den angivna tiden (Ex om tidsintervallet mellan data är en timme, bör temperaturen avse tiden från en halvtimme före angiven tid till en halvtimme efter).

För solinstrålningsparametrarna är det viktigt att tiden anges korrekt för respektive värden, annars blir den beräknade solinstrålningen på lutande ytor felaktig. För övriga storheter medför inte avvikelser i tidssynkroniseringen några dramatiska konsekvenser.

### Teoretisk beskrivning av modellen

Först presenteras de ekvationer som gäller för respektive byggsten. Därefter skisseras den numeriska metod som används i denna version av programmet.

#### Volymer

För varje volym gäller energiekvationen,

$$(mf_i + me_i) \rho c_p \frac{dT_i}{dt} = \sum_m (w_{im} T_m - kA_{im} (T_i - T_m)^{n_{im}}) - \\ - \sum_w kA_{iw} (T_i - T_w(\text{rnd}))^{n_{iw}} - kA_{iut} (T_i - T_{ut})^{n_{iut}} + \\ + \sum_s q_{is} + q_i,$$

där  $mf_i$  och  $me_i$  är den flytande respektive den fasta massan i volym (nummer)  $i$ .  $T_i$  ( $T_m$ ) är volym  $i$  ( $m$ ):s temperatur.  $T_w(\text{rnd})$  betecknar yttemperaturen (randtemperaturen) på vägg (nummer)  $w$ ,  $T_{ut}$ , omgivningens temperatur, är en given funktion av tiden.  $w_{im}$  betecknar medieflödet mellan volym  $i$  och  $m$ .  $kA_{xy}$  betecknar värmeövergångstalet mellan objekt  $x$  och  $y$ , där  $x$  och  $y$  betecknar index för volym, vägg eller för omgivningen (endast ett värde, ut).  $q_{is}$  är den effekt som tillförs volym  $i$  från apparat  $s$ .  $q_i$  är den inre effektutvecklingen i volym  $i$ .  $\sum_{m,w,s}$  betyder summan över alla volymer, väggar resp. apparater.

Medieflödet genom systemet måste uppfylla följande ekvation i varje volym,  $i$ :

$$0 = \sum_m w_{im} + \sum_s w_{is} + f_{iut}(p_i - 0),$$

där

$$w_{im} = f_{im}(p_i - p_m).$$

$f_{xy}$  är flödeskoefficienten mellan objekt  $x$  och  $y$ .  $p_i$  är det numeriska trycket i volym  $i$ .  $w_{is}$  är medieflödet mellan volym  $i$  och apparat  $s$ .

### Väggar

Temperaturprofilen i vägg-elementen styrs av värmeledningsekvationen,

$$\frac{\partial T_i(x)}{\partial t} = a \frac{\partial^2 T_i(x)}{\partial x^2}$$

med randvillkor

$$\lambda_{w_{xi}} A_{xi} \frac{\partial T_i(\text{rnd})}{\partial x} = k_{xi} A_{xi} (T_x - T_i(\text{rnd}))^{n_{xi}},$$

där  $T(\text{rnd})$  betecknar randens temperatur.  $T_x$  är det anslutna objektets temperatur (volym, vägg eller omgivning).

### Apparater

Effektflödet mellan volym  $m$  och apparat  $i$  ges av

$$q_{mi} = f_i(T_x),$$

där funktionerna  $f_i$  beskrivs på andra platser i rapporten. För 'pumpar' är  $q_{mi}$  konstant. Flödet  $w_{mi}$  mellan volym  $m$  och apparat  $i$  sätts av användaren.

### Kort beskrivning av den numeriska metoden

Volymernas energiekvationer integreras mha. Euler framåt.



$$\begin{aligned}
 (mf_i + me_i)\rho c_p \frac{T_i^{l+1} - T_i^l}{\Delta t} = & \sum_m (w_{im} T_m^l - kA_{im} (T_i^l - T_m^l)^{n_{im}}) - \\
 & - \sum_w kA_{iw} (T_i^l - T_w^l(\text{rnd}))^{n_{iw}} - kA_{iut} (T_i^l - T_{ut}^l)^{n_{iut}} + \\
 & + \sum_s q_{is}^l + q_i^l,
 \end{aligned}$$

där  $\Delta t$  är det globala tidssteget och  $l$  betecknar tidsnivån  $t = l\Delta t$ .

Flödesbalansen relaxeras simultant med energiekvationerna, men med ett fiktivt tidsberoende. Flödeskoefficienterna är alla multiplicerade med en faktor, så att förloppet (utjämnningen av tryckfältet mot fortvarighet) sker så snabbt som möjligt med hänsyn till numerisk stabilitet.

$$\frac{P_i^{l+1} - P_i^l}{\Delta t} = \sum_m f_{im}^* (P_i^l - P_m^l) + \sum_s w_{is}^l + f_{iut}^* (P_i^l - 0),$$

där  $f^*$  är de (upp)skalade flödeskoefficienterna. Det hade naturligtvis varit både effektivare och korrektare att relaxera strömningsfältet separat, innan integrationen av energiekvationerna börjar (eftersom flödesekvationerna inte beror av temperaturerna) men den använda metoden leder till enklare programmering och större flexibilitet.

Värmeledningsekvationerna i vägg-elementen integreras mha. flera (stabila) FTCS-steg från den globala tidsnivån  $l$  till  $l+1$ ,

$$\frac{T_i^{k+1} - T_i^k}{\Delta t^*} = \frac{a}{\Delta x^2} \left[ T_i^k((j-1)\Delta x) - 2T_i^k(j\Delta x) + T_i^k((j+1)\Delta x) \right]$$

med randvillkor

$$\lambda_w A_{xi} \frac{T_i^k(\text{rnd} + \frac{\Delta x}{2}) - T_i^k(\text{rnd} - \frac{\Delta x}{2})}{\Delta t} = kA_{xi} (T_x^l - T_i^l(\text{rnd}))^{n_{xi}}$$

där  $\Delta t^*$  är det lokala tidssteget och  $k$  betecknar tidsnivån  
 $t = k\Delta t^* + l\Delta t$ .

*Apparaternas* ekvationer evalueras (eller löses iterativt)  
innan energiekvationerna integreras.

## LITTERATUR

Brown, G, Isfält, E, 1974, Solinstrålning och solavskärmning. (Statens råd för byggnadsforskning.) Rapport 19, Stockholm.

Hay, J E, 1979, Study of Shortwave Radiation on Non-horizontal Surfaces, Atmospheric Environment Service, Toronto, Report No. 79-12.







**Denna rapport hänför sig till forskningsanslag 841139-5 från  
Statens råd för byggnadsforskning till Institutionen för Mekanisk  
värmeteori och kylteknik, KTH, Stockholm.**

**R19: 1989**

**ISBN 91-540-5000-6**

**Statens råd för byggnadsforskning, Stockholm**

**Art.nr: 6709008**

**Abonnemangsgrupp:  
Ingår ej i abonnemang**

**Distribution:  
Svensk Byggtjänst,  
171 88 Solna**

**Cirkapris: 40 kr exkl moms**