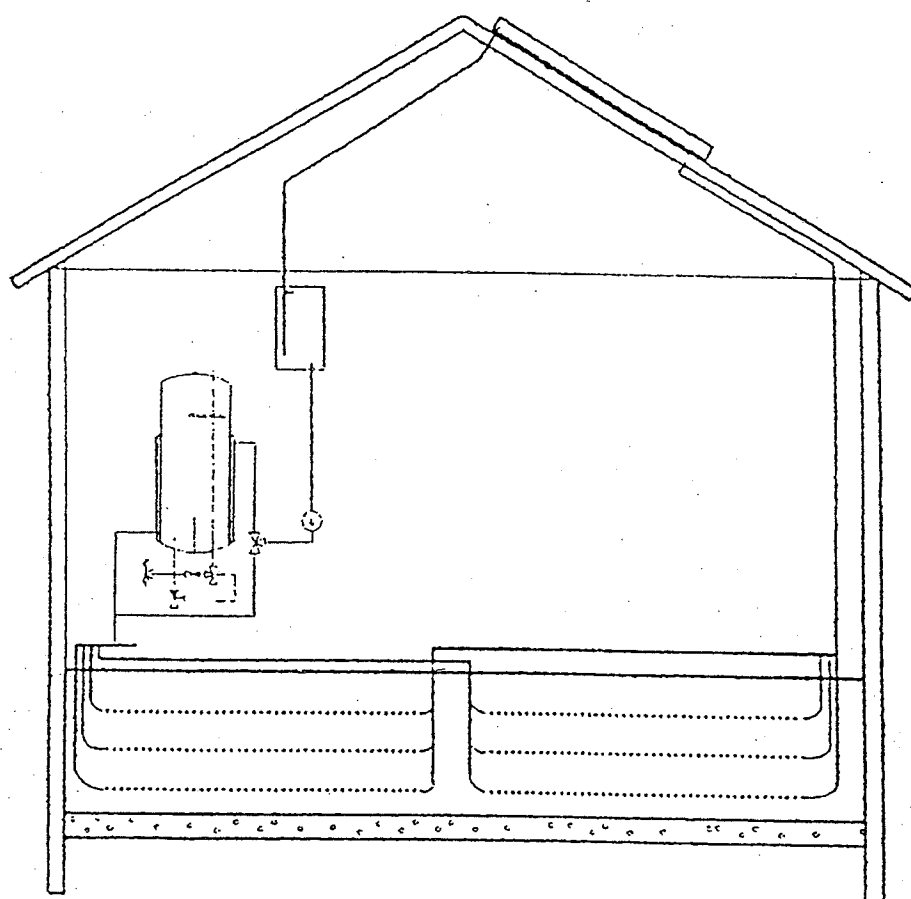


UNDERSØGELSE AF SOLVARME MED BYGNINGSINTEGRERET SANDLAGER

ALFRED HELLER

DTU



RAPPORT

R-006

1996

ISSN 1396-4011

ISBN 87-7877-004-1

INSTITUT FOR BYGNINGER OG ENERGI
DANMARKS TEKNISKE UNIVERSITET



IBE



Indholdsfortegnelse

Forord

Resumé

1 Indledning	1-1
2 Anlægsbeskrivelse	2-1
2.2 Huset	2-1
2.3 Varmesystemet	2-2
3 Simulering, programmer og modeller	3-1
3.1 Indledning til EMGP3	3-1
3.2 Grundlæggende EMGP3-komponenter	3-2
3.3 Den overordnede systemmodel for solvarme m. bygningsintegr. sandlager	3-3
4 Målinger	4-1
4.1 Måleopstilling	4-1
4.2 Resultater	4-2
4.3 Konklusioner baseret på målingerne	4-4
4.4 Manuelle aflæsninger - Energiforbrug for bygning og solvarmeanlæg	4-11
5 Sammenligning mellem målinger og simuleringer	5-1
5.1 Bygningens energiforbrug	5-1
6 Økonomisk vurdering	6-1
6.1 Forudsætninger	6-1
6.2 Økonomisk vurdering	6-2
7 Opsamling og diskussion	7-1

Referencer

Bilag A: Bygningsbeskrivelse - Ulsted-huset

Bilag B: TSBI3 modellen for Ulsted-huset

Bilag C: TSBI3 beregningsresultater for modelhuset og Ulsted huset

Bilag D: Diverse baggrundsmaterialer

Bilag E: Målinger og måleopstilling

Bilag F: Måledata

Bilag G: Aidt Miljø - Anlægsbeskrivelse - Artikler



1. Indledning

Ved traditionelle solvarmeanlæg til brugsvandsopvarmning kan der normalt ikke opnås soldækningsgrader større end 5-10% af energiforbruget til rum- og brugsvandsopvarmning. For at opnå større dækningsgrader for tilsvarende bygninger, skal solvarmen lagres på en eller anden måde. Firmaet AIDT MILJØ har udviklet et solvarmebaseret anlæg til rum- og brugsvands-opvarmning med et bygningsintegreret varmelager. Anlægget består af et sand- eller jordvolumen placeret under bygningens gulv. En del af varmetabet fra lageret vil blive tilført huset som *passivt* varmetilskud. Hvis lagerets temperatur er høj nok, kan varmen fra lageret tilføres bygningen *aktivt* ved at opvarme cirkulationsvandet fra gulvvarmen i lageret.

Indledende teoretiske undersøgelser af systemet har været gennemført med lovende resultater. Der henvises til forprojekt med journal nr. 51181/92-0010, der er rapporteret i LfV-rapport 93-22 [Olesen, 1993]. Det foreliggende projekt skal klarlægge om de teoretiske forventninger opfyldes af det egentlige anlæg.

Projektet har to hovedformål og gennemføres i faser herefter.

Fase I At undersøge mulighederne for forbedringer af anlæggets energimæssig ydeevne. Dette gøres gennem teoretiske beregninger med varierende anlægsparametre.

Fase II At foretage eftervisning af de teoretisk beregnede ydelser. Dette gøres ved gennemførelse af et måleprogram på et hus bygget efter AIDT MILJØS anlægskoncept.

Ved den samlede gennemførelse af projektet vil det energimæssige samspil mellem huset, lageret, solfangerne og forbruget blive afdækket, og systemets energimæssige ydeevne kan herved bestemmes.

I den foreliggende rapport gengives de resultater, der er fundet som led i projektet. Omfanget af de opsamlede målinger er så stort at det ikke er muligt at vedlægge disse som bilag. Derfor gengives kun relevante nøgletal i rapporten. Generelle erfaringer fra området er samlet i den anden rapport af projektet; se Heller, 1996 i referencelisten.

I samarbejde med AIDT MILJØ blev anlægget i Ulsted valgt som måleobjekt. Fase I har ikke været anvendt på anlægsdesignet da anlægget allerede var opført. Det har derfor ikke været muligt at påvirke anlægsudformningen. Dermed gengiver målingerne de ydelser der kan forventes af et ikke optimeret anlæg hvilket ligger en del under den ydelse der er opnåelig.



Forord

Denne rapport beskriver resultaterne af projektet "Undersøgelse af solvarme med bygningsintegreret sandlager", j.nr. 51181/94-0004, finansieret af Energistyrelsens Udviklingsprogram for Vedvarende Energi m.v. I forbindelse med samme projekt er der udarbejdet to rapporter¹:

1) Undersøgelse af solvarme med bygningsintegreret sandlager. AIDT-Miljø koncept.

I denne rapport gengives resultaterne fra en undersøgelse gennemført på et anlæg fra AIDT-MILJØ i Ulsted i Jylland. Der er gennemført målinger på anlægget for at finde konceptets energieffektivitet. Rapporten er primært rettet mod fagfolk.

2) Solvarme med bygningsintegreret sandlager - Vejledning til designer og selvbygger.

I denne rapport opsamles de erfaringer der findes om emnet: bygningsintegreret sand-lager. Målgruppen for rapporten er den almindelige borger der evt. går med tanken om at udstyre sit hus med et sandlager eller lignende.

Ud over de anførte rapporter har Stjernstrøm, 1996, skrevet en artikel i VEinformation om emnet som delvis er baseret på erfaringerne fra det foreliggende projekt.

Der var gennem projektets forløb en del diskussion om det mål man vil opnå med et bygningsintegreret varmelager: Skal det være et aktivt lager, eller kan man nøjes med den passive effekt af lageret. Et entydigt svar kan ikke gives, og det er op til hver enkelt at afgøre dette. I rapporten er der givet en version heraf.

Undersøgelsen ville ikke have været mulig uden den store hjælp fra familien Schioldann, Birgitte, Knud og Rasmus, som har stillet deres nybyggede hus i Ulsted til rådighed samt medvirket ved en række arbejder. Jeg håber at familien, som tak for dens medvirken og på grund af husets lave energiforbrug, får medhold i deres kamp med myndighederne om tilslutningspligt til fjernvarmenettet.

Tak også til AIDT-MILJØ hvorfra følgende var involveret i projektet:

Trevor Wright

Elektrotekniker og alt-mulig-mand

Hans-Jørgen Christensen

Direktør

Og ikke mindst tak til "smeden" der har udført et sandt kunststykke af en VVS-installation på mindre end en kubikmeter arbejdsområde.

Den sidste tak skal rettes til to eksamensprojektstuderende på Institut for Bygninger og Energi, Troels K. Møller og Marcos A.H. Vieira [Møller, 1994a],[Møller, 1994b]. I deres arbejde har de gennemført størstedelen af udviklingen af de teoretiske modeller der er anvendt i projektet. Således bygger mange af resultaterne i den foreliggende rapport på de modeller de to studerende har fundet frem til. Ligeledes er de fleste billeder taget fra deres eksamensprojekt. Jeg takker for det store arbejde de to har lavet.

¹ Se referencer for yderligere informationer.



Resumé

I den foreliggende rapport gengives resultater fra en teoretisk undersøgelse og resultater fra målinger på et anlæg efter AIDT MILJØS koncept for solvarme med bygningsintegreret sandlager. Den teoretiske del af undersøgelsen er baseret på simuleringer. Målingerne strakte sig over et halvt år og er gennemført på et anlæg med et stort sandlager der er integreret i en lavenergibygning. Teoretiske og målte værdier blev sammenlignet for at sikre realistiske beregninger og dermed sandsynlige vurderinger.

Anlægget, som det opføres af AIDT MILJØ, er et udbygget solvarmeanlæg med et større solfangerareal der er koblet til et sandlager som ligger under bygningen og er forsynet med varmeslanger. Solvarmen bliver tilført sandlageret og derfra til bygningen, enten gennem en ledning eller ved at trække varmen op igennem varmeslangerne. Lager-temperaturen ligger over jordtemperaturen hvorved varmetransmissionstabet fra bygningen formindskes.

Der var diskussioner omkring effektiviteten af dette system og dermed også økonomien i anlægskonceptet. Undersøgelsen viser, såvel gennem beregning som gennem målingerne, at sandlageret ikke nedbringer bygningens varmekonsum tilstrækkeligt til at opnå god rentabilitet. Tilbagebetalingstiden for anlægget er mellem to og tre gange så stor som for et almindeligt solvarmeanlæg til brugsvand.

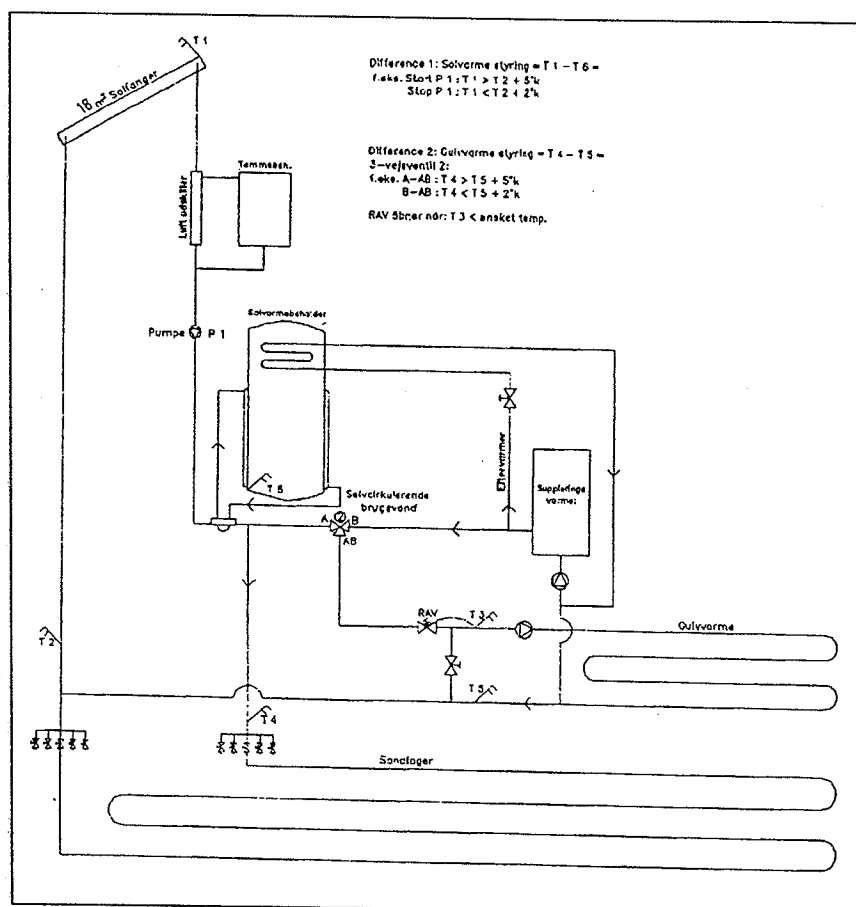
Undersøgelsen tyder på, at der er en del forbedringer som kan rette op på disse forhold; dog vurderes virkningen af disse forbedringer at være begrænset.

Alt i alt må det siges at det er en god investering for økologisk bevidste personer og personer med interesse for et driftssikkert og uafhængigt anlæg med lang levetid, men at det, set ud fra en økonomisk synsvinkel, er en relativt dårlig investering at opføre sådanne anlæg.



2. Anlægsbeskrivelse

AIDT MILJØS anlægskoncept for parcelhuse er principielt et solvarmesystem med supplerende bygningsintegreret sandlager. Solfangerarealet er større end for almindelige anlæg. Konceptet involverer en del styringsmæssige finesser der gør det muligt at kombinere flere forskellige varmekilder, eksempelvis solvarme, varme fra brændeovne og effektilførsel fra elpatron i varmtvandsbeholderen. Anlægget er skitseret i Figur 2-1.



Figur 2-1 AIDT MILJØS anlægskoncept.

Anlægget der danner grundlag for den foreliggende undersøgelse, er installeret i Ulsted, Hals ved Limfjorden. For at isolere de relevante størrelser blev anlægget i Ulsted forenklet. Den supplerende varme blev koblet af systemet, og ventilationen i huset blev passiveret. Målingerne repræsenterer dermed det totale energiforbrug for huset og dets beboere. Det resulterende anlæg er gengivet i Figur 2-2.

I det følgende beskrives huset i Ulsted og vameanlægget med solvarme og sandlager.

2.1 Huset

Tegninger af huset kan findes i Bilag A. Grundarealet af huset er 135 m². Ydervæggene er en hulmur med brune mursten og en isolering på 190 mm

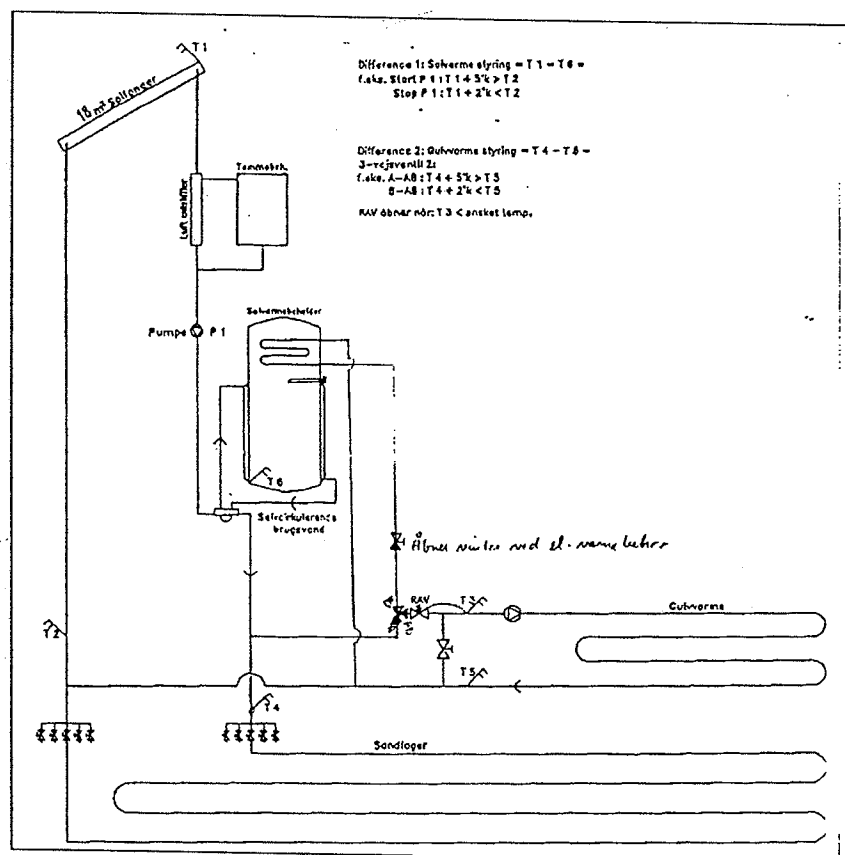


mineraluld. Taget er delvis isoleret med 300 mm og ventileret, dog kan indsugningsluften foropvarmes af solfangere. Denne mulighed er afkoblet under måleperioden. Husets kuldebroafbrudte fundament er et velisoleret sandlager. Sandlageret udgør hele husets grundareal, hvilket er et usædvanligt stort areal. Alle anvendte vinduer og døre er af typen "Kappa Energi" med Argon fra Pilkington, med en center-U-værdi på $1,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \text{ K})$. Huset har ved indgangen mod nordøst en glasforstue. Der er endvidere et glasparti mod nord hen til en halvlukket carport med et transparent tag. Mod syd er der et glasparti til stuen og en glasdør til barneværelset. Mod sydvest er der etableret en glasudestue. Gulvene i de sydvendte lokaler er beton med fliser og i stuen med tæppe.

Det dimensionerende varmekonsum for huset er ifølge TSBI3 beregninger på 5295 kWh, hvilket er ca. $40 \text{ kWh}/\text{m}^2$ for huset om året. Dette varmebehov er kun ca. halvdelen af varmetabsrammerne for et ét-planshus givet i det nye bygningsreglement BR95. Normalt regnes med ca. $70 \text{ kWh}/\text{m}^2$ om året for et almindeligt hus af samme årgang. Huset kan derfor, selv efter det nye bygningsreglement, betegnes som lavenergibygning. TSBI3 modellen for Ulsted-huset er gengivet i Bilag B.

2.2 Varmesystemet

Et diagram af varmesystemet fra Ulsted-huset fremgår af Figur 2-2.



Figur 2-2 Diagram over varmesystemet i Ulsted-huset.

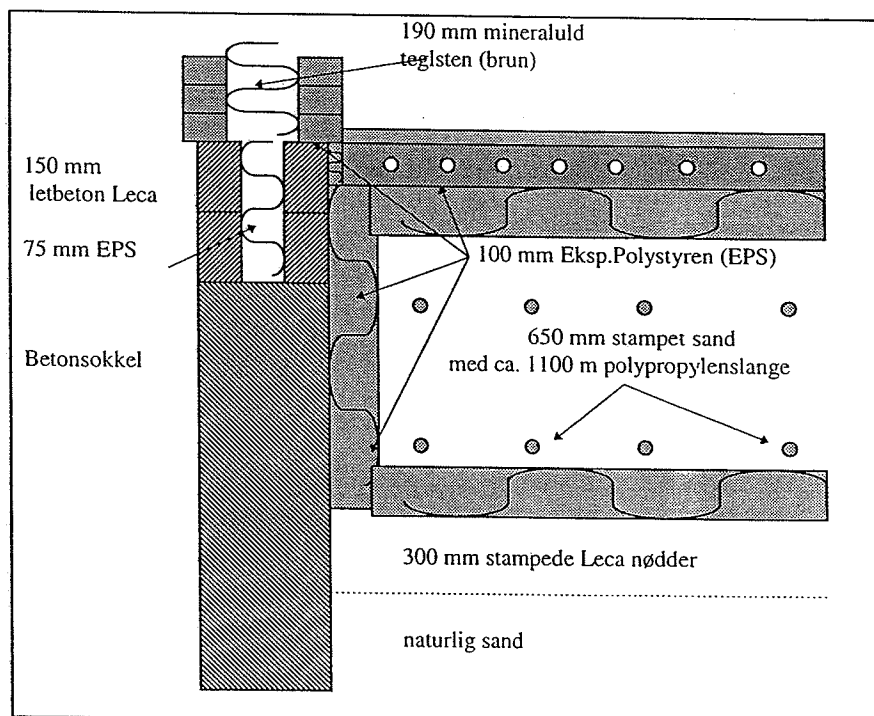


Der er etableret en 18 m² AIDT MILJØ-solfanger. Denne er opbygget meget simpelt af plastslanger og er uden en avanceret selektiv absorber og har derfor en relativ lav effektivitet. Solfangernes ydelsesevne er undersøgt og rapporteret af Østergård, 1993. Solfangeren er orienteret mod syd med en hældning på 30 grader. Der er ingen forstyrrende elementer i forhold til solens bane der kunne give skygge på solfangeren. Solfangeren kan bruges til såvel opvarmning af varmt brugsvand og ventilationsluftopvarmning, men luftdelen fravælges i måleperioden. Der er en 300 liters varmtvandsbeholder der sørger for varmt brugsvand og rumopvarmning gennem gulvvarmen. Beholderen er udstyret med en 1,1 kW elpatron. Varmtvandsbeholderen kan opvarmes med solvarme, elpatronen og med en supplerende varmekreds koblet til en brændeovn. Denne del er afkoblet under måleperioden for at gøre målingerne mere enkle og entydige. For at kunne opretholde varmen i kolde perioder bruges der i måleperioden en elblæser med tilhørende timetæller. Denne har dog ikke været i drift hvorved man kan se bort fra denne mulighed.

Opvarmningssystemet for solvarmen fungerer på følgende måde: Det varme vand fra solfangerkredsen ledes forbi kappen af varmebeholderen hvor det afgiver varme ved naturlig konvektion til varmebeholderen. Dette delsystem er udviklet af AIDT MILJØ og er ikke undersøgt nærmere, dog anses sådanne systemer for at være ret effektive. Fra varmtvandsbeholderen strømmer det solopvarmede vand parallelt til gulvvarmen og sandlageret.

2.2.1 Sandlageret og gulvvarmen

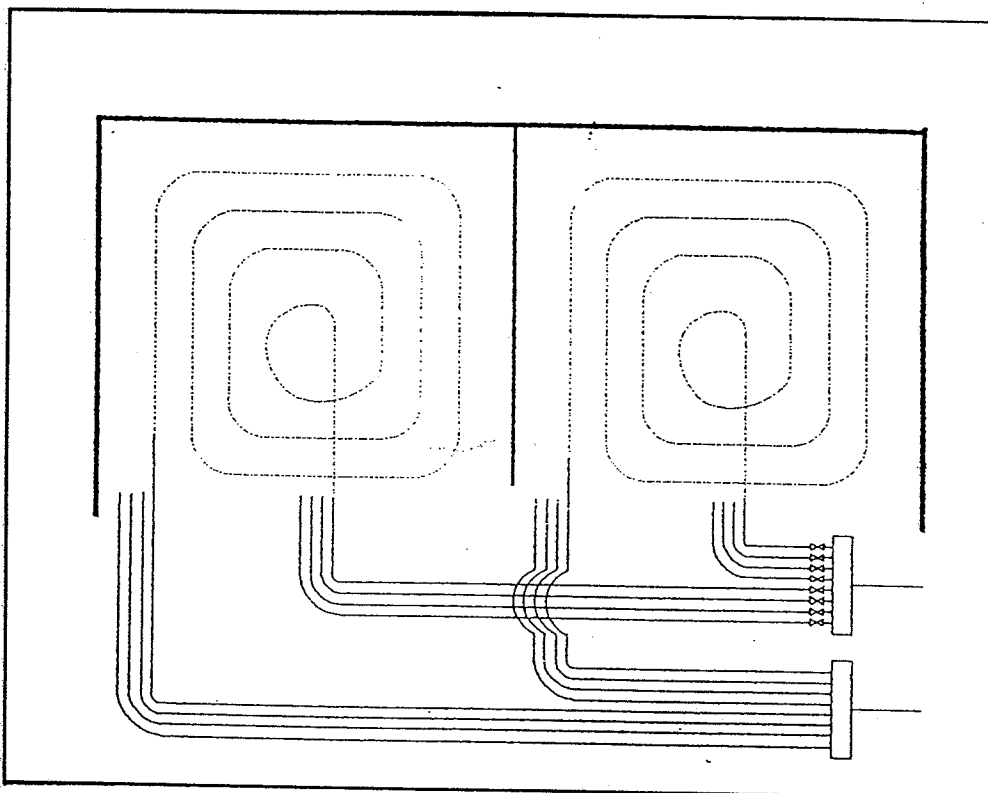
Sandlageret og gulvvarmen er placeret over hele husets grundareal. Dermed er sandlageret større end normalt. Opbygningen er vist i Figur 2-3.



Figur 2-3 Sandlagerkonstruktion



Sandlageret har et samlet volumen på omkring 90 m^3 stampet sand. Sandlageret ligger på 300 mm stampede LECA-nødder der hviler på naturligt forekommende sand. Sandlageret er 650 mm højt og isoleret hele vejen rundt med 100 mm Ekspanderet Polystyren (EPS), også kaldt Flamingo-plader. Varmeslangerne af ribberør er lagt ud i to niveauer: det ene lige over isoleringen, det andet cirka i midten af sandvolumenet. Varmeslangerne er udlagt i hele grundplanen så der opnås bedst mulig dækning af grundplanen. Slangerne lægges, som det fremgår af Figur 2-4, i spiralform med den varmeste ende i centrum. Bemærk: Der er lidt usikkerhed vedrørende beliggenhed af grundvandsspejlet.



Figur 2-4 Udlægning af varmeslangerne.

Gulvvarmen er udført efter de traditionelle metoder. Ribberør af plastmateriale er støbt ned i et betondæk der ligger på sandlagerets flamingoplader. Afslutningen er et 30 mm slidlag af beton belagt med henholdsvis fliser, trægulv eller tæppe.

2.2.2 Styringen

Varmesystemet er designet med ønske om at opnå et simpelt system med mindst mulig styring. Solfangerkredsen tændes og slukkes på baggrund af temperatur-differensen mellem frem- og tilbagestrømmen. Hvis temperaturen i solfangeren (T_1) er 5 grader større end temperaturen i fremløbsvæsken (T_2), tænder solfangerpumpen (P_1). Når temperaturdifferencen falder til en difference på 2 grader, slukker pumpen og kredsen tømmes i en tømmetank der er placeret mellem loftrum og installationsrummet.

Pumpen i gulvvarmekredsen styres manuelt og kører hele tiden. Væsken pumpes i gulvvarmekredsen gennem en lukket kreds. Der tilføres kun varmt vand til



kredsen når der er behov for det. Varmebehovet styres individuelt for hvert værelse på basis af vandets tilbageløbstemperatur (T_3), dvs. ikke efter lufttemperaturen. Ved varmebehov åbner en RAV-ventil og varm væske trækkes ind i kredsen udefra. Dermed tilføres den mængde varme til gulvvarmekredsen der er nødvendig for at opretholde gulvvarmetemperaturen og dermed indirekte indetemperaturen.

Varmekilden til gulvvarmen kan være solvarme direkte fra solfangerne, solvarme fra lageret eller varme fra det supplerende opvarmningssystem, i vores situation elpatronen i varmtvandsbeholderen. Varmekilden styres af en 3-vejsventil. 3-vejsventilen er styret af temperaturdifferensen mellem returvæsketemperaturen af gulvvarmekredsen (T_4) og fremløbstemperaturen til sandlagerkredsen (T_5). Når T_4 stiger fem grader over T_5 , åbner ventilen strækningen A-AB, hvorved varmen bliver hentet fra enten solfangeren eller sandlageret. Når temperaturdifferensen falder til to grader skiftes stømningskredsen så der trækkes varmt vand fra strækning B-AB, dvs. varmebeholderen.

Kappebeholderen opvarmes ved naturlig konvektion i kappen. Udførelsen er designet af AIDT-MILJØ. Solvarmen vil gennem naturlig strømning opvarme varmebeholderens kappe og derigennem vandet i beholderen. Er der yderligere behov, varmes vandet op med hjælp af en elpatron på 1,1 kW.

Når solfangere producerer varme, tilføres denne først til varmtvandsbeholderen, hvorefter den ledes til gulvvarmen og sandlageret. Væskestrømmen i solfangerkredsen er større end i gulvvarmen, hvorved der oftest vil være samtidige strømme i gulvvarmen og sandlageret.

Systemet, som det fremgår af tegningerne, er lidt anderledes. Der er ikke nogen ventil i den lukkede gulvvarmekreds. Dette skulle dog ikke have nogen indflydelse på resultaterne.

Ved installation af måleudstyr er der blevet ændret på små detaljer der dog ikke har indflydelse på det overordnede resultat, dog medfører disse større tryktab hvorved pumpen i solvarmekredsen blev overbelastet. Derfor blev der installeret en større pumpe der også vil bruge mere elektricitet end den oprindelige pumpe. Forskellen synes ikke afgørende for resultaterne.

Varmesystemet, som det fremstår i måleperioden, er vist i Figur 2-2.



3. Simulering, programmer og modeller

I projektet er der anvendt tre forskellige computerprogrammer: EMGP3, HEAT2 og TSB13.

EMGP3 er et program til simulering af termiske systemer. Programmet danner grundlag for årssimuleringer af hele systemet, bygning, sandlager, solfangere, styring osv. Programmet er beskrevet i [Dutré, 1991].

Bygningsmodellen i EMGP3 er meget simpel. For at undersøge bygningsmodellens nøjagtighed gennemføres simuleringer med TSB13 der er et program til detaljeret bygningssimulering. Beregninger beskrives i de kommende afsnit. Programmet er beskrevet i [Johnsen, 1993].

EMGP3 er begrænset til 250 dele/elementer der må indgå i et system. Da jord- og sandvolumenet under bygningen skal beregnes med mange små elementer, den såkaldte Finite Element Metode, støder man hurtigt på denne begrænsning. For at løse problemet findes jordtemperaturen ved hjælp af programmet HEAT2, et to-dimensionalt "Finite Element Program". Ud fra disse eksakte beregninger kan de områder bestemmes hvor temperaturen svinger meget og hvor der skal anvendes mange elementer til beregningerne. I områder uden store temperatursvingninger kan antallet af elementer holdes nede. Beregninger og fremgangsmåde beskrives i de kommende afsnit. Programmet er beskrevet i [Blomberg, 1990].

Den overordnede fremgangsmåde og udviklingen af modellerne er hovedsageligt udarbejdet af Troels Møller og Marcos Vieira i et eksamensprojekt ved DTU [Møller, 1994a] og [Møller, 1994b].

For at undersøge virkeligheden og for at eftervise simuleringens modellens nøjagtighed gennemføres målinger på en bygning i Ulsted. Målinger og resultater herfra gengives i det efterfølgende kapitel og sammenligningen af målinger og simuleringer i kapitlet efter. Den fysiske og den simulerede bygning er ikke helt ens, men ved at simulere den "målte" Ulsted-bygning i TSB13 og sammenligne nogle nøgleværdier er det vist at de to modeller er i god overensstemmelse. Derfor kan konklusionerne fra den ene model overføres til den anden, og målingerne sammenlignes med simuleringens resultater. Resultater herfra er givet i Bilag C. TSB13-modellen af Ulsted-huset findes i Bilag B.

3.1 Indledning til EMGP3

EMGP3 er et såkaldt modulopbygget simuleringsprogram. Programmet er bygget op omkring et stort antal komponenter der kan sammensættes med stor valgfrihed. De enkelte komponenter er validerede, matematiske modeller der udgør et kompromis mellem kort beregningstid og præcision. Komponenterne er opdelt i følgende tre hovedgrupper:

- **Systemelementer**, omhandlende dels forskellige typer af målere (f.eks. energimålere) og dels termiske/hydrauliske komponenter (f.eks. solfangere, rør).
- **Styringselementer**, omhandlende forskellige typer af styre (f.eks. On/Off-styring, time-switch styring).



- **Energisystemer og belastnings-/påvirkningsfunktioner:** Gruppen er mere abstrakt end de andre elementtyper. Man kan f.eks. påtrykke solindfaldets indflydelse på systemet som en funktion eller tabel.

Programmet er nærmere beskrevet i [Dutré, 1991].

Til beskrivelse af den dynamiske opførelse af et termisk system, hvad enten det drejer sig om et solfangersystem eller et hus, har EMGP3 en række standard integrationsalgoritmer. Algoritmerne anvendes til bestemmelse af temperaturerne i de enkelte komponenter og elementer i systemet. I det foreliggende projekt er der anvendt to forskellige algoritmer. En enkel og hurtig *Euler-metode med enkelt tidsskridt* til indledende beregninger og en mere krævende og præcis *Anden ordens Runge-Kutta-metode med enkelt tidsskridt* til det endelige systemsimulering. Beskrivelse af disse integrationsmetoder kan f.eks. findes i Lambert, 1991, og er også beskrevet i programmets manual, [Dutré, 1991].

3.2 Grundlæggende EMGP3-komponenter

EMGP3 indeholder som sagt en række fordefinerede komponenter. Komponenterne, der anvendes i det foreliggende projekt, beskrives i det følgende. De er typisk repræsenteret som differentialligninger, der kan løses ved hjælp af de nævnte integrationsalgoritmer. Udtrykkene i parenteserne refererer til typebetegnelse i EMGP3-termer. Detaljerede beskrivelser kan findes i manualen [Dutré, 1991].

Solfanger (EL-Type 1) beskrives som en étpunkt-model, hvor dæklaget, absorber og væsken samles i et beregningspunkt (knode) med fælles varmekapacitet.

Varmtvandsbeholder (EL-Type 4) kan modelleres som totalopblandet tank, eller som tank med temperaturlagdeling. I den foreliggende model anvendes den sidste type. Tanken modelleres med et passende antal volumenelementer (lag), som varmeveksler med hinanden.

Rør / varmeslanger (EL-Type 2) kan modelleres med eller uden varmekapacitet i røret. Varmekapaciteten i røret antages at være uden betydning for rørene mellem solfangere og i varmtvandsbeholder. Varmekapaciteten i varmeslangerne i gulv og sandlager antages dog at være relevant, og derfor simuleres disse som elementer med varmekapacitet.

Jord/sandelementer (EL-Type 6) kan anvendes til opbygning af stenlagre, gulve, vægge og lignende konstruktioner. Elementerne kan udveksle varme mellem hinanden og med fluider. Gulvet, sandlageret og jordvolumen er modelleret med denne type elementer.

Bygningsmodel (EL-Type 10) er en såkaldt étpunkts-model, hvilket vil sige, at huset eller et rum repræsenteres med et enkelt element og en varmekapacitet. Elementet kan tilkobles varmesystemer, og passiv solpåvirkning beregnes på en meget simpel måde.



3.3 Den overordnede systemmodel for solvarme med bygningsintegreret sandlager

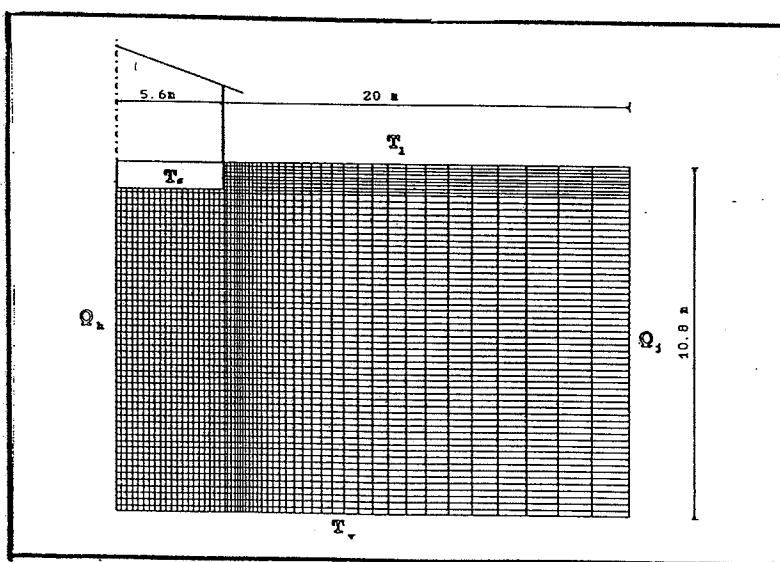
Formålet med anvendelse af simuleringsprogrammer er at kunne gennemføre beregninger på systemer og dermed undgå dyre forsøgsoپbygninger. Det ville for eksempel være for dyrt at opbygge mange forskellige sandlagre og måle deres termiske virkemåde under mange driftsforhold; derfor simuleres driftsforholdene. Simuleringen forudsætter dog præcise værktøjer. EMGP3-programmet har ikke alle nødvendige elementer der fører til nøjagtige beregninger. Derfor er det nødvendigt at tilpasse og videreudvikle programmets elementer. I det følgende beskrives delmodellerne og de ændringer der var nødvendige.

3.3.1 Jordmodellen

Bygningen og sandlageret er nedadtil i kontakt med jord. Man kan antage at jordtemperaturen omkring huset er symmetrisk, dvs. ens, i alle retninger ud fra huset. Derfor er det tilstrækkeligt at modellere jordvolumenet i to dimensioner som et snit gennem bygningen og jorden.

Som før nævnt, er EMGP3-programmet begrænset i antallet af elementer programmet kan håndtere. Derfor skal antallet af elementer for sand- og jordvolumen begrænses. Dette opnås ved at anvende store elementer i jordområder hvor temperaturen ikke ændrer sig nævneværdigt, dvs. under 2 grader inden for det samme element. For at finde disse områder anvendes programmet HEAT2. Med HEAT2 bestemmes isotermer i sand- og jordlagene i årets løb. Herudfra kan de områder bestemmes hvor temperaturen ændres meget, og områder hvor temperaturen er stabil hele året. Elementerne fordeles således at stabile områder bliver simuleret af få store elementer og ustabile områder med mange små elementer.

HEAT2-modellen for sandlageret og det omgivende jordvolumen er gengivet i Figur 3-1.



Figur 3-1: HEAT2-modellen for sandlager og jordvolumen.



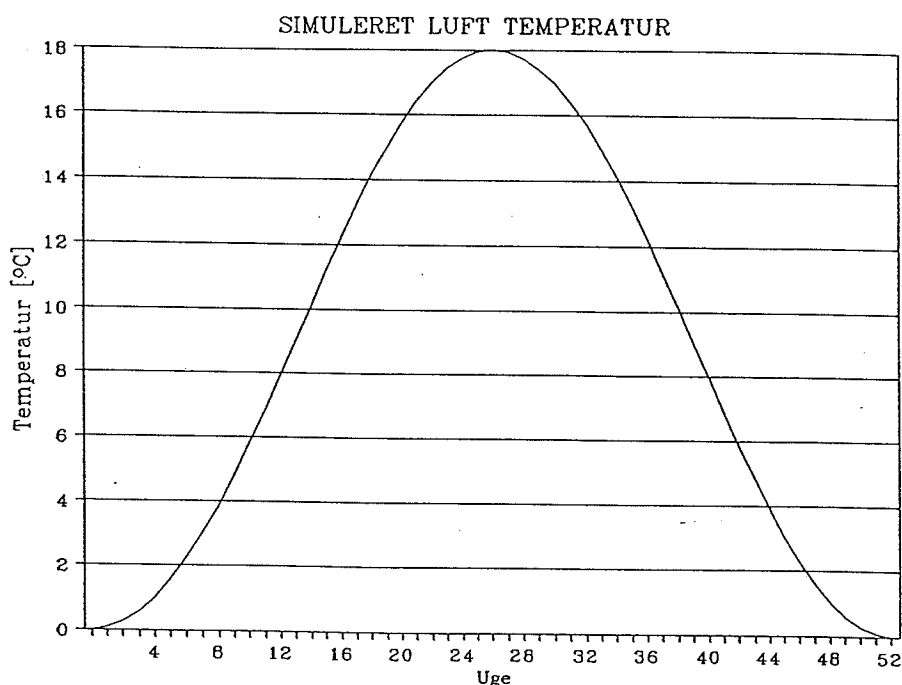
Det fremgår af Figur 3-1 at netpunkterne er tættest i nærheden af lagersiden og i det øverste jordlag hvor der i HEAT2 beregnes store temperatursvingninger. Netpunkt afstand i lodret retning (y-retning) er valgt til maksimalt 0,25 m efter anvisning fra Hansen, 1979. Jordvolumenet er valgt stort, 10,8 meter dybt og 20 meter bredt, for at sikre at der opnås stabile og symmetriske forhold ved randen.

På grund af symmetri igennem huset i lodret retning forekommer der ingen varme-strømme gennem denne grænseflade.

Randbetingelsen for den yderste lodrette grænseflade antages ligeledes at være i balance hvorfor der ikke observeres varmestrømme gennem denne grænse.

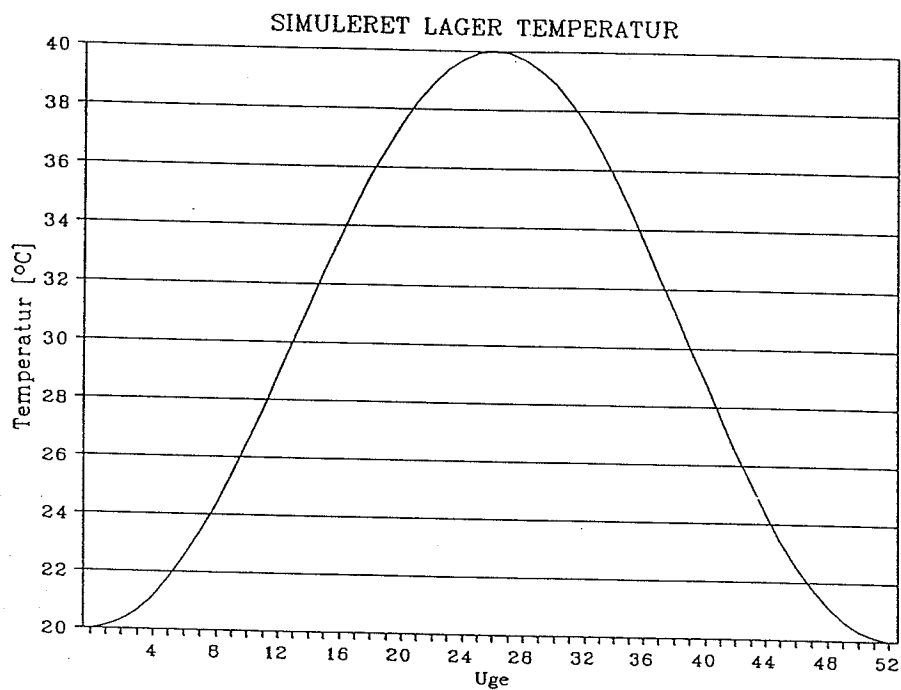
Jordvolumenet ender i 10,8 meters dybde. Her er gennemsnitstemperaturen enten gengivet af grundvandsspejlets temperatur eller som jord der ikke er påvirket af udeklimaet. Hvis grundvandsspejlet ligger højere, vil simuleringer vise meget lavere temperaturer på lagerets yderside.

Den nok vigtigste randbetingelse gengiver omgivelsernes påvirkning af jordvolumenet, dvs. temperaturen på jordoverfladen. Der vælges et sinusformet temperaturforløb hvor minimum opnås i december/januar ($T_1=0^\circ\text{C}$) og maksimum i juni/juli ($T_1=18^\circ\text{C}$). Den anvendte formel er således $T_1=9+9\cdot\sin(2\pi(t-3)/12)$, og funktionen er vist i Figur 3-2.



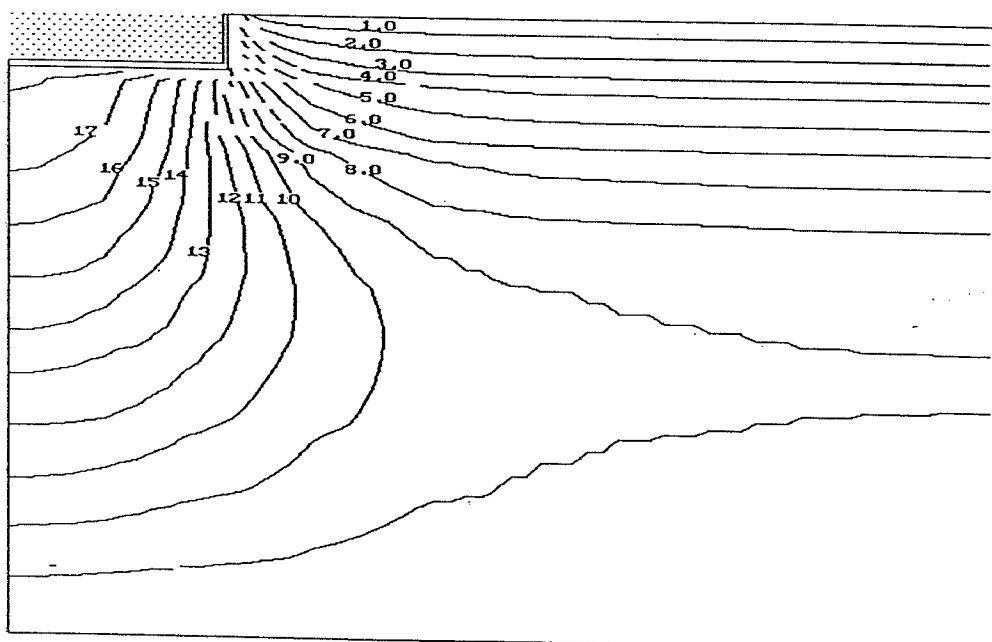
Figur 3-2 Simulering af temperaturen på jordoverfladen i en årsperiode.

Sandlageret antages at svinge op og ned som sinusformet temperaturforløb med minimum i december/januar ($T_s=20^\circ\text{C}$) og maksimum i juni/juli ($T_s=40^\circ\text{C}$). Den anvendte formel er således $T_s=30+10\cdot\sin(2\pi(t-3)/12)$ og er gengivet i Figur 3-3.

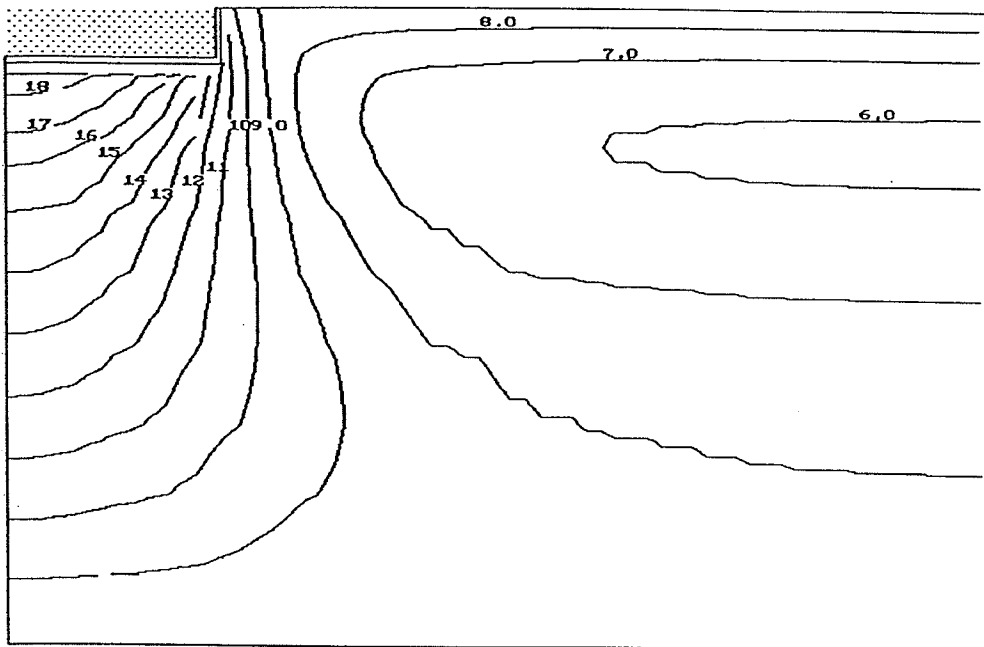


Figur 3-3 Simulering af temperaturen i sandlageret i en årsperiode.

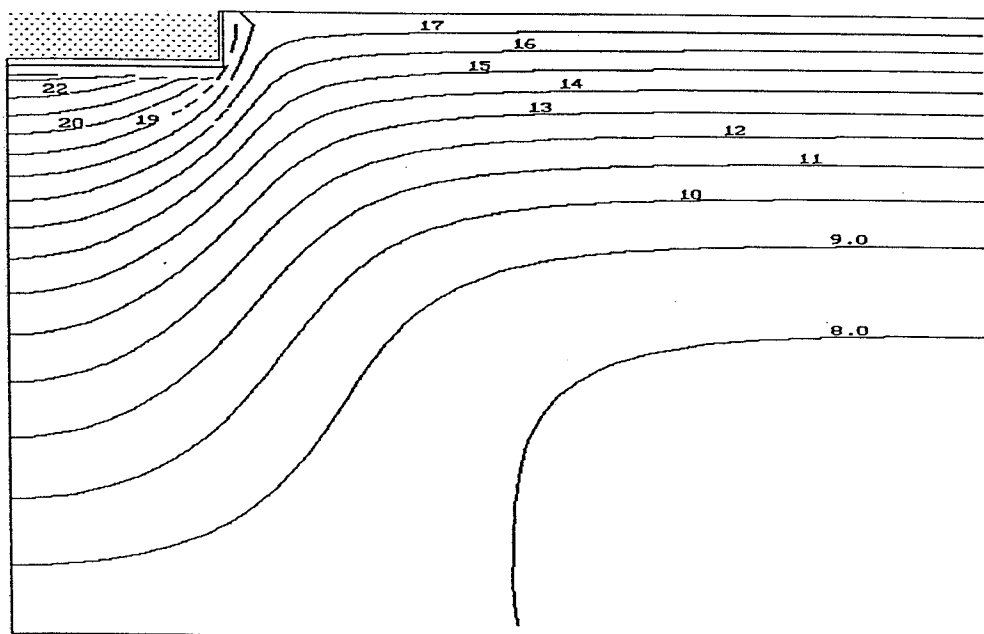
HEAT2-simuleringer med de nævnte grænsebetingelser fører frem til temperaturfordelinger som vist i Figur 3-4 til Figur 3-7.



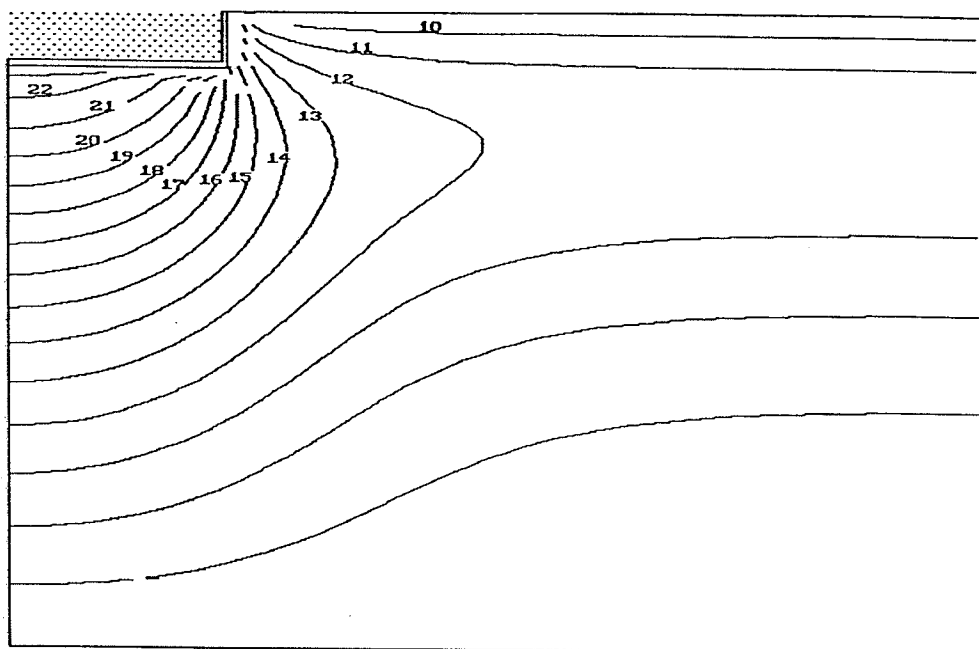
Figur 3-4 Isotermers fordeling i jord - januar måned.



Figur 3-5 Isotermers fordeling i jord - april måned.

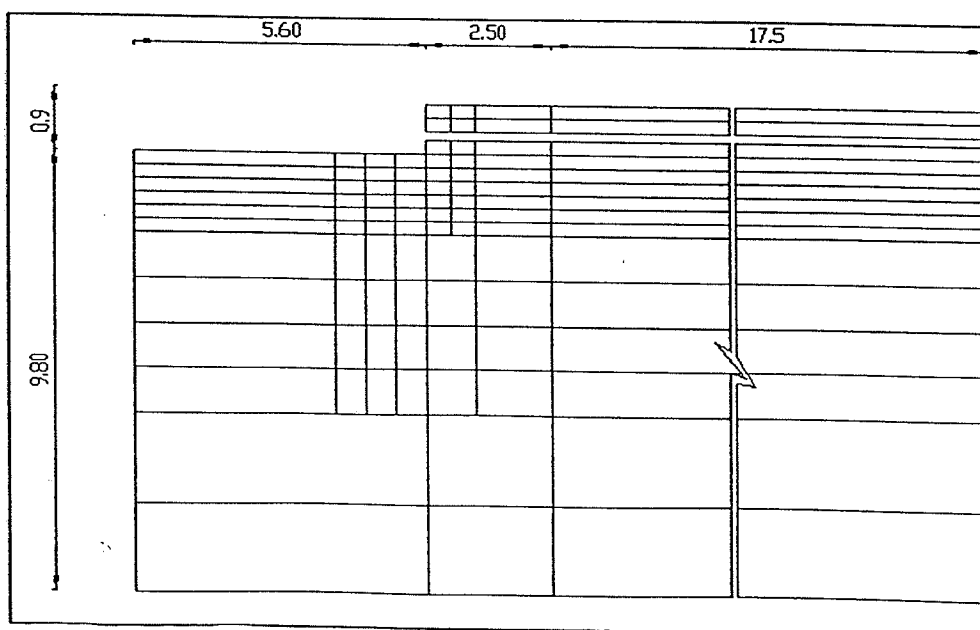


Figur 3-6 Isotermers fordeling i jord - juli måned.



Figur 3-7 Isotermers fordeling i jord - oktober måned.

Ved at sammenligne isotermerne i jordvolumen på figurene ovenfor ses det at temperaturen lige ved sandlageret og på jordoverfladen ændres mest. Allerede en meter under lageret begynder temperaturen at svinge under 2 grader fra ca. 17 til 19 grader, dvs. den er rimeligt stabil. I et område lodret i forlængelse af sandlagerets sideisolering forekommer der store temperatursvingninger. I dette område påvirkes temperaturen af såvel sandlageret som lufttemperaturen. Derved er svingningerne store, og modellen skal tage hensyn til dette forhold. Lidt længere ude på jordoverfladen forløber isotermerne parallelle. Det betyder at der ikke er varmestrømme i vandret retning og dermed ingen påvirkning på sandlagertemperaturen. Dette ændrer sig først når man kommer tættere på sandlageret. Her svinger temperaturen grundet påvirkningen fra lufttemperaturen.



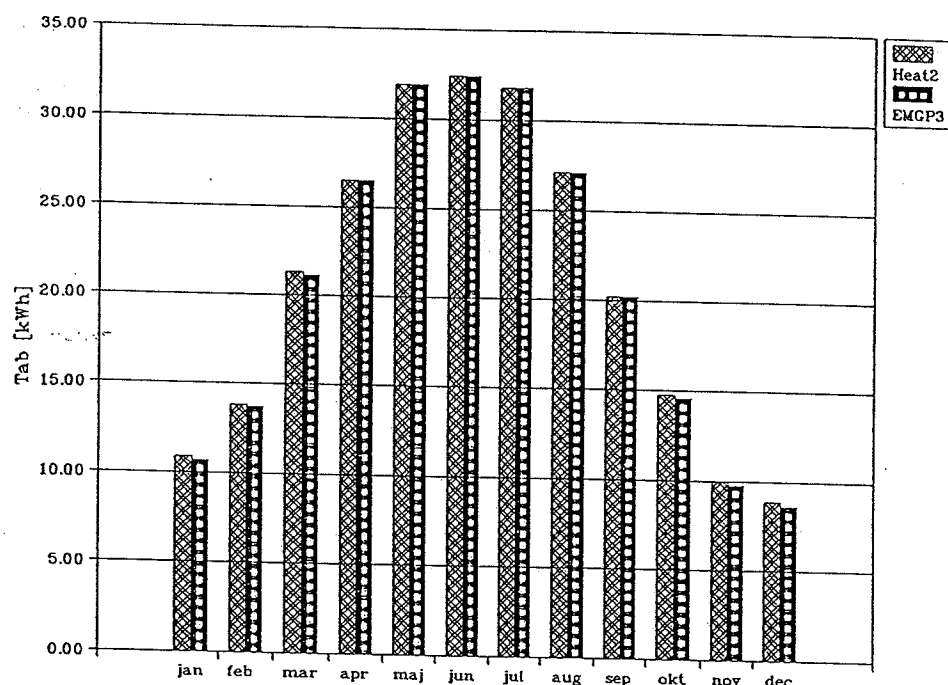
Figur 3-8 Jordmodellen i EMGP3 for et lager med dybde 0,9 meter.



3.3.1.1 Omsætning af HEAT2-modellen til EMGP3-modellen

Ud fra simuleringsresultaterne ovenfor og ved at kræve maksimale temperatursvingninger på 2 grader i et enkelt element findes netinddelingen, som vist i Figur 3-8. Jordvolumenet inddeles i små elementer langs kanten og i randzonen af sandlagerets underside. Langs jordoverfladen og undersiden af lageret inddeles volumenet i lidt større aflange elementer da det hovedsageligt er her de én-dimensionale varmestrømme vil forekomme. Resten af jordvolumenet inddeles i store elementer da temperaturen her forventes stabil.

De to modeller, HEAT2 og EMGP3, sammenlignes ved at undersøge deres indflydelse på varmetabet fra sandlageret.



Figur 3-9 Sammenligning af lagertab på månedsbasis for den fine HEAT2 model og den grove EMGP3-model.

Af Figur 3-9 fremgår det at forskellen i varmetabet fra lageret på månedsbasis for de to modeller er minimal. Dermed kan den simple EMGP3-model anvendes med rimelig nøjagtighed.

3.3.1.2 Delkonklusioner fra jordmodellen

Materialedata der anvendes i projektet for jord stammer fra [Hansen, 1983] og er:

Varmeledningsevne $\lambda = 1.6 \text{ W/mK}$

Varmekapacitet $C = 2.3 \text{ MJ/m}^3\text{K}$

Jordtemperaturen i den uforstyrrede jord er stabil på 8°C ved en dybde på mere end 8 meter.

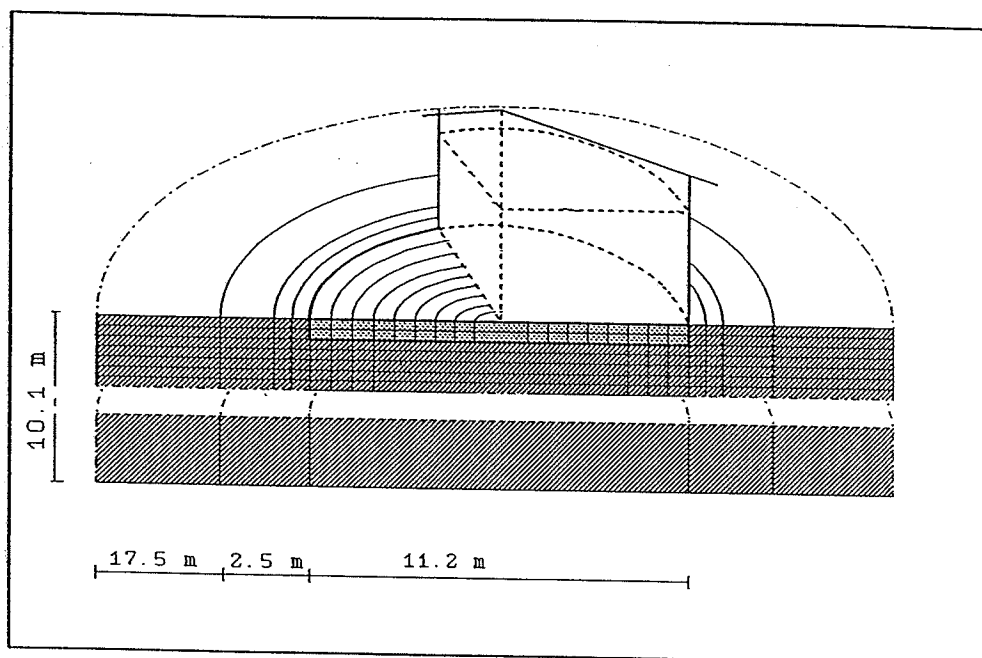


Der er god overensstemmelse i sandlagerets tab til omgivelserne for den fine HEAT2-model og den grove EMGP3-model. Dette viser at EMGP3-modellen kan anvendes til simulering af sandlager med rimelig nøjagtighed.

3.3.2 Lagermodellen

Lagermodellen skal gengive temperaturfordelingen og varmetransporten i sandlageret, mellem varmeslangerne og mellem lageret og dets omgivelser, dvs. jordvolumenet og gulvvarmen. Herudfra kan det bestemmes hvor meget af varmetransporten der går tabt og hvor meget der tilføres bygningen.

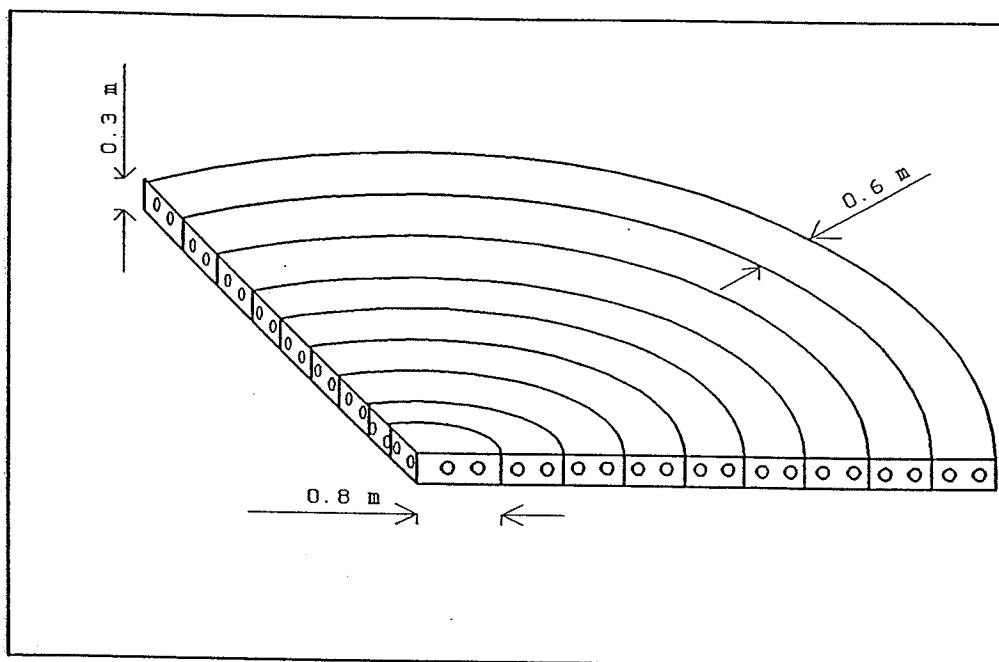
EMGP3 anvender typisk terningformede "rock-bed-elementer". På grund af symmetribetragtning omkring bygningen og fordi varmeslangerne i lageret er udlagt som spiraler, vist i Figur 3-10, vælges cirkulære elementer til modelleringen. For at omregne fra kubiske til cylindriske elementer indføres en korrektionsfaktor for varmetabskoefficienten mellem sandlager og jordvolumen. Omregninger er beskrevet i Bilag D. Ud over denne omregning er varmetabskoefficienten mellem de yderste ringelementer i sandlageret og de tilstødende jordelementer forøget med 20% for at kompensere for de geometriske forhold. Modellen er på trods af disse tilnærmelser stadig præcis nok da indflydelsen heraf overskygges af de usikkerheder der kommer fra grundvandspejlets indflydelse på temperaturen under lageret.



Figur 3-10 Perspektivskitse af jord- og lagermodel med bygningens placering på ringelementerne.



Lageret er opbygget af et eller flere lag, som vist i Figur 3-11.



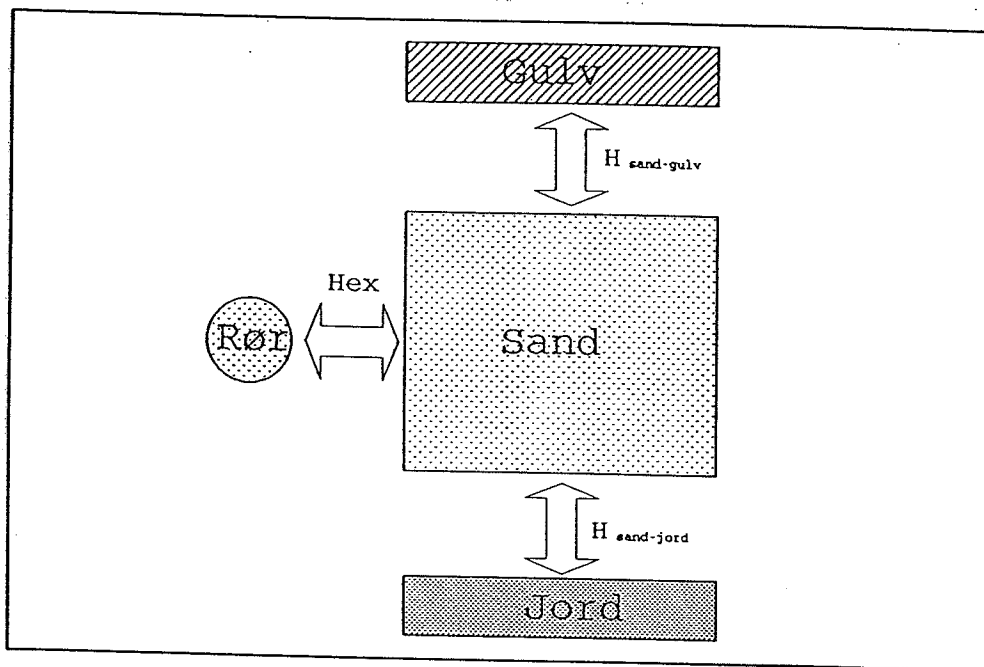
Figur 3-11 Udsnit af del-lag på 0.3 m tykkelse i lagermodellen.

Temperaturen i en varmeslange vil ændre sig i strømningsretningen. Derfor skulle rørene modelleres med flere serielt forbundne elementer. For at undgå for mange elementer anvendes et enkelt rørelement til simulering af hver varmeslange med en enkelt temperatur. Dette er tilstrækkelig nøjagtigt da temperaturfaldet over et element typisk vil være under fem grader. Se Bilag D.

3.3.2.1 Varmeovergang mellem rør og sand

Varmeovergangstallet i røret er afhængigt af væskens temperatur og vil ændre sig igennem et element. Et tilnærmet overgangstal, en såkaldt HEX-værdi, er derfor anvendt, som med et enkelt tal beskriver hvor god varmetransporten er mellem forskellige emner og materialer. Metoden til bestemmelse af HEX-værdien er beskrevet af [Duer, 1990]. Metoden går ud på at gennemføre nøjagtige beregninger på et sandvolumen med indlagte varmeslanger for en række randbetingelser. Derefter modelleres de samme forhold med en simplificeret model. Herudfra bestemmes et enkelt tal der giver bedst overensstemmelse mellem de to modeller. Til de nøjagtige beregninger anvendes programmet HEAT2. Nettet er inddelt i rektangulære elementer. Røret er ligeledes simuleret som rektangulært hvorefter resultaterne omregnes til værdier passende til cirkulær form. Til de mindre nøjagtige HEX-beregninger anvendes en simpel EMGP3-model.

I EMGP3-modellen til beregning af HEX-værdien anvendes som randbetingelser mellem sand og gulv $R_{s-g} = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$ og mellem sand og jord $R_{s-j} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Den resulterende EMGP3-model for sandlagerelementerne er vist i Figur 3-12.



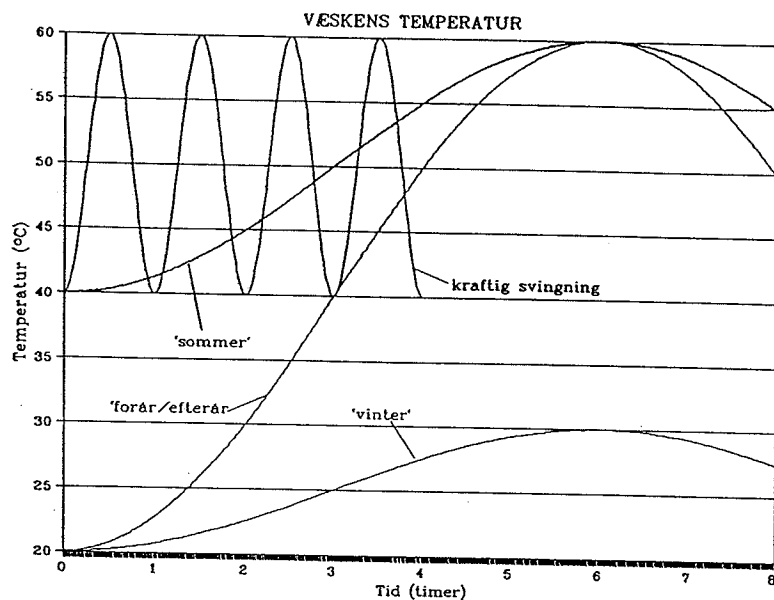
Figur 3-12 EMGP3 modellen for et sandlagerelement. Varmeveksling mellem sandelementet og dets omgivelser.

Af Figur 3-12 ses, at sandelementet (0,3 x 0,3m) varmeveksler med gulvet, jordvolumenet og rørelementerne.

Til bestemmelse af HEX-værdien er der brugt følgende randbetingelser i HEAT2-modellen, baseret på erfaringer fra Aidt Miljø:

	Gulvtemperatur [°C]	Starttemperatur [°C]	Væsketemperatur [°C]
Vinter	20	20	$25+5*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$
Sommer	25	40	$50+10*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$
Forår/efterår	20	20	$40+20*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$

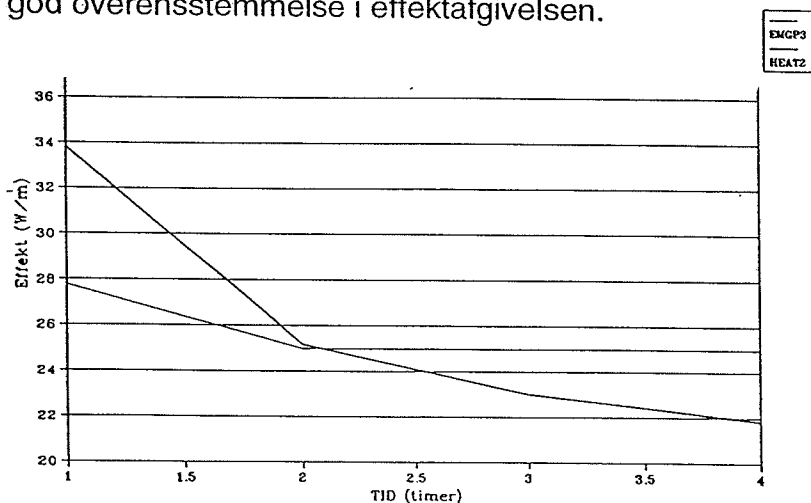
Gulvtemperaturen er holdt på 25° C om sommeren og 14° C resten af året. Der antages fuldstændig symmetri omkring varmeslangens lodrette akse. Modstanden mellem sand og gulv er sat svarende til 5 cm isolering ($R_{s-g} = 1,25 \text{ m}^2\text{K/W}$) og mellem sand og jord svarende til 10 cm isolering ($R_{s-j} = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$). Væskens temperatur i varmeslangerne er simuleret for forskellige forhold som vist i Figur 3-13.



Figur 3-13 Væskens temperatur for fire forskellige simuleringsforhold til beregning af HEX-værdier.

Figur 3-13 viser væskens temperaturprofiler for fire forskellige HEX-beregningsforløb. Om vinteren svinger temperaturen meget langsomt da solen er svag og lavtstående på himlen. Det betyder at varmekapaciteten af væsken er dominerende. Om foråret og efteråret øges svingningens amplitude. I sommerperioden aftager amplituden igen; dog stiger temperaturniveauet. Som kontrol undersøges hvor meget de fundne HEX-værdier afhænger af svingningshastigheden. For alle svingningsforhold er HEX-værdien tilnærmelsesvis $HEX=1,2W/(m^{\circ}K)$. Dvs. at temperatursvingningen i solvarme-kredsen ikke har nævneværdig indflydelse på varmetransporten mellem varmeslanger og sandlageret.

Der observeres dog forskelle for effektoverførslen mellem rør og sand i starten af simuleringsforløbene for hurtige svingninger. I Figur 3-14 ses disse afvigelser på venstre side af graferne. Efter ca. 2 timers simuleringsforløb viser de to modeller dog god overensstemmelse i effektafgivelsen.



Figur 3-14 Varmerafgivelse fra rør til sand, for en simulering med kraftig svingning i væskens temperatur med hhv. HEAT2 og en enkelt EMGP3-model.



3.3.2.2 Delkonklusion på overgang mellem rør og sand

Der konkluderes at varmeovergangstallet for alle simuleringer er $HEX=1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. For længere simuleringsperioder giver den fine HEAT2-model og den grove EMGP3-model næsten ens resultater. EMGP3 modellen har tendens til at underestimere varmetransporten ved koldt sand og overestimere varmetransporten ved høje sandtemperaturer. Man kan sige at EMGP3-modellen er lidt for træg i forhold til HEAT2-modellen; alligevel vurderes den simple og grove model som anvendelig og præcis nok.

3.3.2.3 Varmeovergang mellem rør og gulv

Fremgangsmåden for bestemmelse af varmeovergangen mellem rør og betongulv er som beskrevet for overgangen mellem rør og sand. Betongulvet har en tykkelse på 10 cm og beskrives i modellen som ringelementer, ligesom sand- og jordlagene. Som randbetingelse for temperaturen i gulvet er der anvendt følgende udtryk:

	Indeluft-temperatur [°C]	Start-temperatur [°C]	Lager-temperatur [°C]	Væsketemperatur [°C]
Vinter	21	20	18	$25+5*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$
Sommer	23	24	30	$35+5*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$
Forår/efterår	21	22	25	$32+10*\sin(2*\pi*(t-180)/720)$

Modstanden mellem gulv og luft er sat til $R_{g \rightarrow l} = 0,13 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$ og mellem gulv og sand til ($R_{g \rightarrow s} = 1,25 \text{ (m}^2 \cdot \text{K) / W}$). I EMGP3 modellen til beregning af HEX-værdien anvendes som randbetingelser mellem gulv og luft $H_{g \rightarrow l} = \frac{1}{\frac{0,05}{1,7 \cdot 0,3} + \frac{0,13}{0,3}} = 1,88 \text{ W / K}$

og mellem gulv og jord $H_{g \rightarrow j} = \frac{1}{\frac{0,05}{1,7 \cdot 0,3} + \frac{0,05}{0,04 \cdot 0,3}} = 0,23 \text{ W / K}$.

HEX-værdien er bestemt til $HEX = 3,2 \text{ W / (m}^2 \cdot \text{K)}$.

3.3.2.4 Delkonklusioner fra lagermodellen

Materialedata der anvendes i projektet for jord stammer fra [Prosvig, 1986], og er:

Varmedningsevne $\lambda = 1,6 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$

Varmekapacitet $C = 2,3 \text{ MJ / (m}^3 \cdot \text{K)}$

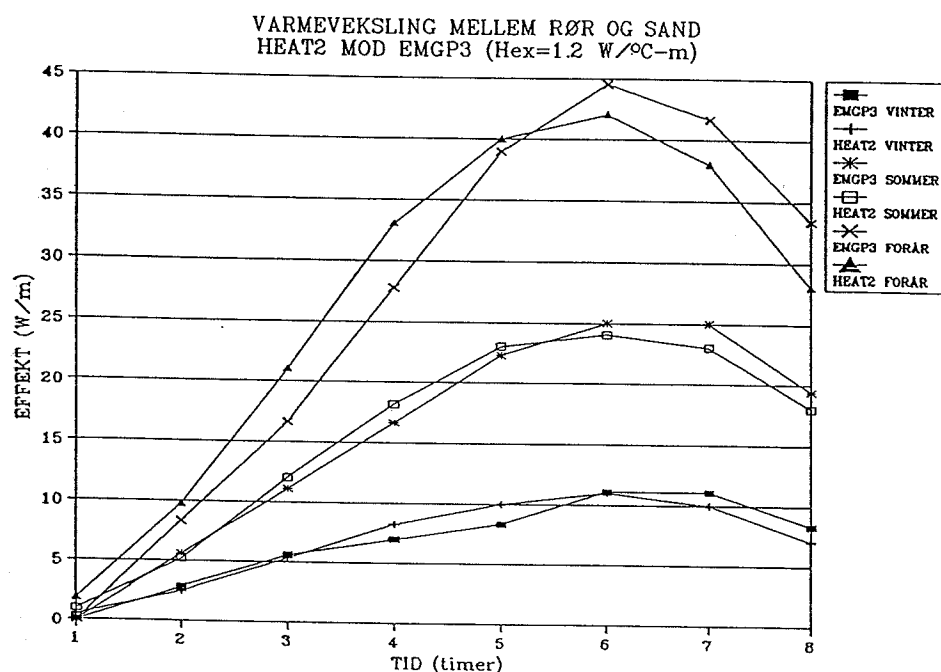
og for beton stammer de fra [Danvak] og er:

Varmedningsevne $\lambda = 1,7 \text{ W / (m} \cdot \text{K)}$

Varmekapacitet $C = 2,3 \text{ MJ / (m}^3 \cdot \text{K)}$



Beregningsresultater for tre perioder, vinter, forår og sommer er gengivet i Figur 3-15.



Figur 3-15 Effekt fra røret til sand for tre simulerede forhold.

Det fremgår af Figur 3-15 at HEX-simuleringer for EMGP3 og HEAT2 giver resultater der er i god overensstemmelse. EMGP3-modellen synes lidt forsinket i effekten der beregnes. Den totale varmeafgivelse for hele perioden er dog ens for de to modeller hvilket netop er grundlaget for HEX-bestemmelse.

3.3.3 Solvarmemodellen

Solfangere fra Aidt Miljø er med absorber af ribberør, uden selektiv belægning og ribbeplader som dæklag. Der er gennemført simuleringer med hhv. 10, 20 og 30 m² solfangerareal. Databladet for Aidt Miljø solfanger findes i Bilag D. Følgende størrelser fra databladet er anvendt:

Maksimaleffektiviteten

$$\eta_0 = 0,68$$

Varmetabskoefficienten

$$k_0 = 5,73 \text{ W / (m}^2 \text{K)}$$

Temperaturafhængig varmetabskoefficient

$$k_1 = 0,012 \text{ W / (m}^2 \text{K}^2)$$

I de kommende beregninger anvendes konstante strålingsforhold, dvs. solindfald uafhængigt af indfaldsvinklen for solfangeren hvilket er en tilnærmelse, der afspejler en middelsituation for solindstrålingen (indstrålingsvinkler). Vurderingen af denne antagelse er givet i Møller og Vieira, afsnit 4.3.1 og 5.4.1 [Møller, 1994a]. Konklusionen er at tilnærmelsen er god nok for en solfanger fra Aidt Miljø, da denne har nogle egenskaber der gør at fejlen bliver acceptabel.

For at undersøge indflydelsen fra en solfanger med højere effektivitet end solfangeren fra Aidt Miljø er der gennemført en serie beregninger med en Arcon



solfanger. Databladet er vist i Bilag D. Beregningerne med EMGP3 viser en merydelse på ca. 70 kWh/m^2 om året.

Pumpe til solfangerkredsløbet er simplificeret med en fast effekt på 80 W og med en varmeveksling til vand på 50% af effekten. Der ses altså bort fra trinreguleringen hvilket medfører en mindre overestimering af pumpeeffekten.

Tømmesystemet, der er del af Aidt Miljø konceptet, er ikke medtaget i modellen.

Varmtvandsbeholderen er valgt som en 290 liter model med 5 lag (0,3 m høj og med en diameter på 0,5 m) hvilket erfaringsmæssigt giver en fornuftig beskrivelse af temperaturlagdelingen. Kassebeholderen modelleres som rørelementer med varmekapacitet. Kassen antages at omslutte de nederste fire tankelementer. Varmeovergangen mellem kasse og indertank er beregnet ud fra erfaringer fra eksperimentelt arbejde [Berg, 1990].

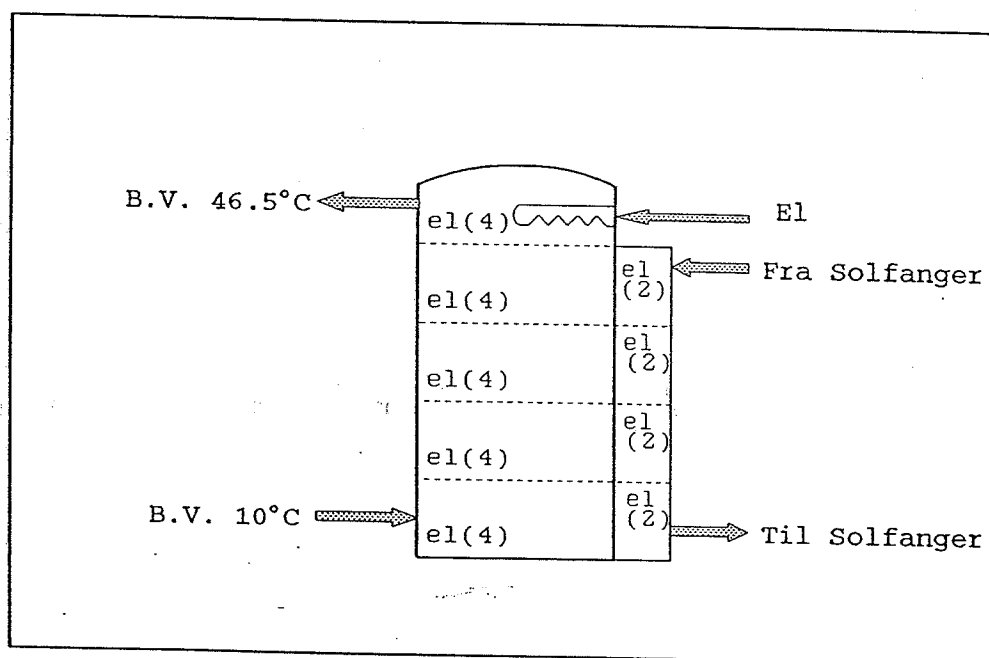
Lag 2: $H = 128 \text{ W/K}$ (næstøverste lag)

Lag 3: $H = 102 \text{ W/K}$

Lag 4: $H = 72 \text{ W/K}$

Lag 5: $H = 46 \text{ W/K}$ (nederste lag)

Tankmodellen fremgår af Figur 3-16.



Figur 3-16 Model for varmtvandsbeholderen i EMGP3.

I det øverste tankelement er der placeret en elpatron for at opretholde krævet afgangstemperatur på ca. 46K . Elpatronen er on/off-reguleret med styringstemperatur 46K med et reguleringsbånd på $\pm 1\text{K}$. Omgivelserne uden for beholderen sættes til 20K , og varmetabet fra beholderen bidrager ikke til rumopvarmning hvilket ikke er tilfældet for det målte anlæg. Den opstillede simple model for varmtvandsbeholderen medtager ikke den ydelsesforbedring, som optræder i low-flow anlæg.



3.3.4 Bygningsmodellen

Bygningsmodellen i EMGP3

Da hele systemmodellen er begrænset af antallet af elementer, er bygningsmodellen i EMGP3-systemet valgt som en ét-punkt-model hvor hele bygningen repræsenteres af en *knude* med en temperatur og en varmekapacitet. Bygningsmodellen fremgår af Figur 3-17. En vurdering af modellens anvendelighed vil blive givet i det følgende. I det foreliggende projekt er alle indervægge, den indre del af tagkonstruktionen og indre masse inkluderet i bygningens knude. Dermed anvendes følgende størrelser i bygningsmodellen

Varmekapacitet på

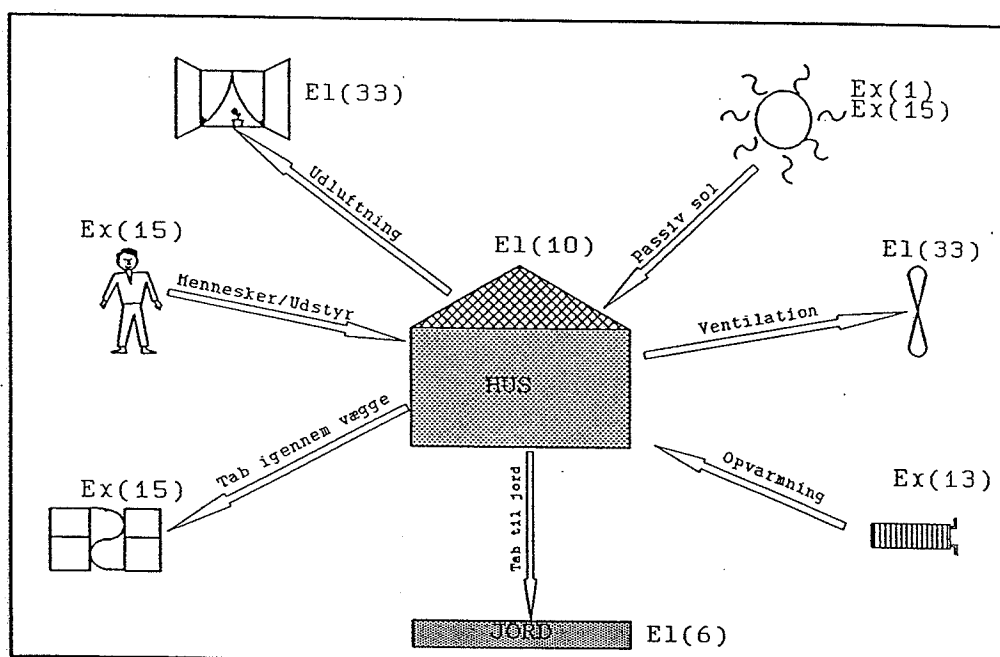
$$Kap_{bygn} = 30 \text{ MJ} / \text{K}$$

Transmissionskoefficient til gulvet (EL-10)

$$U_{bygn \rightarrow g} = 6,2 \text{ W} / (\text{m}^2 \cdot \text{K}).$$

Varmetabskoefficient til omgivelserne (ES-15)

$$H_{bygn} = 60,19 \text{ W} / \text{K}.$$



Figur 3-17 EMGP3 ét-punkt bygningsmodel.

Modellen involverer følgende påvirkninger fra mennesker, udstyr osv. Udtrykkene i parenteser er henvisninger til elementtypen i EMGP3-programmet.

Mennesker og deres brug af **udstyr** tilfører varme til bygningen hvilket er simuleret med et konstant internt energibidrag (ES-15) på 14,62 kWh/døgn, svarende til 5336 kWh om året efter anvisning [Johnsen, 1984].

Radiatorsystemet (ES-13) har i modellen en effekt på 10 kW og er on/off-reguleret med setpunkt 20°C og reguleringsbånd ±1°C¹.

¹ PS: Hvis reguleringsbåndet vælges til 0, så vil simuleringstiden blive betragteligt længere.



Ventilation, infiltration og udluftning (ELType 33) er modelleret som rørelementer uden varmekapacitet. Ventilation og infiltration er modelleret således at der konstant løber 0,5 gange luftvolumen af bygningen igennem. Indsugningstemperaturen er lig med udelufttemperaturen. Indblæsningstemperaturen er lig med bygningens indetemperatur. Der anvendes luft-til-luft varmeveksling. Udluftningen aktiveres ved en rumtemperatur på over 24°C med et konstant luftskefte på 2,5 gange bygningens luftvolumen i timen.

Vinduer/passiv sol (Ex-1) og (Ex-15) udgør 3 m^2 mod nord og 12 m^2 mod syd. EMGP3 er i stand til at regne på direkte og indirekte solindfald gennem vinduer samt inkludere variabelt skydække. For at kunne implementere lavenergivinduer i EMGP3-modellen har det været nødvendigt at definere et fiktivt standardvindue med samme transmissionsegenskaber som lavenergivinduet. Fremgangsmåden har været at bestemme et sæt størrelser for brydningsindeks og ekstinktionskoefficient således at tilnærmelsesvis samme solbidrag er opnået. TSBI3 har været brugt til sammenligning hvor energistrømme, temperaturer og solindstråling er blevet anvendt som kriterier for lighed. De benyttede lavenergivinduer har følgende data og er gengivet i Bilag D:

Glastykkelse	$t = 4\text{ mm}$
Antal glaslag	$n = 2$
Ekstinktionskoefficient	$k = 0,2$
Brydningsindeks	$n = 1,53$
Soltransmittans	$s = 0,45$

Det fiktive standardvindue, som har vist sig at give de bedste resultater, har følgende data:

Glastykkelse	$t = 4\text{ mm}$
Antal glaslag	$n = 1$
Ekstinktionskoefficient	$k = 0,345$
Brydningsindeks	$n = 2,620$

Værdierne er lidt urealistiske, men med en absorptionskoefficient for solindstråling på 0,95 (erfaringsværdi) har kombinationen dog vist sig at give resultater for absorberet solindfald, som er meget lig med resultaterne opnået med TSBI3.

Den meget simple bygningsmodel i EMGP3 verificeres ved at gennemføre simuleringer med TSBI3, et program til detaljeret bygningssimulering.

3.3.4.2 Bygningsmodellen i TSBI3

Bygningsmodellen i TSBI3 er opbygget således at det er i bedst mulig overensstemmelse med EMGP3-modellen. Nærmere informationer om modellen er givet i Bilag B.

For at opnå en passende nøjagtig beskrivelse af varmetabet gennem gulvet er gulvarealet inddelt i en rand- og en midtfeltzone. Randfeltet har kontakt til udeluften, og midtfeltet støder op til jord. Overgangsisolans for de to felter er fra anbefalingen i [DS418]. Følgende størrelser indgår i modellen:

Areal randfelt	36 m^2
Overgangsisolans til udeluft for randfelt	$1,0\text{ m}^2\text{K/W}$



Areal midterfelt

64 m²

Overgangsisolans til udeluft for midterfelt

1,5 m²K/W.

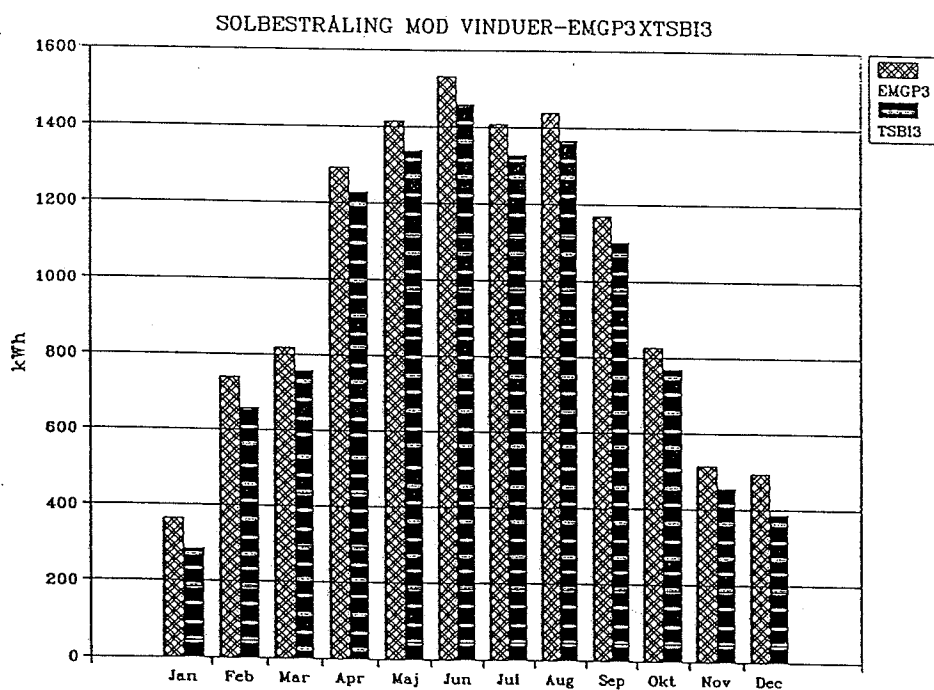
For at opnå en acceptabel beskrivelse af varmetabet gennem midterfeltet bliver jordtemperaturen varieret, som anbefalet i [Johnsen, 1993]. Heraf fås følgende temperatursvingninger for årets måneder:

Jan	Feb	Mar	Apr	Maj	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dec
11,0	10,3	10,0	10,3	11,0	12,0	13,0	13,7	14,0	13,7	13,0	12,0

Belastninger fra personer, udstyr, ventilation, infiltration osv. er indstillet så tæt på EMGP3 modellen som muligt og fremgår af modeludskriften i Bilag B.

3.3.4.3 Sammenligning af EMGP3- og TSBI3-bygningsmodellerne

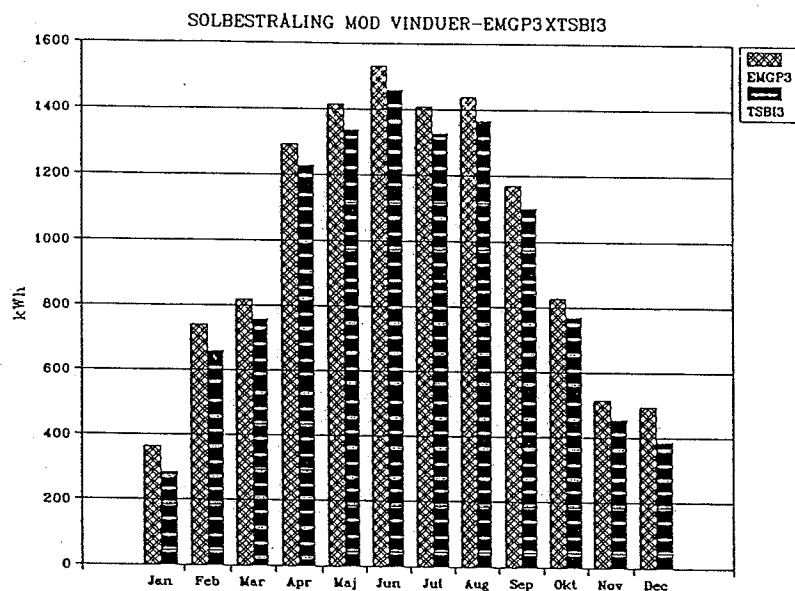
For at kontrollere den simple EMGP3-bygningsmodel, er der lavet beregninger på forskellige størrelser i EMGP3 og TSBI3, baseret på det danske referenceår. Det fremgår af Figur 3-18 at EMGP3-modellens beregnede månedsværdier for solindfaldet på vinduerne er 60-90 kWh større end for beregninger med TSBI3. Som det vil fremgå af figuren for opvarmningsbehovet, betyder dette dog ikke ret meget for det resulterende varmebehov.



Figur 3-18 Månedsværdier for solindstråling mod vinduer.



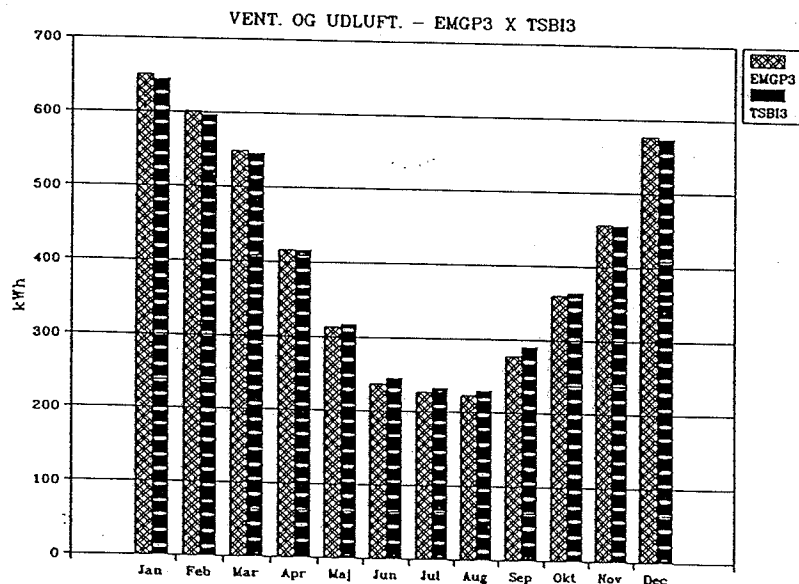
Det større solindfald på vinduerne påvirker den overordnede energibalance for huset i mindre grad da en del bliver tabt gennem refleksion osv. Den resulterende absorberede energi fremgår af Figur 3-19.



Figur 3-19 Månedsværdier for absorberet solindstråling i bygningen.

Månedsværdier for de to modeller afviger højst med 20 kWh hvilket er ubetydeligt da opvarmningsbehov typisk ligger på over 1000 kWh for en enkelt måned. Beregninger viser altså at lavenergimodellen i EMGP3-modellen giver realistiske resultater.

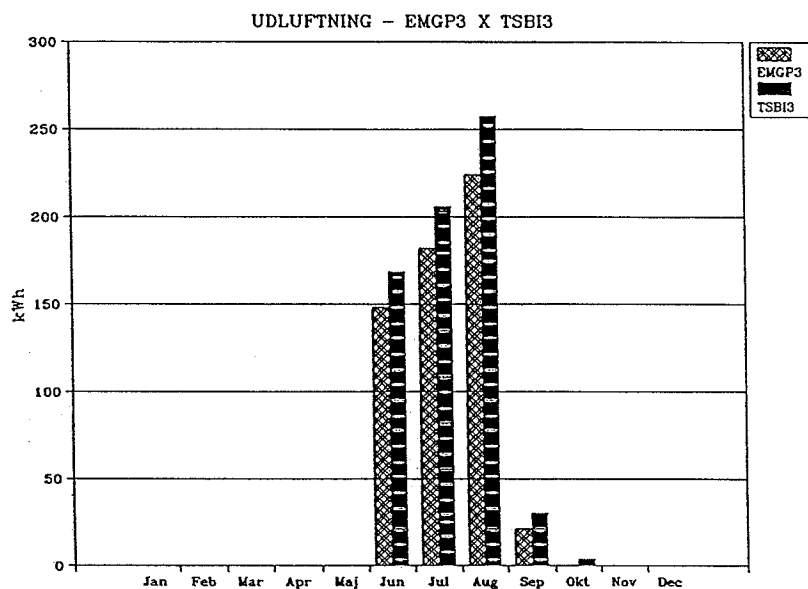
Ventilationstabet fremgår af Figur 3-20. Resultaterne på månedsbasis er i god overensstemmelse for de to modeller hvor EMGP3 viser lidt mere dynamiske tendenser da sommermånederne giver mindre tab og vintermånederne større tab end TSB13-beregninger.



Figur 3-20 Månedsværdier for ventilationstabet.

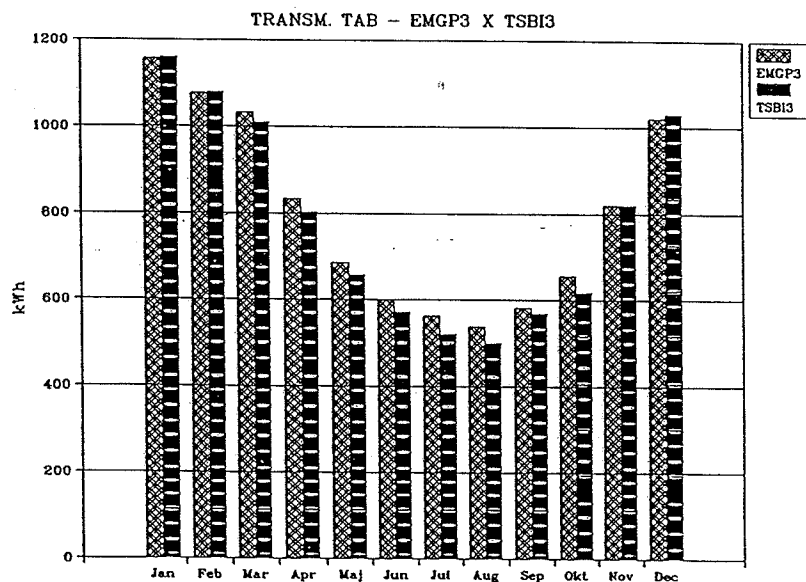


Udluftningen er kun aktiv om sommeren hvor der er problemer med for høje temperaturer i bygningen. Dette fremgår af Figur 3-21. EMGP3 ventilerer en del mindre om sommeren hvilket vil give udslag i indetemperaturen, men mindre i varmebehovet for bygningen da dette er lille i disse perioder.



Figur 3-21 Månedsværdier for udluftningen.

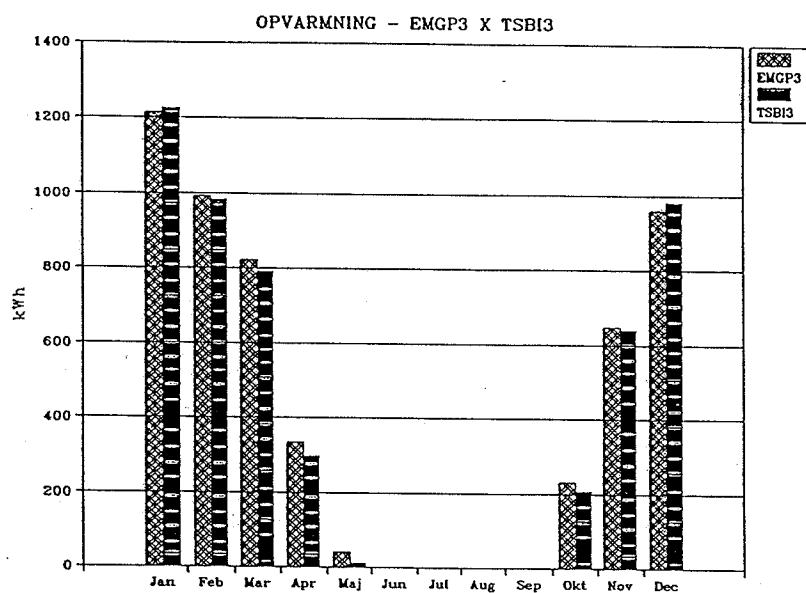
Transmissionstabet fremgår af Figur 3-22. Der er rimelig overensstemmelse mellem modellerne. I de fleste måneder beregnes transmissionstabet større for EMGP3 modellen hvilket delvis modsvares af ventilationstabet for modellen.



Figur 3-22 Månedsværdier for transmissionstabet gennem vægge, loft og vinduer.

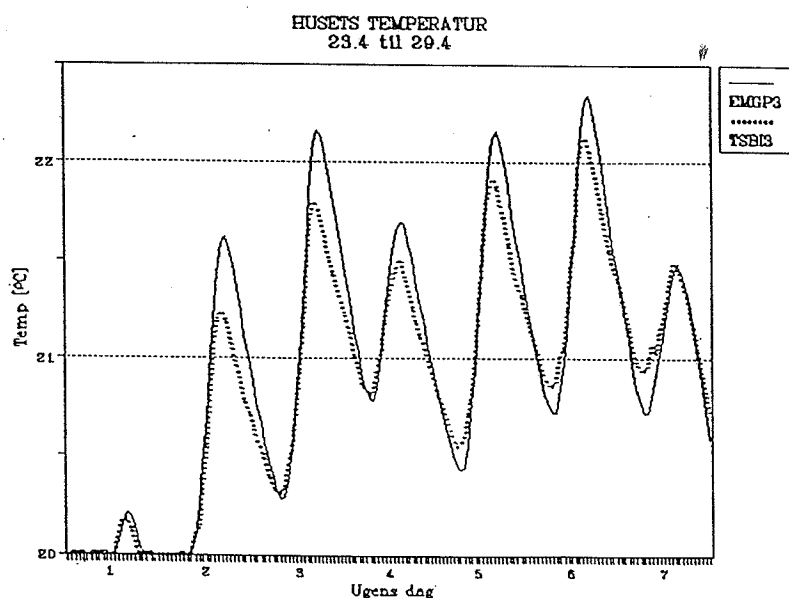


Det resulterende rumopvarmningsbehov er en nøglestørrelse hvilket er afgørende for sandlagerets effektivitet. Af Figur 3-23 fremgår det at EMGP3 beregner sig til et lidt større varmebehov for bygningen end TSBI3, dog er forskellen ikke afgørende i de fleste måneder. I april, maj og oktober er forskellen dog ret stor, og dermed vil EMGP3-modellen medføre en større aftapning af varmen fra sandlageret.

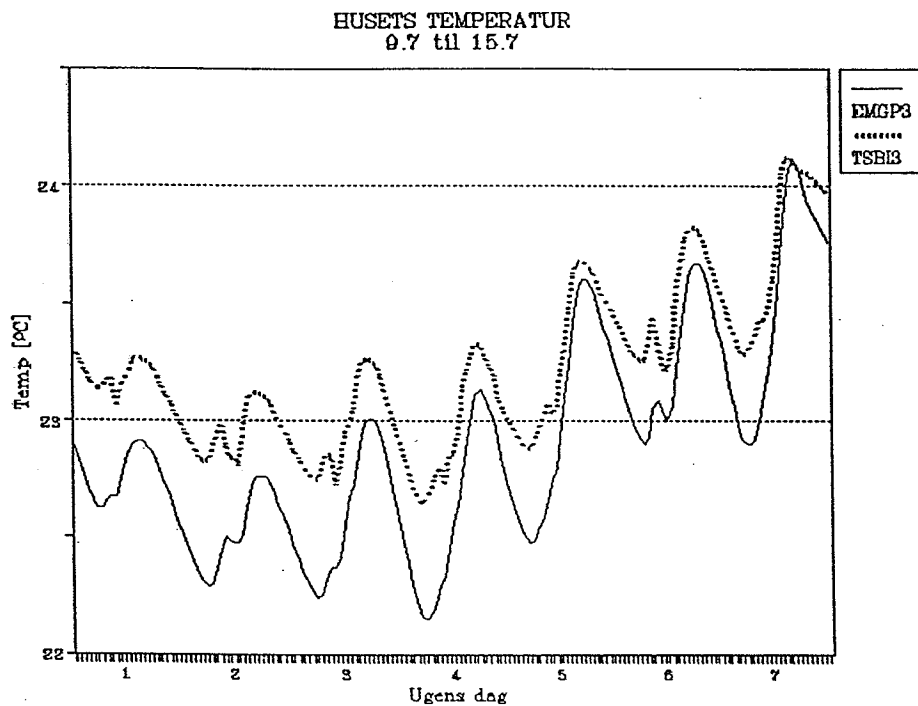


Figur 3-23 Månedsværdier for opvarmningsbehov.

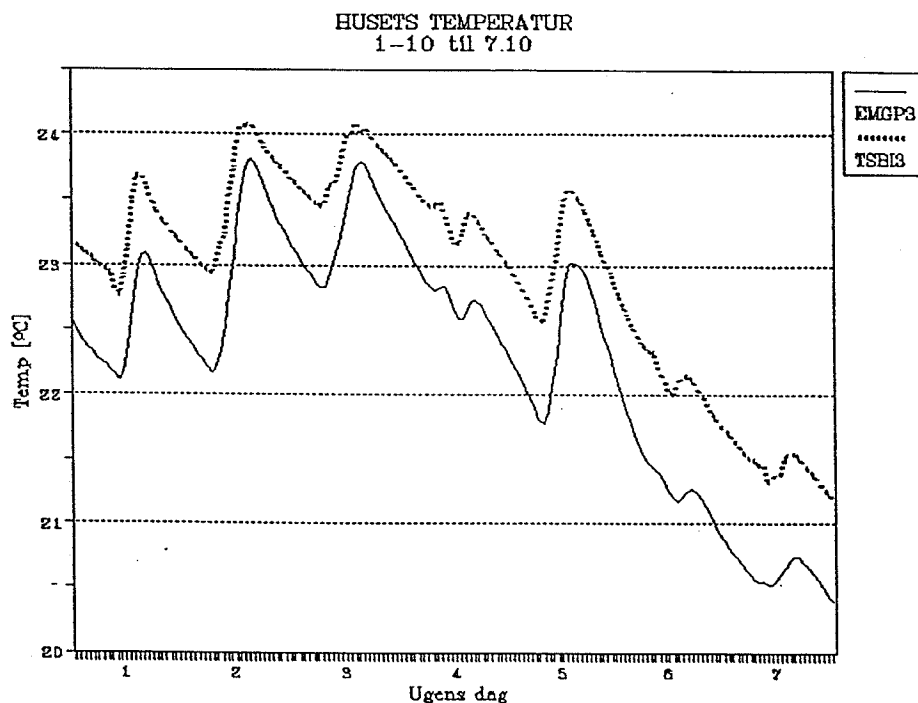
Rumtemperaturen er afgørende for simuleringen da varmetransporten gennem sandlageret direkte afhænger af denne temperatur. Derfor sammenlignes i de kommende figurer indetemperaturen for de to bygningsmodeller for at undersøge om deres dynamiske virkemåde er sammenlignelig. Der er valgt tre perioder, et om foråret, et om sommeren og et om efteråret.



Figur 3-24 Rumtemperatur om vinteren (uge 7).



Figur 3-25 Rumtemperatur om sommeren (uge 28).



Figur 3-26 Rumtemperatur om efteråret (uge 40).

Det fremgår af de tre figurer af indetemperaturen for bygningsmodellerne at EMGP3 er mere sensibel over for solindfald da temperaturen svinger med større amplitude. Endvidere viser figurerne at indetemperaturen i EMGP3 generelt ligger lavere end i TSB13-beregningerne. Forskellen er dog oftest under 1 grad hvilket er acceptabelt.



Der vil være en minimal tendens til at EMGP3-modellen vil undervurdere sandlagerets indflydelse på varmebehovet i huset, og der ses derfor bort fra dette.

3.3.4.4 Delkonklusioner fra TSBI3-simuleringerne

Sammenligningen mellem TSBI3-bygningsmodel og EMGP3-bygningsmodel har vist at den simple EMGP3-bygningsmodel giver en udmærket simulering af energistrømme og dynamik. Den valgte varmekapacitet til bygningselementet i EMGP3 giver et passende kompromis mellem elementets evne til at respondere på solindfald og til samtidig at have en vis varmekapacitet med deraf følgende evne til energiakkumulering. Der observeres forskelle i energibehovet om sommeren. Dette forhold er dog uden større betydning da der i den samme periode ikke er noget varmebehov i bygningen. Temperaturerne ligger typisk med en forskel på under 1 grad hvilket viser god dynamisk overensstemmelse mellem modellerne.

Det kan altså konkluderes at EMGP3-bygningsmodellen medfører realistiske resultater for opførelsen af bygningen og gulvvarmen.



4. Målinger

For at undersøge hvor effektivt et solvarmeanlæg med bygningsintegreret sandlager vil være i virkeligheden og for at eftervise at simuleringer frembringer realistiske værdier, gennemførtes målinger på et anlæg efter konceptet fra AIDT MILJØ i Ulsted, Jylland. Måleudstyret er opstillet i slutningen af marts 1996. Gennem hele måleperioden har der været problemer af den ene eller den anden art hvilket kan ses af "hullerne" i datastrømmen. På trods heraf har målingerne eftervist formålet med projektet. Der anvendes i rapporten en del "bløde formuleringer" som f.eks. "meget varm sommer". Udtrykkene anvendes til at give "mindre videnskabelige" vurdering af målinger. Dette synes forsvarligt da konklusionerne på trods heraf er meget tydelige.

4.1 Måleopstilling

Formålet med måleopstillingen er at finde effektiviteten af systemet i sin helhed og af sandlageret specielt. Der opsamles data ved manuelle aflæsninger og ved automatisk dataopsamling. Måleopstillingens elforbrug er meget beskedent, og derfor ses bort fra denne indflydelse. For entydigt at kunne identificere målingerne tildeles disse et unikt *Referencenummer-kort Ref.nr.* som fremgår af Tabel 4-1 og Tabel 4-2. De enkelte målinger gennemgås i det følgende.

4.1.1 Løbende automatisk opsamlede målinger

De enkelte måleværdier er opsamlet i en Grant datalogger, Type 1253. Målingerne aftastes hvert 30. sekund, og middelværdierne der er beregnet over en periode på 10 minutter, lagres i hukommelsen. Disse middelværdier danner grundlag for denne undersøgelse.

Der er fire grundlæggende muligheder for opsamling af data for den givne datalogger: Temperaturer, spændingsforskelle, pulser og tilstande eller tæller. Der er pr. datalogger 8 temperatur-, 8 spændingsforskels-, 2 puls- og 1 tilstandskanal. Disse er tildelt som det fremgår af Tabel 4-1. Ikke alle kanaler er i brug. Bemærk: Der er lagt temperaturfølere i to varmeslanger som i det følgende kaldes A og B.

Ref.nr.	Beskrivelse
1	Udetemperatur, skærmet mod direkte vind, mod nord
2	Indetemperatur, stue, på ca. 2m højde
3	Temperatur 1 sandlager frem
4	Temperatur 2 sandlager tilbage
5	Temperatur gulvvarme frem
6	Temperatur gulvvarme tilbage
7	Temperatur solfanger frem
8	Temperatur solfanger tilbage
9	Solintensitet total som solfangerhældning, på taget, $I = S / 12,1 \cdot 10^{-3} [W/m^2]$
17	Energimåler i lager, opladning $Q = 278 \cdot 10^{-6} \cdot P [kWh]$
18	Energimåler i lager, afladning $Q = 278 \cdot 10^{-6} \cdot P [kWh]$
19	Tilstand Pumpe1, Pumpe2, 3-vejsventil, Elpatron
20	Temperatur Lager, Slange A, 6 m inde
21	Temperatur Lager, Slange A, 4 m inde
22	Temperatur Lager, Slange A, 2 m inde



23	Temperatur Lager, Slange B, 5,5 m inde
24	Temperatur Lager, Slange B, 3,5 m inde
25	Temperatur Lager, Slange B, 1,5 m inde
36	Energimåler gulvvarme $Q = 278 \cdot 10^{-6} \cdot P$ [kWh]
37	Energimåler solfanger $Q = 278 \cdot 10^{-6} \cdot P$ [kWh]

Tabel 4-1 Løbende målinger.

Bemærk: Kanal 9: S er den målte spændingsforskel som omregnes til strålingsintensiteten, I . Kanal 17, 18, 36 og 37: P er den målte pulsværdi som omregnes til effekt Q .

4.1.2 Manuelt aflæste målinger

De manuelle aflæsninger bliver gennemført af beboerne selv og skrives i en logbog. Følgende målinger indsamles manuelt.

Ref.nr.	Måle-enhed	Måling	Aflæsnings-interval (ønskeligt)	Formål med måling
39	kWh	akkumuleret energiforbrug totalt i huset fra husets energimåler	ugentligt	Energiforbrug i alt og til beregning af passivt tilskud til huset
40	h kWh	timetæller for brug af varmeblæser	ugentligt, timetæller	Energiforbrug til supplerende opvarmning med elblæser

Tabel 4-2 Manuelle målinger i Ulsted-huset, Hals.

Herudover aflæses parallelt de akkumulerede værdier fra energimålerne, Ref.nr. 17, 18, 36 og 37. Hermed kan dataopsamlingen kontrolleres.

4.2 Resultater

I det følgende bruges udtrykkene "aktiv" og "passiv" udnyttelse af varme fra lageret. Udtrykket "aktiv" bruges her til et varmelager hvor varmen aktivt trækkes igennem varmeslangerne op til bygningsopvarmning. Ved et "passivt" system vil varmen på grund af temperaturdifferencer mellem gulvvarme og sandlager stige op gennem gulvkonstruktionen.

Målingerne i hele måleperioden har været forstyrret af forskellige "black-outs" af målesystemet. I begyndelsen af maj gik en af dataloggerne i sort uden kendt årsag. I midten af maj løb der vand gennem tagkonstruktionen ind i den anden datalogger. Den gik i stykker og måtte udskiftes, og alle data gik tabt. I løbet af sommeren var der igen problemer med en af dataloggerne hvorefter måleopstillingen blev forenklet til én datalogger. Derefter fungerede målingerne rimeligt stabilt.

Bemærk: Klimadata for måleperioden vedlægges som Bilag F.

4.2.1 Kontrol af styring, overvågning og anlægsdrift

På trods af styresystemets enkle opbygning er det ikke muligt for den almindelige bruger at overskue anlægget og styringen; selv med det måleudstyr der er anvendt i måleperioden, har det været svært. Som indledende undersøgelse og testning af



måleudstyret forsøgtes styresystemet kontrolleret. Målingerne leder til følgende konklusioner vedrørende styringen.

4.2.1.1 Ventiler

Der mangler en ventil ifølge anlægsdiagram i "kortslutningen" af gulvvarmekredsen. Det har ikke vist sig som et problem i undersøgelsen.

4.2.1.2 Gulvvarmekredsen - RAV-ventilerne og pumpen

Pumpen kører hele tiden. Der er manuel styring af de tre trin pumpen kan køres med. Det viste sig at pumpen ikke blev droslet ned om sommeren hvilket skyldes et valg fra brugerens side.

4.2.1.3 Solfangerkredsen - pumpen

Måleudstyret medførte øget modstand i solfangerkredsen. Derfor skulle pumpen udskiftes til et større model. Det medførte naturligvis lidt forøget elektricitetsforbrug hvilket dog ikke påvirker målingerne nævneværdigt.

4.2.1.4 3-vejsventil - styring af varmekilden

Efter nogle problemer ved indkøringen virkede trevejsventilen efter hensigten. Temperaturføleren T4 der er placeret oven på manifolden i sandlagerkredsen, synes fejlplaceret. T4 angiver en fiktiv temperatur der formentlig ligger nær rumtemperaturen, indtil sandlagerkredsen gennemstrømmes med varm væske. Derefter vil den gengive sandlagertemperaturen.

Der foreslås at temperaturføleren placeres i sandlageret på et sted hvor temperaturen kan formodes at være en anelse under maksimum for lageret. Dermed vil trevejsventilen styres efter sandlagerets temperatur hvilket vil synes mere oplagt. Ved at placere føleren i et område med mindre temperatur end maksimum kan det forventes at der trækkes varme ud af sandlageret i længere perioder end hvis T4 var placeret ved den højeste temperatur. Dermed undgås for megen On/Off skift hvilket er tilfældet med den nuværende placering.

4.2.1.5 Elpatronen

Elpatronen fungerer efter hensigten. Den er meget lidt i brug hvilket viser at anlægget fungerer effektivt.

Man kunne overveje, om elpatronen skulle være koblet til en visuel advarselsslampe der viser at der snart er behov for opvarmning. Dermed kan brugere i tide tænde for brændeovne eller anden supplerende varme og dermed spare på belastende elektrisk energi.

4.2.1.6 Generelt

Generelt kan det konstateres at der på trods af den simple opbygning af anlægget stadig er mulighed for fejlstyring, f.eks. trinregulering af solkredspumpen. Det er også et stort problem at brugerne ikke har mulighed for at se, om deres anlæg yder optimalt, kører efter ønske osv. Der er behov for et overvågningsudstyr der angiver de vigtigste komponenters drift og de mest relevante temperaturer.



4.3 Konklusioner baseret på målingerne

4.3.1 Lagertemperaturer

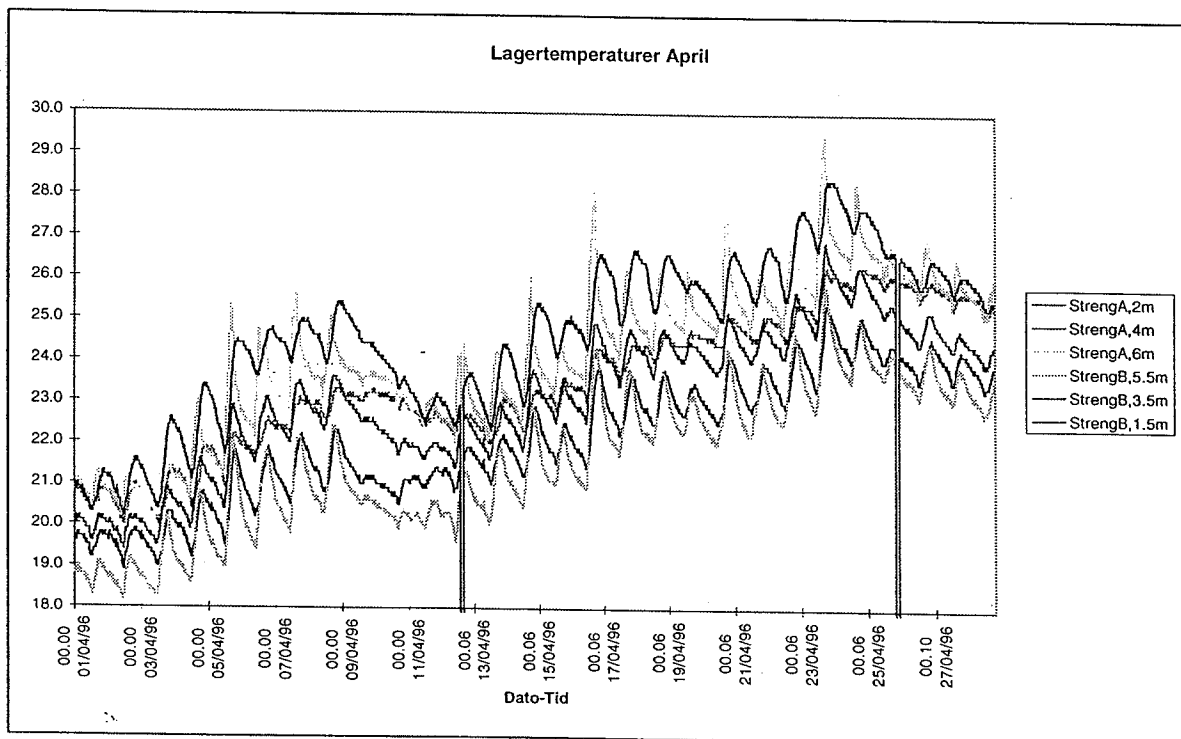
Lagertemperaturen afhænger naturligvis af lagerets volumen. Store volumener kræver større varmemængder til at hæve temperaturen end små lagre. Lagertemperaturen giver en indikation af effektiviteten af et lager. Er denne for lav, er der kun mulighed for passiv bygningsopvarmning. Er den derimod høj, kan der overføres varme aktivt til bygningen. I det følgende gengives lagertemperaturerne som de er målt i Ulsted-anlægget, samt relevante analyser og kommentarer.

Temperaturmålingerne i sandlageret er mere eller mindre tilfældigt placeret da man ikke kender til positionerne af de enkelte rørføringer. Termotrådene er lagt ind i reserveledningerne uden vand. Målingerne er fordelt i en afstand af 2 meter mellem målepunkterne. Der er lagt to strenge med hver tre punkter i to forskellige reserve-rør der ikke bruges for tiden. De derved opsamlede lagertemperaturer giver således et indtryk af lageret og dets virkemåde.

Om foråret er et sandlager typisk koldt da varmen er trukket ud efterår og vinter. Der kan i den forestående periode forventes en opvarmning af lageret og en vis varmeafgivelse til bygningen efter at temperaturen i lageret er steget.

Foråret 1996 har været usædvanligt koldt hvorved målingerne ikke er helt repræsentative. Anlægget var ikke helt indkørt, lageret har en tilfældig starttemperatur og den omgivende jord har ikke været påvirket af lagertemperaturen endnu. Dette forventes først om to til tre år.

Den første figur over temperaturerne i lageret viser hvordan temperaturen svinger i april måned, og hvor forskellige temperaturerne er i lageret.



Figur 4-1 Lagertemperaturer efter tilførelse af solvarme om foråret



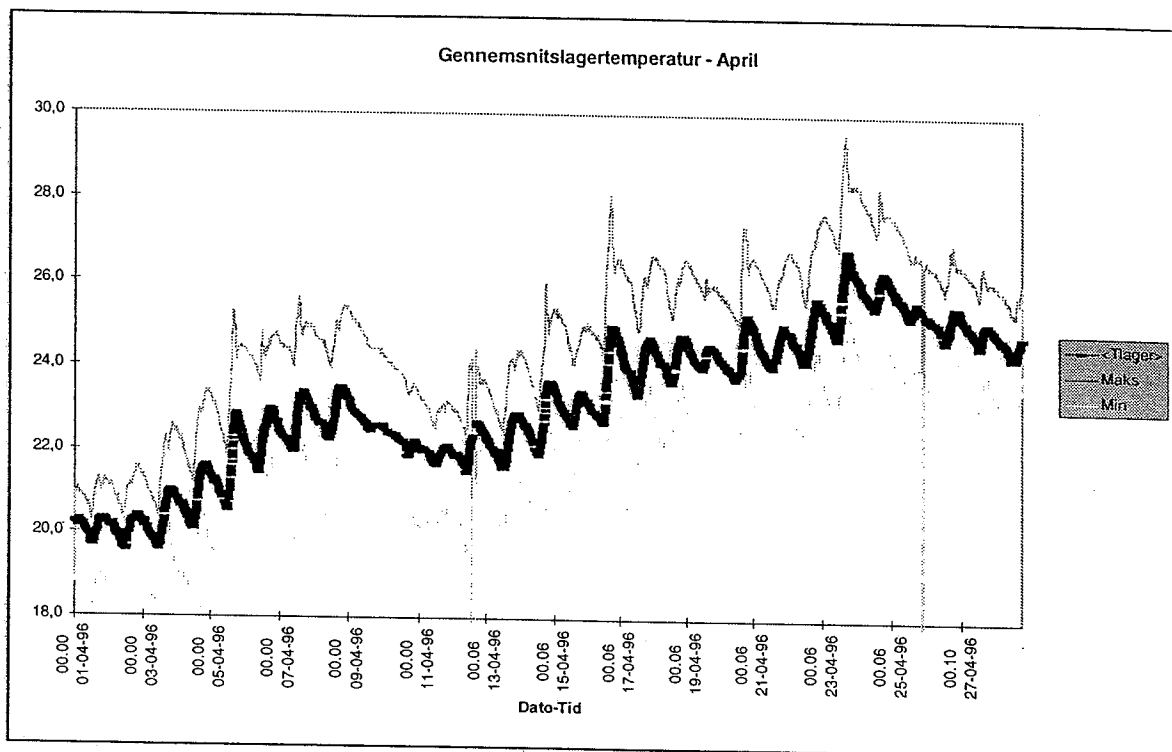
Det er ikke meningen at man skal undersøge Figur 4-1 meget præcist. Figuren viser fordelingen af lagertemperaturen i de seks målepunkter. Herudfra kan følgende observationer aflæses¹:

- systemet tilfører varme til lageret hvilket viser at systemet fungerer
- den gennemsnitlige lagertemperaturer stiger i hele april som forventet efter vinteren
- den gennemsnitlige lagertemperatur daler i perioder uden tilførsel af solvarme. Dette skyldes såvel fordeling af varmen i lageret som tab til bygningen og omgivelserne
- lagertemperaturen stiger hurtigt men falder langsomt
- hastigheden hvormed varmen fordeler sig i lageret, er meget lille. Det ville tage flere dage eller uger at opnå ensartede lagertemperaturer hvilket da heller ikke er observeret i hele måleperioden
- de målte temperaturer har tendens til at følges ad to og to. Dette forklares ved at de to sammenhængende temperaturer ligger på samme afstand fra indløbet og dermed på et sted hvor der forventes tilført lige meget varme
- de to strenge har ret forskellige temperaturer ved første målepunkt hvilket peger hen imod at der ikke er en helt lige fordeling af strømmingen fra solen i de forskellige strenge. Dette kan forklares med de forskellige modstande, en varmeslange vil have hvis den har mange krumninger (meget modstand) eller hvis den ligger med lige stykker (lille modstand)
- temperaturerne i målepunkterne tæt ved indløbet er højere end inde i lageret. Dette forklarer at varmen afgives i starten af indløbet således at der i den sidste ende af varmeledningerne ikke er mere varme tilbage til afgivelse.

Måleresultaterne viser at lageret modtager varme fra solfangerne, og at denne varme hovedsageligt bliver overført i den første del af sandlageret. Derved bliver temperaturen i lageret uensartet: varmest ved indløbet og koldere lidt længere inde i lageret. Temperaturerne svinger i hele lageret med varmetilførslen. Temperaturspredningen er omkring 5 grader i de første uger og øges med opvarmningen.

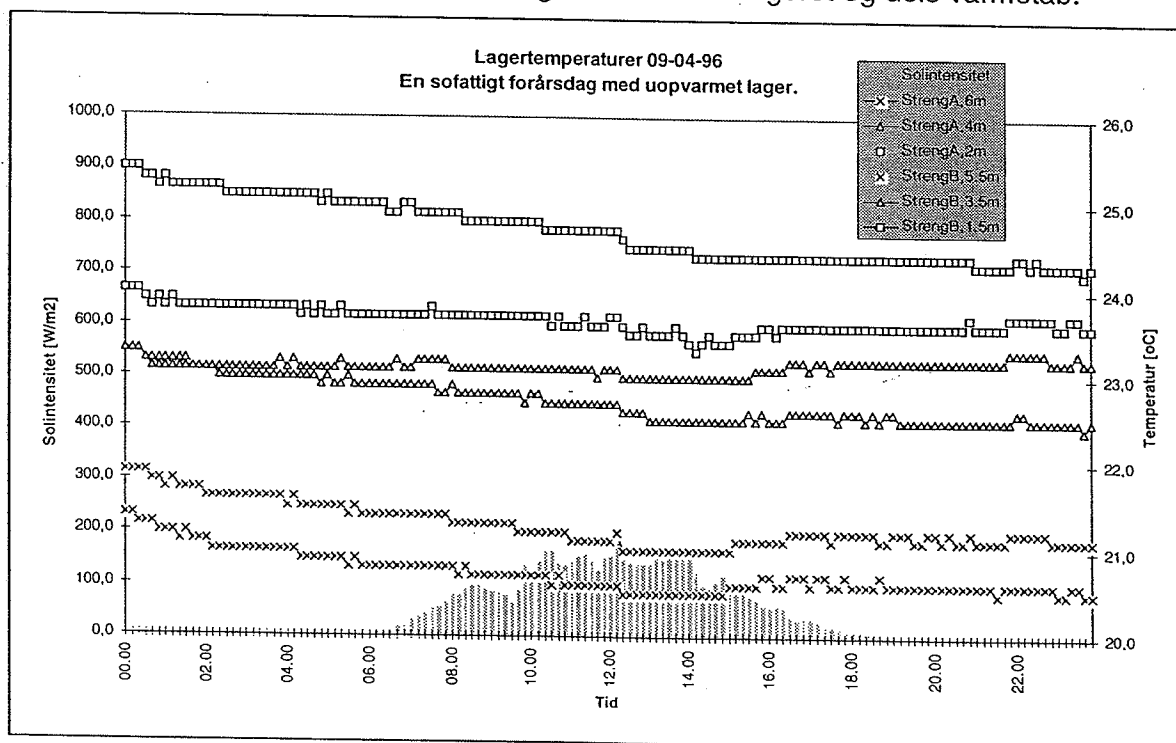
Da vi ikke kender positionerne af temperaturmålepunkterne, er det nok at se på disse målinger som statistiske størrelser. Derfor ses herefter kun på maksimum- og minimumværdier samt gennemsnitstemperaturerne. For de samme målinger som i Figur 4-1 ser de statistiske størrelser således ud.

¹ De lodrette kurver viser intervallerne, hvorved dataloggerne er blevet tømt.



Figur 4-2 Gennemsnits-, maksimum- og minimumtemperaturer i lageret - april.

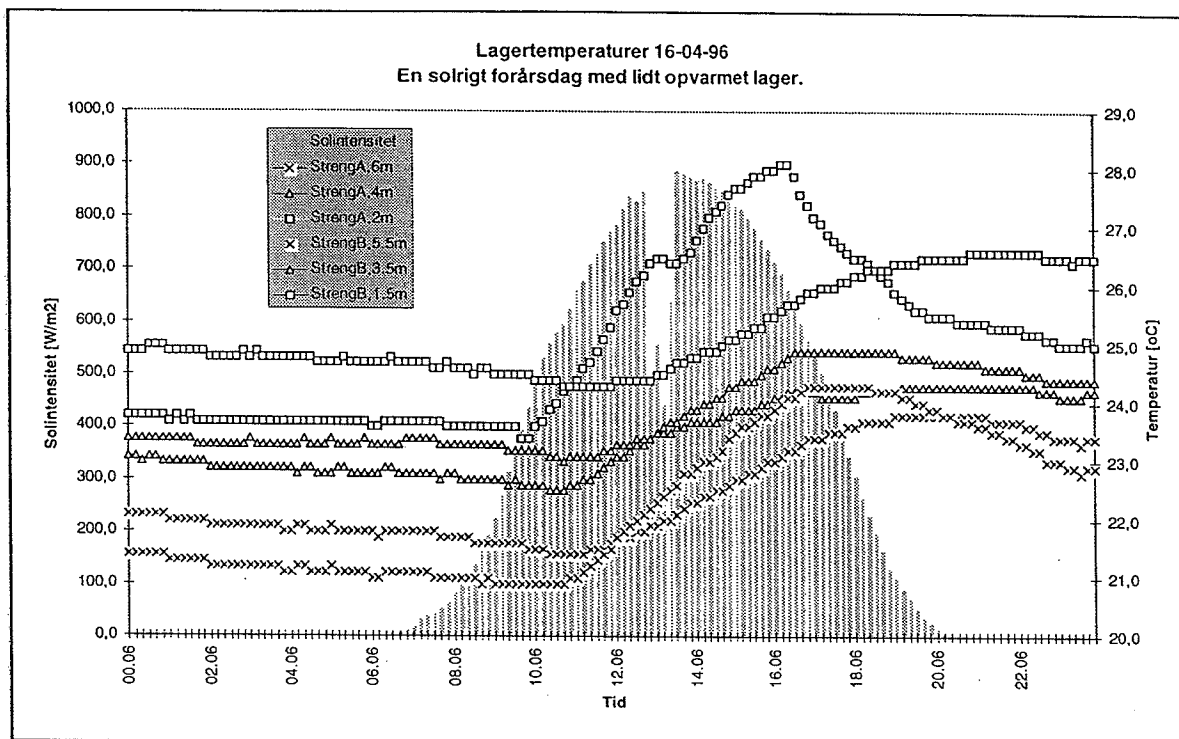
Gennemsnitstemperaturen i lageret (se Figur 4-2) stiger støt med omkring en grad om dagen fra den 3. april til den 9. april hvor solen skinner hver dag med en styrke på ca. 100 W/m^2 . Den 4. april falder gennemsnitstemperaturen næsten 2 grader, dvs. hurtigere end opvarmningen. Det skyldes dels fordelingen af varmen i lageret og dels varmetab.



Figur 4-3 Lagertemperaturer på en solfattigt forårsdag.



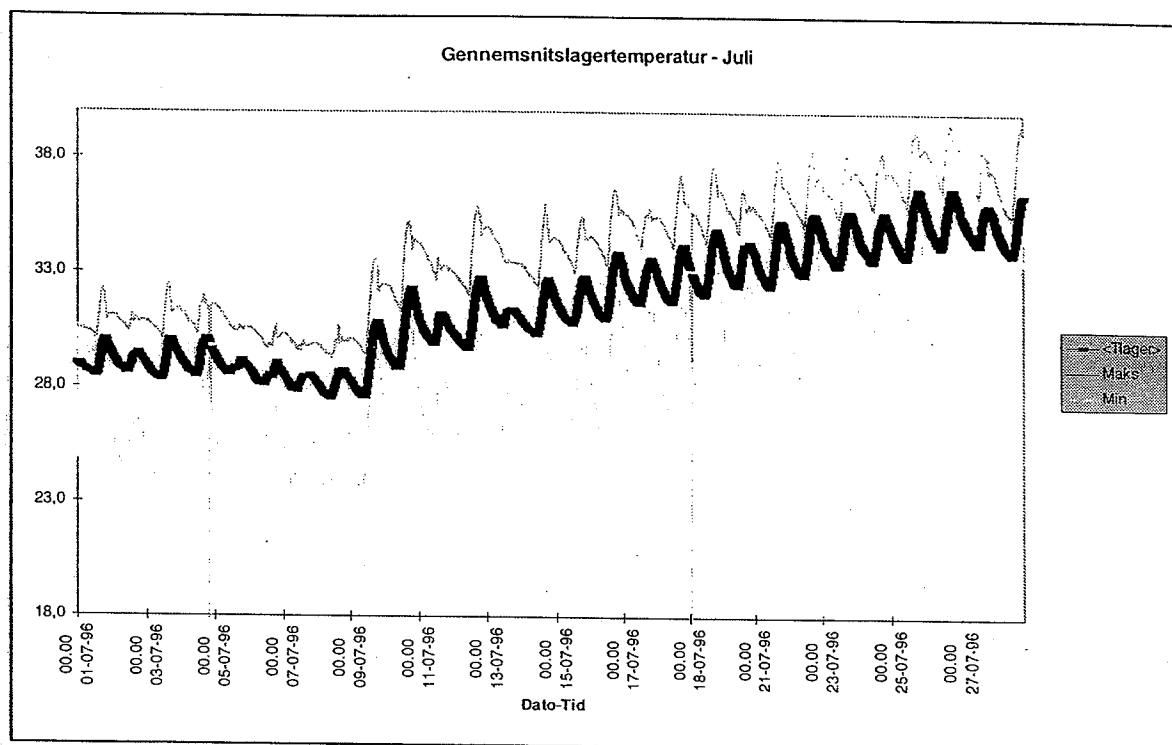
Den gennemsnitlige lagertemperatur falder mellem en halv og en hel grad på en solfattig forårsdag. Ved indløbet til lageret kan temperaturen dog falde op til halvdanden grader.



Figur 4-4 Lagertemperatur på en solrig forårsdag.

Temperaturen i lageret stiger lokalt omkring indløbet seks grader. Længere inde i lageret stiger temperaturen dog kun med to til tre grader. Det fremgår af forskellen ved indløbstemperaturerne at strømninger gennem nærliggende varmeslanger må være ret forskellige hvilket anses som en dårlig egenskab ved systemet. Årsagen hertil kan findes i anlægsudførelsen. Alle varmeslanger forsynes af en manifold uden trykregulering. Varmeslanger med stor modstand får mindre flow igennem end rør med mindre modstand. Dette kan evt. udnyttes til styring af varmefordelingen i zoner.

Sommeren 1996 kom sent men var så til gengæld varm indtil september. Lageret er blevet opvarmet som forventet, og derfor anses målingerne for at være repræsentative for en sommerperiode.

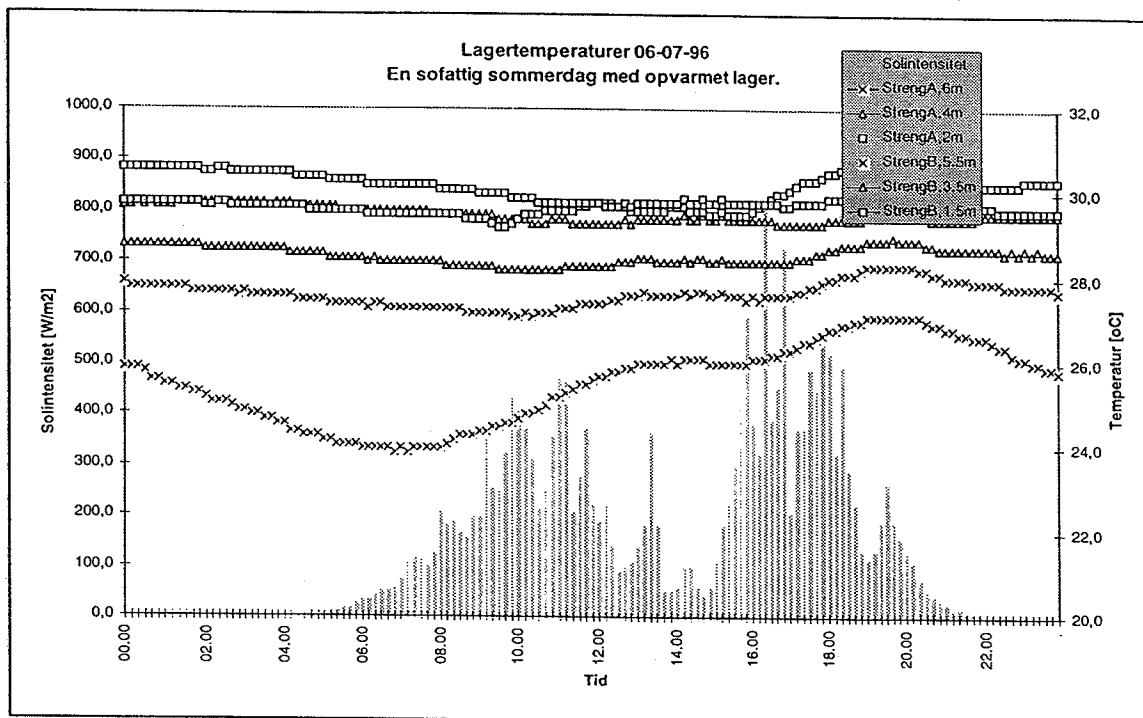


Figur 4-5 Gennemsnits-, maksimum- og minimumtemperaturer i lageret - juli.

Gennemsnitstemperaturen i lageret (se Figur 4-5) stiger støt med omkring en grad om dagen fra den 9. juli til den 22. juli hvor solen skinner hver dag med ca. 500 til 900 W/m^2 .

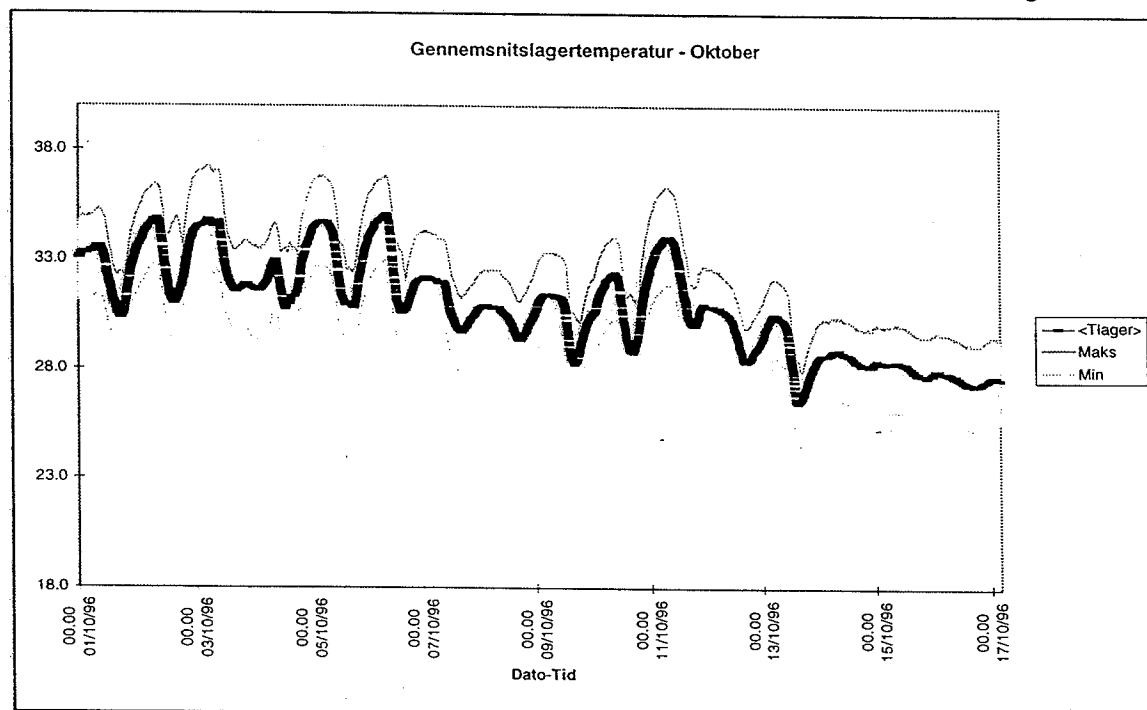
Lagertemperaturen om sommeren viser det samme overordnede billede som om foråret. Til forskel fra foråret observeres der at:

- lagertemperaturen nu stiger langsomt. Dette skyldes at temperaturen allerede er høj, og dermed afgives der mindre varme
- lagertemperaturen falder langsommere end i foråret
- varmen fordeles meget langsomt i lageret, og en ensartet temperaturfordeling opnås heller ikke om sommeren



Figur 4-6 Lagertemperaturer den 6. juli 1996.

På en dag som den 6. juli (se Figur 4-6) hvor der kun er et lille solindfald, holder temperaturen i lageret sig stabil og temperaturforskellen over lageret mindskes fra 5 til 4 grader. Herfra kan man se at temperaturen i lageret reduceres med under 1 grad om dagen. Grafer for udvalgte dage samt august- og septemberdata findes i Bilag F.



Figur 4-7 Gennemsnits- maksimum- og minimumtemperaturer i lageret - oktober.



I slutningen af sommeren svinger lagertemperaturerne meget stærkt. September og begyndelsen af oktober viser disse svingninger der er på fem grader om dagen. Svingningerne viser hvor meget solenergi der tilføres og fordeles i lageret i døgnet. Hvis denne energi aktivt kunne overføres til gulvvarmen om natten før den fordeles i lageret, ville effektiviteten for sandlageret være en del højere end for det nuværende anlæg. Dette gælder dog kun når temperaturen er nogle grader over gulvtemperaturen.

Efter den 13. oktober stabiliserer temperaturen sig hvorefter den stille og roligt falder med en halv grad om dagen. Solindfaldet på disse dage er tæt på nul. Herved ses hvor hurtigt et lager taber varmen til omgivelserne når der ikke tilføres varme.

Som efterårsperiode anses slutningen af september og oktober hvorefter opsamling af data ophører. Temperaturniveauet for lageret er allerede for lavt til at kunne overføre aktiv varme til bygningen. Derfor er det afgørende hvordan lagertemperaturen opfører sig. Herudfra kan den passive ydelse vurderes.

Delkonklusioner ud fra lagertemperaturerne:

Foråret:

Uens temperatur i lageret - langsom varmeudjævning. Bygningens varmeforbrug nedsættes på grund af den højere temperatur i sandlageret og dermed den passive effekt af sandlageret. Lageret har for stor varmekapacitet til at være aktivt.

Sommer:

I hele sommerperioden stiger lagertemperaturen støt. Den højeste temperatur opnås i starten af september og er på omkring 42 grader i gennemsnit (lokalt på 47 grader). Der skal temperaturer over 33 grader til for at levere varme til gulvet der med varmeenergi kører på 28 grader. Der er dog ikke noget behov for opvarmning om sommeren. Fra den 11. september daler lagertemperaturen med lidt over en grad om dagen til ca. 30 grader i gennemsnit hvorved temperaturniveauet igen er for lavt til aktivt at tilføre varme til gulvvarmesystemet.

Efterår:

Efterårsperioden viser store svingninger i lagertemperaturen. Disse kan interpreteres som det potentiale der kan tilføres huset aktivt.

Når lageret er opvarmet over det hele, falder temperaturen mindre end en halv grad på en dag uden solopvarmning.

I efteråret og om vinteren falder temperaturen. Da målingerne ikke er gennemført hele vinteren igennem, kan den laveste temperatur ikke bestemmes nøjagtigt. Målingerne og erfaringerne fra sidste vinter viser at temperaturen vil holde sig omkring de 15 grader i hele vinterhalvåret. Herudfra kan den passive effekt af sandlageret bestemmes. Målingerne viser at lageret i begyndelsen af november stadig er omkring de 28 grader - faldende med en halv grad om dagen uden sol.

Afhængigt af styringsforholdene kræves der en opvarmning af hele sandlageret til en temperatur der ligger fem grader over gulvvarmeanlæggets driftstemperatur, før lagervarmen kan udnyttes aktivt. Målingerne viser at lagertemperaturen i hele måleperioden har været for lav til aktiv udnyttelse af lageret. Når temperaturen endelig er høj nok, er der ikke behov for opvarmning i huset. Om efteråret fordeles og tabes varmen for hurtigt i lageret, og dermed kan der heller ikke i denne periode trækkes nogen varme ud af lageret. Indtil slutningen af oktober blev der aktivt ydet i alt ca. 6 kWh fra lageret til gulvvarmen, herfra 5 kWh i sommerperioden hvor varmen er brugt i badeværelserne for at holde disse tørre efter brug. Dette tyder på at anlægget ville være i stand til aktivt at



tilbageføre varme fra sandlageret, men at lageret ikke når op på tilstrækkeligt høje temperaturer.

4.4 Manuelle aflæsninger - Energiforbruget for bygning og solvarmeanlæg

Brugerne af Ulsted-huset har i hele måleperioden manuelt aflæst energimålere og målere for bygningens elforbrug. Aflæsninger fremgår af Bilag F. Da aflæsningsdage ikke altid var i overensstemmelse med månedsstart og slut, er de aflæste værdier omregnet til korrigerede månedsværdier der passer med antal dage i måneden. Forbruget fra pumper og elpatron i varmtvandstanken er beregnet ud fra styringen ved at optælle antal perioder hvor f.eks. elpatronen bruger strøm og omregning til forbrug. Dermed findes følgende energistrømme for måleperioden.

[kWh]	Lager opl.	Lager afl.	Gulv-varme	Solvarme	Elpatron (vand)	El til Gulv-pumpe	El til Sol-pumpe	El-total
April	592	0	394	988	61	41	13	470
Maj	347	0	335	712	44	33	14	508
Juni	890	0	288	1257	* 17	* 26	* 11	390
Juli	1110	4	184	1405	2	49	20	417
Aug	939	1	31	1154	0	13	3	373
Sept	688	1	60	724	4	36	12	480
Okt	185	0	76	281	4	16	3	503
SUM	4750	6	1368	6521 ²	133	214	77	3142

Tabel 4-3 Månedsværdier for energistrømme.

Værdierne i Tabel 4-3 er målte månedsværdier. Værdier mærket med * er fremkommet ved skøn da målingerne manglede.

Det fremgår af Tabel 4-3:

på varmesiden at:

- anlæggets opsamlede solenergi i måleperioden er på 6521 kWh. Dette giver, ved 18 m² solfangerareal, en gennemsnitsydelse på 326 kWh/m² på de syv måneder hvilket passer til forventet ydelse som ligger en del under 400 kWh/m²/a for højeffektive solfangere.
- at lageret aftager 4750 kWh af solenergien og aktivt kun afgiver 6 kWh til bygningen i måleperioden.
- at gulvvarmen varmer bygningen op med 1368 kWh som delvis stammer fra solvarmen og fra elpatronen.

På elside at:

- elforbruget er på i alt 3142 kWh for hele bygningen.
- elpatronen bruger 133 kWh hvilket er et meget lille elforbrug til opvarmning af varmt vand. Dette skyldes opvarmningen fra solvarmeanlægget.
- pumpeforbruget er på i alt 291 kWh, størstedelen til gulvvarmepumpen.

² Solvarmen er målt lige før varmelageret og tanken, hvorved denne kan anses som den udnyttelige solvarme.



For en tilsvarende bygning findes et statistisk normalforbrug der er beskrevet i Energistyringshåndbogen, og af Shah, 1996. Fordelingen af forbrug af el og varme samt produktionen af solvarme er angivet i % for hver måned.

Md.	Varme og varmt vand	El	Sol ³
Jan	13.0	10.5	1.2
Feb	13.0	9.0	3.5
Mar	13.0	9.0	4.8
Apr	9.0	7.5	10.6
Maj	5.0	7.0	13.4
Juni	2.5	6.5	15.7
Juli	2.5	6.5	14.6
Aug	3.5	7.0	15.0
Sept	5.0	7.5	10.8
Okt	8.5	9.0	6.0
Nov	12.0	9.5	2.6
Dec	13.0	11.0	1.7
	100 % 16.900 kWh/a ⁴ heraf ca.3500kWh/år til elvandvarmer	100% 4500 kWh/år	99.9% ca. 400 kWh/m ² /år

Tabel 4-4 Normalforbrug for en bygning som Ulsted-bygningen i procent [Energihåndbogen] og [Shah, 1996].

Ved at summere procentandelene fra april til oktober findes, ud fra Tabel 4-4, et normalforbrug eller en normalproduktion for måleperioden. Således udgør forbruget af varme i måleperioden normalt 36% af årsforbruget, normalforbruget af el på 51%, og at ca. 91% af den udnyttelige solvarme normalt opsamles den givne periode⁵. Anvendes disse procentuelle andele til omregning af de målte værdier til årsværdier, findes følgende nøgletal.

	Forventet [kWh]	Målt [kWh]
Elforbrug i alt	4500	8730
Varmeforbrug i alt	17000	2940
El til elpatronen (varmt vand)	3500	370

Tabel 4-5 Forventet og opnået årsproduktion af varme og årsforbrug i el.

³ Beregnet ud fra målinger fra syv forskellige solvarmeanlæg [Shah, 1996, Tabel 4.1.5]. Værdierne er baseret på solvarmeandelen, der tilføres et lager.

⁴ 130 kWh/m²/år til varme og varmt vand for et enfamiliehus med én etage og egen kedelcentral for bygning opført efter 1976. Værdien gælder for de bedste 25% af bygninger i Danmark, er altså under gennemsnitsværdien.

⁵ Gælder kun for brugsvandsanlæg.



Værdier for de forventede værdier stammer fra Energihåndbogen. Elforbruget for bygningen og dens beboere ligger en del over elforbruget for en almindelig bygning, selv når der fratrækkes forbruget for pumperne. Forbruget vil yderligere blive større når ventilationsluften opvarmes med elektricitet.

Elforbruget til elpatronen er kun en brøkdel af det forventede forbrug hvilket helt tydeligt viser den høje forsyningsandel fra solvarmen.

Varmeforbruget udgør kun en brøkdel af det forventede varmeforbrug for bygningen. Dette skyldes det lave varmetab for bygningen og den høje passive solvarmeudnyttelse. Af de 6521 kWh som solvarmen tilfører i måleperioden går der ifølge målinger 4750 kWh til sandlageret og størstedelen af resten til varmt brugsvand.

4.4.1 Delkonklusion fra energimålingerne

Måleperioden gengiver rimeligt realistisk hvordan anlægget kommer til at opføre sig på årsplan da resten af året ikke forventes at give mere end 10% af årsproduktionen af solvarme.

Sandlageret opfører sig som forventet. Temperaturen i sandlageret svinger med tilførelse af energi. Når lageret er koldt, er disse svingninger hurtige. Temperaturen er meget forskellig igennem lageret. Varmen fordeles meget langsomt i lageret. Når lageret er varmt, skal der mere energi til at opvarme lageret, og varmen er fordelt bedre i lageret hvorved temperatursvingninger aftager. Det er lidt overraskende hvor hurtigt lageret falder i temperatur efter sommerperioden. Inden for en uges tid falder temperaturen fra et maksimalt niveau til et niveau hvor aktiv udnyttelse ikke mere er mulig. Dette sker på trods af at der ikke trækkes aktiv varme ud i denne periode.

I slutningen af måleperioden (begyndelsen af november) er lagertemperaturen stadig over 25 grader, og temperaturen falder med ca. 0,5 grader om dagen når der ikke tilføres varme fra solfangerne. Dermed forventes at temperaturen hele vinteren vil ligge en del over jordtemperaturen hvorved den passive effekt af lageret opnås som ønsket.

I hele måleperioden har der ikke været nævneværdig aktiv tilførsel af varme fra sandlageret til gulvvarmen (6 kWh). Enten var temperaturen i lageret for lav, eller også var der ikke behov for opvarmning i bygningen. Dette skyldes det store lagervolumen som kræver store energimængder for at kunne opnå høje lagertemperaturer. Høje lagertemperaturer er en forudsætning for aktiv udnyttelse af lageret da dette skal være flere grader over gulvvarmens drifttemperatur på typisk 28 grader.

Det fremgår tydeligt at bygningen totalt set har et meget beskedent energiforbrug hvilket hovedsageligt skyldes bygningens lave varmebehov. Da varmeforbruget for bygningen er halvdelen af et typisk forbrug på 70 kWh/m²/år, kan bygningen betegnes som lavenergibygning.

Der bruges en del mere elektricitet i bygningen i forhold til tilsvarende bygninger. Forbruget af elektricitet skyldes ifølge målinger ikke øget opvarmning med el eller meget højt elforbrug til pumpearbejde, men mere det store forbrug til elapparater, herunder elværktøjer til færdiggørelse af bygningen. Det ville være en god ide at nedbringe dette forbrug.

I det kommende afsnit ses på hvordan resultaterne ville have set ud, hvis lageret ikke var til stede.



5. Sammenligning mellem målinger og simuleringer

I de forgående to kapitler er det beskrevet hvordan simuleringer og målinger gennemføres, samt de resultater der fremkommer herfra. For at kunne stole på de resultater et simuleringsprogram beregner skal der sammenlignes med målte værdier. Derfor sammenlignes resultater fra simuleringer med målinger gennemført på et eksisterende anlæg fra AIDT MILJØ.

5.1 Bygningens energiforbrug

Følgende nøglestørrelser er fundet fra simuleringer og målinger:

Md.	Varmebehov simulering [kWh]	Varmebehov målt [kWh]
Jan	1226	-
Feb	983	-
Mar	792	-
Apr	299	381
Maj	10	303
Juni	0	336
Juli	0	166
Aug	0	32
Sept	0	56
Okt	209	83
Nov	640	-
Dec	982	-
Sum (Apr-Okt)	518 (TSBI3)	1357
Sum hele året	5141 (TSBI3) 3635 (EMGP3)	3770 ¹

Tabel 1 Simulerede og målte nøgletal for bygningen.

Det kan ikke ud fra Tabel 1 siges bestemt om simulering af energiforbruget for bygningen er i overensstemmelse med målingerne. Simuleringer gennemføres med data fra et referenceår. 1996 var koldere end et normalår hvilket bl.a. medfører det nævnte merforbrug i den virkelige bygning om sommeren hvor der ikke regnes med noget forbrug ved simuleringerne.

Det kan konkluderes at den fysiske bygning og den simulerede bygning opfører sig nogenlunde ens. Forbruget ved målingerne er større end ved simuleringerne. Dermed undervurderer simuleringer anlæggets ydelse og er evt. lidt konservative.

¹ Vurderet ud fra beregninger givet i foregående kapitel.



5.2 Energibalancen i solvarmeanlægget

Simuleringer og målinger på det overordnede anlæg giver følgende nøglestørrelser:

	Simulering ² [kWh/år]	Måling [kWh/år]
Passiv solvarme	4400	
Varme fra gulvet	1700	3800
Varmtvandsforbrug	3000	
Elpatron	1400	400
Varme fra solfangere	7100	7200
Sol til gulv	800	0
Sol til sand	4300	5200
Sol til tank	1900	* 1800
Tab fra sandlager	3400	* 3000
Maks. temp. i lageret[°C]	44	47 <gennemsnit 42>
Ydelse brugsvand	1800	
Ydelse opvarmning	1400	* 1500

Tabel 2 Simulerede og målte nøgletal for solvarmeanlægget.

Det fremgår af sammenligningen at der er værdier med dårlig overensstemmelse og værdier med god overensstemmelse mellem simuleringer og målinger for den opsamlede solvarme og fordelingen af denne.

Værdier for solindfaldet og dets fordeling synes i god overensstemmelse med måling og simulering.

Forbruget i gulvvarmen er undervurderet af simuleringerne, og forbruget i elpatronen er overestimeret i simuleringerne. Det vurderes at simuleringsværdierne er realistiske set ud fra normalforbrug efter Energihåndbogen hvorved simuleringsresultater anses som relevante i konklusionerne.

Temperaturen i lageret er lidt lavere for simuleringerne, men i samme størrelsesorden. Dette kan formentlig forklares ved at simuleringen går ud fra ideel varmetransport og dermed bedre varmefordeling i lageret. Da placeringen af de målte temperaturer er mere eller mindre tilfældig, kan temperaturer fra simuleringer og målinger ikke sammenlignes.

Alt i alt vurderes simuleringer sandsynlige, og dermed kan resultater herfra anvendes i vurderingen af anlæggets effektivitet.

5.3 Sandlageret

Ud fra Tabel 2 ses at sandlageret forventes at få tilført 4300 kWh og tabe 3400 kWh på et år. Forskellen på 900 kWh/a tilføres bygningen passivt. Tabet fordeler sig mellem tab gennem bunden og tab gennem siderne. Som det fremgår af temperaturfordelingen under sandlageret (figurerne i kapitlet om simulering), er tabet gennem midtfeltet af gulvet meget begrænset da temperaturen der kun svinger mellem 17 og 22 grader. Dette er dog kun tilfældet hvis grundvandsspejlet ligger mindst to meter under lageret. Derimod er tabet gennem siderne og randzonerne af bunden domineret af udetemperaturen - og stort.

Da temperaturen i sandlageret er højere, end den ville være uden sandlager, nedsættes varmetabet gennem gulvet til jorden. Denne sekundære effekt kan bestemmes ved at

² [Møller, 1994b] side 46.



simulere en bygning uden varmetab igennem gulvet hvorved det maksimale potentiale for besparelser gennem gulvet bestemmes. Dette opnås i TSBI3 ved at angive en jordzone med samme temperatur som bygningen³. Transmissionstabt gennem randzonen for en bygning som den anvendte beregnes ved den beskrevne metode til ca. 800 kWh/år og gennem midtfeltet til 700 kWh/år. Herved bestemmes det passive potentiale af sandlageret til ca. 1500 kWh/år. Simuleringer med EMGP3 beregnede tabet gennem gulvet til jorden til ca. 2600 kWh/år hvilket ligger tæt ved TSBI3-beregningen.

Herved findes følgende ca. nøgleværdier for sandlagerets effektivitet og tab:

Transportmekanisme	[kWh/år]	[kWh/år]
Passiv ledning fra sandlager til gulvvarmen		800
Tab gennem lagerbund randfelt og siderne	800	
Tab gennem lagerbund midtfelt	700	
Nedsættelse af ledningstab pga. høj temperatur i sandlageret		1500
Aktiv varmetransport fra sandlager til gulvvarmen		0
Total effekt af sandlager på bygningens varmekonsum		2300

Tabel 3 Nøgletal for sandlagerets indflydelse på bygningens varmebehov.

Sandlagret medfører ud fra Tabel 3 en varmebesparelse i bygningen på maksimalt 2300 kWh om året. Nøgletallene anvendes i det følgende til en økonomisk vurdering af anlægskonceptet.

5.4 Delkonklusioner

Solvarmeanlæg med bygningsintegreret sandlager har flere indflydelser på en bygning og dens beboeres energiforbrug:

Det store solfangerareal medfører en større dækningsgrad for solvarme til varmt brugsvand. Denne er for almindelige brugsvandsanlæg på omkring 50% og vil formentlig maksimalt ligge på 90 % for anlæg med 18 m² solfanger, altså 40% mere. Dette giver en gennemsnitlig energibesparelse for opvarmning af brugsvand på ca. 40% af 3500 kWh/a, dvs. ca. 1400 kWh om året.

Sandlagerets andel af opvarmningen og nedsættelse af transmissionstabt vil medføre en energibesparelse til opvarmning på maksimalt 2300 kWh om året.

³ Bemærk: Vurderingen er simpel og tager ikke hensyn til lagerdybde og overfladearealer. Endvidere ville en isolering lagt på højkant langs fundamentet altid kunne anbefales, da denne nedsætter tabet gennem randfeltet betragteligt.

For at opnå sammenlignelige resultater lægges isoleringen fra lageret direkte under bygningen.



6. Økonomisk vurdering

En økonomisk vurdering af sandlagerkonceptet er meget afhængig af de kriterier, der lægges til grund for beregningerne. Fortalere for solvarme foretrækker "bløde" kriterier som "bæredygtighed" eller "termisk komfort", andre ser rent økonomisk på sagen. I dette afsnit foretages først nogle simple økonomiske overvejelser, der bunder i rene økonomiske termer. En "blød" vurdering er kun antydning som afslutning. I Bilag F findes en artikel om sandlager som giver nogenlunde det samme indtryk af teknikken og dens økonomi som det fremgår af denne rapport.

6.1 Forudsætninger

Komponentpriser er bestemt ud fra anvisninger fra prisbøger fra V&S-Byggedata. Priserne er inklusive levering, montering af rørkreds, isolering mv.; dog eksklusive moms og energitilskud. Timeforbruget er sat ud fra erfaringer fra AIDT MILJØ.

Pris for et traditionelt solvarmeanlæg fra AIDT MILJØ med 4,83 m ² solfanger og kappebeholder på ca. 290 l	25000 kr.
Merpris pr. m ² solfanger af Aidt Miljø og Arcon	1000 kr./m ²
3-vejsventil Honeywell	898 kr.
Temperaturføler	140 kr.
PP-rør, yderdiameter 25 mm	8,8 kr./m
Isolering (Rockwool) 50 mm	37 kr./m ²
Isolering (Rockwool) 100 mm	69 kr./m ²
Lønomkostninger pr. udlagt rørlag	1350 kr./lag
heraf timeløn på 225 kr./time og et timeforbrug 6 timer pr. lag	
Udgifter til PP-rør pr. lag inkl. 328 meter rør	3168 kr./lag
Sandpris, komprimeret, 0,5 m i højde tildeles sandlagret	82 kr./m ²

Derved beregnes merpris for sandlager med 2 lag varmerør, 4 temperaturføler, en 3-vejsventil, isolering i bunden til ca.

15000 kr.

Prisen til gulvvarmen sættes til

6600 kr.

Merpris for et solvarmeanlæg med 20 m² solfangere ligger på ca. 22500 kr. til selve solfangerne. Derved findes følgende anlægspriser

Anlægskomponent	Pris [kr.]
Merpris til solfangere + 15 m ²	15000
Merpris til sandlager	15000
Total merpris bygningsintegreret solvarme	30000
Standard solvarmeanlæg	25000
Gulvvarmeanlæg	6600
Total for solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager	61600

Energiprisen sættes til 0,50 kr./kWh for varmen og 1,00 kr./kWh for elektricitet hvilket er rimelige antagelser for privatøkonomiske beregninger.



6.2 Økonomisk vurdering

Den maksimale besparelse på grund af sandlageret er bestemt til 2300 kWh/a, fra hhv. den passive overførsel af varme mellem lager og gulvvarme og den passive besparelse af varme på grund af høj sandlagertemperatur. Andelen til opvarmning af vand, der skyldes et større solfangerareal, er bestemt til maksimalt ca. 1400 kWh om året. En simpel tilbagebetalingstid bliver for det givne anlæg derfor ikke under

$$\frac{30000 \text{ kr}}{2300 \cdot 0,5 \text{ kr / kWh} + 1400 \cdot 1 \text{ kr / kWh}} = 12 \text{ år} .$$

Bemærk at beregningen bygger på maksimal besparelse i opvarmning for bygningen på grund af sandlageret. I virkeligheden ville det typisk være lidt lavere og tilbagebetalingstiden dermed længere. For at give et sammenligningsgrundlag vil almindelige solvarmeanlæg under de samme forudsætninger have tilbagebetalingstider på mellem 10 og 15 år. Dvs. at de to anlægstyper kan sammenlignes økonomisk. Tilskud fra det offentlige som ikke er medregnet, ville medføre en hurtigere tilbagebetalingstid.

Solvarmesystemer kræver meget lidt vedligeholdelse i forhold til andre opvarmningsformer, hvorved økonomien igen bliver forbedret til fordel for et sol-varmeanlæg. Da et solvarmeanlæg typisk ikke kan erstatte andre opvarmningsformer helt, skal der i de fleste tilfælde et såkaldt "supplerende" anlæg til. Derfor kan fordelene for solvarmen kun indregnes i det omfang, forskellen mellem et andet anlæg uden solvarme og et anlæg med solvarme udgør.

Den økonomiske beregning tager ikke hensyn til de sociale og økologiske udgifter som energiproduktionen medfører. Her tænkes bl.a. på forureningen med forskellige drivhusgasser og partikler. En økonomisk vurdering indeholder heller ikke vurdering af den energimæssige uafhængighed som et individuelt anlæg vil medføre. Og sidst, men ikke mindst, tager økonomiske betragtninger ikke hensyn til psykisk velfærd og god samvittighed som en solvarmeejer kan nyde. Det er op til læseren at vurdere disse størrelser i forhold til den nok ret beskedne økonomiske rentabilitet. Se mere herom i Bilag F.



7. Opsamling og diskussion

Almindelige solvarmeanlæg har vandbeholdere som varmelagre. Tanke til opbevaring af vand er dyre og giver anledning til skader hvis der opstår utætheder. Derfor er anvendelse af faste materialer interessante til varmelagring; dog har disse materialer det tilfælles at varmen ikke så nemt kan overføres til dem. AIDT MILJØS har det eneste kommercielle solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager i Danmark og måske hele Europa hvilket i sig selv ses som en bedrift. Her anvendes sand som lagermaterialer. Gennem plastslanger ledes varmen ned i lageret. Konceptet virker overbevisende på muligt interesserede, selv om økonomien ikke er det. I projektets periode har der været mange henvendelser til undertegnede hvilket bekræfter forholdet.

I dette afsnit opsamles de erfaringer der er lavet i løbet af projektet. Der medtages ikke erfaringer fra andre projekter da disse præsenteres i en mere brugervenlig form i den anden rapport fra projektet [Heller 1996].

Den foreliggende undersøgelse er baseret på målinger på et lavenergihus på 130 m² med solvarmeanlæg på 18 m², varmtvandstank på 300 liter og et sandlagervolumen på ca. 100 m³.

7.1 Anlægseffektivitet og økonomi

I en indledende undersøgelse på DTU [Olesen, 1993] er konceptet blevet vurderet til at kunne dække 45% af varmebehovet for en bygning. Aidt Miljø påstår endda at der kan dækkes op til 70% af varmebehovet. En teoretisk undersøgelse [Møller, 1994a] har dog forkastet disse antagelser og fundet frem til at der i stedet for et sandlager kan anvendes et lidt tykkere betondæk og merisolering mellem jord og bygning. Møller og Vieira beregnede ingen nævneværdig effekt af sandlageret. Derfor gennemførtes det foreliggende måleprojekt.

Det viser sig at effekten fra sandlageret for et lavenergihus med et varmebehov på ca. 6000 kWh om året maksimalt er på ca. 35% til rumopvarming og ca. 40% merydelse til opvarmning af brugsvand da solfangerarealet er større end ved almindelige brugsvandsanlæg. Hermed er den totale soldækningsgrad for anlægget på ca. 35% hvilket ligger 10% under forventningerne fra den teoretiske undersøgelse [Olesen, 1993], dog en del mere positivt end resultaterne fra [Møller, 1994].

Merudgiften til solvarmeanlægget er beregnet til 21600 kr. inklusive moms men uden statstilskud. Tilbagebetalingstiden for et anlæg af denne type er beregnet til ca. 21 år ved varmepriser på 0,5 kr. pr. kWh og elpriser på 1 kr. per kWh, dog uden hensyntagen til "bløde" ikke-økonomiske hensyn.

Der opnås ved den udformning der er anvendt i Ulsted ikke nogen nævneværdig aktiv tilførsel af varme fra lageret da temperaturen i lageret er for lav til det. (Maks-temperaturer på 42-47 grader uden for fyringssæsonen og op til 35 grader i fyringssæsonen). Lagertemperaturen er i begyndelsen af december 1996 stadig på over 20 grader hvilket tyder på at lageret også i vinterperioden yder et passivt bidrag ved at nedsætte varmetabet igennem jorden.



7.2 Brugererfaringer

- Brugere af anlægget i Ulsted er glade for deres solvarme og sandlager. Det er ikke økonomien der har styret dem, men derimod bevidstheden om en miljørigtig opvarmningsform.
- Anlægget synes svært for brugerne at overskue. Dermed er det også svært at vurdere anlæggets drift og effektivitet. Der er behov for flere "visere" der hjælper brugeren med anlæggets drift.
- Efter et driftsstop skal der gennemføres en hel procedure for at få anlægget i gang igen. Der skal udluftes flere steder og styres pumper flere steder. Denne procedure er alt for vanskelig for almindelige brugere og skal forenkles og automatiseres.
- Der er observeret driftsproblemer efter kolde perioder. Der forekommer ispropper i systemet hvilket ikke er acceptabelt for solvarmeanlæg med tømmesystemer. Problemet er allerede observeret på Institut for Bygninger og Energi og beskrevet i eksisterende rapporter. Dette er naturligvis uacceptabelt og skal løses.
- I sommerperioden er temperaturen i bygningen meget høj og kan overstige 30 grader. Da ventilationsdelen på grund af målingerne var afkoblet, var det ikke muligt at bortventilere denne overskudsvarme. Problemet anses som mindre graverende når anlægget kører med alle komponenter.

7.3 Erfaringer med anlægget fra måleprogrammet

Ved gennemførelse af måleprogrammet på Ulsted-anlægget har der vist sig en del forhold der kan forbedres:

- Vejret i måleperioden, april til oktober, har været en del anderledes end for et normalår eller referenceår. Sommeren kom først midt i juni og varede til gengæld til midt i september. Summen af energimængderne og lagerets virkemåde vil være som målt eller lidt højere i et normalår.
- Ved etableringen af sandlageret blev varmeslangerne mærket. Mærkningen af varmeslangerne gik dog tabt som arbejdet med bygningen skred frem. Derfor var der ikke styr på, hvilke varmeslanger der ligger hvor. Derfor må det anbefales at mærkningen foretages omhyggeligt og på en permanent måde.
- Brugere har glemt at styre pumperne. Dermed har gulvvarme- og solvarmepumpen kørt på højeste trin i hele måleperioden. Dette er spild af elektrisk energi. Her anbefales computerstyrede og selvregulerende pumper.
- 3-vejsventilen blev tvangsstyret af brugerne hvilket medfører uhensigtsmæssig drift under tvangsstyringen og endnu mere når man glemmer at frigive ventilen igen.
- Styringen af 3-vejsventilen anvender en temperaturføler der er placeret ved manifolden på varmeslangerne til sandlageret. Placeringen er uhensigtsmæssig da den føler en tilfældig temperatur der ligger mellem rumtemperatur og vandtemperatur i manifolden. Føleren for sandlageret skal derfor placeres inde i sandlageret i et varmt område hvor den gengiver lagerets temperatur.
- Indløbet til og udløbet fra sandlageret er i Ulsted placeret tæt på hinanden. Der er mindst en meter hvor slangerne følges ad uden at være isoleret fra hinanden hvorved de virker som varmeveksler og nedsætter anlægsydelsen. Dette skal undgås i fremtidige anlæg.
- Generelt må det anbefales at installationerne ikke komprimeres for meget da man ellers ikke har overblik og reparationer bliver besværliggjort.
- Ved målingerne observeredes at indløbstemperaturerne for de forskellige varmeslanger igennem lageret ikke har ens temperatur. Dette forklares ved at tryktabene over de enkelte rør er forskellige hvilket giver sig udslag i forskellig varmetilførsel. Dette skal styres bedre og kan udnyttes til at tilføre mest varme der hvor det er ønskeligt.



- Det er ikke klart om der er mulighed for at overføre varme fra gulvvarmen til sandlageret. Hvis det er tilfældet, skal dette forhold rettes.
- Der observeres overtemperaturer i bygningen i det meste af sommerperioden. Dette forhold bliver yderligere forværret da sandlageret også tilfører varme til bygningen. Det anbefales derfor at tage problemet med overtemperaturer om sommeren endnu mere seriøst når der anvendes bygningsintegrerede varmelagre.
- Når der opstår problemer med solvarmeanlægget, specielt sandlageret, skal der være mulighed for afkobling af nogle solfangere for at undgå overophedning i solfangere.
- AIDT MILJØ har foreslået at overføre varme i forårs- og sommerperioden, ikke til sandlageret, men til det underliggende jordvolumen. Dermed undgås overophedning, og der udnyttes yderligere varmekapacitet. Dette synes ikke rentabelt da volumenet i forvejen vurderes for stort.
- Anlægget skal ikke placeres ved steder hvor grundvandet trænger for tæt op under bygningen.
- Anlægget anbefales ændret således at den aktive varmetilførsel fra sandlager til bygningen øges. Dette kan enten opnås ved at anvende mindre sandvolumener (0.3 meter dybt) hvorved man taber en del varmekapacitet, eller ved at zoneinddele lageret hvor zonerne isoleres mod hinanden og varmen tilføres den ene vej og trækkes ud den anden vej. Herved opnås der områder med høje temperaturer der holdes høje og områder hvor der ikke er nævneværdige temperaturer i kolde perioder. Dette koncept anbefales undersøgt i fremtiden.
- Da økonomien for konceptet ikke synes særligt overbevisende, er der stadig den usikkerhed om det ikke ville være bedre at isolere huset bedre mod jorden og evt. øge gulvvarmens varmekapacitet. Der blev ikke entydigt fundet et svar på spørgsmålet. Der skal mere nøjagtige beregninger til eller en måling af sådanne systemer.

7.4 Erfaringer med anlægget på grundlag af simuleringerne

Følgende størrelser blev beregnet til at give optimal anlægs- og lagerudformning:

- solfangerareal = 20 m²
- solfangerhældning = 60 grader
- væskeflow = 0,6 l/min per kvadratmeter solfanger.
- lagerhøjde = 30 cm
- isoleringstykkelse = 10 cm hele vejen rund
- rørafstand mellem varmeslanger i lageret = 30 cm

Herudover giver anlæg med høj solfangereffektivitet merydelser på op til 25% på grund af længere driftstid og højere driftstemperaturer. Bygninger med større varmebehov giver bedre anlægsøkonomi.

Da varmetabet gennem bunden af sandlageret er meget beskedent i midtfeltet, kan isoleringen her fravælges hvorved lagervolumenet øges og varmetabet ikke ændres afgørende. Dette kræver dog at grundvandsspejlet er mindst to meter lavere end lagrets underside.

7.5 Vurdering af simuleringsmodellen

Simuleringerne viste at EMGP3-programmet kan tilpasses, så man opnår realistiske resultater for såvel bygning, anlæg, sandlager og omgivende jord.

Sammenlignes resultater fra EMGP3-modellen med mere omfattende modeller i HEAT2 og TSBI3 samt målinger på et installeret anlæg, findes rimelig



overensstemmelse. Delmodellerne giver altså rimeligt realistiske resultater. Herunder er der demonstreret en jordmodel med begrænset antal elementer og en HEX-model til beregning af varmeovergangen fra rør til sand eller gulvkonstruktion, en vinduesmodel til lavenergiruder. HEX-modellen giver i starten af en simulering og ved hurtigt skiftende varmestrømme for høje energioverførsler fra rør til det omgivende materiale; dog er denne fejl minimal for længere simuleringsperioder.

Det må dog konstateres at EMGP3 har for mange begrænsninger for helt præcise beregninger. Det var nødvendigt at indføre flere antagelser og forenklinger. Derfor må det anbefales at finde et mere omfattende program til fremtidige beregninger. Her tænkes bl.a. på TRNSYS og ESP-r. Det kan overvejes at overføre delmodeller til det nye program da disse har vist deres styrke.

7.6 Overordnede konklusioner på anlægskonceptet

7.7 Helt overordnet kan det, ud fra den foreliggende undersøgelse, konkluderes:

- Det er som led i projektet blevet klargjort at solvarmeanlægget med bygningsintegreret varmelager i et lavenergihus medfører et særdeles lavt energiforbrug. Dette er et resultat af samspillet mellem høj isoleringsgrad og en passiv og aktiv solvarmeudnyttelse og kan ikke tilskrives de enkelte komponenter.
- Anlægskonceptet giver ikke for god økonomisk rentabilitet, dog en høj forsynings-sikkerhed.
- Anlægskonceptet fra AIDT MILJØ synes at være det eneste produkt på markedet for bygningsintegreret varmelagring i sand eller grus. Konceptet forekommer overbevisende for brugere hvorved dets eksistens er berettiget.
- Undersøgelsen har vist at anlægskonceptet kan optimeres betragteligt hvorved resultaterne forventes afgørende forbedret.
- Projektet har hverken formået at styrke anlægskonceptet eller vise dets nytteløshed. Det er stadig op til en bruger at vurdere bløde kriterier mod økonomiske kriterier.

De anvendte simuleringsmodeller giver realistiske beregninger og kan anbefales; dog ville et mindre begrænsende alternativ til anvendelse af simuleringsprogrammet EMGP3 være at fortrække.



Referencer

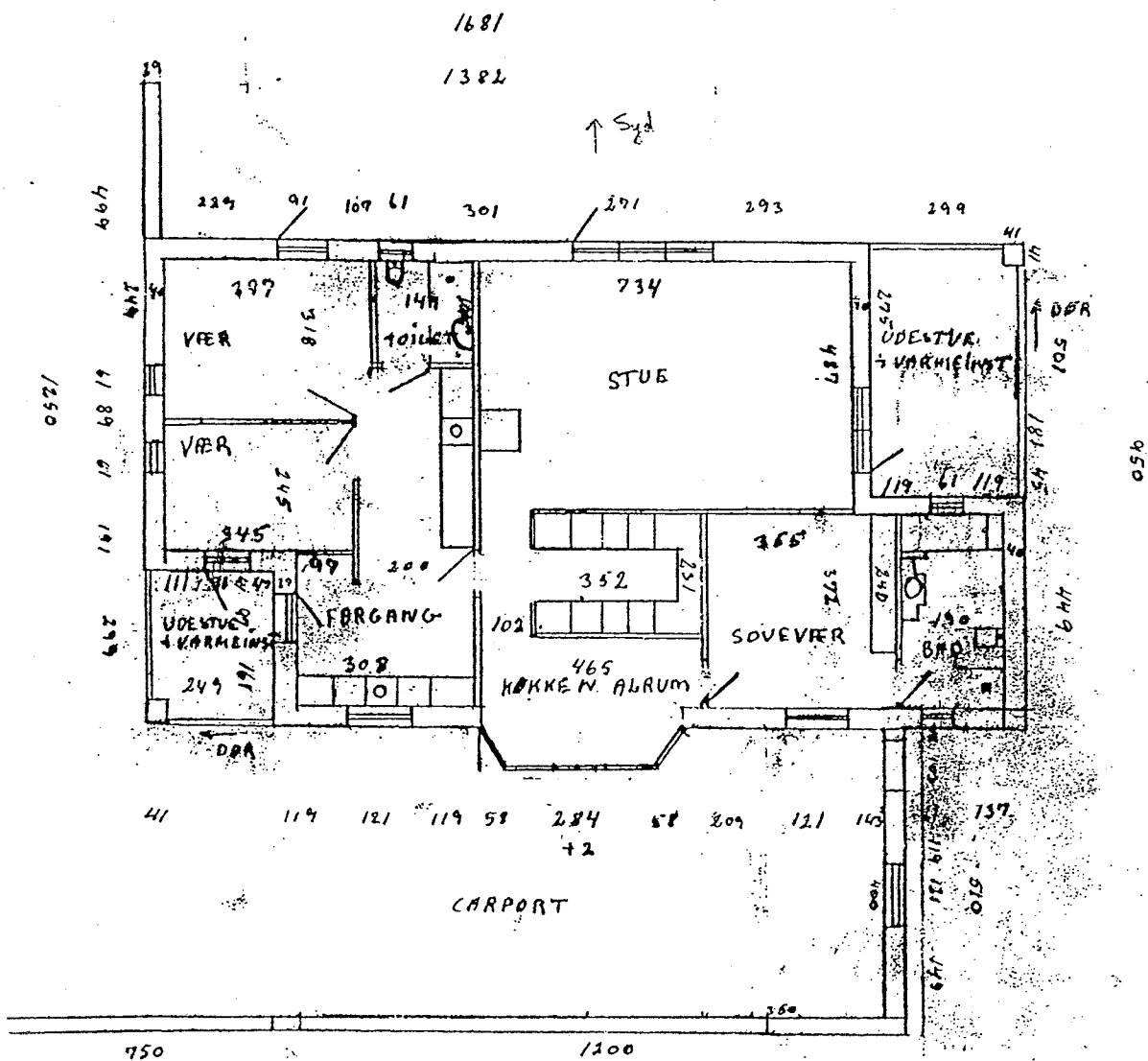
- [DS418] "DS418, Beregning af bygningers varmetab.", (5.udgave), 1986
- [Energihåndbogen] "Energistyringshåndbog", Energi-Spareudvalget, Foreningen for Energistyring.
- [Berg, 1990] Berg P., "Højtydende solvarmeanlæg med små volumenstrømme.", Meddelselse nr. 209, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1990
- [Blomberg, 1990] Blomberg T., "HEAT2, a two-dimensional heat transfer computer program", Lund University, Sverige, 1990
- [Danvak, 1990] Danvak: Varme- og klimateknik, Danvak
- [Duer, 1990] Duer K., "Sæsonlagring af varme i borehulslagre", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1990
- [Dutr  , 1991] Dutr   W.L., "Simulation of Thermal Systems. A Modular Program with an Interactive Preprocessor. (EMGP3)", Commission of the European Communities, Kluwer Academic Publisher, 1991
- [Hansen, 1983] Hansen K., Hansen P, and Ussing V., "Seasonal Heat Storage In Underground Warm Water Stores", Meddelelse Nr.134, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1983
- [Hansen, 1979] Hansen N.P., "Varmetab fra store lagre", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1979
- [Heller, 1996] Heller A., "Solvarme med bygningsintegreret sandlager - Vejledning til designer og selvbygger.", Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, December 1996
- [Johnsen, 1984] Johnsen A.N., "Energiforbrug i småhuse.", Statens Byggeforskningsinstitut, 1984
- [Johnsen, 1993] Johnsen K., Grau K. and Christensen J.E., "TSBI3, Brugervejledning", Statens Byggeforskningsinstitut, 1993
- [Lambert, 1991] Lambert J.D., "Numerical Methods for Ordinary Differential Systems. The Initial Value Problem.", John Wiley & Sons, 1991



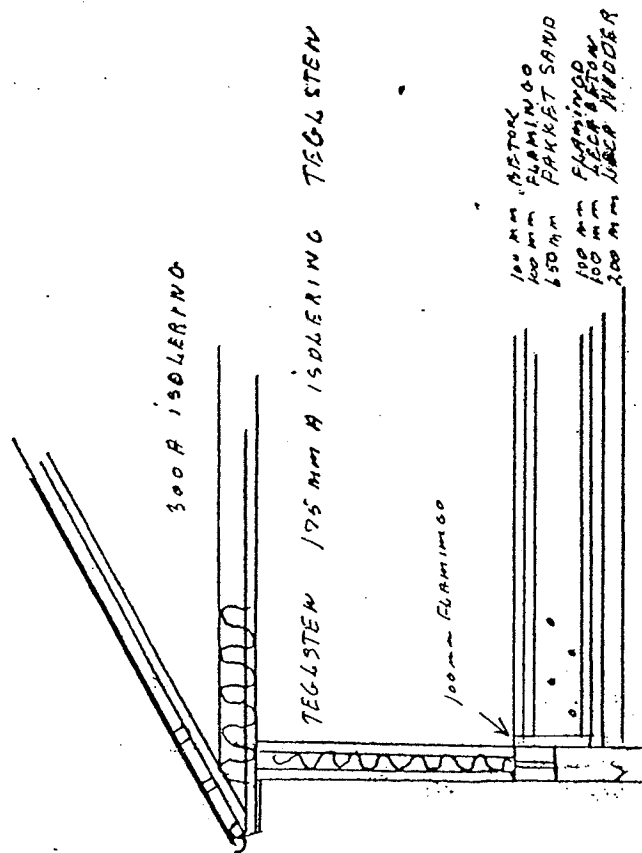
- [Møller, 1994, a] Møller K.T. og Vieira M.A.H., "Solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager", Eksamensprojekt, Hovedrapport", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet, juli 1994
- [Møller, 1994, b] Møller K.T. og Vieira M.A.H., "Solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager", Eksamensprojekt, Bilagsrapport", Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Universitet, juli 1994
- [Olesen, 1993] Olesen Ole, "Varmeteknisk vurdering af solvarmeanlæg med sandlager", LfV-rapport 93-22, ISSN 0905-1511, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, August 1993
- [Prosvig, 1986] Prosvig M., "Varmeovergangsforhold omkring jordvarmeslanger.", Geoteknologisk Institut, 1986
- [Shah, 1996] Shah J.L., "Undersøgelse af små solvarmeanlæg til brugsvandopvarmning. Ydelsesmålinger og beregninger.", IBE-Rapport R-1, Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1996
- [Stjernstrøm, 1996] Stjernstrøm L., "Sandlager", VEinformation, 72, Informationssekretariat for Vedvarende Energi, Dansk Teknologisk Institut, Oktober, 1996
- [V&S-Byggedata] V&S-Priser, 1989
- [Østergård, 1993] Østergård S., "Afprøvning af solvarmeanlæg fra Aidt Miljø - Ydelsesberegning, Laboratoriet for Varmeisolering, Danmarks Tekniske Højskole, 1993

Bilag A:

Bygningsbeskrivelse - Ulsted huset



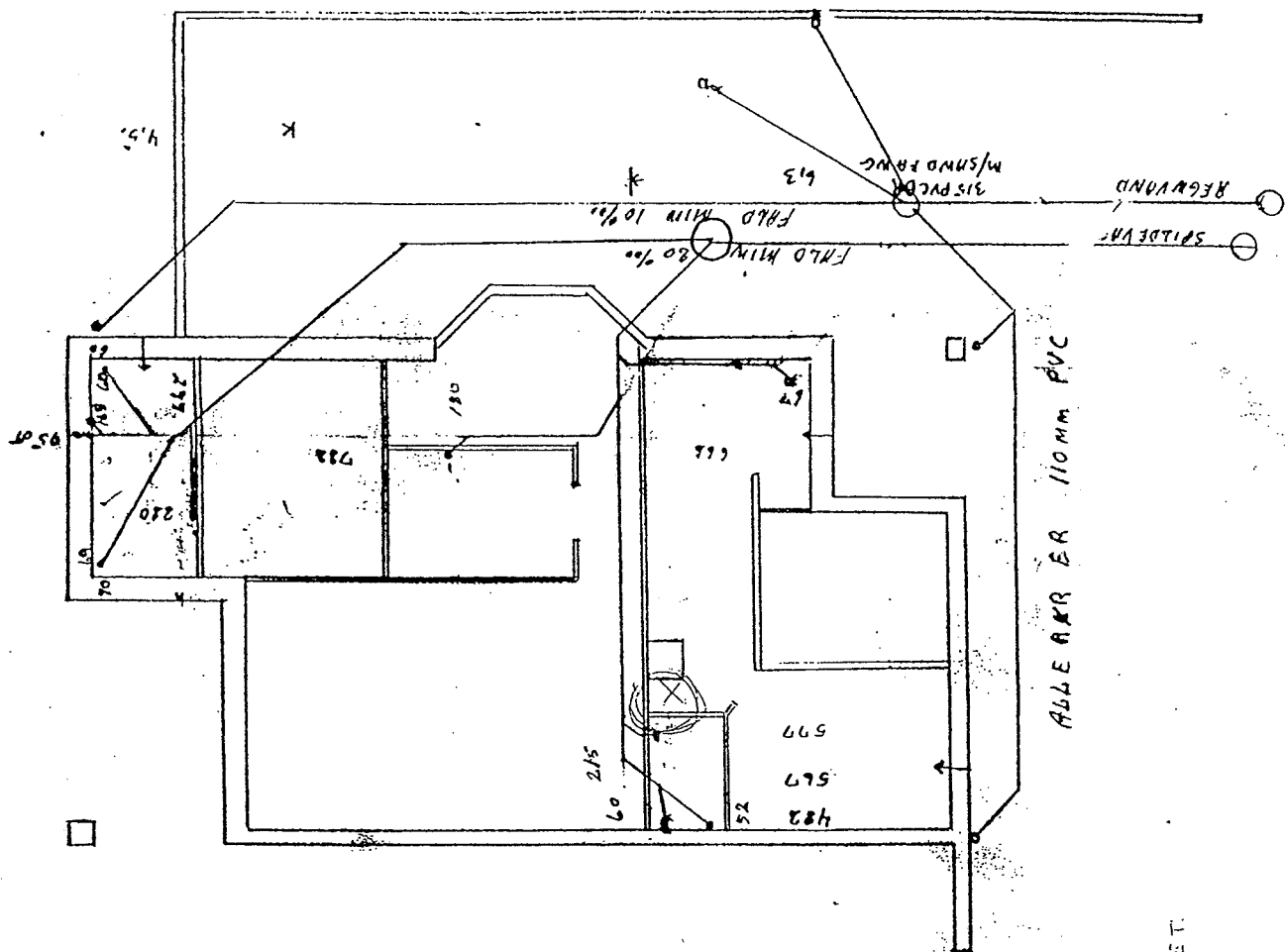
KONSTRUKTION SVIT 1150



PCL 10 AF 37A
LUCERNEHAVEN 42 VUSTED.

ALLE ANR ER 110 mm PVC

KLOAK PLAN



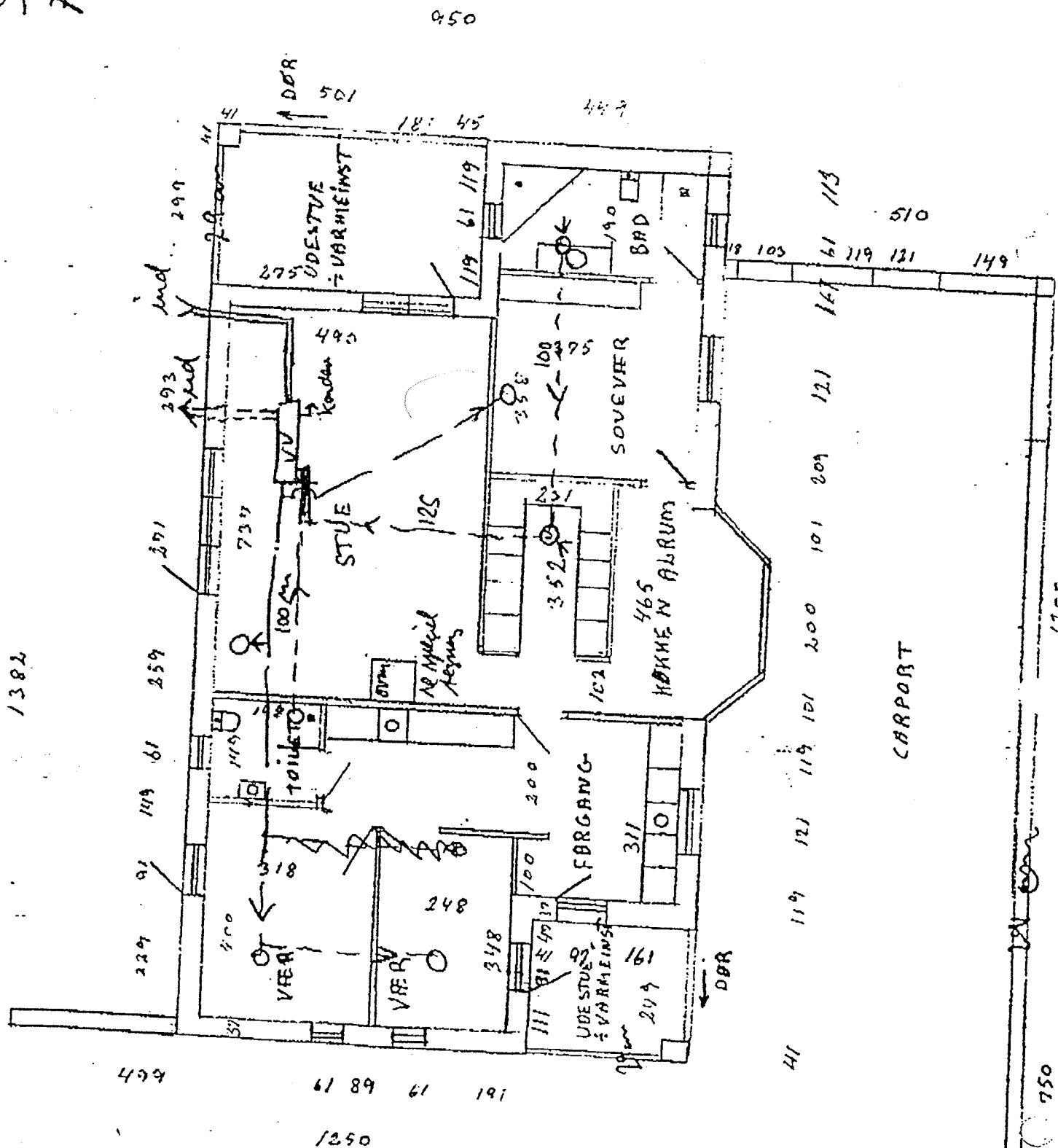
(X)

Schild den 9825 4446
Förslag

Twelfth

Inde (forskellige rum)

Plus d'ord. call 135 m²



Bilag B:

TSBI3 modellen for Ulsted huset

Bygningsmodellen i TSBI3 - Ulstedhuset uden ventilation

Tsbi3 modellen der beskrives i det følgende anvendes til vurdering af Ulstedhusets energibehov og energimæssige opførelse.

t s b i 3 <C13> -- Copyright (C) 1991-95 Statens Byggeforskningsinstitut
3090. Laboratoriet for Varmeisolering, DTU
Bygningsmodel: ULSTEDuv, 6 sep 1996 13:30

Identifikation

Last fra udstyr	Uds-1
Nom. effekt (kW)....	0.73
Andel til luft (-)...	1.00

Udluftning	Udl-1
Grundluftsk. (1/h)...	2.50
Temp.fakt. (1/h/K)...	0.00
Temp. potens (-)....	0.00
Vindfakt. (s/m/K)...	0.00
Max. luftsk. (1/h)...	2.50

Opvarmning	OPV-HUS
Max effekt P1 (kW)...	10.00
Fast andel (-).....	0.00
Andel til luft (-)...	0.60

Temp/fugt var.	JAN	FEB	MAR	APR
Middel temp. (C)....	11.0	10.3	10.0	10.3
Temp. ampl. (C).....	0.0	0.0	0.0	0.0
Time for max (h)....	24.0	24.0	14.0	14.0
Abs. fugt (kg/kg)...	0.006	0.006	0.006	0.006

Temp/fugt var.	MAJ	JUN	JUL	AUG
Middel temp. (C)....	11.0	12.0	13.0	13.7
Temp. ampl. (C).....	0.0	0.0	0.0	0.0
Time for max (h)....	14.0	14.0	14.0	14.0
Abs. fugt (kg/kg)...	0.006	0.006	0.006	0.006

Temp/fugt var.	SEP	OKT	NOV	DEC
Middel temp. (C)....	14.0	13.7	13.0	12.0
Temp. ampl. (C)....	0.0	0.0	0.0	0.0
Time for max (h)....	14.0	14.0	14.0	14.0
Abs. fugt (kg/kg)...	0.006	0.006	0.006	0.006

Nationale konst.	Danmark
Dim. indetemp (C)...	20.0
Dim. udetemp, sommer	24.0
Dim. udetemp, vinter	-12.0
Dim. jord temp (C)...	8.0
Dim. luftskifte (l/h)	0.5
Indefugt, sommer (kg)	0.010
Indefugt, vinter (kg)	0.006
Vind hastighed (m/s)	4.0
Reflektion solstråli	0.20
Reflektion sollys (-)	0.10
Horisont afsk. (gr.)	7.00
Højde over havet (m)	0.0
Bibliotek.....	DANMARK

Materiale	Beton 2300	Isolering kl39	Tegl udv. 1800	Tegl indv 1800
Densitet (kg/m3)....	2300.000	50.000	1800.000	1600.000
Varmekap. (J/kgK)...	800.000	840.000	880.000	880.000
Kondukt. (W/mK).....	1.600	0.039	0.780	0.700
Bibliotek.....	MAT	MAT	MAT	MAT

Materiale	Træ 450	VORISOL
Densitet (kg/m3)....	450.000	50.000
Varmekap. (J/kgK)...	2500.000	840.000
Kondukt. (W/mK).....	0.120	0.040
Bibliotek.....	MAT	Lokal

Rudetype	KAP.OPT.NEUT.
U-værdi (W/m2 K)....	1.300
Soltransm. (-)....	0.700
Lystransm. (-)....	0.600
Bibliotek.....	Lokal

Karmtype	Træ 1gl	Træ 2/3gl fors
U-værdi (W/m2 K)....	2.300	1.600
Bibliotek.....	KARM	KARM

Konstruktionsstype	Tr 39I250 vent	INDV'G	SUPERV'G	VORGULV
*Ialt tykkelse (m)...	0.272	0.110	0.406	0.200
Materiale.....	Træ 450 Tegl indv 1800 Tegl udv. 1800			Beton 2300
Tykkelse (m).....	0.022	0.110	0.108	0.100
Isolans (m2 K/W)....	0.000	0.000	0.000	0.000
Materiale.....	Isolering kl39		Isolering kl39	VORISOL
Tykkelse (m).....	0.300		0.190	0.100
Isolans (m2 K/W)....	0.000		0.000	0.000
Materiale.....			Tegl indv 1800	
Tykkelse (m).....			0.108	
Isolans (m2 K/W)....			0.000	
Bibliotek.....	TAG	Lokal	Lokal	Lokal

Konstruktion	KO-SYD	KO- ST	KO-NORD	KO-VE
Areal (m2).....	28.0	11.0	31.0	17.6
sol abs.koef. (-)...	0.000	0.000	0.000	0.000
*Isolans (m2 K/W)...	5.165	5.165	5.165	5.165
type.....	SUPERV'G	SUPERV'G	SUPERV'G	SUPERV'G

Konstruktion	KO-GULV	ko.guud	KO-LO	INDV'G
Areal (m2).....	64.0	128.0	128.0	92.3
sol abs.koef. (-)...	0.000	0.000	0.000	0.000
*Isolans (m2 K/W)...	2.563	2.563	6.594	0.157
type.....	VORGULV	VORGULV Tr 39I250 vent		INDV'G

Vindue	VI-SYD	Vi- st	Vi-NORD	Vi-Vest
Bruttoareal (m2)....	12.0	9.0	9.0	1.2
*U-værdi (W/m2 K)...	1.300	1.333	1.411	1.350
Antal (-).....	1	1	1	2
Glasbredde (m).....	6.0	4.0	4.0	1.0
Glashøjde (m).....	2.0	2.0	2.0	1.0
*Glasareal (m2).....	12.0	8.0	8.0	1.0
Rudetype.....	KAP.OPT.NEUT.	KAP.OPT.NEUT.	KAP.OPT.NEUT.	KAP.OPT.NEUT.
Karmtype.....	Træ 1gl	Træ 2/3gl fors	Træ 1gl	Træ 2/3gl fors
dx (m).....	0.0	0.0	0.0	0.0
dz (m).....	0.0	0.0	0.0	0.0
Fremspr.over (m)....	0.0	2.0	3.0	0.0
Afst. over (m).....	0.0	0.1	0.1	0.0
Fremspr. vnstr (m)...	0.0	2.0	3.0	0.0
Afst. venstre (m)...	0.0	0.1	0.1	0.0
Fremspr. højre (m)...	0.0	0.0	3.0	0.0
Afst. højre (m).....	0.0	0.0	0.1	0.0
SF1 Direkte sol (-)...	0.000	0.000	0.000	0.000
SF2 Himmellys (-)...	0.000	0.000	0.000	0.000
SF3 Reflekteret lys	0.000	0.000	0.000	0.000

Flade	SYD	ST	NORD	VEST
Orientering (gr.)...	180.0	90.0	0.0	270.0
Hældning (gr.).....	90.0	90.0	90.0	90.0
Bredde (m).....	16.00	8.00	16.00	8.00
Højde (m).....	2.50	2.50	2.50	2.50
*Total-areal (m2)...	40.00	20.00	40.00	20.00
*Konstrukt. (m2)....	28.00	11.00	31.00	17.60
*Vinduer (m2).....	12.00	9.00	9.00	2.40
*Døre (m2).....	0.00	0.00	0.00	0.00
*Solvægge (m2).....	0.00	0.00	0.00	0.00
Horisont (gr.).....	****	****	****	****
Refl. solstr. (-)...	****	****	****	****
Refl. sollys (-)....	****	****	****	****
Isolans (-).....	0.130	0.130	0.130	0.130
Side 1.....	HUS	HUS	HUS	HUS
Konstruktion.....	KO-SYD	KO-ST	KO-NORD	KO-VE
Side 2.....	Udeluft	Udeluft	Udeluft	Udeluft
Isolans (-).....	0.040	0.040	0.040	0.040
Vinduer.....	VI-SYD	Vi-st	Vi-NORD	Vi-Vest

Flade	GULV	gulvud	LOFT	INDKAPACITET
Orientering (gr.)...	90.0	90.0	90.0	0.0
Hældning (gr.).....	180.0	180.0	0.0	90.0
Bredde (m).....	8.00	16.00	16.00	37.32
Højde (m).....	8.00	8.00	8.00	2.50
*Total-areal (m2)...	64.00	128.00	128.00	92.30
*Konstrukt. (m2)....	64.00	128.00	128.00	92.30
*Vinduer (m2).....	0.00	0.00	0.00	0.00
*Døre (m2).....	0.00	0.00	0.00	0.00
*Solvægge (m2).....	0.00	0.00	0.00	0.00
Horisont (gr.).....	****	****	****	****
Refl. solstr. (-)...	****	****	****	****
Refl. sollys (-)....	****	****	****	****
Isolans (-).....	0.130	0.130	0.130	0.130
Side 1.....	HUS	HUS	HUS	HUS
Konstruktion.....	KO-GULV	ko.guud	KO-LO	INDV'G
Side 2.....	Jord	Udeluft	Udeluft	HUS
Isolans (-).....	1.370	0.870	0.040	0.005

Tidsangivelse Bibliotek

Altid..... TID, Uge 1-53 Dag 1-7 Time 1-24

Døgnprofil	Bibliotek
Pro-33.....	Lokal, 100% 1-24

Udluftn. regulering	REG.UDLUFT
Set punkt (C).....	24.0
Reg.faktor (-).....	1.00

Varme/køle- reguleri	REG-OPV
Faktor (-).....	1.00
Zone setpunkt (C)...	20.0
Dim-udetmp tu1 (C)...	-12.0
Min-effekt P2 (kW)...	2.00
Min-udetmp tu2 (C)...	15.0

Indblæsningsstyring	ITreg-1
Delluft (-).....	1.000
Udetemp. 1 (C).....	19.0
Indblæsn. 1 (C).....	19.0
Udetemp. 2 (C).....	19.0
Indblæsn. 2 (C).....	19.0
Hældn. før 1 (-)....	0.00
Hældn. eft 2 (-)....	0.00
x i indbl. (kg/kg)...	1.000

Fiktiv zone	Udeluft	Jord
Som zone.....	CPH	****
Temp/fugt var.....		Jord
Regulering.....		JAN
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		FEB
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		MAR
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		APR
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		MAJ
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		JUN
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		JUL
aktiv.....		ALTID
....		
Regulering.....		NOV
aktiv.....		ALTID
Regulering.....		DEC
aktiv.....		ALTID

Zone	HUS
Nettoareal (m2).....	100.0
Bruttoareal (m2).....	115.0
Nettohøjde (m).....	2.5
Nettovolumen (m3)...	250.0
Luftandel (-).....	1.00
Antal.....	1
Sol tabt (%).....	0.00
Sol til luft (%).....	0.30
Sol transm. (%).....	0.80
Gulv/vægge/loft.....	0/1/0
*Hud (W/K).....	114.82
*Hvin (W/K).....	43.54
*Hdør (W/K).....	0.00
*Hvæg (W/K).....	16.42
*Hgulv (W/K).....	35.93
*Htag (W/K).....	18.92
*Hjord (W/K).....	15.75
*Hvent (W/K).....	41.92
*Hkold (W/K).....	0.00
*HtagTillæg (W/K)...	2.84
*Dim. varmetab (W)...	5295.54
Flade.....	SYD
Flade.....	ST
Flade.....	NORD
Flade.....	VEST
Flade.....	GULV
Flade.....	gulvud
Flade.....	LOFT
Flade.....	INDKAPACITET
Udstyr.....	Uds-1
Regulering.....	Pro-33
aktiv.....	ALTID
Udluftning.....	Udl-1
Regulering.....	REG.UDLUFT
aktiv.....	ALTID
Opvarmning.....	OPV-HUS
Regulering.....	REG-OPV
aktiv.....	ALTID
Ventilation.....	
Regulering.....	ITreg-1
aktiv.....	ALTID

Bygning	ULSTEDuv
Bygn. rotation (deg)	0.0
Følerfaktor (-).....	1.000
Nationale konst.....	Danmark
Nettoareal (m2).....	100.0
Bruttoareal (m2).....	115.0
Nettovolumen (m3)...	250.0
*Hud (W/K).....	114.82
*Hvin (W/K).....	43.54
*Hdør (W/K).....	0.00
*Hvæg (W/K).....	16.42
*Hgulv (W/K).....	35.93
*Htag (W/K).....	18.92
*Hjord (W/K).....	15.75
*Hvent (W/K).....	41.92
*Hkold (W/K).....	0.00
*HtagTillæg (W/K)...	2.84
*Dim.varmetab (W)...	5295.54

Bilag C:

TSBI3 beregningsresultater for modelhuset og Ulsted huset

I dette bilag vises resultater, fundet med TSBI3-programmet for såvel bygningen, defineret af Møller og Vieira som for bygningen i Ulsted. Det ses af resultaterne, at de to modeller opfører sig termisk i god overensstemmelse. Derfor kan resultater fundet ved det ene model anvendes på det andet model.

Resultater

Månedsoversigt for Udstedhuset til samling med simulering af Troels & Marcos [1]

Resultater fra simulering med Udstedhuset uden ventilation, med infiltration, øget isolering i loftet og mindre isolering i væggene viser, at resultater fra arbejdet fra Troels & Marcos [1] kan sammenlignes med resultaterne fra Udstedhuset. Der er minimale forskelle mellem de to modeller.

Tidsstep: 1800.0 sec (2 steps/time)
 Vejrdata: TRY København (Gbr 56.0 Stedt -9.7)
 Solalgoritmer: Petersen
 Niveau: Optimeret
 r: 1990.Sommertid uge: INGEN.

ULSTEDuv, 1990. periode: ubegrænset.
 'HUS'

Måned (dage) kWh	jan (31)	feb (28)	mar (31)	apr (30)
qOpv	1386.611	980.459	658.886	122.956
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	-258.718	-240.367	-220.957	-185.009
qUdl	0.000	0.000	0.000	-86.001
qSol	213.731	524.410	649.947	1096.693
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	543.864	491.232	543.864	526.320
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-1885.487	-1755.734	-1631.740	-1474.959
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	-0.000	-0.000	0.000	-0.000
VntEff	0.000	0.000	0.000	0.000
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

ULSTEDuv, 1990. periode: ubegrænset.
 'HUS'

Måned (dage) kWh	maj (31)	jun (30)	jul (31)	aug (31)
qOpv	0.000	0.000	0.000	0.000
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	-164.316	-110.166	-102.986	-101.463
qUdl	-308.016	-832.377	-795.721	-784.174
qSol	1217.128	1350.141	1217.366	1211.672
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	543.864	526.320	543.864	543.864
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-1288.659	-933.919	-862.523	-869.900
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	0.000	0.000	0.000	-0.000

VntEff	0.000	0.000	0.000	0.000
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

ULSTEDuv, 1990. periode: ubegrænset.
'HUS'

Mtned (dage) kWh	sep (30)	okt (31)	nov (30)	dec (31)
qOpv	0.000	125.299	667.492	1094.825
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	-124.367	-154.263	-183.225	-230.671
qUdl	-341.731	-50.591	0.000	0.000
qSol	936.729	627.506	352.450	286.343
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	526.320	543.864	526.320	543.864
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-996.951	-1091.815	-1363.038	-1694.360
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	0.000	0.000	0.000	0.000
Sum	0.000	0.000	0.000	0.000
VntEff	0.000	0.000	0.000	0.000
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

Tidsstep: 1800.0 sec (2 steps/time)
 Vejrdata: CPH København (Gbr 55.7 Stedt -9.7)
 Solalgoritmer: Petersen
 Niveau: Optimeret
 År: 1990.Sommertid uge: INGEN.

TEST, 1990. periode: ubegrænset.
 'HUS'

Måned (dage) kWh	jan (31)	feb (28)	mar (31)	apr (30)
qOpv	1226.762	982.840	792.448	299.190
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdl	0.000	0.000	0.000	0.000
qSol	124.114	283.292	310.819	482.214
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	453.220	409.360	453.220	438.600
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-1159.731	-1079.115	-1010.786	-803.485
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	-644.364	-596.379	-545.718	-416.535
Sum	0.000	-0.002	-0.017	-0.016
VntEff	44.257	39.974	44.257	42.830
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

TEST, 1990. periode: ubegrænset.
 'HUS'

Måned (dage) kWh	maj (31)	jun (30)	jul (31)	aug (31)
qOpv	10.253	0.000	0.000	0.000
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdl	0.000	-168.649	-206.353	-257.701
qSol	512.569	547.478	506.936	534.024
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	453.220	438.600	453.220	453.220
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-658.829	-571.750	-520.435	-499.496
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	-317.213	-245.695	-233.369	-230.046
Sum	0.000	-0.016	0.000	-0.000
VntEff	44.257	42.830	44.257	44.257
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

TEST, 1990. periode: ubegrænset.
 'HUS'

Måned (dage) kWh	sep (30)	okt (31)	nov (30)	dec (31)
qOpv	0.000	209.099	640.047	981.583
qKøl	0.000	0.000	0.000	0.000
qInf	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdl	-30.149	-3.299	0.000	0.000
qSol	449.639	326.032	197.620	170.243
qPer	0.000	0.000	0.000	0.000
qUdst	438.600	453.220	438.600	453.220
qLys	0.000	0.000	0.000	0.000
qTrans	-568.181	-619.638	-820.748	-1030.709
qMix	0.000	0.000	0.000	0.000
qVent	-289.909	-365.417	-455.516	-574.340
Sum	-0.000	-0.004	0.002	-0.002
VntEff	42.830	44.257	42.830	44.257
VarGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
KølGenv	0.000	0.000	0.000	0.000
VarmeFl	0.000	0.000	0.000	0.000
KøleFl	0.000	0.000	0.000	0.000
Befugt	0.000	0.000	0.000	0.000

Bilag D:

Diverse baggrundsmaterialer

Følgende bilag er kopieret fra eksamensprojektet af Møller og Vieira, referencer Møller, 1994a og Møller, 1994b.

HOLLOW RECTANGULAR CROSS SECTION - TWO-DIMENSIONAL HEAT FLOW
Inner and Outer Surface Each at a Different Uniform Temperature
Heat Input at One Surface (The Warmer One)

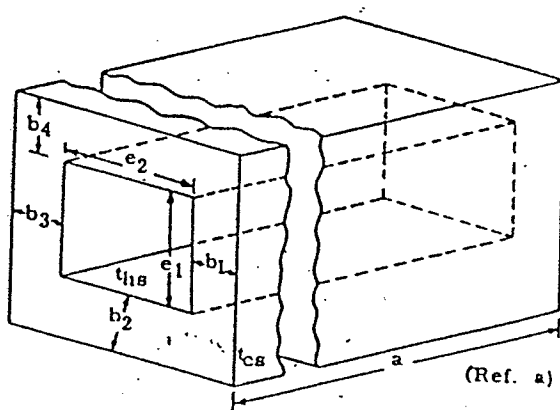
Maximum Temperature*

$$t_{hs} - t_{cs} = qR$$

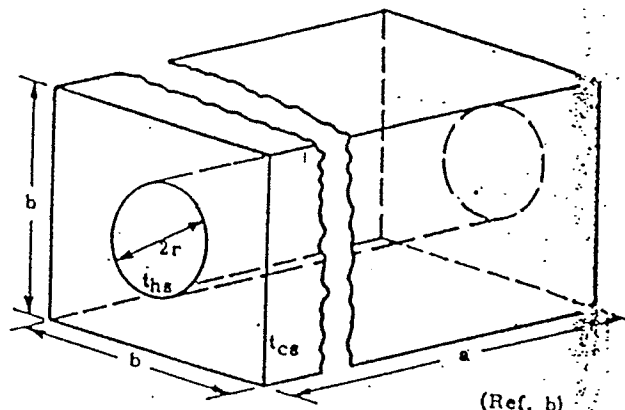
t_{hs} = temperature of hot surface

t_{cs} = temperature of cold surface

Thick Walls



$$R = \frac{1/ka}{\left(\frac{e_1}{b_1} + .54\right) + \left(\frac{e_2}{b_2} + .54\right) + \left(\frac{e_1}{b_3} + .54\right) + \left(\frac{e_2}{b_4} + .54\right)}$$



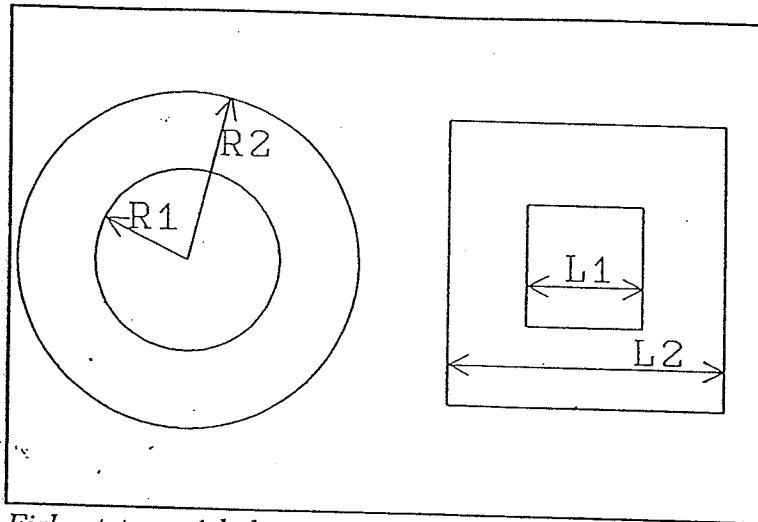
$$R = \frac{1}{2\pi ak} \ln\left(1.08 \frac{b}{2r}\right)$$

REFERENCES

- a. McAdams, Heat Transmission, 2nd edition, p. 26.
- b. Kutateladze, S.S., "Fundamentals of Heat Transfer," Academic Press, N. Y., 1963, p. 89.

* For symbols, see Section G502.1, p. 1, and sketches above.

Korrigeretværdi for varmeovergangstal mellem lager og jord



Firkantet og cirkulært ringe med samme areal.

For varmetransport i en firkantet ring haves følgende udtryk for varmetabskoefficient H :

$$H = 4 \cdot k \cdot (2 \cdot L_1 / (L_2 - L_1) + 0.54)$$

Da areal for cirkulær og firkantet ring arealer er ens :

$$\pi \cdot R^2 = L^2 \rightarrow L = R \cdot \sqrt{\pi}$$

Den korrigeretværdi for varmeovergangstal mellem lager og jord fås så fra ligning :

$$H_{\text{kor}} = 4 \cdot k \cdot (2 \cdot R_1 / (R_2 - R_1) + 0.54)$$

Overlag vedr. Væskeafkøling i rørkreds i Sandlager

formel
$$e \frac{U' \cdot L}{\dot{m} \cdot c_p} = \frac{t_{\text{væske, Ind}} - t_{\text{lager}}}{t_{\text{væske, Ud}} - t_{\text{lager}}} \quad [\text{ref. 10}]$$

$$U' = 1,2 \text{ W/m} \cdot \text{K}$$

$$\dot{m} = 0,066 \frac{\text{kg}}{\text{s}} (20 \text{ m}^2 \text{ solfanger})$$

$$c_p = 4180 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot \text{K}}$$

$$L = 328 \text{ m}$$

Sommerperiode: Middel temp. i Sandlager $\approx 35^\circ \text{C}$
 $\nearrow$ Indløbstemperatur

$$e \frac{1,2 \cdot 328}{0,066 \cdot 4180} = \frac{55 - 35}{t_{\text{ud}} - 35} \Rightarrow t_{\text{ud}} = 39,8 \quad \Delta t = 15,2^\circ \text{C}$$

Overgangsperiode: Middel temp. i sandlager $\approx 25^\circ \text{C}$

$$e \frac{1,2 \cdot 328}{0,066 \cdot 4180} = \frac{45 - 25}{t_{\text{ud}} - 25} \Rightarrow t_{\text{ud}} = 29,8 \quad \Delta t = 15,2^\circ \text{C}$$

Vinter: Middel temp. i sandlager $\approx 20^\circ \text{C}$

$$e \frac{1,2 \cdot 328}{0,066 \cdot 4180} = \frac{30 - 20}{t_{\text{ud}} - 20} \Rightarrow t_{\text{ud}} = 22,4 \quad \Delta t = 7,6^\circ \text{C}$$

Væskeafkølingen i gulv kredsen vil være ca. 3-5 grader større

Analogi mellem cirkulær og kvadratisk rør

Med hensyn til opbygning af modellen i Heat2, er det ikke muligt at arbejde med cirkulær geometri i programmet. Derfor blev røret transformeret til et rør med kvadratisk tværsnit. Transformationen tager sit udgangspunkt i, at varmeoverførende areal for de to rørtværsnit, skal være identisk. Metoden er bedre beskrevet i ref.[11]. Den kvadratiske dimension findes efter formlen :

$$L = 2 * D_y * (e^{\pi/8} - 1)$$

L = Kvadratets side

D_y = Rørets yderdiameter

Formlen er udledt under forudsætning af, at afstand mellem knudpunkter i FEM-modellen er en halvdel af kvadratets side. Derfor sættes netelementets størrelse i Heat2 model til :

$$L_{xy} = L/2$$

Ved at indsætte rørets diameter i formel, fås for $D_y = 0,024\text{m}$:

$$L = 0.023\text{m} \text{ og } L_{xy} = 0.0115\text{m}$$

Beregning af varmeovergangstal mellem væsken og rørets yderoverflade

Konvektionstal mellem væske og røret, ligesom rørets væg isolans beregnes. Som standard værdier haves :

$$\text{Flow} = 4 \text{ l/min} \quad \text{og} \quad D_i = 0.020$$

Ved at bruge stof-værdier for vand ved 30°C kan Reynoldstal og Prandltal findes :

$$\text{Re} = 5305 \quad \text{og} \quad \text{Pr} = 5.39$$

Konvektions tal beregnes så efter følgende ligning :

$$h = k/D_i * \text{Pr}^{0.3} * \text{Re}^{0.8}$$

$$h = 1120 \text{ W/m}^2\text{-}^\circ\text{C}$$

Med varmeledningsevne for plast $k_{\text{plast}} = 0.2 \text{ W/m-}^\circ\text{C}$ kan plastrørets isolans findes :

$$R = \ln(D_y/D_i) / (2 * \pi * 0.2)$$

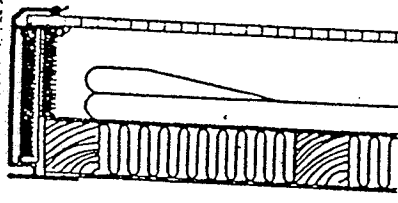
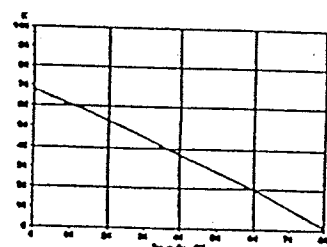
$$R = 0.145 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m/W}$$

Den total isolans som skal angives i Heat2 er således følgende :

$$R_{\text{total}} = 0.145 + (\pi * 0.02 * 1120)^{-1}$$

$$R_{\text{total}} = 0.157 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m/W} \quad \text{eller}$$

$$R_{\text{total}} = 0.0144 \text{ }^\circ\text{C}\cdot\text{m}^2/\text{W}$$

DATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET		D 2061
Fabrikat/forhandler Aidt Miljø A/S, Kongensbrovej, Aidt, 8881 Thorsø tlf.:86 96 67 00		Type LF 4
Prøvelaboratorium Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby		Id.nr. 230
SOLFANGER DATA		
 Snit af solfanger Udvendige dimensioner 2.00 x 2.00 x 0.10 m Areal Udvendigt 4.00 m² Transparent 3.81 m²	Vægt 40.2 kg Væskeindh. 20.8 liter Dæklag Type ribbeplade Materiale acrylbelagt poly-carbonat Tykkelse 6 mm Absorber Type ribberør 2 parallelle rør-slange på sort træfiberplade Materiale sort polypropylen 16/12 mm	Isolering Bagside 30 mm glasuld Sider 20 mm filt Solfangerkasse Bagside træfiberplade Sider aluminiumsprofiler Tætning EPDM gummi Prøvetryk 150 kPa Varmekapacitet Excl. væske 12.8 kJ/°C Incl. væske 88.7 kJ/°C
	PRØVNING OG RESULTATER	
Prøvning Metode ISO/DIS 9806-1 Periode Juli 1992 Prøvningbetingelser Væske 50 % glycol Vind 5 m/s Væskestrøm 0.02 kg/s/m² Bestråling ca. 951 W/m² Beregnet stagnationstemperatur T_{STAG} 128 °C ved: G 1000 W/m² T_A 30 °C	Effektivitet η₀ = 0.68 k₀ = 5.73 W/K/m² k₁ = 0.012 W/K²/m² Væskestrømskorrektion m₀ = 1.047 m₁ = -0.623 s/kg M > 0.0025 kg/s/m² Hældningskorrektion s₀ = 1.015 s₁ = -0.0003 pr. grad Indfaldsvinkelkorrektion Ikke målt	G = 800 W/m²  Effektivitetskurve - (baseret på transparent areal)
FORMLER OG SYMBOLER		
Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot (T_m - T_a)^2 / G$ Korr. effektivitet : $\eta_k = k_u \cdot [\eta_0 - k_0 \cdot (T_m - T_a) / G - k_1 \cdot (T_m - T_a)^2 / G]$ Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 \cdot M$ Hældningskorr. : $k_s = s_0 + s_1 \cdot S$ Indfaldsvinkelkorr. : $k_v = [k_r(v) \cdot G_{DOR} + k_r(60^\circ) \cdot G_{DOR}] / G$ hvor $k_r(v) = 1 - \tan^2(v/2)$	T_a Lufttemperatur [°C] T_m Væsketemperatur [°C] M Massestrøm [kg/s] S Hældning fra vandret [°] v Indfaldsvinkel [°] G Bestrålingsstyrke [W/m²]	
BEMÆRKNINGER		Dato 1993-05-10 Henrik Løwaert

ATABLAD FOR SOLFANGER - EFFEKTIVITET

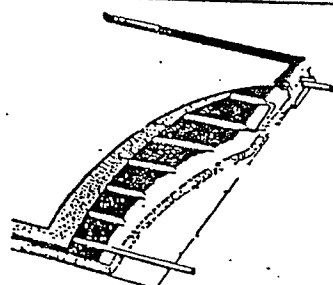
Fabrikat/forhandler
AR-CON SOLVARME A/S, Jyttevej 18, 9520 Skørping
 tlf.: 98 39 14 77

Type
ST

Prøvelaboratorium
Laboratoriet for Varmeisolering, DTH, Bygning 118, 2800 Lyngby

Id.nr.
257

SOLFANGER DATA



Snit i solfanger

Udvendige dimensioner
 2,27 x 1,22 x 0,105 m

Areal
 Udvendt 2,77 m²
 Transparent 2,51 m²

Vægt 52 kg
 Væskeindh. 1,4 liter
 Dæklag
 Yderst Materiale hærdeet jernfrit glas
 Tykkelse 4 mm
 Inderst Teflonfolie (25 µm)
 Absorber Type Sunstrip
 8 langsgående rør i serie
 Materiale Alu og kobber
 Belægning selektiv overflade

Isolering
 Bagside 40 mm glasuld
 Sider 10 mm do
 Solfangerkasse
 Bagside Aluminium profileret 0,5 mm alu.plade
 Tætning T-formet profil af EPDM-gummi
 Prøvetryk 1300 kPa
 Anbef. max. tryk 1000 kPa

PRØVNING OG RESULTATER

Prøvning
 Metode ISO/DIS 9806-1

Periode Nov 1993

Prøvningbetingelser

Væske 50 % glycol
 Vind 5 m/s
 Væskestrøm 0,02 kg/s/m²
 Bestråling Ca. 880 W/m²

Tryktab
 $P_d = 570 M^{0,95}$

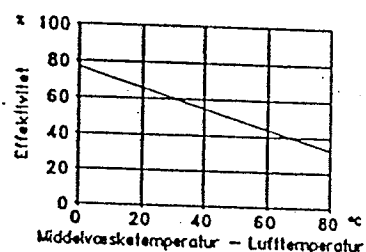
Tryktab ved 0,02 kg/(s/m²)
 $P_d = 33 \text{ kPa}$

Effektivitet
 $\eta_0 = 0,77 \text{ W/(K m}^2\text{)}$
 $k_0 = 4,40 \text{ W/(K m}^2\text{)}$
 $k_1 = 0,00 \text{ W/(K}^2\text{ m}^2\text{)}$

Hældningskorrektur
 $s_0 = 1,127$
 $s_1 = -0,0028 \text{ pr. grad}$

Indfaldsvinkelkorrektur
 $a = 3,0$

$G = 800 \text{ W/m}^2$



Effektivitetskurve
 (baseret på transparent areal)

FORMLER OG SYMBOLER

Effektivitet : $\eta = \eta_0 - k_0 (T_m - T_a)/G - k_1 (T_m - T_a)^2/G$
 Korr. effektivitet : $\eta_k = k_M [\eta_0 - k_G - k_0 k_s (T_m - T_a)/G - k_1 k_s (T_m - T_a)^2/G]$
 Væskestrømskorr. : $k_M = m_0 + m_1 M$
 Hældningskorr. : $k_s = s_0 + s_1 S$
 Indfaldsvinkelkorr. : $k_G = [k_v(V) G_{DIR} + k_v(60^\circ) G_{DIF}] / G$
 hvor $k_v(V) = 1 - \tan^2(V/2)$

T_a Lufttemperatur [°C]
 T_m Væsketemp. [°C]
 M Massestrøm [kg/s]
 S Hældning fra vandret [°]
 V Indfaldsvinkel [°]
 G Bestrålingsstyrke [W/m²]

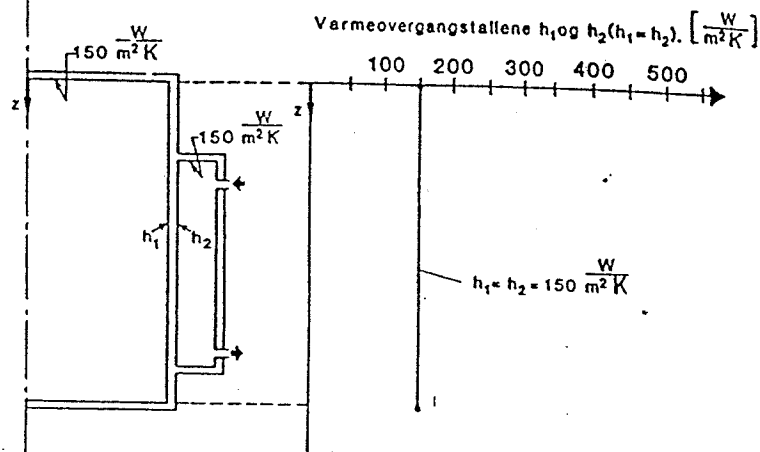
BEMÆRKNINGER

DATO
 Erik S. Nielsen

1. TILFÆLDE :

Forudsætninger :

- a) Flow i kappe = 0

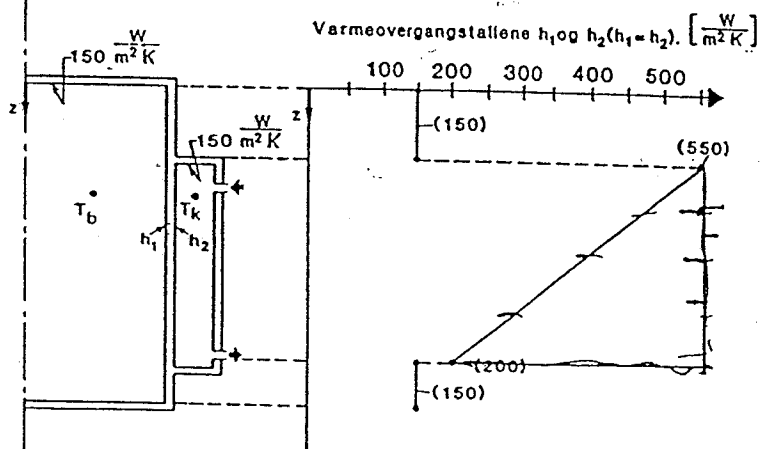


2. TILFÆLDE :

Forudsætninger :

- a) Flow i kappe $\neq 0$

- b) $T_b < T_k$

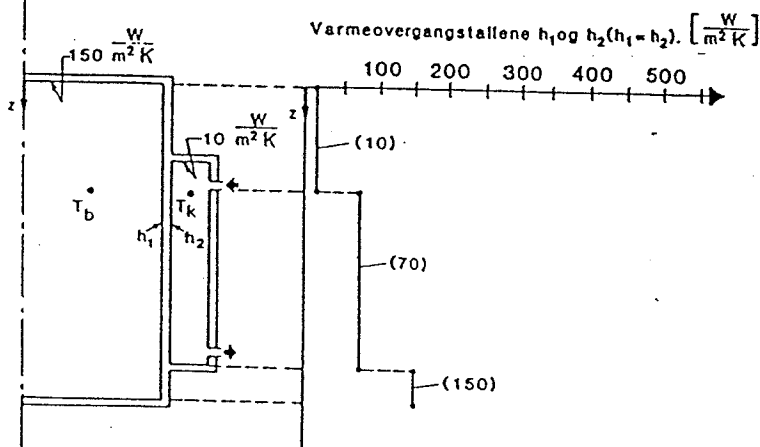


3. TILFÆLDE :

Forudsætninger :

- a) Flow i kappe $\neq 0$

- b) $T_b > T_k$

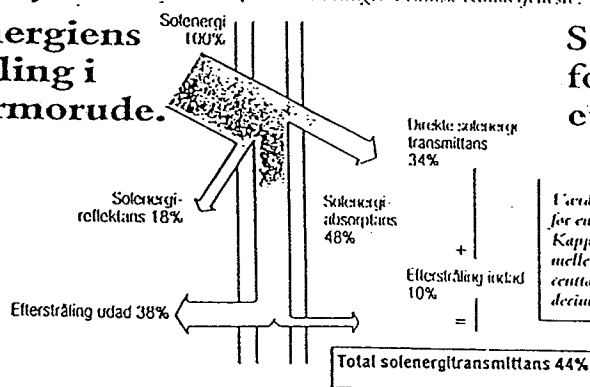


3 de vigtigste projekteringsværdier for Kappa Optima i forsk

LÆSE- BETINGELSER/ MÅLEMMERUM 6-12-6-12-6 med en termorude 1 stk 6 mm glas mellemrum.	GLASKOMBINATIONER	SOLLYS (%)			SOLENERGI (%)			
		TRANS- MITTANS	REFLEK- TANS		DIREKTE TRANS- MITTANS	REFLEK- TANS	ABSORP- TANS	TOTAL TRANS- MITTANS
			UDAD	INDAD				
	TO-LAGS TERMORUDE							
4-12-4	Almindeligt glas	80	14	14	68	12	20	76*
4-12-4	Kappa Optima Neutral + alm. glas	54	9	16	38	20	42	45*
6-12-6	Kappa Optima Neutral + alm. glas	52	9	16	34	18	48	44*
6-12-6	Kappa Optima Silver + alm. glas	44	41	40	24	44	32	31*
6-12-6	Kappa Optima Guld + alm. glas	49	32	33	24	42	34	30*
	TRE-LAGS TERMORUDE							
4-12-4-12-4	Almindeligt glas	72	20	20	56	15	29	67*
4-12-4-12-4	Kappa Optima Neutral + 2 lag alm. glas	49	11	21	31	21	48	41*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Neutral + 2 lag alm. glas	46	11	20	27	19	54	39*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Silver + 2 lag alm. glas	40	43	39	20	44	36	28*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Guld + 2 lag alm. glas	44	34	34	19	42	39	28*
KAPPA OPTIMA (+farve) Termorude med Kappa Antisun som det yderste glas og Kappa Optima Silver som det inderste glas.								
	TO-LAGS TERMORUDE							
6-12-6	Kappa Optima Grå - Kappa Antisun Grå + Kappa Optima Silver	21	12	40	13	16	71	23*
6-12-6	Kappa Optima Bronze - Kappa Antisun Bronze + Kappa Optima Silver	25	15	40	14	18	68	24*
6-12-6	Kappa Optima Grøn - Kappa Antisun Grøn + Kappa Optima Silver	36	28	40	14	18	68	24*
6-12-6	Kappa Optima Blå - Kappa Antisun Blå + Kappa Optima Silver	27	17	40	14	18	68	24*
	TRE-LAGS TERMORUDE							
6-12-6-12-6	Kappa Optima Grå - Kappa Antisun Grå + alm. glas + Kappa Optima Silver	19	12	42	10	13	77	21*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Bronze - Kappa Antisun Bronze + alm. glas + Kappa Optima Silver	22	15	42	11	15	74	23*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Grøn - Kappa Antisun Grøn + alm. glas + Kappa Optima Silver	33	27	42	11	15	74	23*
6-12-6-12-6	Kappa Optima Blå - Kappa Antisun Blå + alm. glas + Kappa Optima Silver	24	17	42	11	15	74	23*

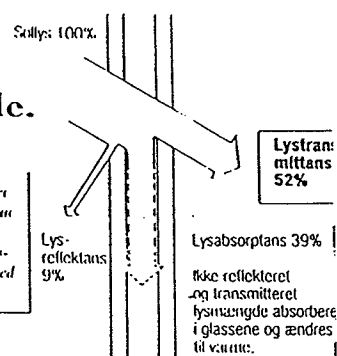
ses værdier for andre kombinationer, kontakt venligst Teknisk Kundetjeneste.

Solenergiens fordeling i en termorude.



Sollysets fordeling i en termorude.

Værdierne i dette eksempel gælder for en termorude 6-12-6 med 6 mm Kappa Optima Neutral, 12 mm mellemrum, 6 mm alm. glas. Procenttalene kan også udtrykkes med decimaler.



Bilag E:

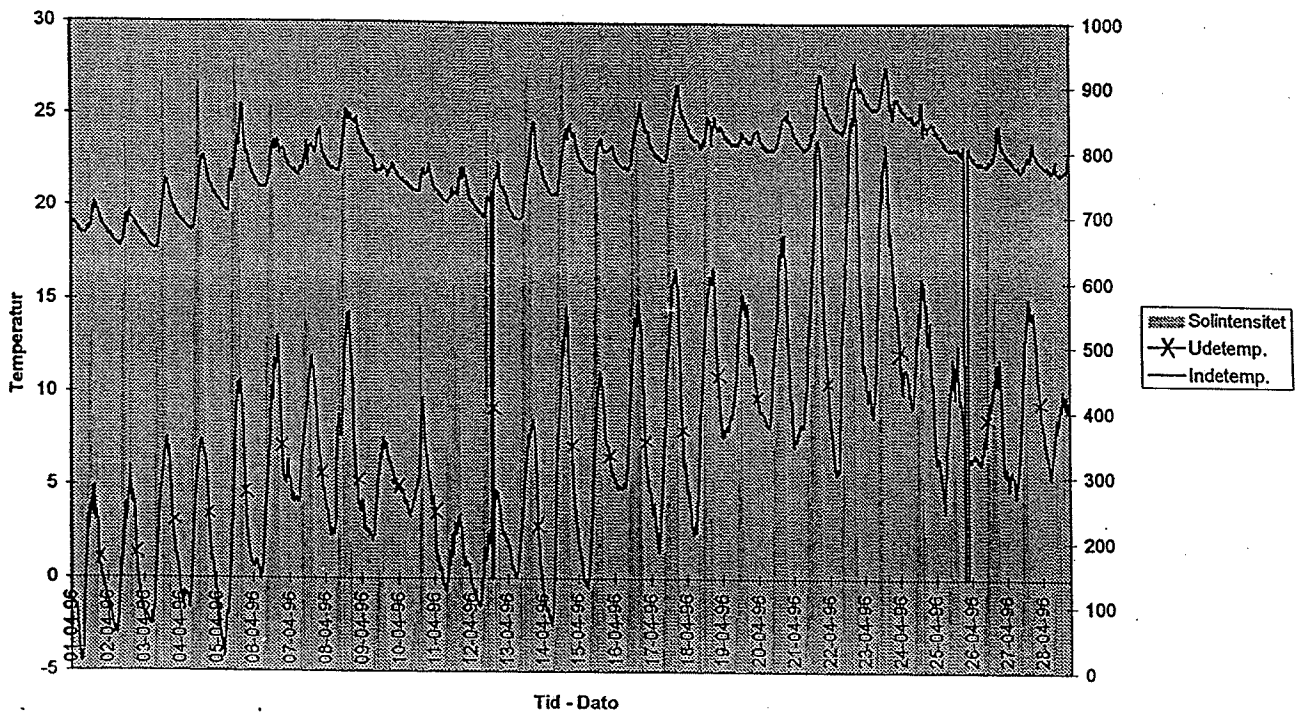
Målinger og måleopstilling

(udgået)

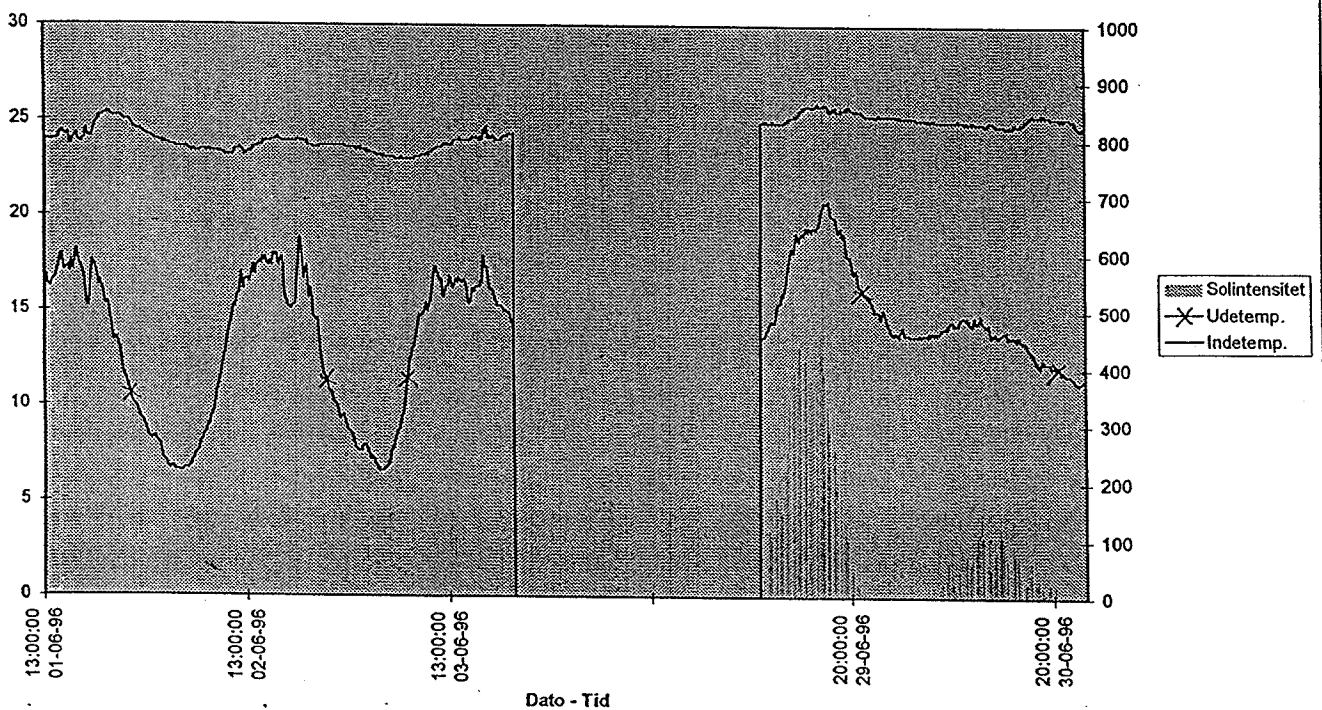
Bilag F:

Måledata

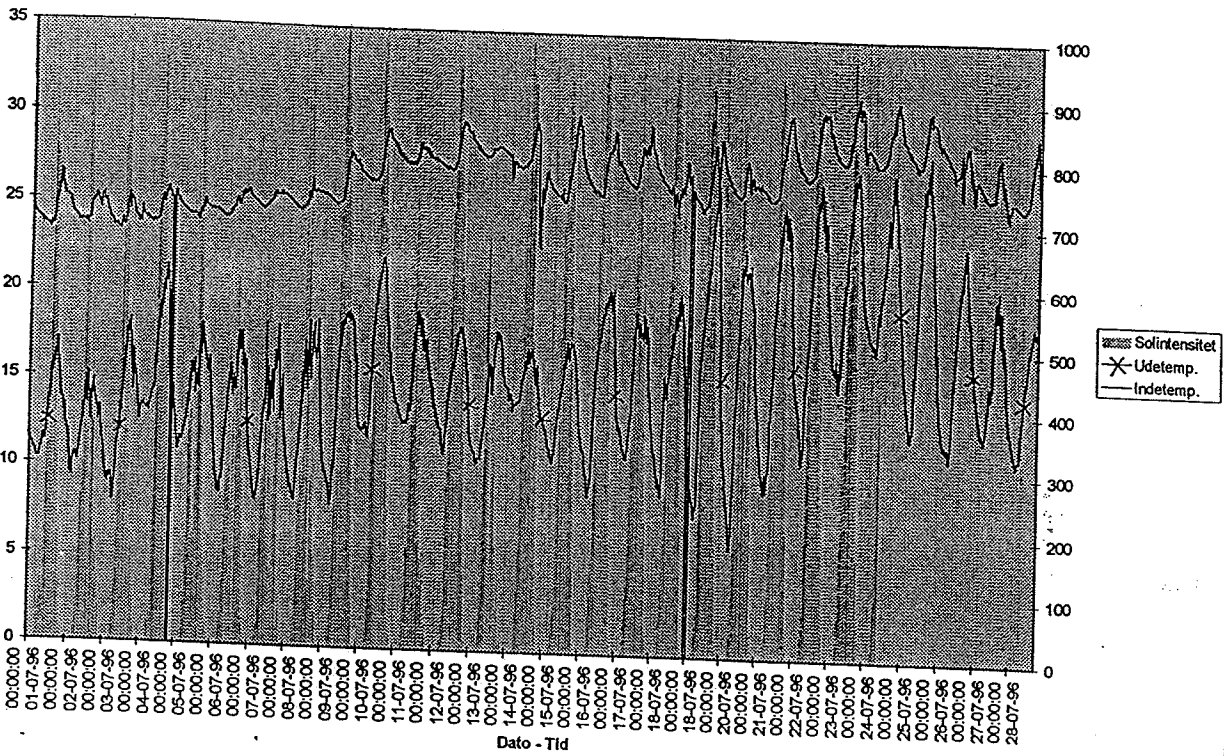
Klimadata April



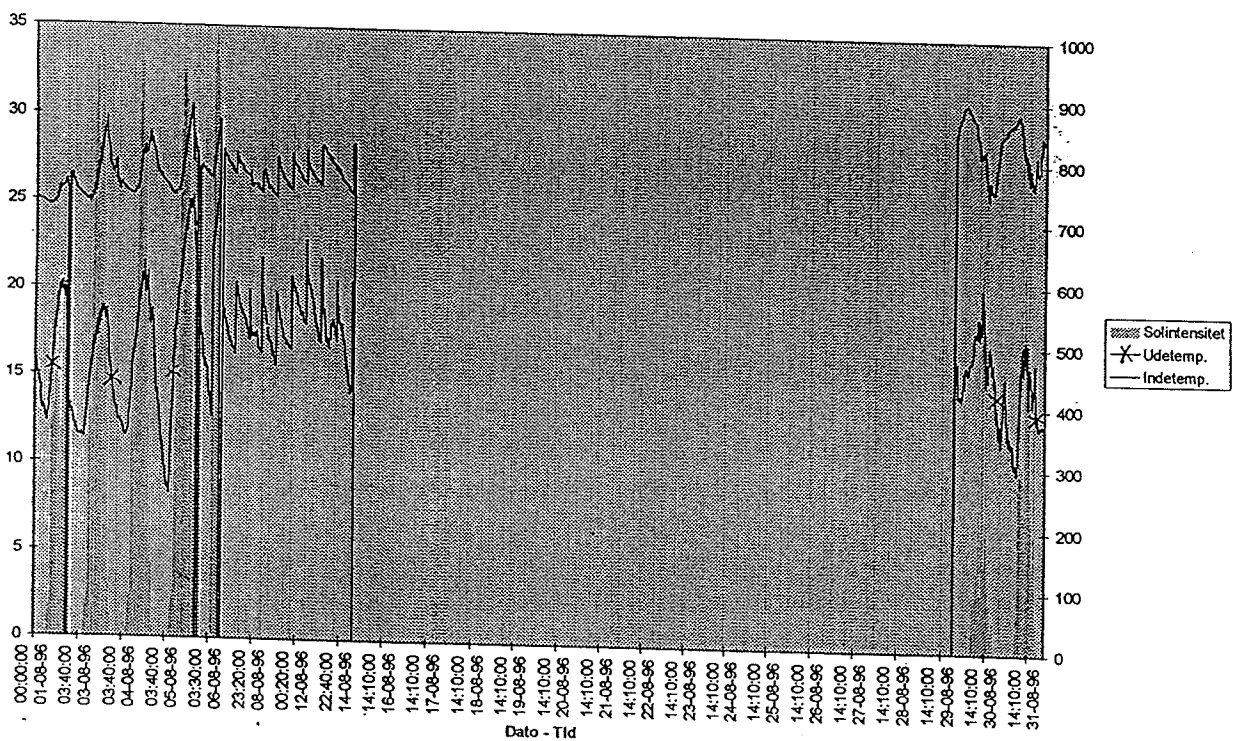
Klimadata Juni



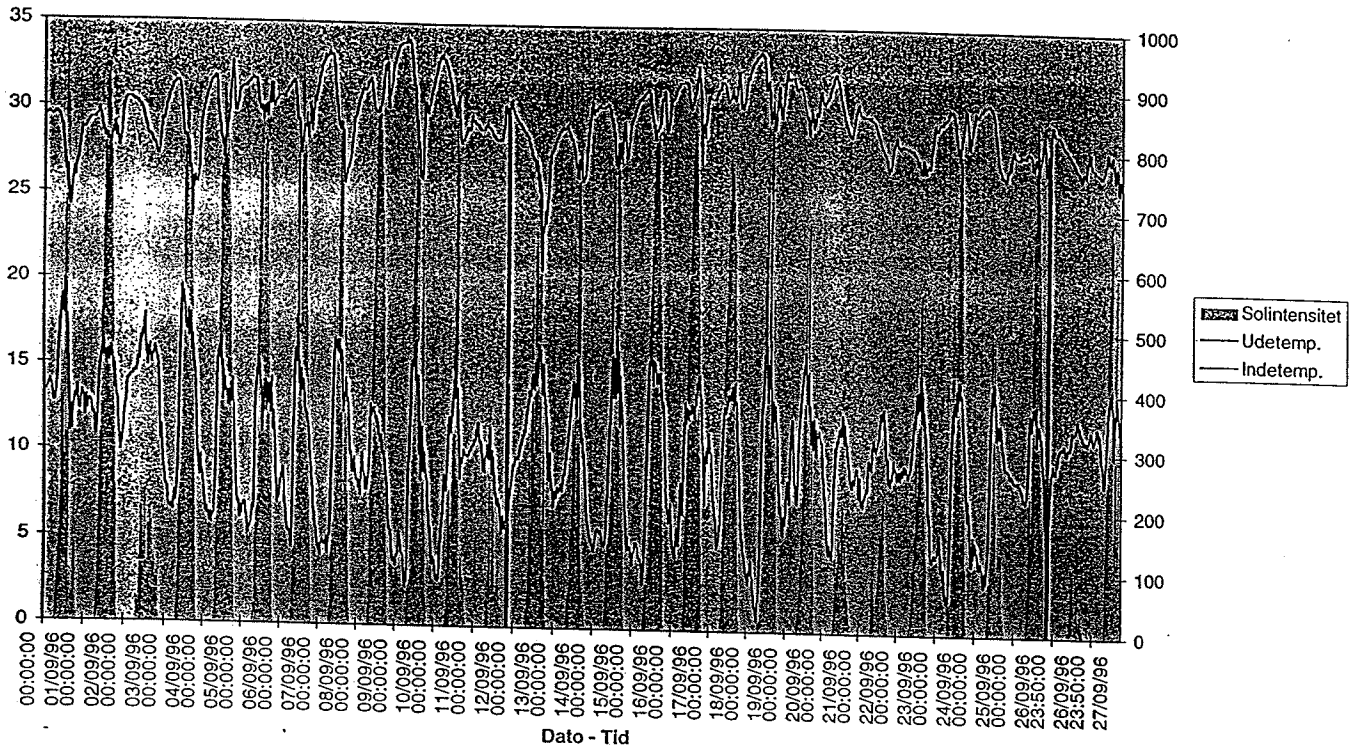
Klimadata Juli



Klimadata August

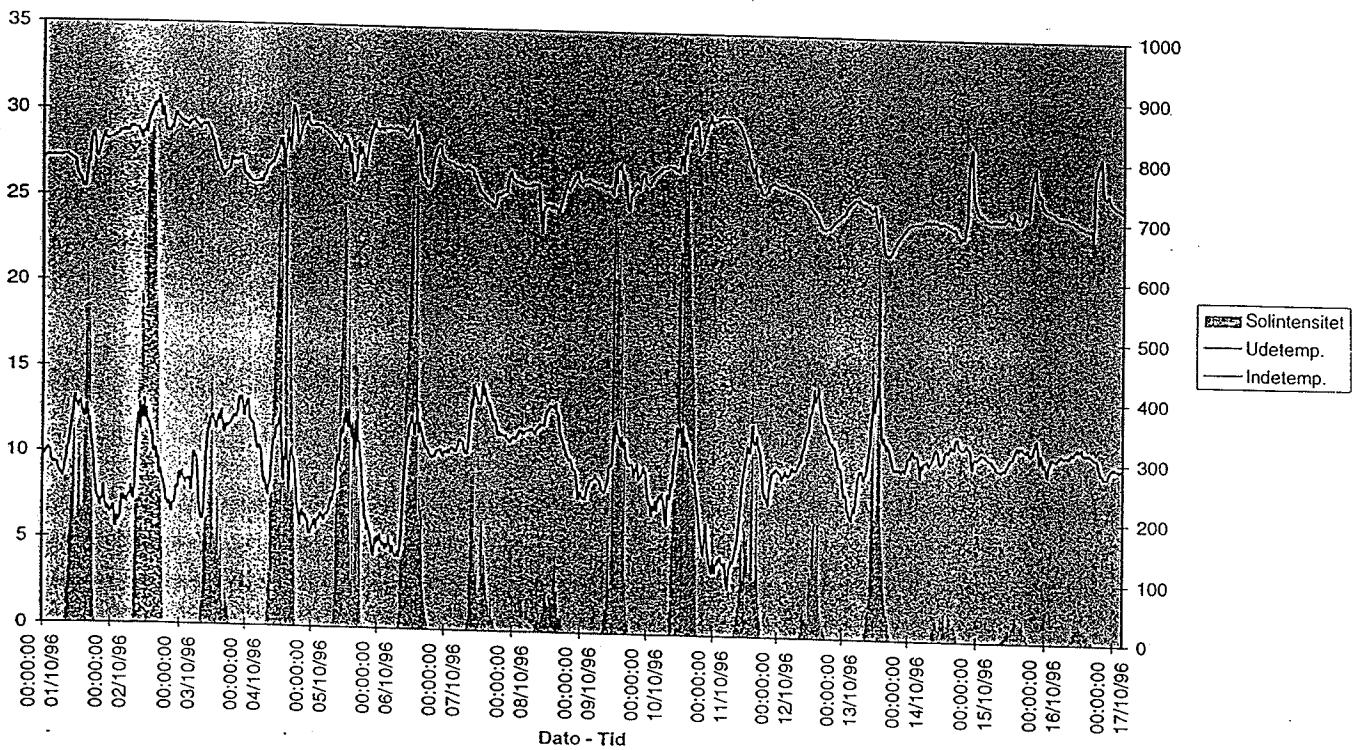


Klimadata September



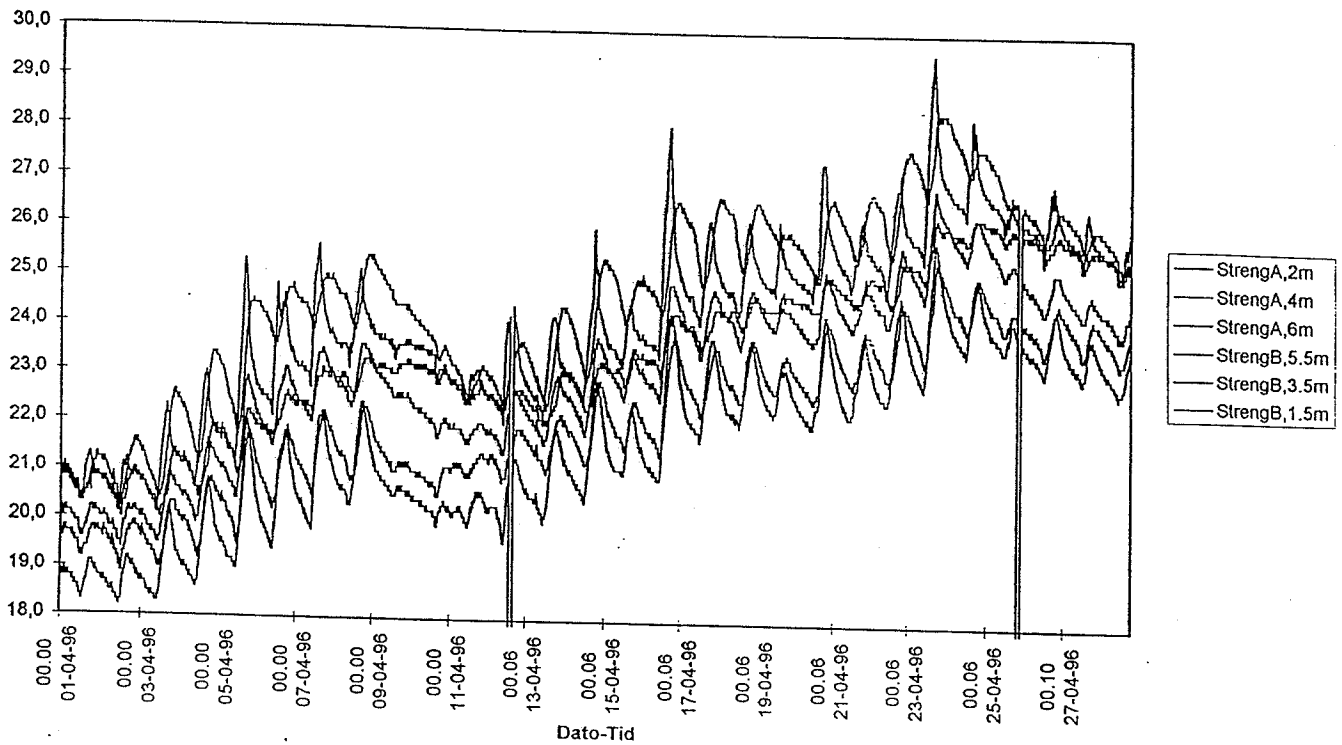
Side 1

Klimadata Oktober



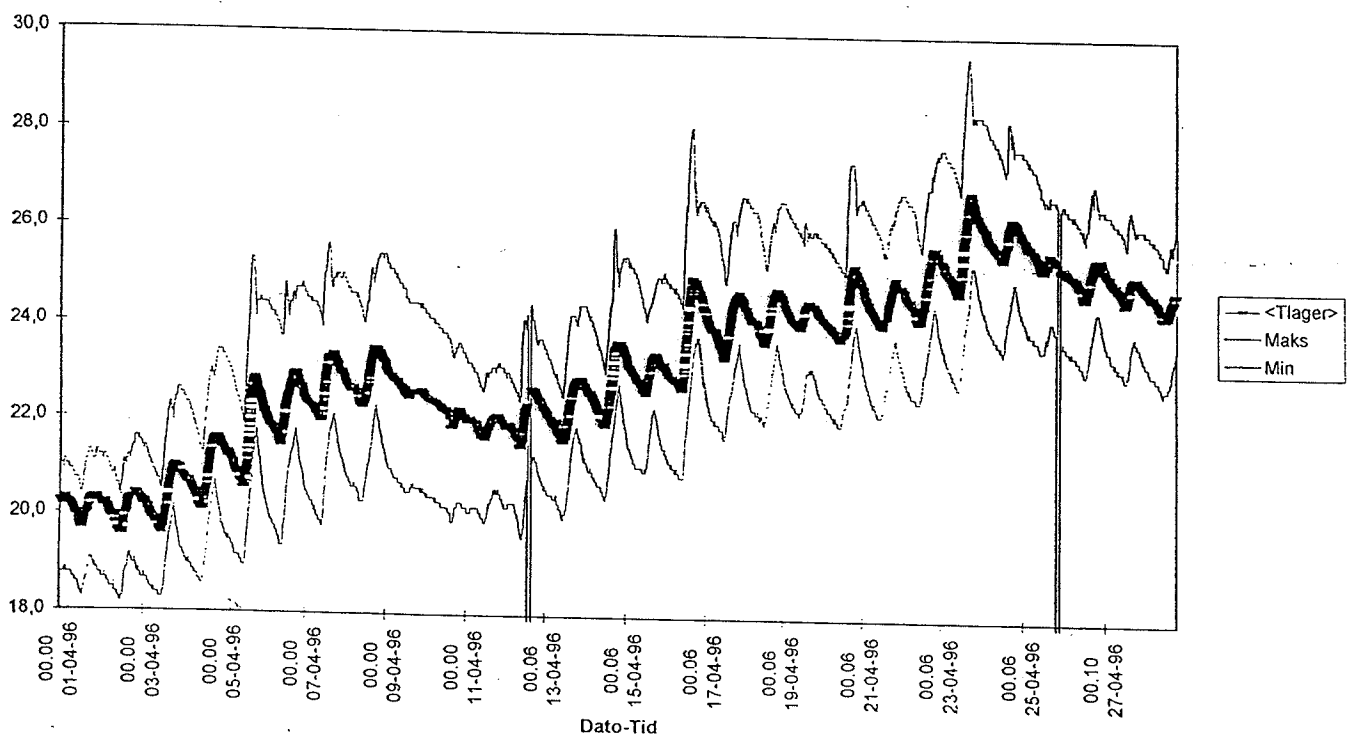
Side 1

Lagertemperaturer April



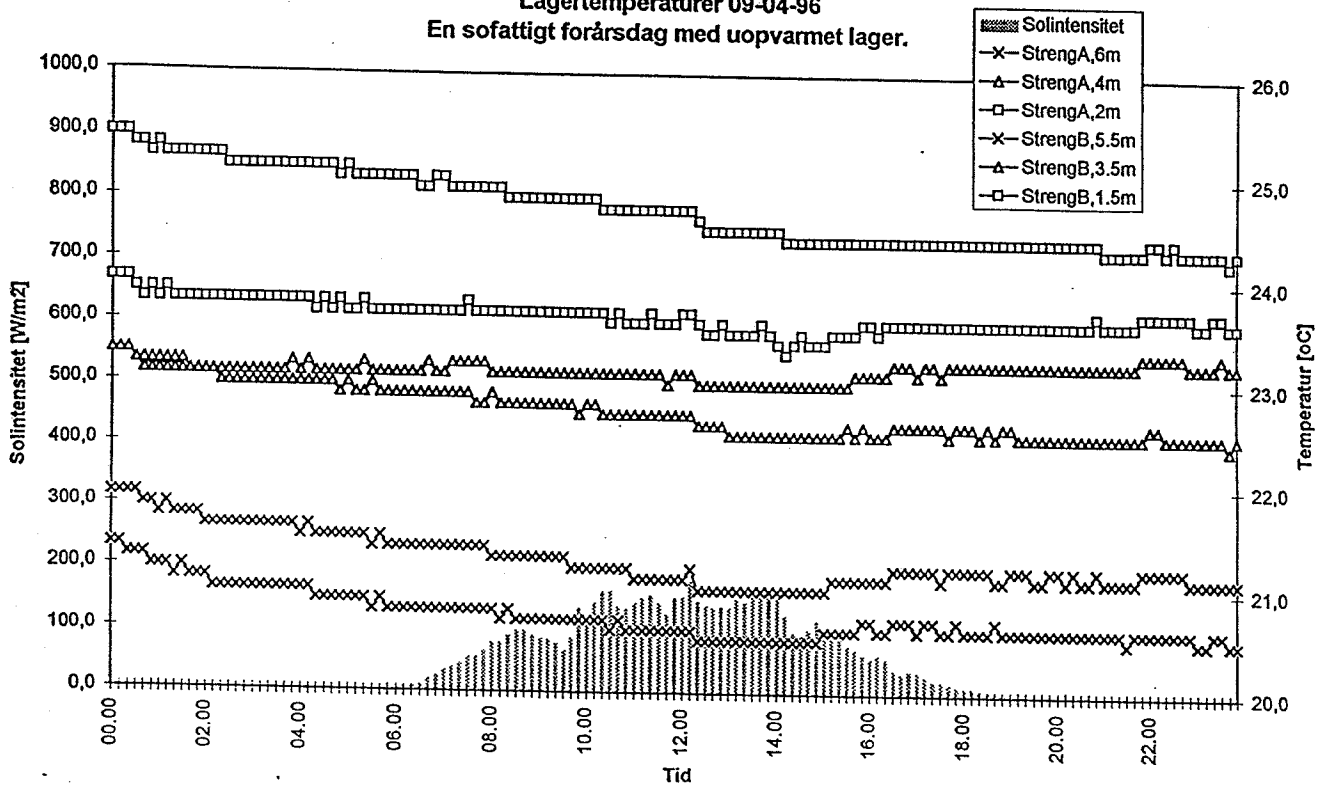
Side 1

Gennemsnitslagertemperatur - April



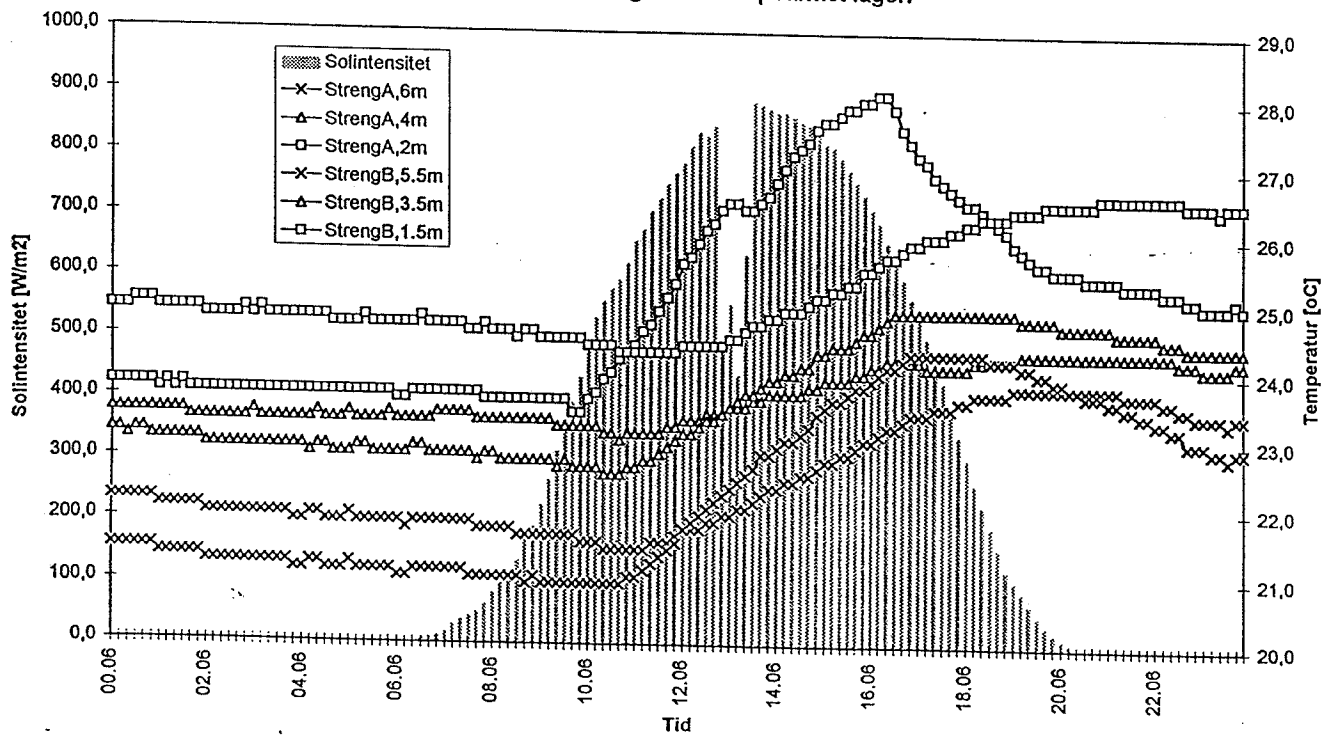
Side 1

Lagertemperaturer 09-04-96
En søfattigt forårsdag med uopvarmet lager.



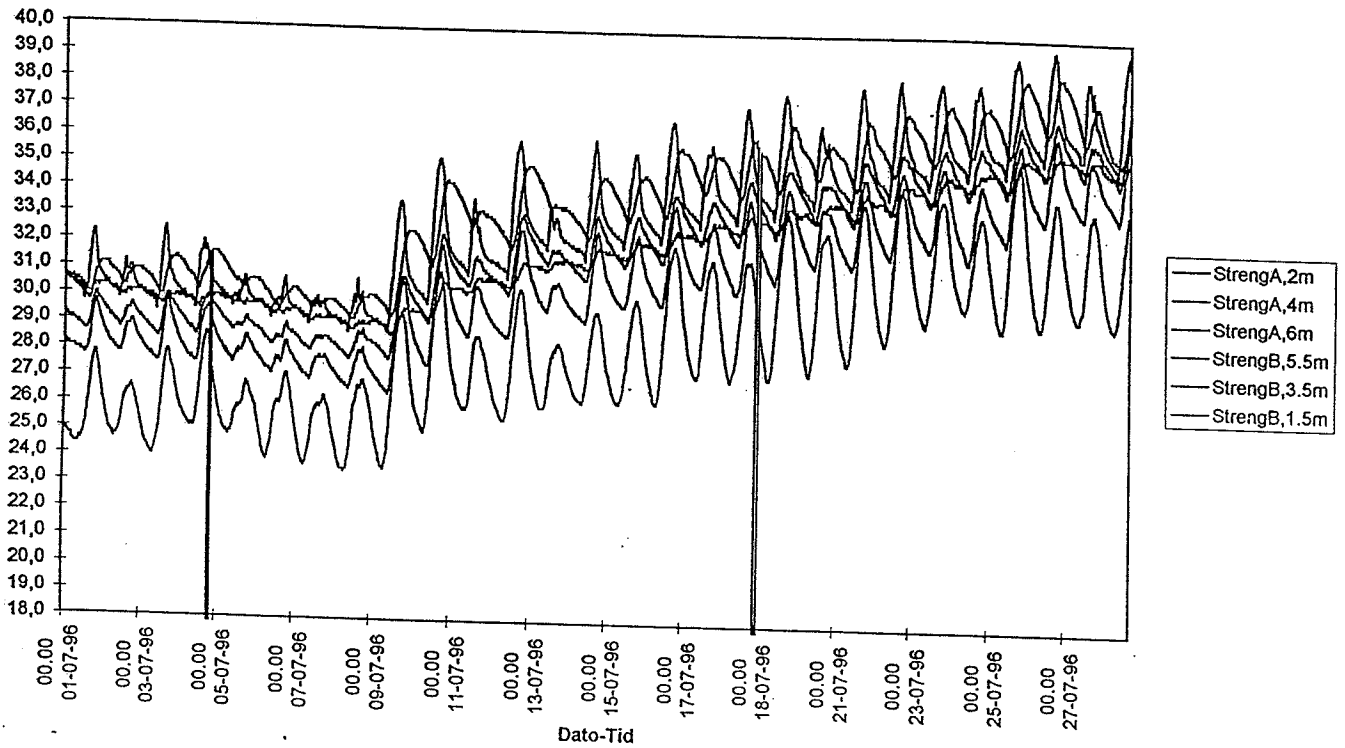
Side 1

Lagertemperaturer 16-04-96
En solrigt forårsdag med lidt opvarmet lager.



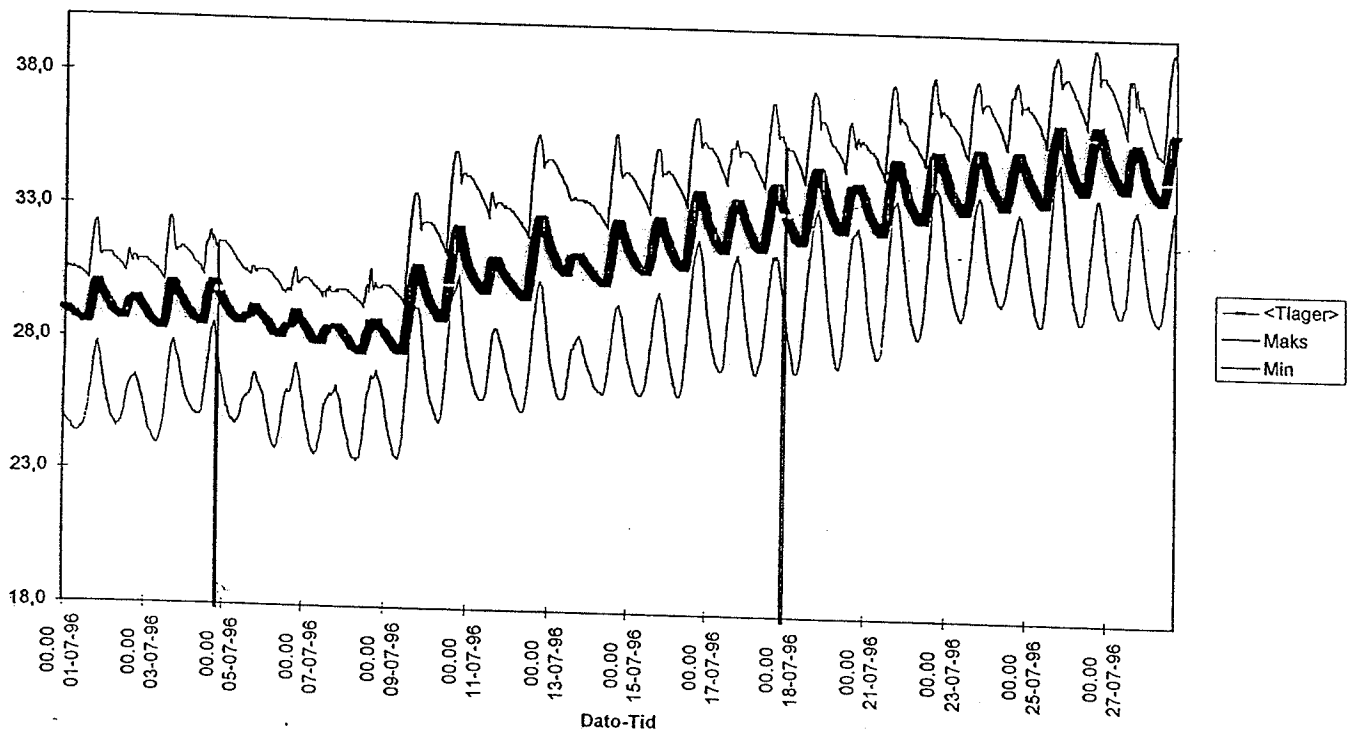
Side 1

Lagertemperaturer Juli



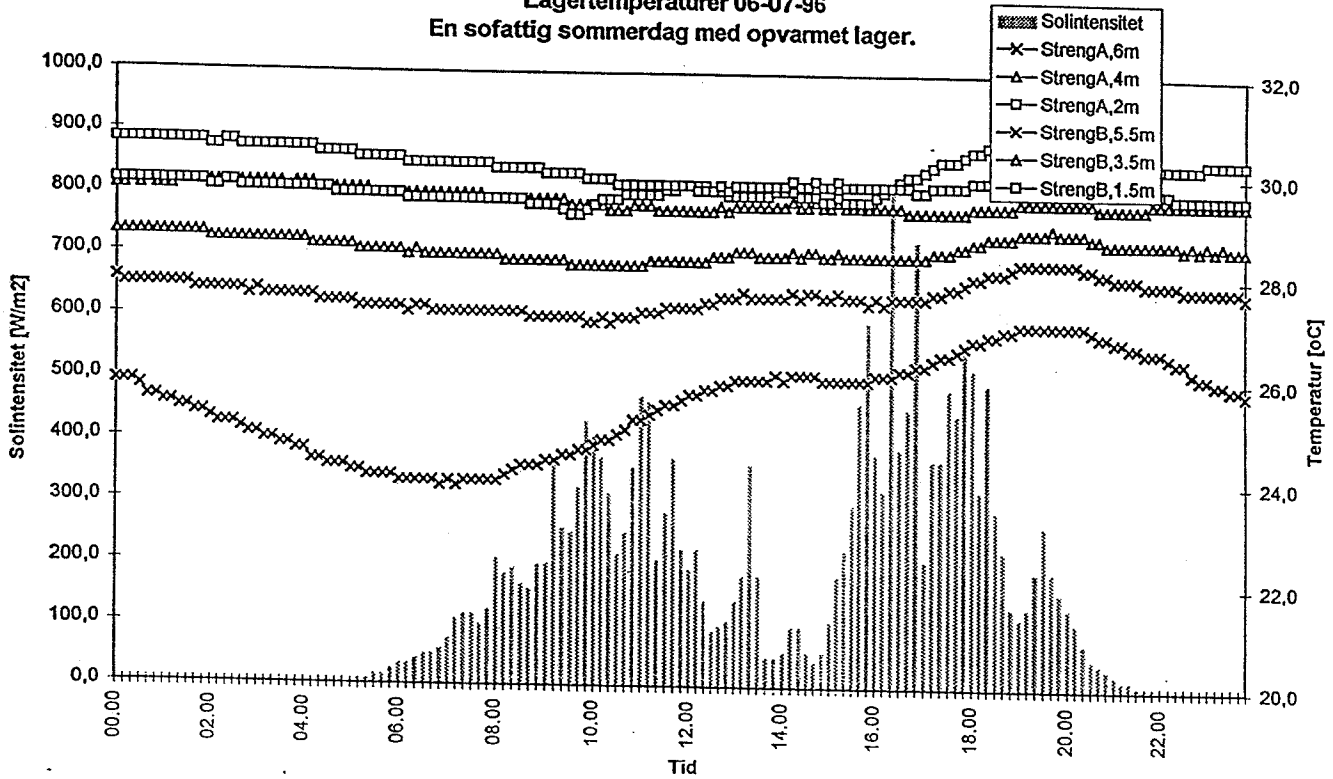
Side 1

Gennemsnitslagertemperatur - Juli



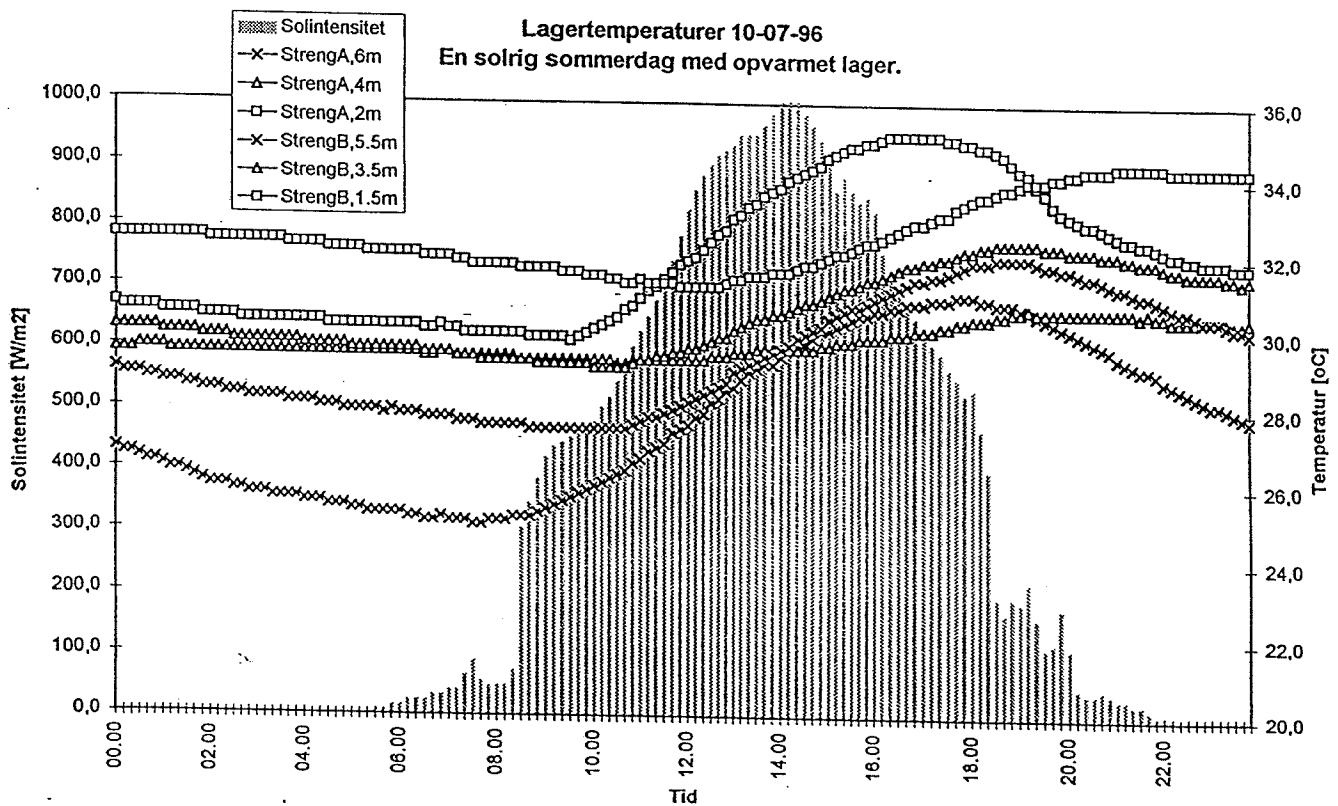
Side 1

Lagertemperaturer 06-07-96
En sofattig sommerdag med opvarmet lager.



Side 1

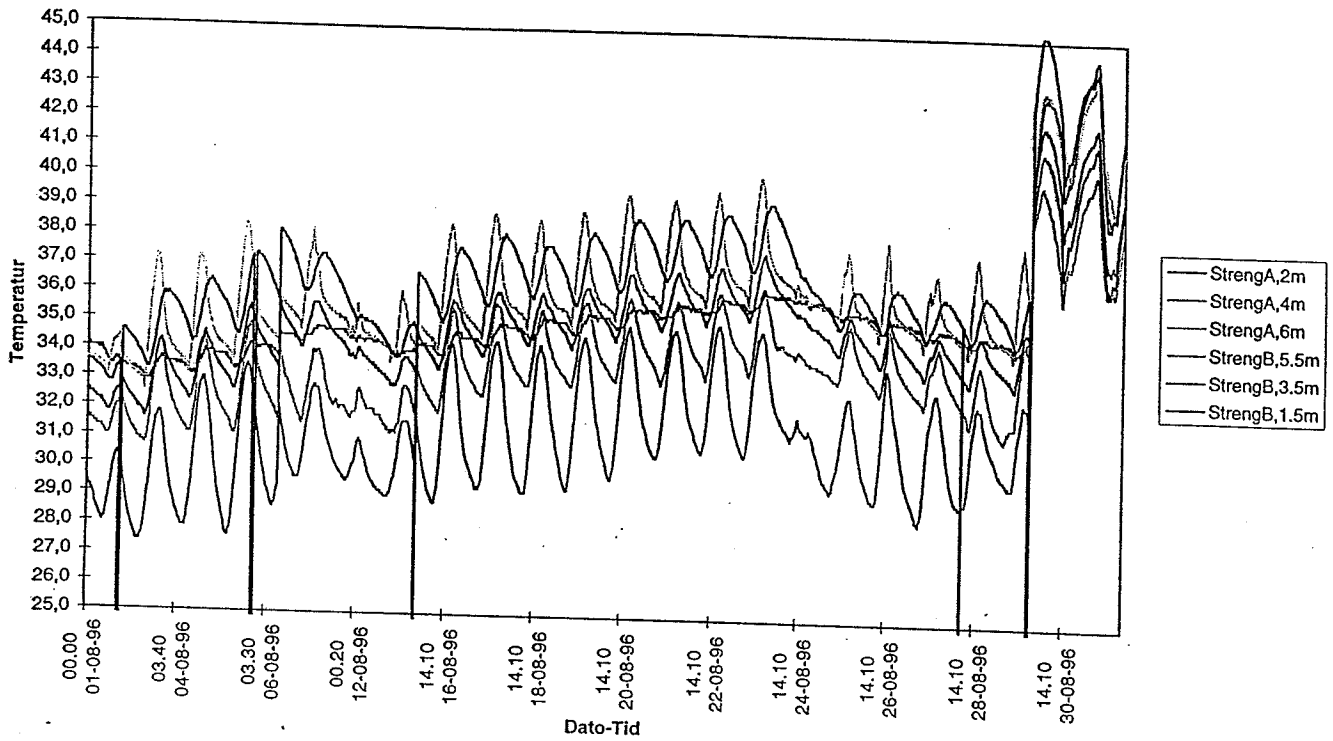
Lagertemperaturer 10-07-96
En solrig sommerdag med opvarmet lager.



Side 1

Lagertemp

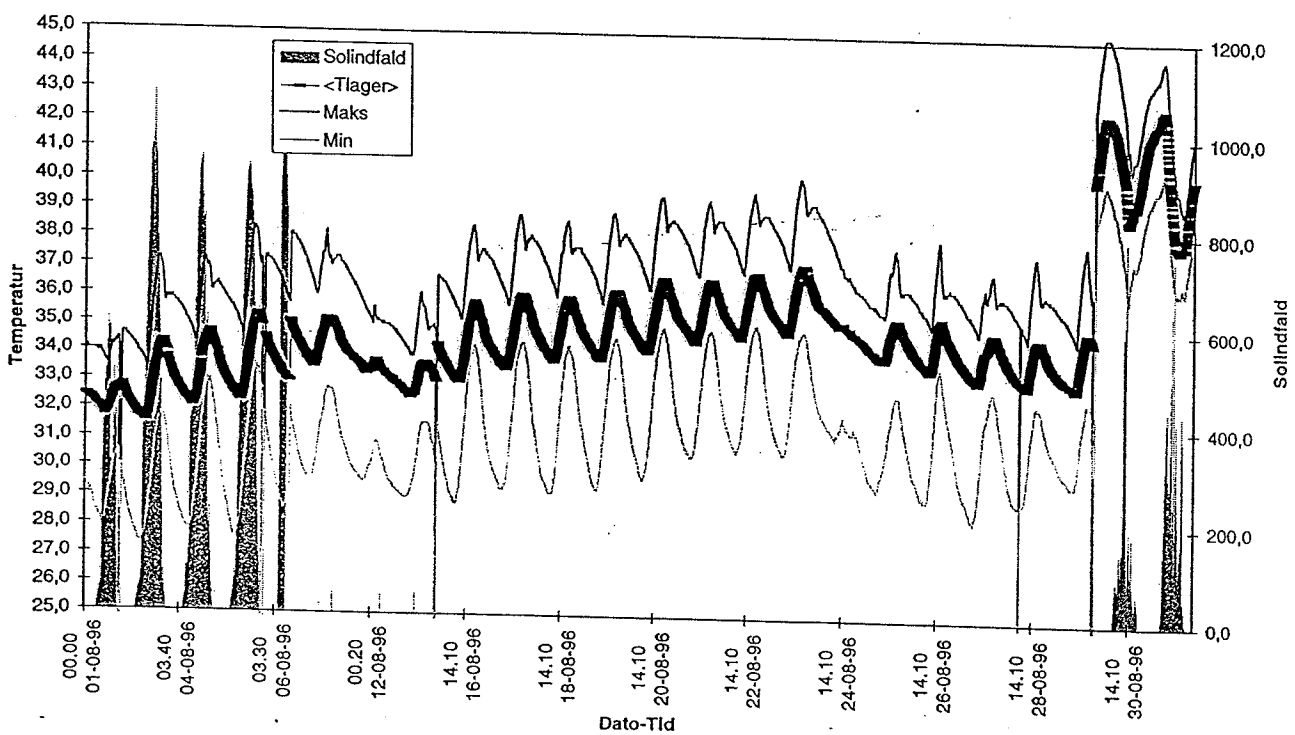
Lagertemperaturer ^{August} Juli



Side 1

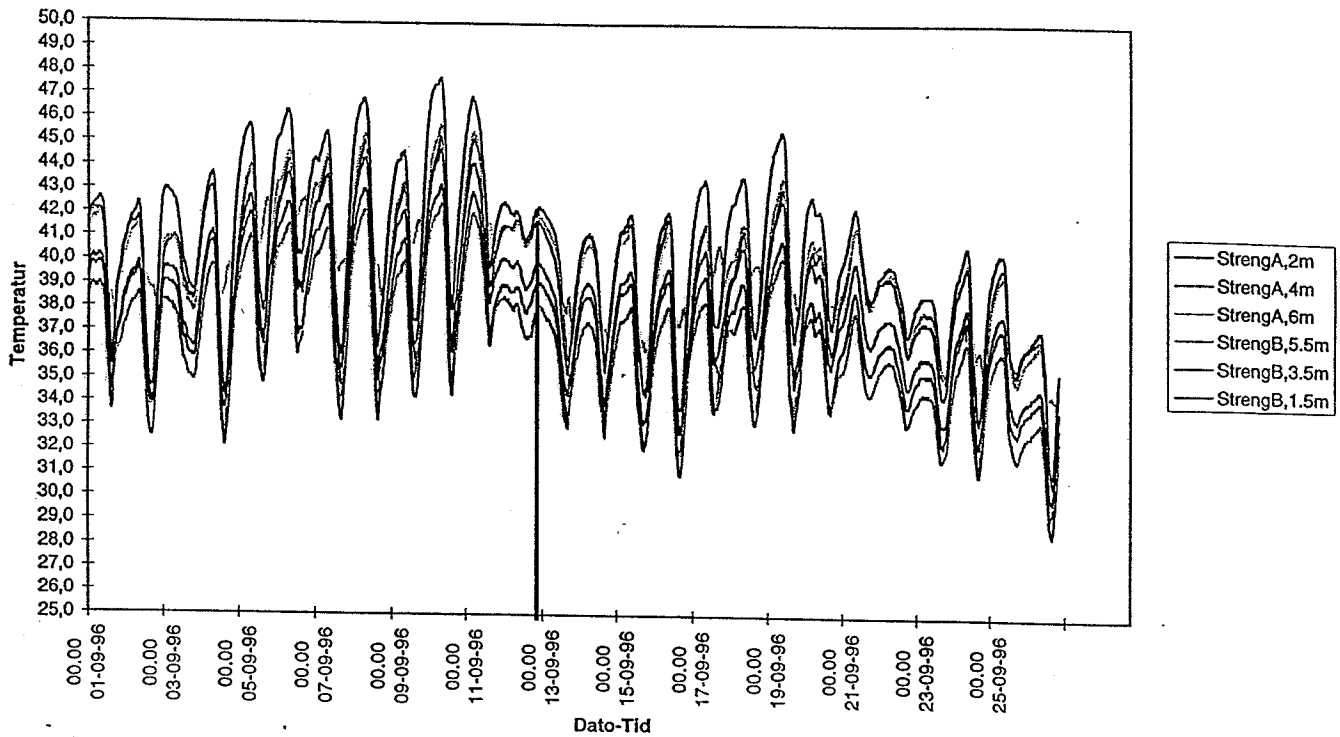
<Lagertemperatur>

Gennemsnitslagertemperatur - August



Side 1

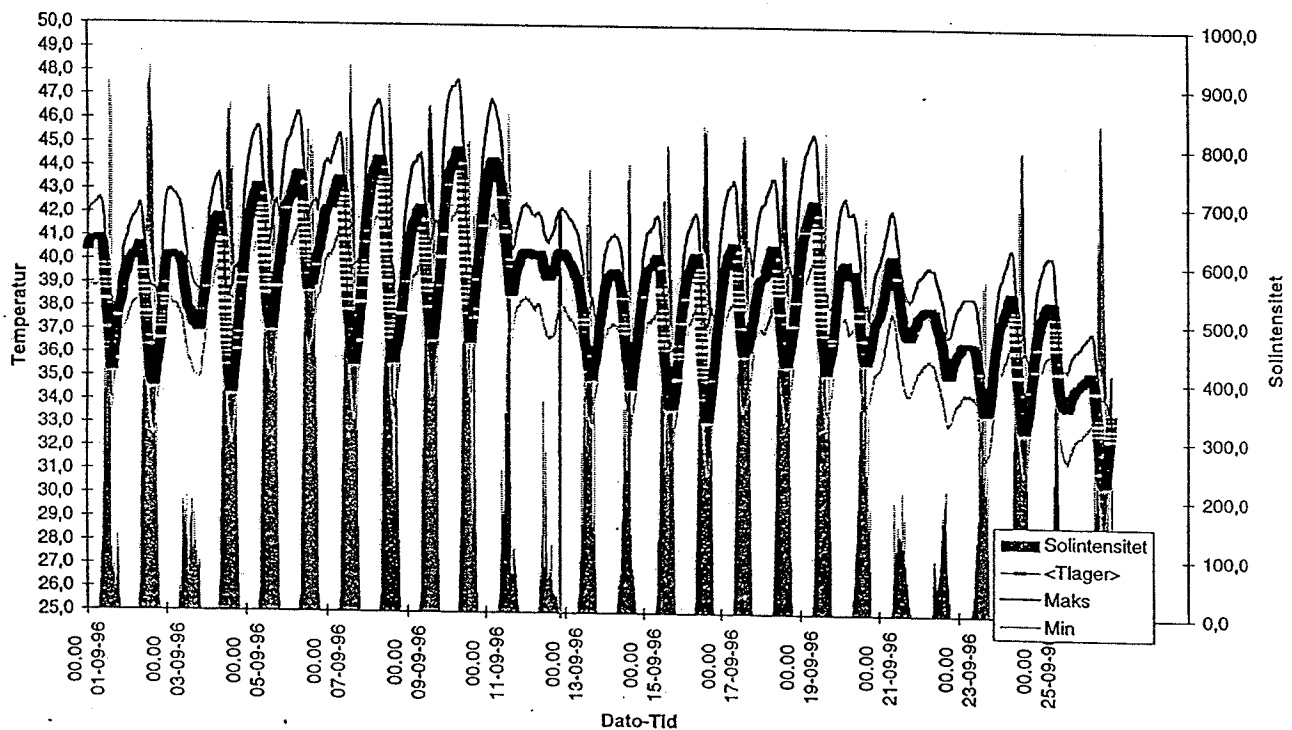
Lagertemperaturer September



Side 1

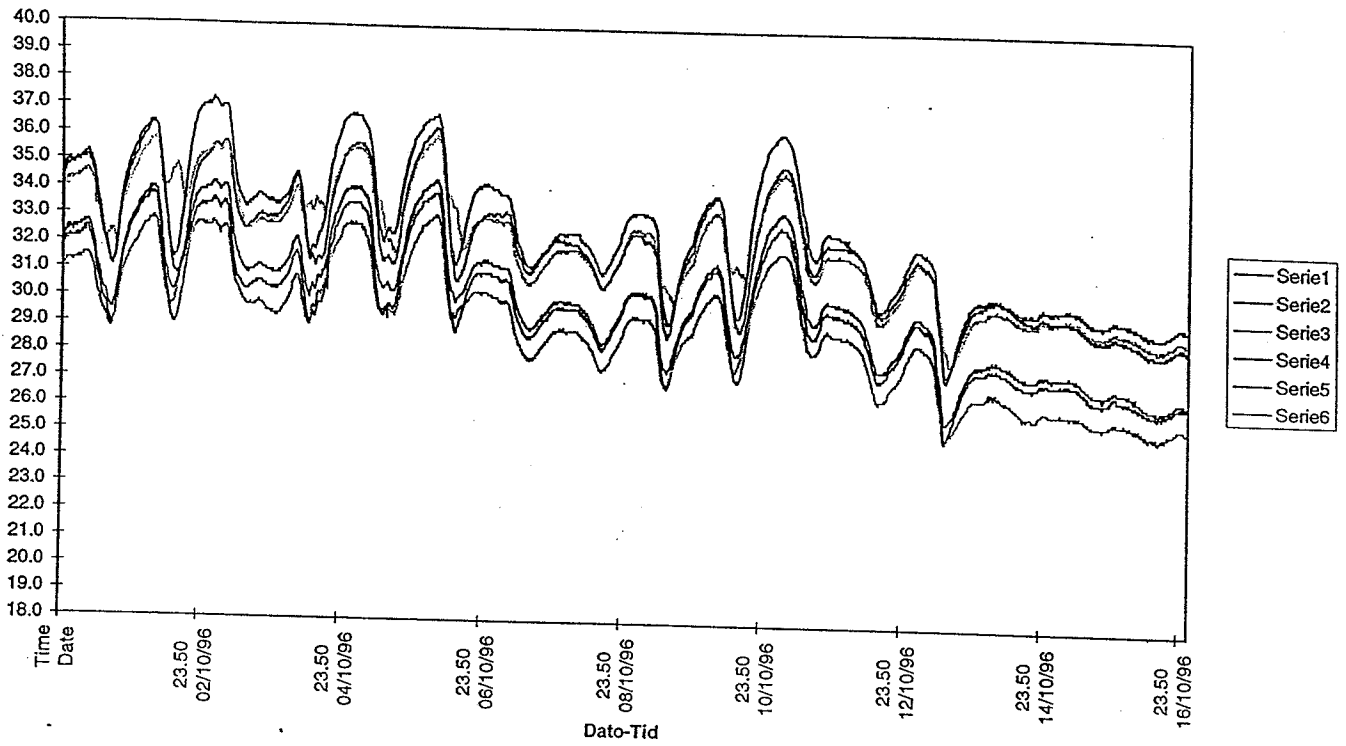
<Lagertemperatur>

Gennemsnitslagertemperatur - September



Side 1

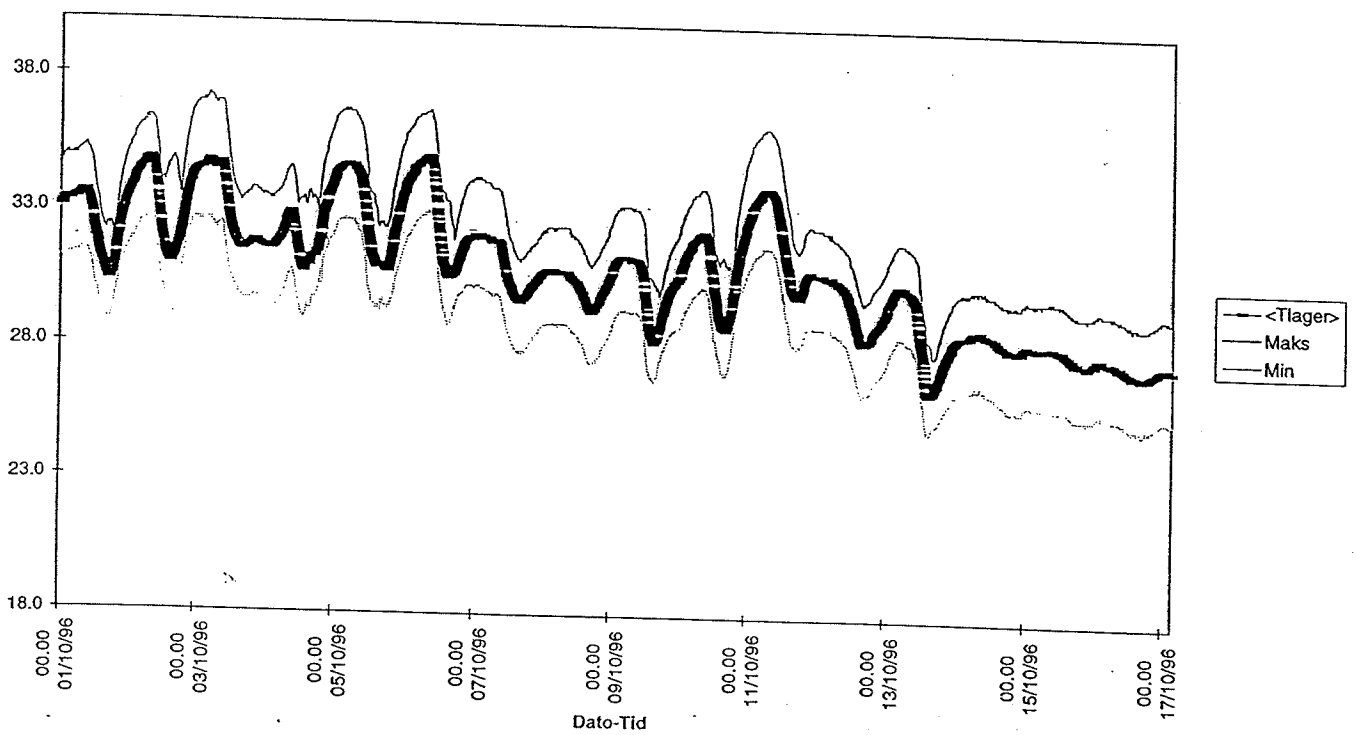
Lagertemperaturer Oktober



Side 1

<Lagertemperatur>

Gennemsnitslagertemperatur - Oktober



Side 1

Aflæsninger

Manuelle aflæsninger									
Dato	Em17		Em18		Em36		Em37		Hus Total
	kWh	m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh
27/03/96									4381
30/03/96	3	0.36	3	2.74	5	2.98	7	0.76	
07/04/96	155	9.95	154	22.17	155	36.43	276	20.14	4566
14/04/96									4675
19/04/96	284	19.56	198	33.41	256	55.89	519	38.46	
21/04/96	438	31.50	198	36.35	337	65.83	766	57.71	4786
28/04/96	575	46.04	198	38.07	386	70.58	962	76.40	4895
06/05/96	649	55.11	199	39.60	457	76.66	1118	90.89	5007
12/05/96	746	61.99	199	40.20	579	84.24	1352	105.30	5109
19/05/96	826	68.83	199	40.83	635	87.66	1498	115.48	5225
26/05/96	888	75.30	199	41.47	689	92.44	1605	124.69	5354
02/06/96	1059	87.08	199	42.05	775	97.79	1879	141.00	5451
09/06/96	1295	101.89	199	42.71	853	102.16	2208	160.96	5540
16/06/96	1561	115.98	199	43.41	923	105.42	2565	178.30	5629
20/06/96	1640	123.75	199	44.14	946	106.00	2678	187.42	
23/06/96	1744	130.00	199	44.34	979	108.55	2821	195.36	5721
30/06/96	1926	141.24	199	45.00	1025	110.80	3072	208.82	5809
14/07/96	2323	168.00	199	46.67	1104	115.30	3580	240.00	5988
21/07/96	2627	184.00	201	47.70	1164	118.00	3986	258.00	6085
28/07/96	2929	200.00	203	48.71	1191	119.00	4341	276.00	6186
04/08/96	3120	213.00	204	49.70	1210	121.00	4557	290.00	6270
11/08/96	3324	227.00	204	50.30	1218	121.00	4810	304.00	6362
18/08/96	3612	242.00	204	50.60	1222	121.00	5125	319.00	6461
25/08/96	3873	256.00	204	51.10	1222	121.00	5403	333.00	6559
29/08/96	3898	263.00	204	51.40	1223	121.00	5532	340.00	6651
08/09/96	4204	278.00	204	52.00	1240	122.00	5794	356.00	6728
10/09/96	4288	284.00	204	52.00	1245	122.00	5891	361.00	
12/09/96	4298	285.00	204	52.00	1246	122.00	5904	362.00	
14/09/96	4323	287.00	204	52.00	1251	123.00	5938	365.00	6821
16/09/96	4378	291.00	204	52.00	1258	123.00	6009	369.00	
17/09/96	4415	293	204	53	1261	123	6053	371	
19/09/96	4474	294.00	204	53	1267	124.00	6123	375.00	
20/09/96	4484	298.00	204	53	1268	124.00	6135	377.00	
22/09/96	4484	299.00	204	53	1268	124.00	6136	377.00	6927
25/09/96	4513	302.00	204	53	1275	124.00	6175	381.00	
26/09/96	4540	304.00	205	53.00	1279	124.00	6208	383.00	
29/09/96			205	53.00					7019
03/10/96	4605	310	205	54.00	1290	125.00	6291	390.00	
06/10/96			205	54.00					7117
14/10/96	4686	318.00	205	55.00	1319	127.00	6413	400.00	7230
19/10/96	4696	319.00	205	55.00	1325	128.00	6431	402.00	
27/10/96			205	55.00					7456
30/10/96	4743	324.00	205	55.00	1362	131.00	6516	410.00	
03/11/96	4754	325.00	205	55.00	1381	139.00	6528	410.00	7571
10/11/96	4797	335.00	205	55.00	1441	159.00	6573	415.00	7708

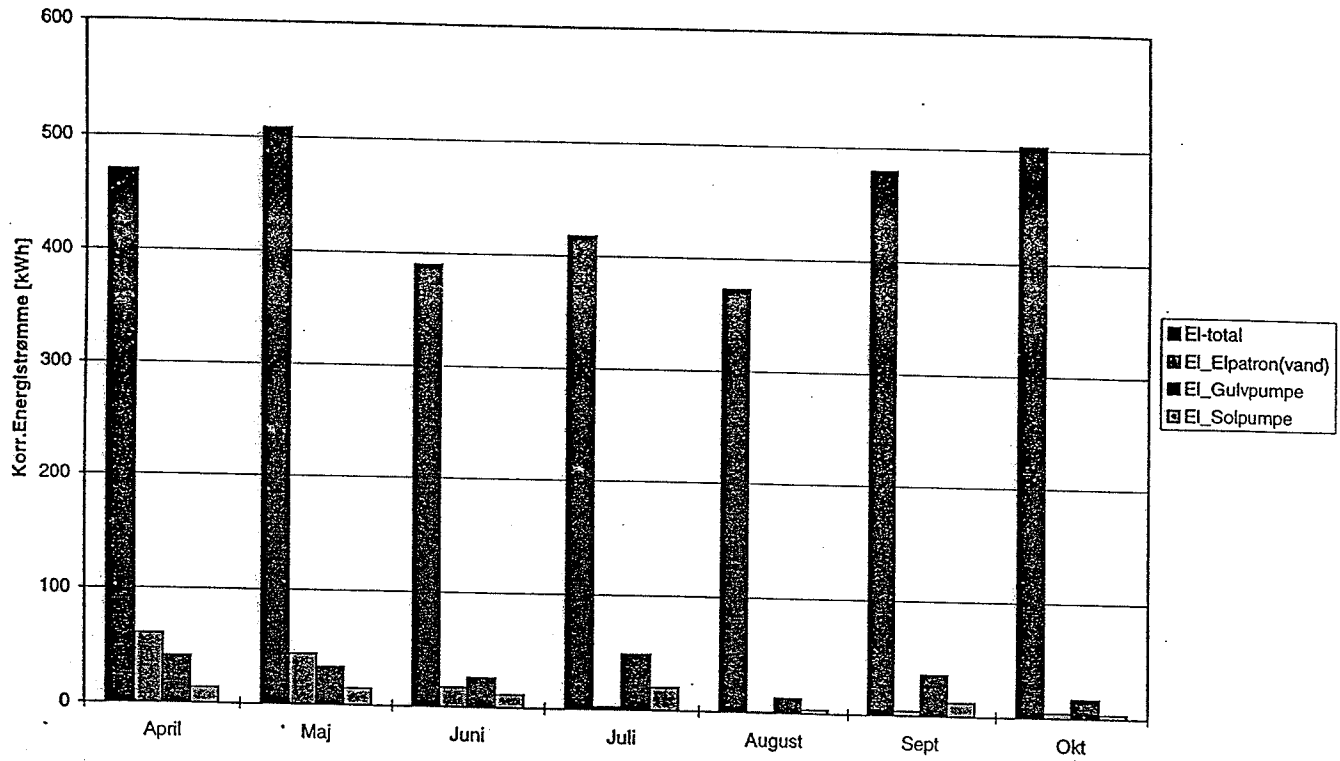
Korrigerede

Korrigerede manuelle aflæsninger									
Dato	Em17		Em18		Em36		Em37		Hus Total
	kWh	m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh	m3	kWh
27/03/96									4381
30/03/96	3	0.36			5	2.98	7	0.76	
07/04/96	155	9.95			155	36.43	276	20.14	4566
14/04/96									4675
19/04/96	284	19.56			256	55.89	519	38.46	
21/04/96	438	31.50			337	65.83	766	57.71	4786
28/04/96	575	46.04			386	70.58	962	76.40	4895
06/05/96	649	55.11			457	76.66	1118	90.89	5007
12/05/96	746	61.99			579	84.24	1352	105.30	5109
19/05/96	826	68.83			635	87.66	1498	115.48	5225
26/05/96	888	75.30			689	92.44	1605	124.69	5354
02/06/96	1059	87.08			775	97.79	1879	141.00	5451
09/06/96	1295	101.89			853	102.16	2208	160.96	5540
16/06/96	1561	115.98			923	105.42	2565	178.30	5629
20/06/96	1640	123.75			946	106.00	2678	187.42	
23/06/96	1744	130.00			979	108.55	2821	195.36	5721
30/06/96	1926	141.24			1025	110.80	3072	208.82	5809
14/07/96	2323	168.00	0	0	1104	115.30	3580	240.00	5988
21/07/96	2627	184.00	2	1	1164	118.00	3986	258.00	6085
28/07/96	2929	200.00	4	2	1191	119.00	4341	276.00	6186
04/08/96	3120	213.00	5	3	1210	121.00	4557	290.00	6270
11/08/96	3324	227.00	5	4	1218	121.00	4810	304.00	6362
18/08/96	3612	242.00	5	4	1222	121.00	5125	319.00	6461
25/08/96	3873	256.00	5	5	1222	121.00	5403	333.00	6559
29/08/96	3898	263.00	5	5	1223	121.00	5532	340.00	6571
08/09/96	4204	278.00	5	6	1240	122.00	5794	356.00	6728
10/09/96	4288	284.00	5	6	1245	122.00	5891	361.00	
12/09/96	4298	285.00	5	6	1246	122.00	5904	362.00	
14/09/96	4323	287.00	5	6	1251	123.00	5938	365.00	6821
16/09/96	4378	291.00	5	6	1258	123.00	6009	369.00	
17/09/96	4415	293	5	7	1261	123	6053	371	
19/09/96	4474	294.00	5	7	1267	124.00	6123	375.00	
20/09/96	4484	298.00	5	7	1268	124.00	6135	377.00	
22/09/96	4484	299.00	5	7	1268	124.00	6136	377.00	6927
25/09/96	4513	302.00	5	7	1275	124.00	6175	381.00	
26/09/96	4540	304.00	6	7	1279	124.00	6208	383.00	
29/09/96			6	7					7019
03/10/96	4605	310	6	8	1290	125.00	6291	390.00	
06/10/96			6	8					7117
14/10/96	4686	318.00	6	9	1319	127.00	6413	400.00	7230
19/10/96	4696	319.00	6	9	1325	128.00	6431	402.00	
27/10/96			6	9					7456
30/10/96	4743	324.00	6	9	1362	131.00	6516	410.00	
03/11/96	4754	325.00	6	9	1381	139.00	6528	410.00	7571
10/11/96	4797	335.00	6	9	1441	159.00	6573	415.00	7708

Månedsværdier

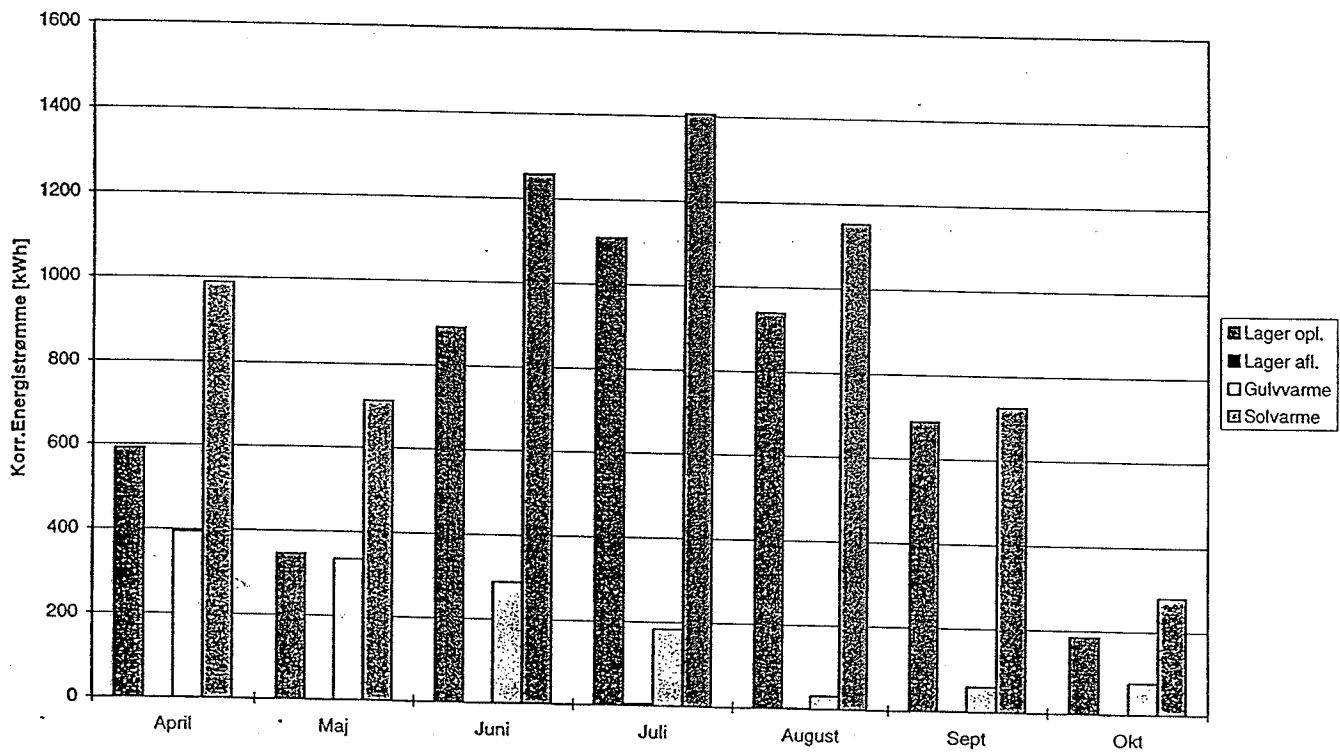
Bemærk: Foråret var meget solfattigt, kold og fugtigt.					Manuelt aflæsning (EI-total)			
Aflæsninger (med forskudte datoer)					Optællinger fra styringsaflæsning			
	Lager opl.	Lager afl.	Gulvvarme	Solvarme	EI_Elpatro	EI_Gulvpu	EI_Solpun	EI-total
[kWh]					1.1kW	60W	60W	
April	572	0	381	955	59	40	13	329
Maj	313	0	303	643	40	30	13	459
Juni	1038	0	336	1467	20	30	13	455
Juli	1003	4	166	1269	2	44	18	377
August	969	1	32	1191	0.2	13.2	3.3	385
Sept	642	1	56	676	3.7	33.6	11.1	448
Okt	203	0	83	308	4.6	17.9	3.5	552
SUM	4740	6	1357	6509	130	209	75	3005
Korrigerede aflæsninger (aflæsninger, som er mellem bestemte datoer, omregnes til antal dage i måneden)								
	Lager opl.	Lager afl.	Gulvvarme	Solvarme	EI_Elpatro	EI_Gulvpu	EI_Solpun	EI-total
April	592	0	394	988	61	41	13	470
Maj	347	0	335	712	44	33	14	508
Juni	890	0	288	1257	17	26	11	390
Juli	1110	4	184	1405	2	49	20	417
August	939	1	31	1154	0	13	3	373
Sept	688	1	60	724	4	36	12	480
Okt	185	0	76	281	4	16	3	503
SUM	4750	6	1368	6521	133	214	77	3142

Energistrømme - Korrigerede månedsværdier, 1996



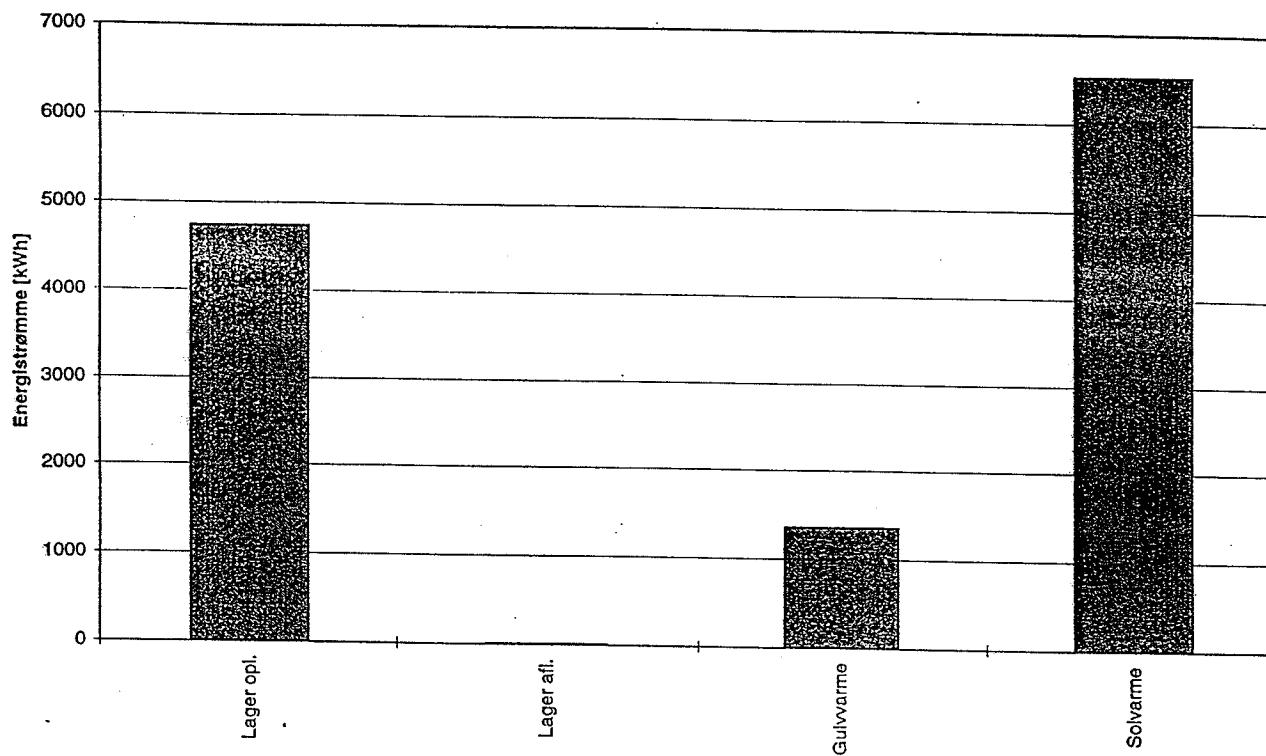
Side 1

Energistrømme - Korrigerede månedsværdier, 1996



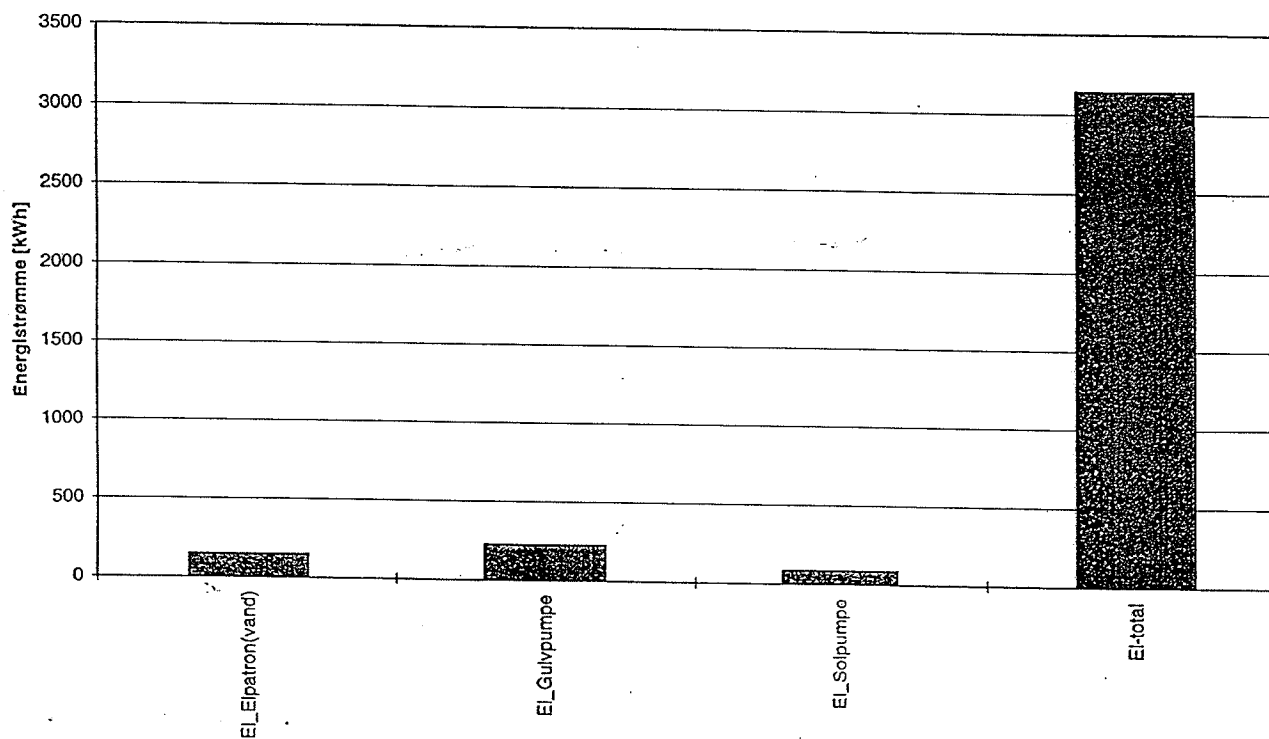
Side 1

Korrigerede varmeenergistrømme April-Sept. 1996



Side 1

Korrigerede el-energistrømme April-Sept. 1996



Side 1

Bilag G:

Aidt Miljø - Anlægsbeskrivelse - Artikler

Sandlager

Seila Stjernatrom, DTU

VE Information 72, Oktober 1996

Sandlager i forbindelse med et solvarmeanlæg kan hæve solvarmeanlæggets ydelse væsentligt i forhold til traditionelle solvarmesystemer. Et sandlager kan gemme energi i kortere tid og have en udjævnende faktor på dage med svingende solindstråling. Men det er ikke et sæsonlager. Det vil sige, at det ikke kan gemme varme fra sommeren til vinteren.

Det store problem med energi er, at den er svær at lagre på en økonomisk rentabel måde. Overskud af varme om sommeren kan ikke gemmes til kolde dage om vinteren, da det kræver store lagre. Derfor er det interessant at finde måder til, at udnytte den varme der kan lagres i mindre lagre.

Et solvarmesystem med sandlager fungerer typisk ved at væsken fra solfangerne opvarmer brugsvandet i en lagertank samt et gulvvarmesystem. Overskydende varme føres ned i sandlageret, som kan bestå af et isoleret ca. 0,3-1,2 m tykt sandvolumen med varmeslanger indlagte i lag. Lageret ligger under hele eller dele af husets udstrækning og kan være indrettet i zoner, der afspejler de overliggende rums opvarmningsbehov. Det kunne f.eks. indebære at badeværelse og stuer får en større andel varme fra lageret end køkken og soveværelser.

De positive argumenter for sandlager kan sammenfattes som følger:

- En stor del af varmen fra solfangerne bliver afsat i lagertanken for brugsvand, gulvvarmen eller sandlageret. Det betyder at solfangervæsken i højere grad bliver afkølet end i et traditionelt solvarmeanlæg. På den måde stiger solvarmeanlæggets ydelse.
- Lageret bevirker, at huset kan være forsynet med et væsentligt større solfangerareal i forhold til et normalt varmt brugsvandsanlæg. Det betyder også at solvarmeanlæggets ydelse hæves væsentligt da en større del af solindfaldet kan udnyttes til brugsvandsopvarmning, samt at systemet giver mulighed for gulvvarme.

- Lageret udjævner døgn- og ugevariationer i solindfaldet og gør dermed solenergien mere tilgængelig til rumopvarmningsformål.
- Det større solfangerareal kombineret med udnyttelsen af en udjævning af variationen af solindfaldet vil bevirke, at fyringssæsonen kan forkortes væsentligt, hvilket også kan spare en del cirkulationstab og lignende i det normale opvarmningssystem.
- Lageret er desuden en del af huset. Det betyder at lageret øger husets samlede varmekapacitet, hvilket er en energimæssig fordel.
- Udover at virke som et normalt lager er sandlageret også en varmeveksler mellem solvarmen og det øvrige hus. Gulvvarmen virker i sig selv som en komfortmæssig fordel. I forbindelse med nybyggeri kan der desuden spares en del af installationsomkostningerne til det normale opvarmningssystem.

nen i et sandlager f.eks. ved at inddele lageret i lag. Om sommeren er der ikke brug for opvarmning af de øverste lag. For høje temperaturer på gulvet kan ligefrem give problemer. Af komfortmæssige grunde bør gulvvarme ikke være over 30°C. Om vinteren kan den sparsomme solenergi med fordel afsættes i de øverste lag. Dvs. at der skal være mulighed for at styre i hvilke lag det varme vand løber.

En anden vigtig måde at udnytte solvarme på kan ifølge projektet være, at lade brugsvandet blive forvarmet i sandlageret. Man lader altså indløbsvandet til varmt brugsvand løbe gennem en del af lageret, før det varmes op i den almindelige vandtank.

I forsøget lod man visse dele af husets konstruktion, som er placeret inden for klimaskærmen/isoleringen, blive ført ned i sandlageret, for at forbedre varmevekslingen med huset.

Projekt på DTU, 1993

I et projekt udført på Danmarks Tekniske Universitet, DTU, i 1993, blev der lagt vægt på at forbedre ydeev-

Stort solfangerareal

Det tænkte hus blev forsynet med et solfangeranlæg på omkring 31 m². Et



traditionelt anlæg til sammenligning havde ca. 8 m² solfangere. Det viste sig at systemet med sandlager giver en dækningsgrad på 66% hvis det kun er brugsvandet der opvarmes, mod 64% uden sandlager, hvilket ikke er den store forskel. Derimod var dækningsgraden 43% for kombineret rum- og brugsvandopvarmning, mod kun 16% for et solvarmeanlæg uden sandlager.

I rapporten bliver det nævnt, at dækningsgraden til rumopvarmning alene er 35% fra et solvarmesystem med sandlager. Rent teoretiske beregninger viser at 21% af energibesparelsen stammer fra solfangersystemet og 14% fra den blotte tilstedeværelse af lageret. Selv om dette er teoretisk kan man konkludere, at en merisolering af gulvet og en forøgelse af den termiske masse inden for huset også har en positiv effekt i sig selv. Tabet nedad, gennem gulvet, er næsten lig nul. I projektet noteredes det, at den nødvendige supplerende opvarmning i april og oktober var meget lille. På den måde forkortes fyringssæsonen og eventuelle cirkulationstab spares dermed.

Forvarmning af brugsvand

I systemet med forvarmning af brugsvand viste det sig, at af de 66% der spares på brugsvandsopvarmningen kommer 40% fra forvarmningen i lageret og kun 26% fra solen direkte til varmtvandsbeholderen. Dette indikerer, at det er af betydning at anvende forvarmning af varmt brugsvand i lageret.

Der er energi at hente i yderperioderne

Ole Olesen, som var ansvarlig for projektet på DTU, er nu ansat på Dansk Teknologisk Institut, i divisionen DTI Energi. Angående lønsomheden i at investere i et sandlagersystem, siger han: "Stadig er det nok kun økonomisk rentabelt, at bygge sandlager når man alligevel er i gang med at grave grunden til et nyt hus. Det er svært at måle hvor meget et sandlager kan bidrage til reducere af et hus' samlede energiforbrug. Men der ligger meget spændende

perspektiver i at kunne få fat i yderperioderne marts-april og september-oktober, sådan at opvarmnings-sæsonen kan forkortes."

Projekt på DTU, 1996

Som nævnt kan det være svært at vide hvor meget et sandlager præcist kan bidrage til energiforsyningen. Det bekræftes af endnu et projekt på DTU, hvilket nu er i den afsluttende fase. Det er et måleprojekt på et sandlager placeret i Ulsted, Hals, Jylland. Måleprojektet finansieres af Energistyrelsen (UVE-projekt: Undersøgelse af solvarmeanlæg med bygningsintegreret varmelager, journalnr. 51181/94-0004) og startede i april 1996. Solfangerarealet er 18 m² og sandlageret er på ca. 100 m³. Huset er velisoleret og har et boligareal på 132 m². Solvarmeanlægget bruges til opvarmning af brugsvand og til gulvvarme. Der er kun blevet brugt el som supplerende varme, for at dette uden problemer kan måles. Alfred Heller projektansvarlig på DTU siger: "De foreløbige resultater viser at der er brug for meget mere udvikling. F.eks. skal størrelsen af varmelager optimeres. Stor volumen giver lav lagertemperatur, og dermed lav aktiv ydelse til gulvvarme. Lille varmelager giver høj lagertemperatur. I dette projekt har det vist sig, at lageret har været for stort. Temperaturen i lageret har været så lavt at der ikke aktivt kunne trækkes varme op i huset. Passivt har lageret afgivet varme til huset, som det dog desværre er svært at sætte tal på." Alfred Heller fortsætter: "Men der er også mange positive observationer. I det forløbne halve år, hvilket havde et relativt koldt forår, har familiens elforbrug været 2450 kWh. Det er inklusive alt, supplerende opvarmning, pumper til anlægget, lys, vaskemaskiner osv. Af dette har elpatronen, som supplerer brugsvands- og gulvopvarmningen kun brugt 200 kWh"

Situationen i Danmark

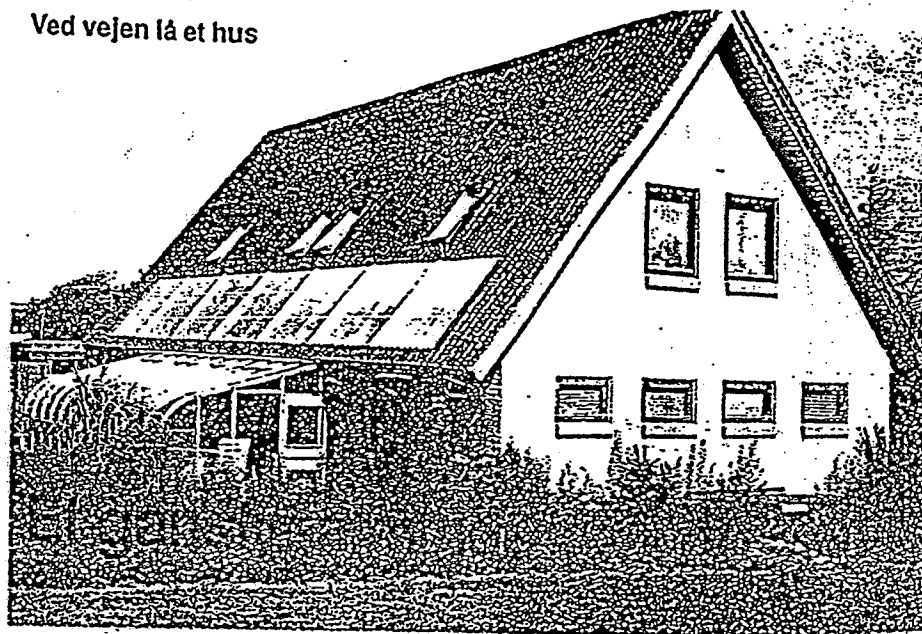
Et skøn fra Aidt Miljø, som har udført de fleste solfangersystemer i forbindelse med sandlager, er at der er omkring 30 anlæg i Danmark.

Et eksempel på et sandlager opført i år, findes hos Lisbeth og Peter Valbjørn i Jyllinge, Sjælland. De havde gennem nogle bekendte hørt om sandlager og syntes at det lød som en spændende idé. Systemet består af 12 m² solfangere, en lagertank til brugsvand, pumper, styringer mm. samt et sandlager på 66 m² og 60 m³. I sandlageret ligger rørene i 3 lag med hver 3 spiraler. Væsken fra solvarmeanlægget opvarmer primært brugsvandet i lagertanken. Derefter, hvis der er et varmebehov, ledes solvarmen gennem gulvarmesystemet, ellers ned i sandlageret. Fra Aidt Miljø, som har leveret anlægget, har Lisbeth og Peter Valbjørn fået at vide at når anlægget kører optimalt, vil det give et tilskud på 50% af det totale energibehov til varmt vand og rumopvarmning. Huset består af en gammel del på 50 m² og en tilbygning på 92 m². Det er under den nye del at sandlageret er gravet ned. Som suppleringsvarme har familien en brændeovn. Hele anlægget har kostet familien Valbjørn 62.000 kr. dog ekskl. brændeovn. Med tilskud til solvarmen bliver den reelle investering 39.000 kr.

Et andet eksempel er hos Jan Højvang i Skive, Jylland, som har haft sit sandlagersystem i 5 år. Solfangerarealet er på 27 m², og sandlageret består af 140 m³ fordelt på 140 m². Dengang det blev installeret, kostede anlægget 102.000 kr., hvilket efter tilskud kom ned på 72.000 kr. Som supplerende varme bruges en gasovn samt en luft til luft varmepumpe. Jan Højvang fortæller, at han i gennemsnit bruger ca. 5.000 kr. om året til varme. Han fortsætter: "Selvfølgelig er jeg idealist, og jeg kan leve med at temperaturen i stuerne kommer ned på 19 °C i de kolde dage."

I forhold til andre lande har Danmark formodentlig størst erfaring med sandlager. Vi har nemlig meget sand, hvorimod det meste af Norge og Sverige ligger på klippegrund og derfor er interessen selvsagt ikke så stor i disse to lande. Der eksperimenteres også i andre lande med solvarmelagre under huse, dog er det oftest tale om lagre, der består af andet end sand som f.eks. vand.

Ved vejen lå et hus



Men alligevel ikke. Dette hus rummer nemlig et utraditionelt varmeanlæg bestående af gulvvarme udelukkende opvarmet med energi fra solen.



Af Ejvin Beuse

Det hele startede i 1982 med at Harry Mortensen så en artikel om et hus, der udelukkende blev varmet op ved hjælp af solen.

Nogle år senere gik han selv igang med at realisere idéen i et nyt hus på Møn, og han kan i dag glæde sig over at have et både miljøvenligt og billigt opvarmningssystem - og med en fin komfort.

Jeg er stadigvæk forbausset over, hvor godt det virker,

siger Harry Mortensen om solvarmeanlægget. Det er utroligt så lidt sol, der skal til for, at der er rigeligt med varme både til huset og til varmt vand.

Selvbyggeranlæg

Inden Else og Harry Mortensen flyttede til Damme på Møn, hvor det nye hus ligger, havde de et hus på 160 kvadrater i Lyngby i Nordsjælland.

- Det var et godt isoleret hus med oliefyrt radiatorer og brændeovn, men det kostede os ca. 700 kroner om måneden til olie. Der til kom et mindre forbrug til brænde.

- Det væsentligste ved det nye hus er, at det primært varmes op ved et gulvvarmeanlæg, der udelukkende forsynes med solenergi. Men vi har også lagt vægt på, at huset set udefra blev ganske almindeligt - og ikke som man

tit ser, at noget med solenergi skal se helt anderledes ud.

Der er naturligvis energiruder og anvendt tunge materialer som klinker og tegl, der er i stand til at oplagre varmen bl.a. fra solindfaldet gennem vinduerne.

Harry Mortensen tegnede selv huset med det specielle varmesystem allerede i slutningen af 1986, men byggede det først i '88. Materialerne til solfanger mv. blev leveret af solvarmefirmaet Aids Miljø, som også gav gode råd og teknisk bistand ved opbygningen af anlægget.

- Uden deres ekspertise havde jeg nok ikke fået et så godt fungerende anlæg, pointerer Harry Mortensen.

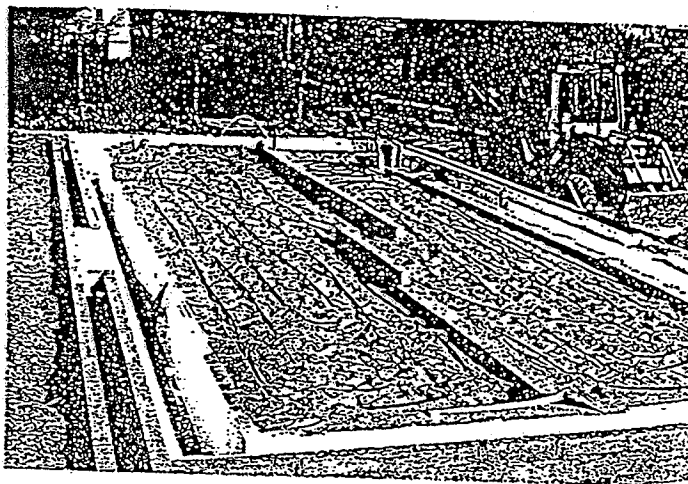
Solvarmesystemet har ialt kostet ham ca. 50.000,- kroner. Heri er ikke medregnet sparet i belægning på ca. 5.000,- og den ekstra isolering under huset. Hvis solvarmeanlægget skulle have været

udført af håndværkere skønner Harry Mortensen, at det ville have beløbet sig til ca. 15.000,- til arbejdslohn. Den "reelle" udgift ville altså have været ca. 60.000,- kr. eller ca. det samme som et gas- eller oliefyrsanlæg ville have kostet.

Tvivlende ekspertise

Harry Mortensen er forundret over, at den måde at etablere husopvarmning på ikke er mere udbredt. Det er jo så indlysende rigtigt, at bruge solen til opvarmning, siger han. Men hvad Harry Mortensen er endnu mere forundret over er, at den officielle ekspertise ikke har vist interesse for projektet.

- Det er ikke fordi jeg tror, at jeg har fundet de vises sten. Jeg har blot brugt min sunde fornuft, og synes selv, at der er kommet et resultat ud af det som mange andre også kunne have glæde af. Men det nytter jo ikke at Harry Mortensen fra Møn kommer og fortæller dem det - det skal også have det blå



Fundamentet med solvarmelageret bestående af 63 m sand efter udlægning af det øverste lag plast-ribberor. I alt ligger der 1200 meter rør fordelt i 6 lag ovenover hinanden.

De langsgående fundamenter midt i er en del af varmelageret og er med til at lede varme op i huset igennem teglstensvægge ovenpå.

Fotos: Harry Mortensen.

stempel fra dem der har forstand på det.

Der har på initiativ af Aids Miljø været sendt en ansøgning til Energistyrelsen om at få foretaget en gennemregning og måling på anlægget, men den er vistnok strandet på, at man ikke ville yde et beløb for at stille huset og anlægget til rådighed. Hvad der efter Harry Mortensens mening må være rimeligt - bl.a. fordi han ikke har kunnet få statsulskud.

Sådan virker det

Solvarmesystemet er selv-

tømmende - dvs. at solfangeren, som er rent vand uden frostvæske, løber tilbage gennem lageret og herfra op i en tømmebeholder på 210 ltr. i bryggeriet når pumpen stopper.

Solfangeren er på 27 m², er opbygget på stedet af polypropylen-ribberor med et dæklag af kanalplade af polykarbonat med en tynd acrylbelægning på ydersiden.

Solvarmelageret ligger under huset og består af 63 m³ almindeligt strandsand, hvori der er udlagt ialt 1200 meter slanger af samme type, som der er anvendt solfangeren.

Lageret er isoleret - også opad for at undgå, at der kommer for meget varme op i huset.

Husets primære opvarmingskilde er altså gulvvarme. Desuden bidrager solindfald gennem de sydvestvendte vinduer og solstuen. Kun i de koldeste vintermåneder benyttes elradiatorerne.

Brugsvandet opvarmes via 100 meter plastrør udlagt sammen med rørene i lageret. Der er altså ingen varmtvandsbeholder. Efteropvarmning af brugsvandet sker i en el-gennemstrømningsvarmer, der kun er tændt fra

engang i oktober til omkring midten af marts måned.

Sådan er forbruget

Det totale årlige el-forbrug har været 6400 kWh. Omregnet til normalår (2900 gr.dg.) svarer det til 6500 kWh. Heraf udgør forbruget til husholdning mm. ca. 3500 kWh og supplerende el til brugsvandet ca. 1000 kWh. Resten - ca. 2900 kWh/år - er altså elforbrug til rumopvarmning.

Til sammenligning har vi (reduktionen) beregnet huset

Fortættes på side 24

uden solvarme med de aktuelle bygningskonstruktioner, men med et almindeligt isoleret gulv (BR 82). Dette hus ville have haft et varmebehov på 8600 kWh/år. Her til varmt brugsvand på ca. 3000 kWh eller ialt ca. 11600 kWh/år.

Hænger det sammen

Hvis den supplerende rumopvarmning forudsættes at være de ovenfor anførte ca. 2900 kWh/år leverer solvarme (passiv/aktiv) altså ca. 8700 kWh om året (11600 - 2900).

Solvarmesystemets varmebidrag/besparelse kan beregnes til ca. 700 kWh. Solfangeren alene leverer altså ca. 8.000 kWh/år (296 kWh/m²/år).

Den omtrentlige besparelse i kroner udgør, hvis alternativet havde været elvarme ca. 7.360,- (92 øre/kWh), og hvis det havde været oliefor ca. 5.000,- kr/år (incl. udgift til årlig rensning og test).

Anlægsinvesteringen ville, hvis der havde været benyttet håndværkere, have beløbet sig til 65.000,- kroner. Herfra skal så trækkes ca. 5.000,- til sparet tagbelægning mm. Dvs. netto 60.000,- kroner incl. moms.

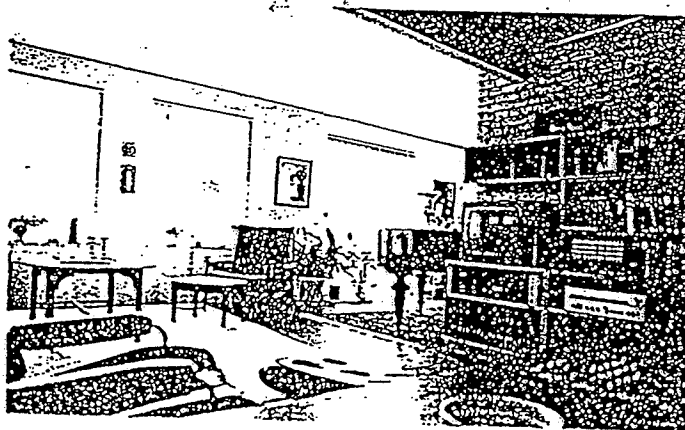
- Men herfra skal jo så trækkes den sparede udgift til et traditionelt opvarmingsanlæg med skorsten, radiatorer mm. som skønsmæssigt ville ligge på samme niveau, siger Harry Mortensen.

- Så det ville være irrelevant, at beregne tilbagebetalingsstid for anlægget, som det er almindeligt at gøre når solvarme kobles på et eksisterende varmeanlæg. Kun hvis mit anlæg havde været dyrere end et traditionelt kunne man tale om at sætte merprisen i forhold til besparelsen, slutter Harry Mortensen.

Huset har forholdsvis store vinduer mod sydvest, og solindfaldet opføres i klinkergulvet og teglstensvæggene.

Der er altid en behagelig temperatur. Fra marts til november er komforten i top uden tilskudsenergi. Der er kun behov for ekstra ventilation på den tid af året hvor man alligevel normalt har vinduer og døre åbne.

Ifølge Harry Mortensen er en "sidegevinst", at man kan tillade sig at have en bedre komfort både varmemæssigt og bademæssigt end traditionelt opvarmede huse.



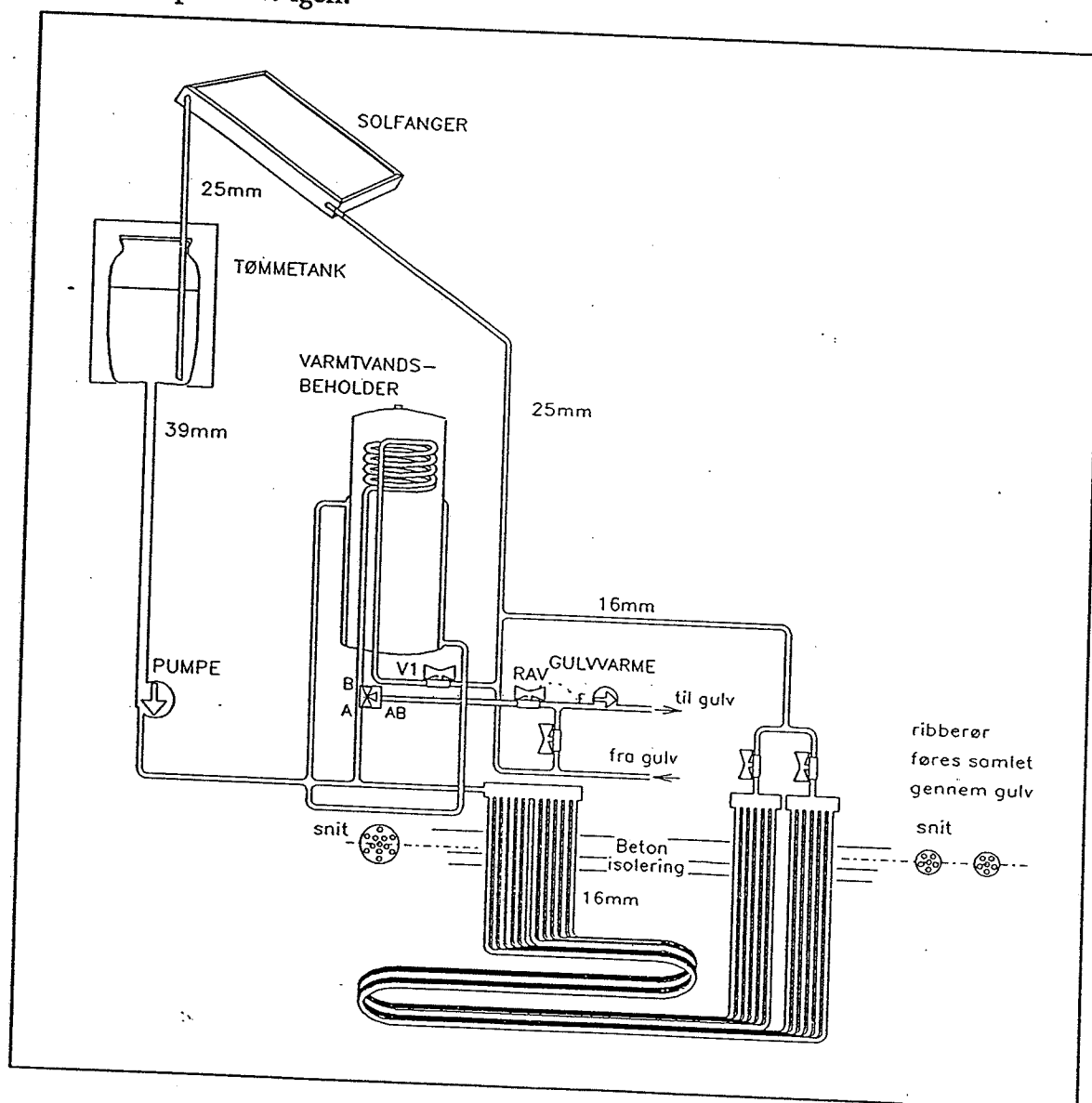
Generel beskrivelse af sandlager

Et sandlager er et solvarmelager, hvor overskudsvarme fra solskinsperioder opbevares til senere brug som gulvvarme/rumvarme.

Sandlageret etableres under gulvene i huset og opbygges i sektioner på 15 - 20 m². Hver sektion består af et ca. 1 meter tykt lag bakkesand, hvori der er nedlagt 3 lag varmeslanger på hver ca. 60 meter. Derudover nedlægges der også en varmeslange i det støbte gulv for at få en umiddelbar virkning af varmen fra solfangeren.

Styringen sørger for at prioritere varmt brugsvand, så der til stadighed er rigeligt med varmt vand.

Efter at solfangervandet har afgivet det meste af sin varme-energi til brugsvandet, løber det ned i varmelageret, hvor det afgiver den sidste energi, før det føres tilbage til sol-fangeren for at blive opvarmet igen.



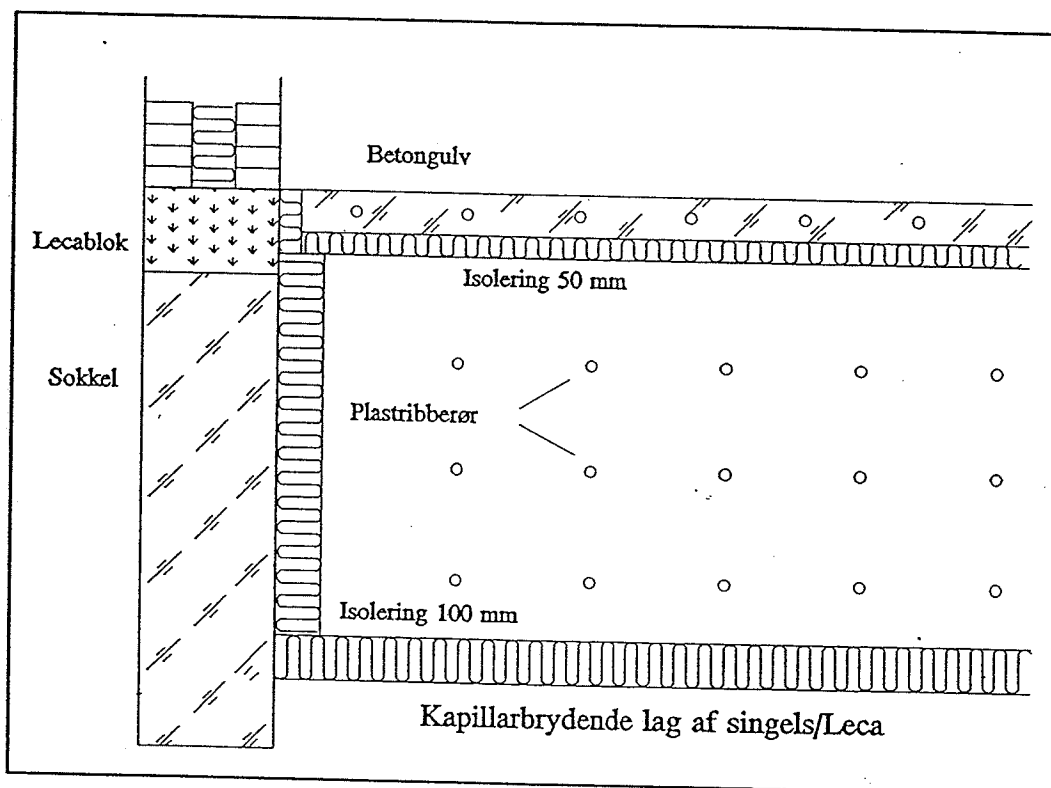
Opbygning af sandlager

Varmelageret opbygges under husets gulve - se herunder.

Ved nybyggeri etableres varmelageret i forbindelse med udgravning og støbning af soklen.

Varmelageret kan også opbygges i eksisterende huse, men det kræver at udvalgte gulve opbrydes og der graves ned i en dybde af ca. 1 meter. Se illustration.

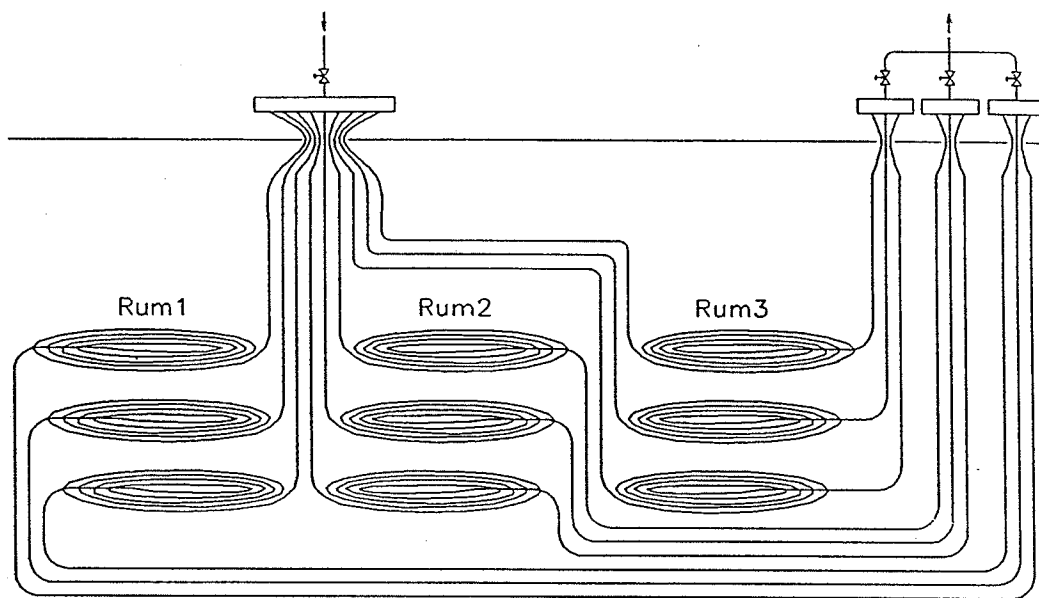
Bemærk: undgå at grave for tæt ind til soklen, da denne kræver tilstrækkelig støtte fra siderne.



I bunden af varmelageret lægges et kapillarbrydende lag singels/leca.

Herefter isoleres bund og sider med 100 mm isolerende bats, og der lægges et stykke plastfolie over isoleringen i bunden. Oven på plastfolien lægges et 150mm tykt lag bakkesand, der vibreres. Det anvendte bakkesand må ikke indeholde skarpe sten eller organisk materiale (plantedele eller lignende). I det vibrerede lag lægges 16mm ribberør. Afstanden mellem rørene skal være $300\text{mm} \pm 50\text{mm}$. Slangerne skal trykprøves før nedlægningen. Rørene lægges i tre eller fire lag, og forbindes i 8-12 parallelle kredse (max længde ca. 65m), da man derved undgår et stort tryktab i rørerne, samtidigt opnår man en vis sikkerhed, i tilfælde af at et rør ved et uheld skulle gå hen og blive utæt, da det utætte rør så kan frakobles.

12 meter 16mm-ribberør pr.m³ sandlager.



- PRINCIPTEGNING af udlægning af ribberør -

Underste lag 16mm PP ribberør udlægges, som vist på principtegningen, hvorefter røret igen trykprøves. Under udlægning og vibrering af det næste lag bakkesand (25 cm) bør røret trykprøves, så man sikrer sig, at den er tæt også efter vibreringen. Mellemste og øverste lag slanger nedlægges på tilsvarende måde.

Når sidste lag bakkesand er udlagt og vibreret, trykprøves alle tre lag slanger. Herefter isoleres der med 50 mm flamingo/leca. Oven på isoleringslaget udlægges (evt. opklodses) et armeringsnet, hvorpå varmeslangen fastbindes før der støbes. Bemærk, at der i betonlaget normalt anvendes glatte 16mm eller 20mm plastslanger eller pex-rør.

For at holde styr på rørenderne fra varmelageret er det hensigtsmæssig at tilslutte de to rørender fra samme varmeslange til samme sted på hver sit fordelerrør. F.eks. det yderste rør på fordelerrør-til-indløb også er det yderste på fordelerrør-til-udløb.

Man kan lægge en 32 mm PEM-slange ned i bunden af sandlageret til forvarmning af vandforsyningen til varmtvandsbeholderen.

Man kan sikre sig imod et utæt ribberør i sandlageret ved at lægge et ekstra rør som ikke benyttes, men kun er i reserve i tilfælde af uheld.

DETTE ER ET FORESLAG
TIL PRINCIPPET I ET
ANLÆG MED SANDLAGER
DER TAGES FORBEHOLD
FOR ÆNDRINGER

RPM april 1996 AUST MÅL 1:40

