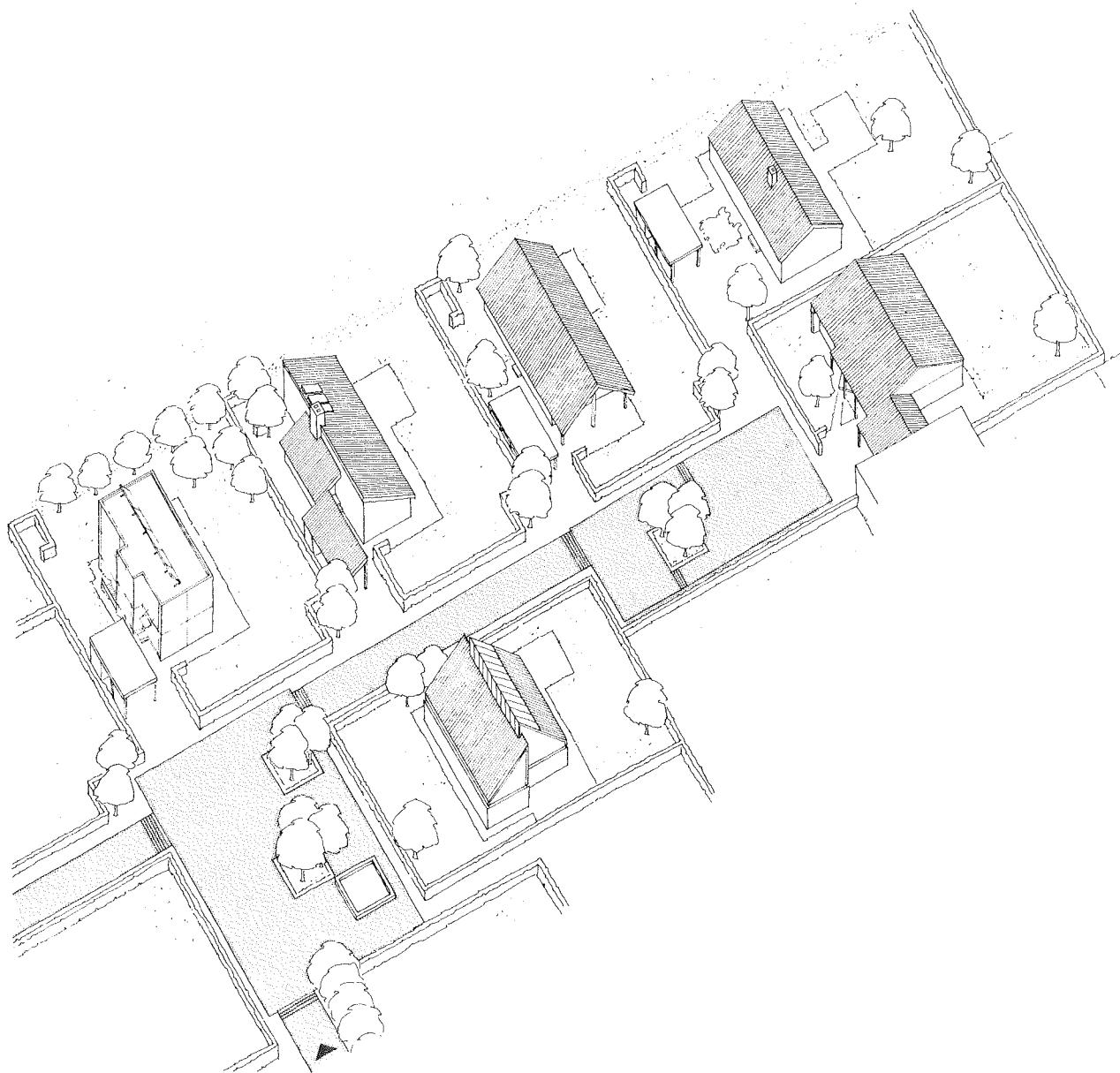


Lavenergihusprojektet under Energiministeriet



6 LAVENERGIHUSE I HJORTEKÆR

Effektiviteter og tomgangstab for varme- og brugsvandsanlæg

NIELS HENRIK RASMUSSEN - BJARNE SAXHOF

Laboratoriet for Varmeisolering
Danmarks Tekniske Højskole
Juni 1984

meddelelse nr. 152

Lavenergihusprojektet

Projektgruppe Mogens R. Byberg, lektor, civ.ing.,
 projektleder

 Rolf G. Djurtoft, civ.ing.
(til juli 1984)

 Allan Aasbjerg Nielsen, civ.ing.

 Gad Nissenbaum, akademiingeniør
(til juni 1982)

 Johannes Poulsen, civ.ing.
(til august 1981)

 Kirsten Engelund Poulsen, civ.ing.

 Niels Henrik Rasmussen, civ.ing.
(til juli 1983)

 Bjarne Saxhof, civ.ing.

Illustrator Marianne Skjold-Jørgensen, cand.arch.

Indskrivning Bodil Fauerskov, assistent

Teknikere Mogens Jørgensen, håndværker

 Klaus Myndal, håndværker

 Verner Vorm, programmør

Forord

Seks lavenergihuse er opført i Hjortekær i et samarbejde mellem grupper af private firmaer og Laboratoriet for Varmeisolering (LfV). Husene har været genstand for detaljerede energimålinger, først under simuleret beboelse og siden under reel beboelse. Målingerne har strakt sig over en periode på ca. 3 1/2 år.

Foruden de kontinuert gennemførte registreringer til fastlæggelse af husenes årlige energiforbrug, komforttilstand m.v. er der over kortere perioder gennemført undersøgelser specifikt rettet mod enkeltdele af husenes installationer. Det er disse specielle undersøgelser denne rapport omhandler. De er for alle husene samlet i én rapport for som en række konkrete eksempler at vise hvilke effektiviteter, der med kendte komponenter kan opnås i lavenergihuse.

Yderligere - og det er måske rapportens vigtigste formål - skulle eksemplerne tjene som inspiration til forbedret systemudformning i kommende lavenergihuse og vel især til udvikling af nye, mindre og mere hensigtsmæssige komponenter til lavenergihuses varmeanlæg.

For at lavenergihuse kan opnå et lavt energiforbrug er kraftig varmeisolering og lufttætte konstruktioner en væsentlig forudsætning. Lige så væsentligt er det, at husenes energisystem (varmeanlæg, brugsvandsanlæg m.v.) udformes således, at tomgangstabet nedbringes til det mindst mulige. Når f.eks. et varmeanlægs nettoydelse er lille, kan et tomgangstab i traditionel forstand let blive en uforholdsmæssig stor del af bruttoydelsen. Derfor bør varmeanlægget helt stoppes, når der ikke er behov for varme.

Rapporten er et led i laboratoriets rapportserie om erfaringer og resultater fra de seks lavenergihuse i Hjortekær.

M.R. Byberg, projektleder.

Indholdsfortegnelse

Forord

1.	Indledning.....	4
2.	Kort beskrivelse af husenes installationer.....	6
2.1	Ventilation.....	6
2.2	Varmeanlæg.....	6
2.3	Varmt brugsvand.....	8
3.	Måle- og beregningsprocedurer.....	10
3.1	Måling af varmetabsfaktorer for beholdere og cirkulationsledninger.....	10
3.1.1	Måling ved konstant temperatur.....	10
3.1.2	Måling under afkøling.....	12
3.2	Forceret brugsvandaftapning og opvarmning af kold brugsvandsbeholder.....	14
3.3	Varme- og brugsvandsanlæggernes energiforbrug under tomgangsdrift.....	16
3.4	Måling af den optagne effekt for de varmetekniske el-installationer.....	17
3.5	Definition af ydelseseffektiviteter m.m.....	17
3.5.1	Varmepumpeanlæg.....	17
3.5.2	Olie- og gasfyrede kedler.....	20
3.5.3	Varmegenvinding fra gråt spildevand.....	21
4.	Måle- og beregningsresultater.....	22
4.1	Lavenergihus A.....	23
4.1.1	Brugsvandsanlægget.....	23
4.1.2	Varmeanlægget.....	28
4.2	Lavenergihus B.....	30
4.2.1	Brugsvandsanlægget.....	31
4.2.2	Varmeanlægget.....	35
4.3	Lavenergihus C.....	39

4.4	Lavenergihus D.....	48
4.4.1	Spildevandsvarmegenvinderen.....	50
4.4.2	Solvarmeanlægget.....	53
4.4.3	Oliefyret.....	53
4.5	Lavenergihus E.....	57
4.5.1	Brugsvandsanlægget.....	58
4.5.2	Varmeanlægget.....	61
4.6	Lavenergihus F.....	64
4.6.1	Brugsvandsanlægget.....	65
4.6.2	Varmeanlægget.....	70
4.7	Varmetekniske el-installationers effekter.....	72
5.	Sammenfatning og konklusioner.....	76
5.1	Målinger under specielle driftsbetingelser.....	76
5.2	Målinger under normale driftsbetingelser (simuleret beboelse).....	79
5.3	Hovedkonklusioner.....	84
6.	Litteraturliste.....	87
6.1	Referencer.....	87
6.2	Supplerende litteratur om Energiministeriets Lavenergihusprojekt.....	87
7.	Symbol- og signaturliste.....	89
8.	Summary.....	90

1. Indledning

Lavenergihusprojektet under Energiministeriet omfatter seks lavenergihuse med projekteret lavt energiforbrug. Husene er opført som prototyper. De er beliggende i Hjortekær, nord for København, og de er opført i 1978/79.

Nærværende rapport beskriver måle- og beregningsprocedurerne for nogle specialundersøgelser, som er gennemført i de seks huse i en periode, hvor beboelse i husene blev simuleret. Simuleringen omfatter varmetilskud (gratisvarme) fra en fire-personers familie og fra lys- og husholdningsinstallationer såvel som tapning af varmt og koldt brugsvand. Simuleringsmønsteret er beskrevet i laboratoriets meddeelse nr. 84 (1). Simuleringsperioden strækker sig fra november 1978 til april 1980.

Specialundersøgelserne omfatter de målinger, der ikke har været kapacitet til eller begrundelse for at foretage kontinuerligt. Det drejer sig bl.a. om måling af brugsvandsbeholdernes varmetabsfaktorer samt brugsvands- og varmeanlæggenes forbrug ved tomgangsdrift. Specialundersøgelserne beskrives i afsnit 3 sammen med definitioner af og beregningsudtryk for bl.a. ydelseseffektiviteter. I afsnit 4 gennemgås måle- og beregningsresultaterne for de enkelte huse, medens der i afsnit 5 foretages en sammenligning husene imellem.

Samtlige rapporterede specialundersøgelser er foretaget som *in situ* målinger i de seks lavenergihuse. Ulempen ved sådanne målinger er, at det aldrig i samme omfang som ved laboratorieundersøgelser vil være muligt at kontrollere målebetingelserne (hverken komponentens omgivelser eller dens øvrige driftsforhold). Derfor vil det normalt heller ikke være muligt at opnå lige så stor målenøjagtighed som ved laboratorieundersøgelser. Ofte er der imidlertid kun mulighed for at gennemføre *in situ* målinger - således er en række af de undersøgte komponenter i lavenergihuene fremstillet i forbindelse med projektet og findes kun i pågældende eksem-

plar. In situ målingerne har også visse fordele frem for laboratoriemålingerne, idet de kommer til at foregå under absolut realistiske driftsbetingelser.

På basis af undersøgelserne analyseres anlæggernes driftsforhold og deres ydelser gennem repræsentative 14-dages perioder (sommer- og vinterforhold).

De målte og beregnede størrelser er nødvendige som inddata ved beregningen af energistrømmene i husene under simuleret såvel som under reel beboelse. Desuden giver måleresultaterne en række interessante oplysninger om drift og driftsbetingelser for varme- og brugsvandsanlæg i lavenergihue.

Installationerne i husene beskrives kun i det omfang, som er nødvendigt for forståelsen af de gennemførte målinger. En udførligere beskrivelse findes i laboratoriets meddeelse nr. 151 (2).

En beskrivelse af husenes udformning og konstruktioner findes i laboratoriets meddeelse nr. 120 (3), medens specialundersøgelser vedr. husenes isolering og tæthed er rapporteret i laboratoriets meddeelse nr. 121 (4).

2. Kort beskrivelse af husenes installationer

For at øge overskueligheden af de udførte målinger gives i det følgende en kort beskrivelse af ventilations-, varme- og brugsvandsanlæggene. En mere indgående beskrivelse findes i laboratoriets meddelelse nr. 151 (2).

2.1 Ventilation

Der er i alle husene installeret et ventilationsanlæg med separat friskluftindblæsning og udsugning af afkastluft og med en indskudt krydsvarmeveksler af pladetypen til varmegenvinding.

Ventilationsluftmængden svarer til et luftskifte på 0,5-0,7 gange/h afhængig af anlægsudformning og husstørrelse.

2.2 Varmeanlæg

Varmeanlægget skal opvarme huset på alle de normalt kolde dage samt kunne klare de ekstremt kolde dage (spidsbelastningen). Hvor der forekommer varmepumpeanlæg, kan det være en teknisk og økonomisk fordel at anvende et særligt spidsbelastnings-varmeanlæg til at supplere varmepumpeanlægget.

Termerne normaldrift og spidsbelastning vil derfor blive anvendt i den efterfølgende korte gennemgang af husenes varmeanlæg. Der er ingen faste regler for, hvor stor en del af den samlede ydelse, der skal dækkes af f.eks. spidsbelastningsanlægget.

Husenes varmeanlæg består af:

Hus A: I forbindelse med krydsvarmeveksleren til varmegenvinding i ventilationsanlægget er installeret en varmepumpeenhed, der forøger genvindingsgraden. Forår og

efterår kan indblæsningsanlægget således fungere som et luftvarmeanlæg.

Spidsbelastningen klares af elektrisk varmefolie i loftet (loftsvarme).

Hus B: Et varmepumpeanlæg, der anvender jorden syd for huset som varmekilde, leverer varme til et lavtemperatur radiator-varmeanlæg. Anlægget er dimensioneret til også at klare spidsbelastningen.

Hus C: Et solvarmeanlæg leverer forår og efterår varme til husets gulvvarmeanlæg. Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved tilkobling af elektriske varmelegemer i gulvvarmeanlæggets vandsystem.

Hus D: En oliefyret kedel leverer varme til et luftvarmeanlæg, der er dimensioneret til også at klare spidsbelastningen. Kedlen (i specialudførelse) er adskilt lufttæt fra det rum, den er opstillet i.

Hus E: Overskud af solindfald gennem de sydvendte glasarealer akkumuleres via et særligt ventilationssystem i et 10 m^3 stenmagasin anbragt i kælderen. Har huset behov for varmetilførsel, kan ventilationsanlægget reverseres, hvorved varme fra stenmagasinet tilføres husets rum.

Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved tilkobling af elektriske varmelegemer i ventilationssystemet, hvorved dette virker som et luftvarmeanlæg.

Hus F: Et solvarmeanlæg leverer forår og efterår varme til husets gulvvarmeanlæg. Spidsbelastningen (den største del af varmesæsonen) klares ved supplering fra en gasfyret kedel. Kedlen er adskilt lufttæt fra det rum, den er opstillet i.

hus	anlægstype	normaldrift	spidsbelastning
A	luftvarme loftsvarme	varmepumpe	el-varmefolie
B	radiatorer	varmepumpe	varmepumpe
C	gulvvarme	solvarme/ el-varmelegeme	el-varmelegeme
D	luftvarme	oliefyr	oliefyr
E	luftvarme	stenmagasin/ el-varmelegeme	el-varmelegeme
F	gulvvarme	solvarme/ gasfyr	gasfyr

Tabel 1: Husenes varmesystemer og energiforsyning.

2.3 Varmt brugsvand

Nogle af husene har separate anlæg til opvarmning af det varme brugsvand, medens de i andre huse er kombineret med husenes varmeanlæg. Ligesom for varmeanlæggernes vedkommende anvendes termerne normaldrift og spidsbelastning. Under den simulerede beboelse var varmtvandsforbruget fastsat til 3700 kWh/år, i gennemsnit svarende til tapning af 250 l/døgn ved 45 C.

Hus A: Luft-til-vand varmepumpeenhed med udeluft via tagrummet som varmekilde. Automatisk supplering med el-varmelegeme under spidsbelastning/vinterdrift.

Hus B: Luft-til-vand varmepumpeenhed i fortsættelse af varmegenvindingen på afkastluften. Anlægget anvender således den delvist afkølede afkastluft som varmekilde. Under spidsbelastning kan et elvarmelegeme indkobles manuelt - det udkobles automatisk, når termostaten første gang "slår fra".

Hus C: Som i hus B: Luft-til-vand varmepumpeenhed i fortsættelse af varmegenvindingen på afkastluften. Ved passage af solvarmeanlæggets akkumuleringstank forvarmes - om sommeren opvarmes - brugsvandet.

Hus D: Den oliefyrede kedel har indbygget varmtvandsbeholder. Brugsvandet forvarmes først ved passage af en spildevandsvarmegenvinder, yderligere forvarmning - om sommeren hele opvarmningen - sker i et særligt solvarmeanlæg. Spidsbelastning klares af oliefyret.

Hus E: Elektrisk vandvarmer til såvel normaldrift som spidsbelastning.

Hus F: En separat varmtvandsbeholder forsynes med varme fra gasfyret. Brugsvandet forvarmes - om sommeren opvarmes - ved passage af solvarmeanlæggets akkumulerings-tank.

hus	forvarmning	normaldrift	spidsbelastning
A		varmepumpe	el-varmelegeme
B		varmepumpe	(el-varmelegeme)
C	solvarme	solvarme/ varmepumpe	(el-varmelegeme)
D	spildevands- genv./solvarme	solvarme/ oliefyr	oliefyr
E		el-vandvarmer	el-vandvarmer
F	solvarme	solvarme/ gasfyr	gasfyr

Tabel 2: Husenes brugsvandsopvarmning og energiforsyning.

3. Måle- og beregningsprocedurer

I dette afsnit beskrives de specialundersøgelser af varme- og brugsvandsinstallationerne, der er gennemført for hovedparten af lavenergihusene. Derimod beskrives de undersøgelser, som kun vedrører enkelte huse, under afsnit 4.

I afsnit 3.5 defineres ydelseseffektiviteterne for systemerne og de enkelte aggregater.

3.1 Måling af varmetabsfaktorer for beholdere og cirkulationsledninger

En beholders varmetabsfaktor udtrykkes som varmetabet pr. grad temperaturdifferens mellem beholderen og dens omgivelser.

Varmetabsmålingerne er - afhængig af anlæggernes udførmning - foretaget efter en af nedenstående metoder, hvoraf den første kræver konstant systemtemperatur, medens den anden bases på systemets afkølingsforløb. Begge metoder forudsætter konstante omgivelsestemperaturer, et forhold som ikke helt har kunnet opfyldes under de udførte *in situ* målinger.

Usikkerheden på de enkelte målinger vurderes til mellem 5% og 10%. De mindste usikkerheder forekommer ved målingerne med konstant systemtemperatur.

3.1.1 Måling ved konstant temperatur

Adskillige af de undersøgte vandbeholdere har indbyggede el-varmelegemer. Under målingen af beholderens varmetabsfaktor blokeres for cirkulation gennem og tapning fra beholderen. Temperaturen i beholderen fastholdes inden for et begrænset interval ved termostatstyret drift af den indbyggede el-patron. El-patronens forbrug, beholderens og omgi-

velsernes temperaturer registreres, hvorefter varmetabsfaktoren kan beregnes af :a:.

I beregningsudtrykket indgår forskellen i væskevoluminets varmeindhold ved målingens start og slutning. Da forskellen i beholdertemperatur - ved de foretagne målinger - er lille (max. 0,5 C), er der set bort fra ændringen i beholdervægens varmeindhold.

$$:a: \quad (k \cdot A)_b = \frac{Q_e + C_{væske} \cdot (T_2 - T_1)}{\tau \cdot (T_b - T_o)}$$

- | | |
|----------------------|---|
| (k · A) _b | : beholderens varmetabsfaktor (W/C) |
| Q _e | : el-patronens el-forbrug (Wh) |
| C _{væske} | : væskevoluminets varmekapacitet (Wh/C) |
| T ₂ | : beholderens sluttemperatur (C) |
| T ₁ | : beholderens starttemperatur (C) |
| T _b | : beholderens middeltemperatur gennem måleperioden (C) |
| T _o | : omgivelsernes middeltemperatur gennem måleperiode (C) |
| τ | : måleperiodens længde (h) |

Beholdertemperaturen beregnes som middel af temperaturen i op til tre niveauer i beholderen. Væskevoluminets varmekapacitet beregnes af :b:.

$$:b: \quad C_{væske} = V_{væske} \cdot \rho_{væske} \cdot c_{p,væske}$$

- | | |
|----------------------|---|
| V _{væske} | : beholderens væskevolumen (m ³) |
| ρ _{væske} | : væskens massefyld - vand ved 40 C:
992,3 kg/m ³ |
| c _{p,væske} | : væskens varmefyld - vand ved 40 C:
1,161 Wh/kgC |

Efter måling af varmetabsfaktoren for selve beholderen måles varmetabsfaktoren for evt. cirkulationsledninger. Målingen omfatter ud over de førnævnte størrelser også temperaturen af cirkulationsledningens omgivelser samt el-forbruget til evt. cirkulationspumpe.

Cirkulationsledningens varmetabsfaktor beregnes af :c:. I udtrykket regnes 45% af pumpens el-forbrug tilført den cirkulerende væske - enten som bevægelsesenergi eller som transmissionsvarme.

$$:c: \quad (k \cdot A)_{cir} = \frac{Q_e + 0,45 \cdot Q_{cir} + C_{væske} \cdot (T_2 - T_1) - \tau \cdot (k \cdot A)_b \cdot (T_b - T_o)}{\tau \cdot (T_b - T_{o,cir})}$$

$(k \cdot A)_{cir}$: cirkulationsledningens varmetabsfaktor (W/C)

Q_{cir} : cirkulationspumpens el-forbrug (Wh)

$T_{o,cir}$: middeltemperaturen af ledningens omgivelser gennem måleperioden (C)

3.1.2 Måling under afkøling

Under målingen af beholderens varmetabsfaktor blokeres for cirkulation gennem og tapning fra beholderen. Beholderen opvarmes til en temperatur, som er væsentligt højere end temperaturen af omgivelserne. Når temperaturen i beholderen kan regnes ensartet i hele beholderen (efter 0,5-2,0 h afhængig af beholderens volumen) registreres afkølingsforløbet sammen med omgivelsernes temperatur. For store beholdere, som solvarmeanlæggernes akkumuleringstanke, vil der opstå en temperaturlagdeling, hvorfor beholdertemperaturen som regel er registreret i flere niveauer. Varometabsfaktoren beregnes i disse tilfælde som middel af faktorerne i de enkelte niveauer.

Varmetabsfaktoren under afkøling beregnes af :d:. I udtrykket indgår beholderens samlede varmekapacitet, som defineres i :e:.

$$:d: \quad (k \cdot A)_b = - \frac{C_b}{\tau} \cdot \ln\left(\frac{T_2 - T_o}{T_1 - T_o}\right)$$

$(k \cdot A)_b$: beholderens varmetabsfaktor (W/C)

C_b : beholderens varmekapacitet (Wh/C)

τ : afkølingsperiodens længde (h)

T_1 : beholderens starttemperatur (C)

T_2 : beholderens sluttemperatur (C)

T_o : omgivelsernes middeltemperatur gennem
måleperioden (C)

Beholderens varmekapacitet beregnes som summen af væskevolumets og beholdervæggens varmekapaciteter, hvorimod der ses bort fra beholderisoleringens varmekapacitet. Eventuelle varmeverkslere i beholderen regnes tilnærmet som væskevolumen.

$$:e: \quad C_b = C_{væske} + V_{stål} \cdot \rho_{stål} \cdot c_{p, stål}$$

C_b : beholderens varmekapacitet (Wh/C)

$C_{væske}$: væskevolumets varmekapacitet beregnet efter
:b: (Wh/C)

$V_{stål}$: beholdervæggens volumen (m^3)

$\rho_{stål}$: ståls masseyfylde - 7860 kg/ m^3

$c_{p, stål}$: ståls varmefyld - 0,134 Wh/kgC

For en kappebeholder regnes C_b som summen af varmekapaciteterne af beholderens og kappens væskevolumen samt beholderens og kappens stålvolume.

Måling under afkøling er bl.a. anvendt til anlæg med naturlig cirkulation. Varmetabsfaktoren for cirkulationsledningen er tilnærmet relateret til beholderomgivelsernes temperatur og beregnes af :f: .

$$:f: \quad (k \cdot A)_{cir} = - \frac{C_b + C_{cir}}{\tau} \cdot \ln\left(\frac{T_2 - T_o}{T_1 - T_o}\right) - (k \cdot A)_b$$

C_{cir} : samlet varmekapacitet af cirkulationsledningens stål- og vandvoluminer (Wh/C)

I hus D er den ene varmtvandsbeholder indbygget i en oliefyrsunit. Den beregnede varmetabsfaktor gælder derfor hele uniten.

I hus F findes en gasfyret kedel med meget lille vandindhold (6 l) - en bestemmelse af kedlens varmetabsfaktor i den aktuelle installation blev ikke foretaget, da den ville blive meget usikker p.g.a. den lille vandmængde, usikker fastsættelse af kedlens akkumulerende masse og måletekniske problemer med bestemmelse af en repræsentativ temperatur (uden cirkulation i systemet).

3.2 Forceret brugsvandaftapning og opvarmning af kold brugsvandsbeholder

Til undersøgelse af brugsvandsanlæggernes egenskaber er genet nmedført målinger af varmtvandstemperaturen ved det fjernestliggende tappested (i forhold til brugsvandsbeholderen) under en langvarig (forceret) aftapning.

Temperaturen af det varme brugsvand registreres kontinuerligt ved tappestedet under aftapningsforsøgene sammen med vandforbruget og temperaturen i brugsvandsbeholderen. Under aftapningerne er varmetilførslen til brugsvandsinstalla-

tionerne afbrudt (dog ikke i hus F). Målingerne viser, hvor hurtigt der ved tappestedet nås op på en tilfredsstillende temperatur - vurderet til 40 C (fedtløsnende) - samt hvor store vandmængder, der kan tappes fra brugsvandsbeholderen, før temperaturen igen når under dette niveau.

Da temperaturen i brugsvandsbeholderen som regel er højere end 40 C, er det muligt at iblende mere eller mindre koldt vand og stadig opretholde en tilfredsstillende varmtvands-temperatur. Fra leverandørside er termostaten i brugsvandsbeholderen i reglen indstillet til en afgangstemperatur på 55 C som anbefalet i vandinstallationsnormen. Ingen af anlæggene var forsynet med udstyr til termostatisk blanding (ud over skoldningssikring), og det er ikke beregnet, hvor store vandmængder der i de enkelte tilfælde ved iblanding af koldt vand kunne tappes ved 40 C. Vandtemperaturen ved tappestedet, som er afbilledet for alle tappeforsøgene, giver i-midlertid et indtryk heraf.

Derudover er anlæggernes driftsforhold undersøgt ved opvarming af varmtvandsbeholderen fra "kold tank" - d.v.s. efter en forceret aftapning eller efter en længere stilstandsperiode. Brugsvandet blev i hvert enkelt tilfælde opvarmet fra den aktuelle koldtvands- eller minimumstemperatur til den temperatur, hvor anlæggets termostat slog fra - opvarmnings-intervallerne er derfor ikke helt ens, ligesom størrelsen af de undersøgte beholdere varierer fra 210 til 280 l.

For at øge sammenligneligheden beregnes for den aktuelle opvarmning en opvarmningshastighed pr. 100 l brugsvand ud fra den målte opvarmningstid og den forenkлende forudsætning, at opvarmningen sker jævnt i hele temperaturintervallet. I virkeligheden er opvarmningshastigheden i de fleste tilfælde aftagende p.g.a. stigende varmetab fra beholderen og faldende temperaturforskell - og dermed langsommere varme-overføring - mellem varmekilde og brugsvand, som illustreret f.eks. i figur 12 (for en varmepumpe). I en beholder med indbygget el-patron sker opvarmningen derimod med næsten

uændret hastighed i hele intervallet, da der hele tiden kan overføres samme effekt - kun det stigende varmetab bevirket et svagt fald i opvarmningshastigheden. I afsnit 5.1 er der foretaget en sammenligning af opvarmningshastighederne i de forskellige anlæg ved en opvarmning fra 10 C til 50 C.

Under opvarmningen af brugsvandsbeholderen registreres temperaturen i denne sammen med anlæggets energiforbrug. Derved kan opvarmningshastigheden og diverse ydelseseffektiviteter beregnes (se afsnit 3.5). Usikkerheden på de beregnede størrelser vurderes for hvert enkelt anlæg.

3.3 Varme- og brugsvandsanlæggenes energiforbrug under tomgangsdrift

Ved et anlægs energiforbrug under tomgangsdrift forstås den energitilførsel, som er nødvendig til opretholdelse af en ønsket driftstemperatur, selv om anlægget ikke leverer nogen ydelse. Den bestemmende driftstemperatur kan f.eks. være temperaturen af brugsvandet i varmtvandsbeholderen, eller for et varmeanlægs vedkommende temperaturen af vandet i opvarmningsenheden, lagertanken eller fordelingssystemet.

Dette energiforbrug dækker altså tomgangstabet, d.v.s. varmetabet under tomgangsdrift, og forbrug og tab er ved direkte el-opvarmning lige store, men f.eks. for varmepumper kan energiforbruget ved tomgangsdrift være betydeligt mindre end tomgangstabet p.g.a. kompressorernes effektfaktor. Varmetabet under tomgangsdrift kan være fuldstændig tabt for huset, f.eks. skorstenstab, eller helt eller delvis komme huset til gode, f.eks. varmetab fra rørinstalationer inden for klimaskærmen.

For anlæg med naturlig eller tvungen cirkulation måles energiforbruget ved tomgangsdrift så vidt muligt både med og uden cirkulation.

På basis af målingerne beregnes bl.a. ydelseseffektiviteterne under tomgangsdrift (se afsnit 3.5).

3.4 Måling af den optagne effekt for de varmetekniske el-installationer

På grund af rumvarme- og brugsvandsanlæggernes store antal af el-forbrugende komponenter (pumper, ventilatorer, varmelegermer) har det ikke været muligt at måle de enkelte installationsgenstandes el-forbrug kontinuerligt. I stedet er den akkumulerede driftstid for hovedparten af installationerne registreret på timetællere, medens den optagne effekt i den normale belastningssituations måles gennem en kortere periode. Flere ventilatorer og pumper reguleres ved brug af thyristorer, der foruden at reducere aggregatets ydelse også reducerer den optagne effekt. I afsnit 4.7 er de målte effekter angivet sammen med de fra fabrikantene oplyste mærkeffekter.

3.5 Definition af ydelseseffektiviteter m.m.

I dette afsnit defineres ydelseseffektiviteter for varme- og brugsvandssystemerne og for de enkelte aggregater.

Ved beregningen af effektiviteterne tages der ikke hensyn til el-forbruget til diverse styreaggregater (motorventiler, -spjæld). Disses indflydelse på de beregnede størrelser er for de fleste systemer minimal.

3.5.1 Varmepumpeanlæg

For varmepumpeanlæggene defineres tre effektiviteter – en nettoeffektivitet, en systemeffektivitet (= bruttoeffektivitet) og en kompressoreffektivitet.

Nettoeffektiviteten defineres som forholdet mellem nyttig-gjort energi til anlæggets primære formål og den energimængde som købes. I den købte energimængde indgår ud over kompressorens forbrug evt. cirkulationspumpers, ventilatorers og afromningsvarmelegemers forbrug. Nettoeffektiviteten for VP-vandvarmere beregnes af :g:. Ved tomgangsdrift er nettoeffektiviteten 0.

$$:g: \quad \text{nettoeffektivitet} = \frac{V_{vb} \cdot c_{p,v} \cdot (T_b - T_k)}{Q_{komp} + Q_{cir} + Q_{vent} + Q_{afrim}}$$

V_{vb}	: aftappet varmtvandsmængde (m^3)
$c_{p,v}$: vands varmefylde - ved 40 C: 1150 Wh/ m^3C
T_b	: varmtvandsbeholderens middeltemperatur (C)
T_k	: temperatur af vandet i beholdertilgang (C)
Q_{komp}	: kompressorens el-forbrug (Wh)
Q_{cir}	: evt. cirkulationspumpers el-forbrug (i brugs-vand og brinekreds) (Wh)
Q_{vent}	: evt. ventilatorers el-forbrug (ved fordamper) (Wh)
Q_{afrim}	: evt. afromningsvarmelegemers el-forbrug (Wh)

Systemeffektiviteten udtrykker den totale varmeafgivelse fra systemet i forhold til den samlede købte energimængde. Som tidligere nævnt (afsnit 3.1.1) forudsættes 45% af cirkulationspumpernes el-forbrug overført til den cirkulerende væske, medens resten overføres til omgivelserne.

Systemeffektiviteten kan for varmepumpeanlæg til brugsvands-opvarmning beregnes af :h:.

$$: h: \quad \text{systemeffektivitet} = \frac{V_{vb} \cdot c_{p,v} \cdot (T_b - T_k)}{Q_{komp} + Q_{cir} + Q_{vent} + Q_{afrim}}$$

$$+ \frac{\tau \cdot (k \cdot A)_b \cdot (T_b - T_o) + \tau \cdot (k \cdot A)_{cir} \cdot (T_b - T_{o,cir}) + 0,55 \cdot Q_{cir}}{Q_{komp} + Q_{cir} + Q_{vent} + Q_{afrim}}$$

T_o : beholderomgivelsernes middeltemperatur (°C)

$T_{o,cir}$: evt. cirkulationsledningers omgivelsestemperatur (°C)

$(k \cdot A)_b$: beholderens varmetabsfaktor (W/h)

$(k \cdot A)_{cir}$: evt. cirkulationsledningers varmetabsfaktor (W/h)

τ : måleperiodens længde (h)

Kompressoreffektivitet defineres som kompressoren's ydelse i forhold til dens el-forbrug og beregnes af :i:. Som tidligere nævnt forudsættes 45% af cirkulationspumpens el-forbrug overført til den cirkulerende væske.

$$: i: \quad \text{kompressoreffektivitet} = \frac{V_{vb} \cdot c_{p,v} \cdot (T_b - T_k)}{Q_{komp}}$$

$$+ \frac{\tau \cdot (k \cdot A)_b \cdot (T_b - T_o) + \tau \cdot (k \cdot A)_{cir} \cdot (T_b - T_{o,cir}) - 0,45 \cdot Q_{cir}}{Q_{komp}}$$

I hus B er til rumopvarmning installeret en vand-til-vand varmepumpe. Netto-, system- og kompressoreffektiviteten beregnes efter henholdsvis :g:, :h: og :i:, hvor varmeydelsen til brugsvandet erstattes af varmeydelsen til radiatorerne og Q_{cir} står for el-forbrug til pumpen i radiatorkredsen. El-forbruget til brinepumpen i fordamperkredsen adderes kun i nævneren i formlerne :g: og :h:.

3.5.2 Olie- og gasfyrede kedler

For fyringsanlæggene defineres to effektiviteter, hhv. fyringsnyttevirkning og kedelnyttevirkning.

Hus D er udstyret med en oliefyrsunit, som leverer varme til den indbyggede brugsvandsbeholder og til rumopvarmning. Oliefyrets fyringsnyttevirkning - d.v.s. den andel af den indfyrede varme, som bliver overført til kedlen - bestemmes dels ved sædvanlig målemetode (røggasanalyse), dels ved beregning efter :j:. Varmetabet fra cirkulationsledningen (varmt brugsvand) er tilnærmelsesvis relateret til temperaturen i bryggerset, hvor uniten er placeret.

: j: fyringsnyttevirkning =

$$\frac{V_{vb} \cdot c_{p,v} \cdot (T_b - T_k) + Q_{varme} + r \cdot ((k \cdot A)_b + (k \cdot A)_{cir}) \cdot (T_b - T_o)}{9,96 \cdot 10^6 \cdot M}$$

Q_{varme} : ydelsen til rumopvarmning målt med joulemåler (ved kedel) (Wh)

$(k \cdot A)_b$: unitens varmetabsfaktor (W/C)

$9,96 \cdot 10^6 \cdot M$: indfyrede varmemængder, beregnet som produkt af olieforbruget M (m^3) og en nedre brændværdi på $9,96 \cdot 10^6$ Wh/ m^3

Oliefyrets kedelnyttevirkning (unitens nettoeffektivitet) - d.v.s. den andel af den indfyrede varme som overføres til brugsvandet og varmeanlægget - beregnes af :k:.

: k: kedelnyttevirkning =

$$\frac{V_{vb} \cdot c_{p,v} \cdot (T_b - T_k) + Q_{varme} + r \cdot (k \cdot A)_{cir} \cdot (T_b - T_o)}{9,96 \cdot 10^6 \cdot M}$$

I hus F er installeret et gasfyr med separat brugsvandsbeholder. Da det ikke var muligt at bestemme varmetabsfaktoren for den installerede gaskedel med en rimelig nøjagtighed, jfr. afsnit 3.1, kan fyringsnyttevirkningen for den aktuelle unit kun bestemmes ved røggasanalyse. En sådan måling er ikke foretaget. Kedelnyttevirkningen kan derimod beregnes af :1:.

$$:1: \quad \text{kedelnyttevirkning} =$$

$$\frac{V_{vb} \cdot c_p, v \cdot (T_b - T_k) + Q_{varme} + \tau \cdot (k \cdot A)_b \cdot (T_b - T_o)}{4,42 \cdot 10^3 \cdot M} - 0,45 \cdot Q_{cir}$$

$(k \cdot A)_b$: varmtvandsbeholderens varmetabsfaktor (W/C)

Q_{cir} : el-forbrug til cirkulationspumpe mellem kedel og varmtvandsbeholder (Wh)

$4,42 \cdot 10^3 \cdot M$: indfyrede varmemængder, beregnet som produkt af gasforbruget M (m^3) og en nedre brændværdi på $4,42 \cdot 10^3$ Wh/m³

3.5.3 Varmegenvinding fra gråt spildevand

En spildevandsvarmegenvinder til forvarmning af brugsvandet er installeret i hus D. Genvinderens virkningsgrad beregnes af :m:.

Ved specialundersøgelserne og ved den simulerede beboelse er den grå spildevandsmængde lig med husets samlede vandforbrug.

$$:\text{m:} \quad \eta = \frac{\sum_{j=1}^N v_{vb,j} \cdot (T_j - T_{k,j})}{\sum_{j=1}^N v_{sp,j} \cdot (T_{sp,j} - T_{k,j})}$$

η : virkningsgrad
 N : antal aftapninger i måleserien
 $v_{vb,j}$: aftappet varmtvandsmængde - tapning j (m^3)
 $v_{sp,j}$: grå spildevandsmængde - tapning j (m^3)
 T_j : brugsvandstemperatur efter genvinder - tapning j (C)
 $T_{k,j}$: brugsvandstemperatur før genvinder - tapning j (C)
 $T_{sp,j}$: temperatur af gråt spildevand i genvinder - tapning j (C)

4. Måle- og beregningsresultater

I dette afsnit beskrives de undersøgte brugsvand- og varmeinstallationer kun i den udstrækning, det er nødvendigt for forståelsen af de udførte undersøgelser. For nærmere detaljer henvises til (2). Resultaterne af målingerne vurderes for de enkelte huse i underafsnittene, medens der i afsnit 5 foretages en sammenligning af de dertil egnede undersøgelser husene imellem.

For hvert enkelt hus er anlæggenes energiforbrug og driftsforhold undersøgt for 14-dages perioder med et normalt simuleret varmtvandsforbrug (repræsentative for sommer- og vinsterforhold). Ved det simulerede vandforbrug tappes ca. 250 l varmt og ca. 280 l koldt vand pr. døgn efter et fast tapmønster, beskrevet i (1).

I afsnit 4.7 listes mærkeeffekterne og de målte effekter for de varmetekniske el-installationer.

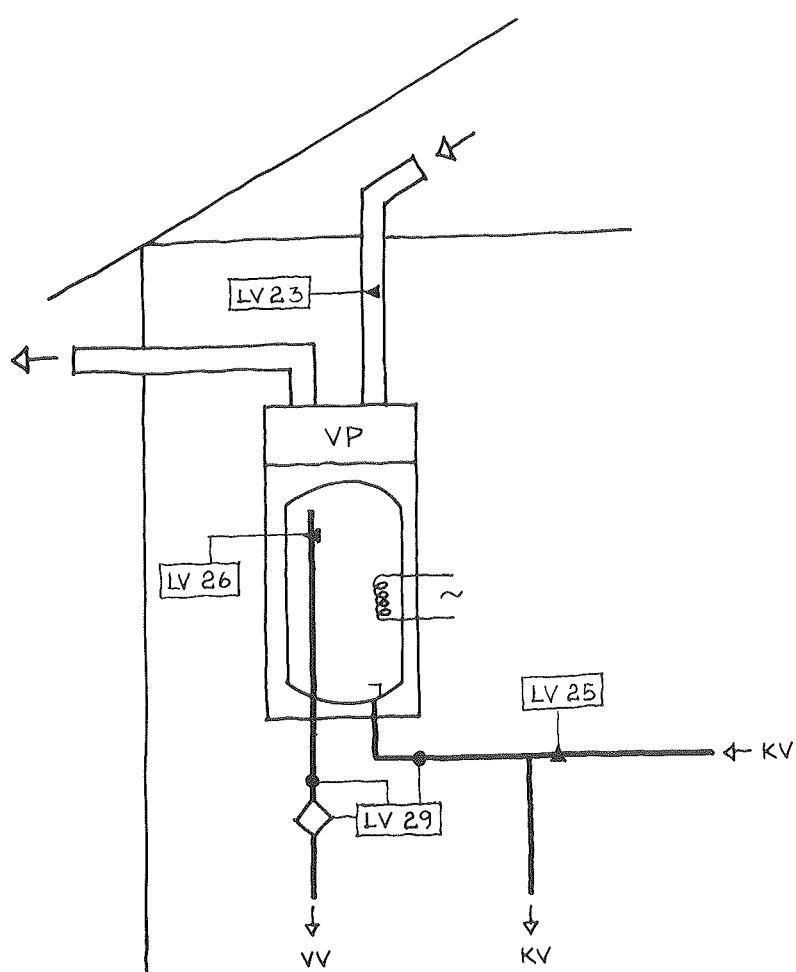
4.1 Lavenergihus A

I hus A er foretaget specialundersøgelser af brugsvandsanlægget i juni og december 1979 og marts-april 1980. Forholdene ved normalt simuleret beboelse er undersøgt for såvel brugsvands- som varmeanlægget.

4.1.1 Brugsvandsanlægget

Brugsvandet opvarmes af en luft-til-vand varmepumpe, som henter varmen fra det uudnyttede tagrum.

Varmetabsfaktoren for brugsvandsbeholderen (280 l) er ved konstant systemtemperatur målt til 2,8 W/C.



Figur 1: Hus A - Brugsvandsinstallation med målepunkter indtegnet.

Når varmepumpen er i drift, passerer luften fra tagrummet gennem fordamperen og afkøler derved beholderens top med større varmetabsfaktor til følge. Afkølingens betydning for varmetabsfaktoren er ikke målt, men afhængig af tilgangsluftens temperatur skønnes forøgelsen til mellem 5% og 20%.

Der er ikke gennemført forcede aftapningsforsøg fra varmtvandsbeholderen. P.g.a. varmtvandsbeholderens størrelse og termostatindstillingen på varmepumpen (ca. 50 C) må det forventes, at varmtvandsmængderne (ved 40 C) er tilfredsstilende ved selv store aftapninger.

Ifølge fabrikantens oplysninger kan der ved tappehastigheder på 5-10 l/min. tappes op mod 80% af vandindholdet, d.v.s. ca. 225 l, inden der sker et væsentligt fald i afgangstemperaturen.

Målinger af varmepumpens ydelse er foretaget en sommer- og en vinterdag, hvor beholdertemperaturen ved målingernes start er lav, hhv. 18 C og 26 C. Tabel 3 gengiver målresultaterne.

	sommer	vinter
temperaturstigning brugsvand, fra/til (C)	18/55	26/47
opvarmningstid (h)	17,5	25,0
temperatur luft til fordamper min./max. (C)	9/35	-7/5
forbrug kompressor, ventilator afrimning (kWh)	5,2	6,7
systemeffektivitet	2,5	1,3

Tabel 3: Hus A - Brugsvandsanlæggets ydelse m.m. ved opvarmning fra kold beholder. Den indbyggede elpatron har ikke været i drift under målingerne.

Brugsvandets temperaturstigning ved de to målinger er henholdsvis 5,9 C/h/100 l (sommer) og 2,4 C/h/100 l (vinter) svarende til, at der i middel under målingerne netto til brugsvandet overføres hhv. 0,69 kW og 0,28 kW. Opvarmningshastigheden er tilfredsstillende om sommeren, medens det om vinteren kan være nødvendigt at øge hastigheden ved tilslutning af den indbyggede el-patron (910 W). Indkoblingen af el-patronen er termostatstyret og kan ske ved en vilkårlig ønsket temperatur. Termostaten har i den lange periode med simuleret beboelse af huset været indstillet meget lavt (af LfV), således at el-patronen næsten ikke har været i brug.

Ventilatoren på varmepumpens fordamperside optager en effekt på 80 W. Afrimningen af fordamperen styres af et ur, som er indstillet til at tilslutte et varmelegeme (425 W) hver fjerde time, hvis temperaturen på fordamperen er lavere end -2 C. Varmelegemet udkobles igen, når temperaturen på fordamperen er steget ca. 4 C. Under afrimningen er strømforsyningen til kompressoren og ventilatoren afbrudt. På grund af den høje tagrumstemperatur har afrimningsvarmelegemet ikke været indkoblet ved målingen om sommeren.

I forbindelse med målingerne af unitens tomgangstab blev kompressorens og ventilatorens el-forbrug registreret i en periode uden varmtvandsforbrug. El-forbruget måles til 1,4 kWh/døgn, hvoraf kompressoren optager 74%. Unitens og kompressorens effektivitet ved tomgang beregnes til henholdsvis 1,4 og 1,8. Middeltemperaturen af luften til fordamperen er 12 C, og middelbeholdertemperaturen er 50 C.

Forholdene ved normalt simuleret varmtvandsforbrug er undersøgt for en sommer- og en vinterperiode på hver 14 dage. Tabel 4 gengiver de målte og beregnede størrelser for de to perioder.

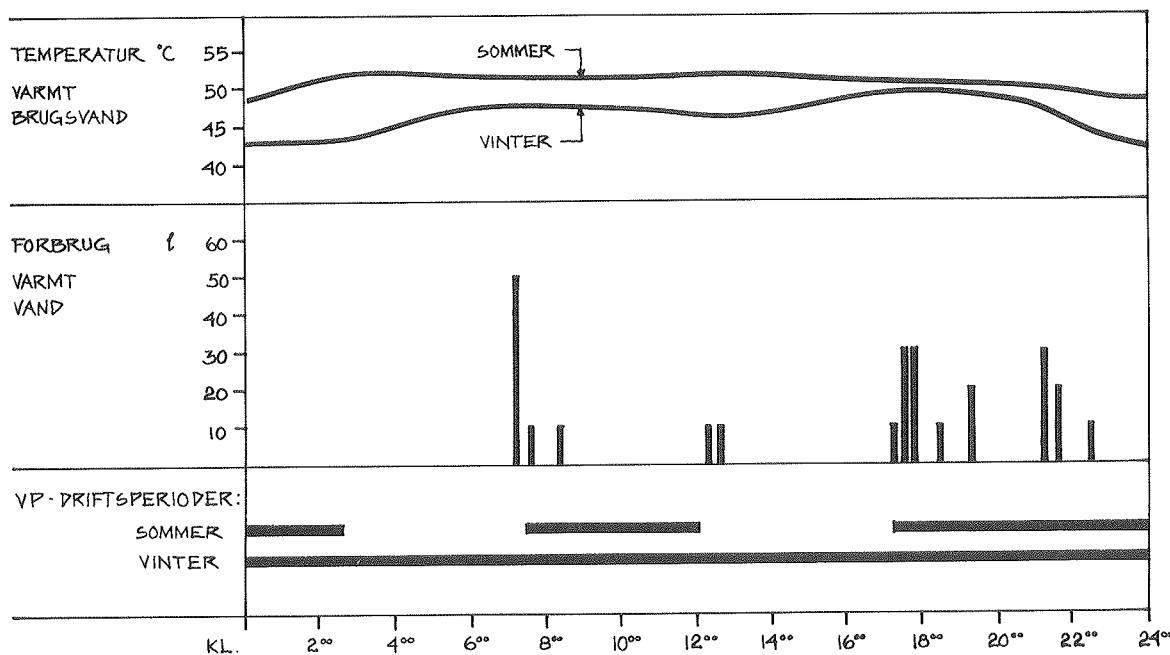
Usikkerheden på de beregnede effektiviteter vurderes til 10%.

	sommer	vinter
varmtvandsforbrug (l/døgn)	244	238
vandtemperaturstigning, fra/til (C)	16/51	10/46
temperatur luft til fordamper (C)	17	4,7
varmetab fra beholderen (kWh/døgn)	1,7	1,6
varmepumpens driftstid (h/døgn)	14	24
kompressorens forbrug (kWh/døgn)	3,2	4,3
ventilatorens forbrug (kWh/døgn)	1,1	1,8
afrimningsvarmelegemets forbrug (kWh/døgn)	0	0,8
nettoeffektivitet	2,3	1,4
systemeffektivitet	2,6	1,7
kompressoreffektivitet	3,5	2,7

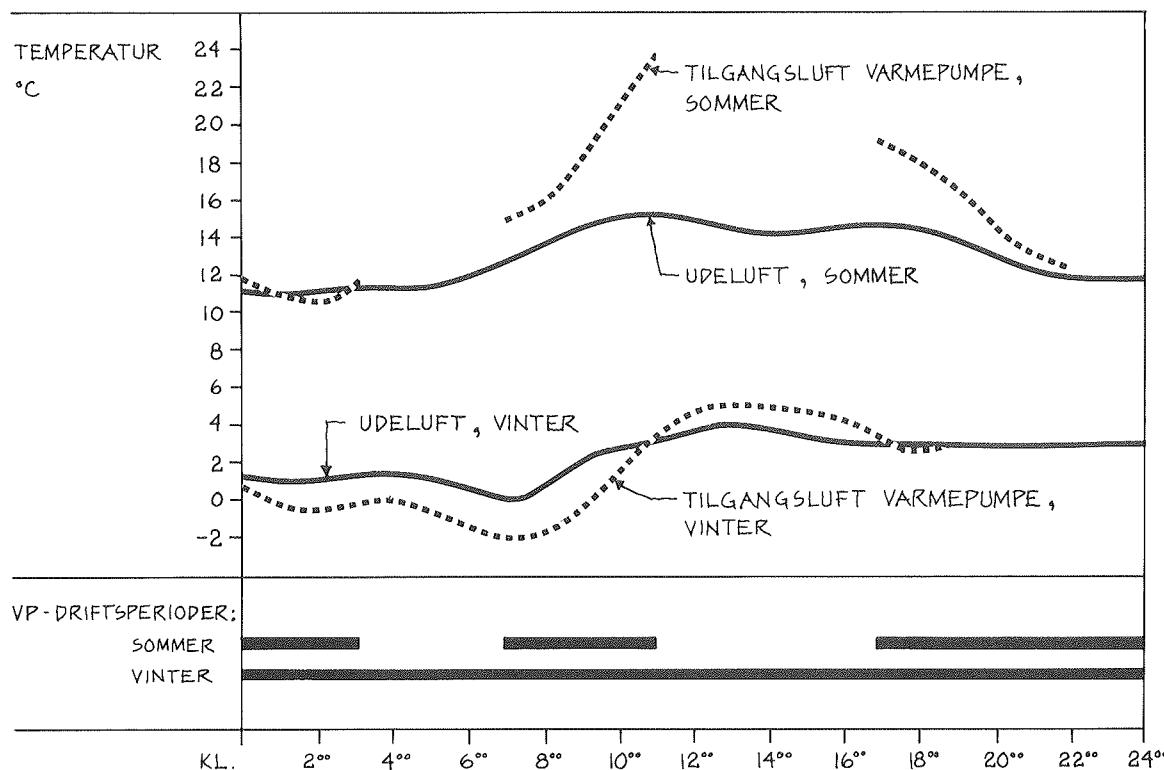
Tabel 4: Hus A - Varmtvandsforbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret tappemønster.

Figur 2 viser varmtvandsforbruget og varmepumpens driftstider i et typisk sommer- og vinterdøgn. P.g.a. den lave temperatur af luften til fordamperen er varmepumpen konstant tilsluttet om vinteren, og alligevel bliver varmtvandstemperaturen 5 C lavere end i sommerperioden, jfr. tabel 4. Det kan derfor være nødvendigt at benytte el-patronen for at få tilfredsstillende mængder varmt vand. Derved vil både system- og nettoeffektiviteterne (henholdsvis 1,7 og 1,4) blive endnu lavere.

Som nævnt sker lufttilførslen til varmepumpen fra det uudnyttede tagrum, hvor temperaturen om sommeren er væsentligt højere end temperaturen af udeluftten. For vinterperioden er forskellen derimod forsvindende. På figur 3 er forholdene



Figur 2: Hus A - Varmtvandstemperatur m.m. gennem et døgn ved simulerede vandforbrug - sommer- og vinterforhold (el-patronen ikke benyttet).

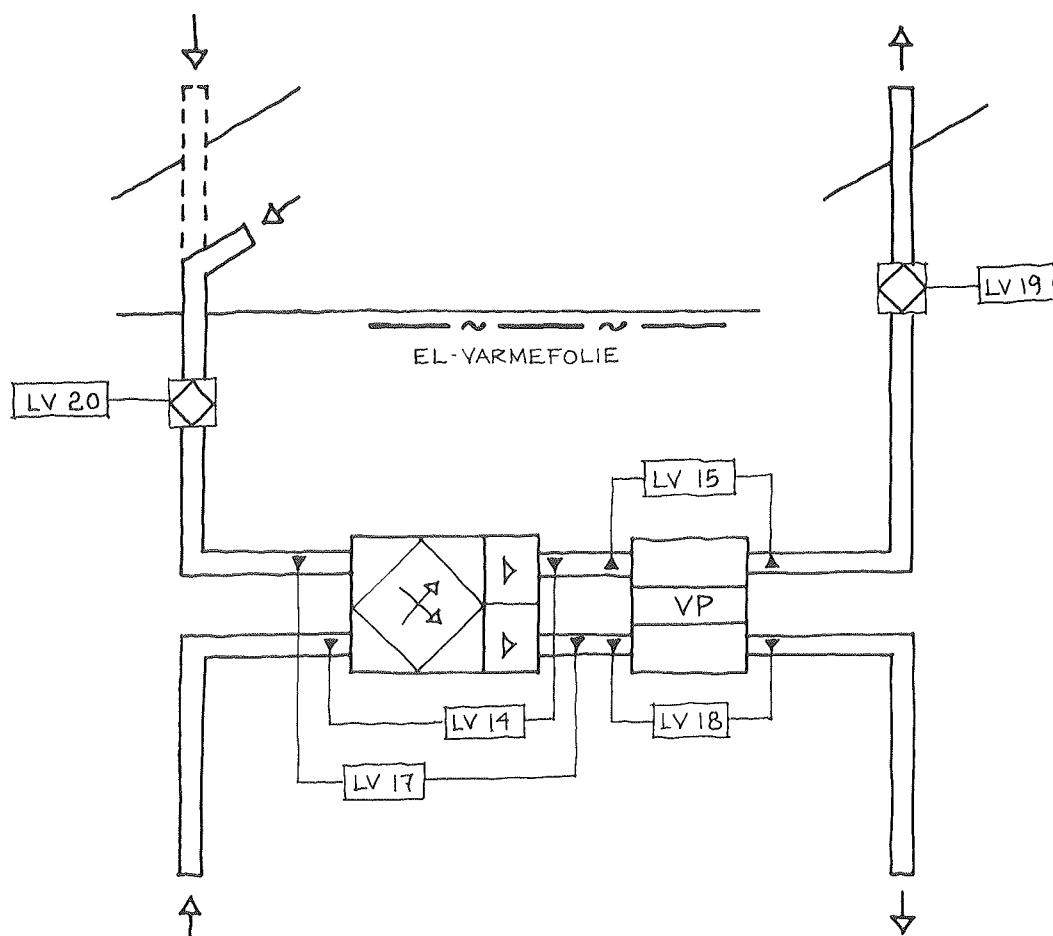


Figur 3: Hus A - Temperaturen af udeluft og luften tilført brugsvandsvarmepumpens fordamper - sommer- og vinterforhold.

illustreret for et solrigt sommerdøgn og et vinterdøgn, hvor udstrålingen til himmelrummet medfører, at temperaturen i tagrummet om natten bliver lavere end temperaturen ude. Da de højeste tagrumstemperaturer altid forekommer om dagen, vil det energiøkonomisk altid være en fordel styringsmæssigt at prioritere varmtvandsproduktion i dagtimerne. Anlægsudformningen vil derfor næppe være hensigtsmæssig i kombination med el-afregning til billig nattakst.

4.1.2 Varmeanlægget

Udformningen af varmesystemet i hus A fremgår af figur 4.



Figur 4: Hus A - Ventilations- og varmeanlæg med målepunkter indtegnet.

Huset opvarmes primært (under spidsbelastning) med el-varme i form af et loftsvarmeanlæg, styret on-off af termostater i de enkelte rum. Derudover er ventilationsanlægget foruden en krydsvarmeveksler udstyret med en luft-til-luft varmepumpe. Varmepumpen styres on-off af en rumtermostat i opholdsstuen.

Varmepumpens ydelse og driftsbetingelser er undersøgt gennem to 14-dages perioder med normalt simuleret beboelse. Tabel 5 gengiver de målte og beregnede størrelser.

	sommer	vinter
kompressorens el-forbrug (kWh/døgn)	2,8	5,4
gennemsnitlig driftstid (h/døgn)	10,8	22,5
afkastluftmængde gennem fordamper (m ³ /h)	190	203
friskluftmængde gennem kondensator (m ³ /h)	163	182
middeltemperatur luft før fordamper (C)	20,1	10,6
middeltemperatur luft efter kondensator (C)	26,8	20,8
varmeydelse kondensator (kWh/døgn)	7,7	14,6
nettoeffektivitet	2,7	2,7
systemeffektivitet	2,7	2,7
kompressoreffektivitet	2,7	2,7

Tabel 5: Hus A - Luft-til-luft varmepumpens forbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret beboelse.

Middelfrisklufttemperaturen ved indblæsningsristene er om vinteren ca. 21 C, hvilket betyder, at krydsvarmeveksleren sammen med varmepumpen dækker husets ventilationstab - i den undersøgte vinterperiode var middelindblæsningstemperaturen endda 0,6 C højere end udsugningstemperaturen. El-varmefolien i loftet skal derfor kun dække transmissionstabet. I sommerperioden og i store dele af forårs- og efterårsperioden dækker varmepumpen og krydsvarmeveksleren hele opvarningsbehovet. I en beboet situation ville familien nok vælge at klare sig uden opvarmning om sommeren eller i hvert fald stille termostaten lavere end den var stillet i den undersøgte periode, hvor udsugningstemperaturen i gennemsnit var 23,3 C.

Netto-, system- og kompressoreffektiviteterne er lige store, da varmepumpens el-forbrug udelukkende skyldes kompressoren. Effektiviteternes størrelse er tilfredsstillende i begge de undersøgte perioder.

Varmepumpens afrimningsprocedure har ikke været i funktion ved de foretagne målinger. Afrimningen er termostatstyret og begynder iflg. fabrikantens oplysninger, når temperaturen på fordamperen er lavere end -9,5 C. Under afrimningen afbrydes kompressoren. Når afkastluften gennem fordamperen har øget temperaturen på denne til +2 C, starter kompressoren igen.

Usikkerheden på de beregnede effektiviteter vurderes til 10%.

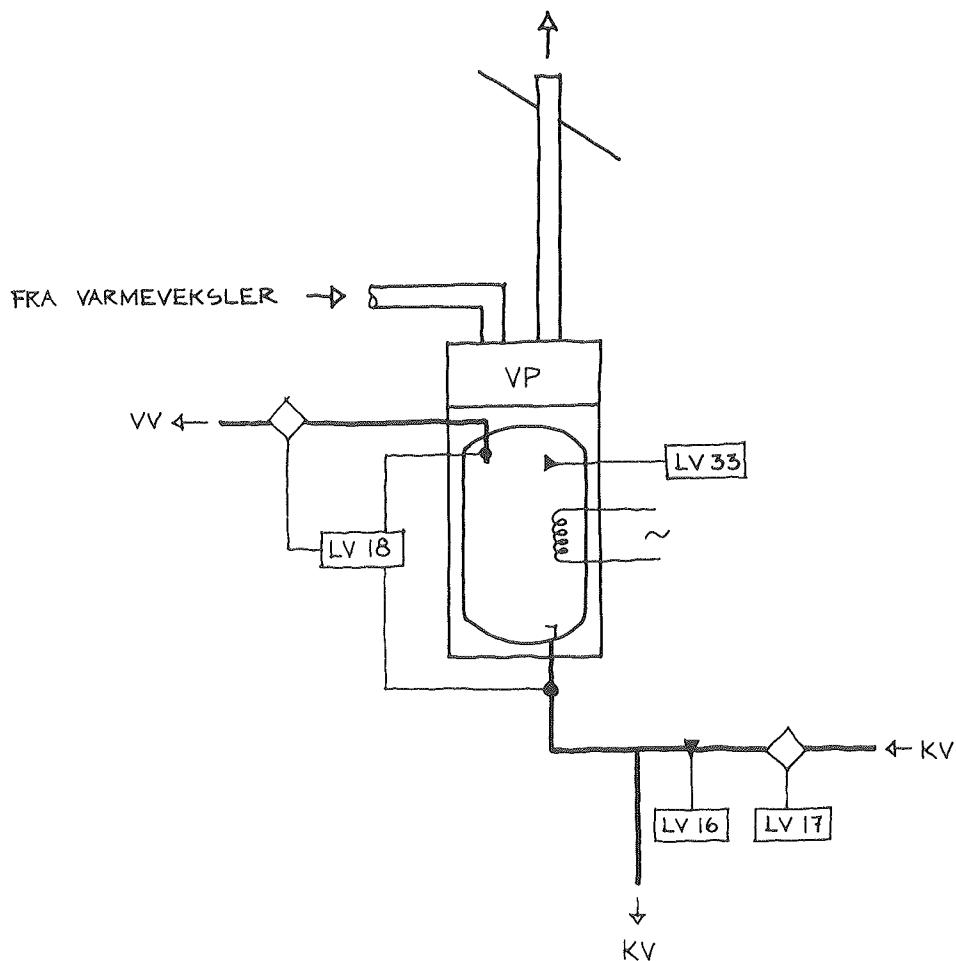
4.2 Lavenergihus B

I hus B er gennemført specialundersøgelser af både brugs-vandsanlægget og varmeanlægget. Brugsvandsanlægget er undersøgt i perioden februar-december 1980 og varmeanlægget i perioden marts 1980-februar 1981.

4.2.1 Brugsvandsanlægget

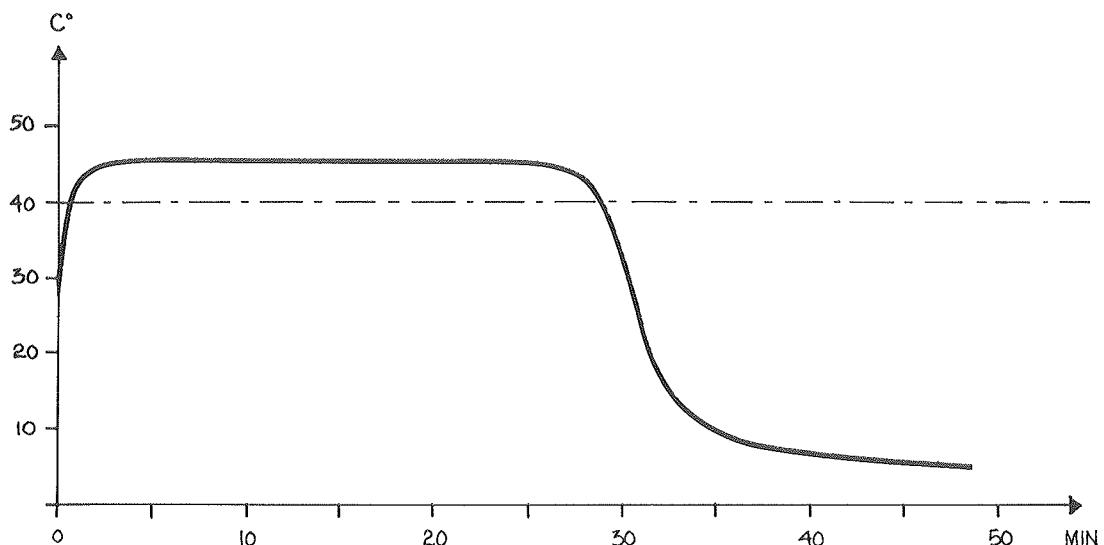
Brugsvandet opvarmes af en luft-til-vand varmepumpe, som henter varmen fra husets afkastluft, efter at denne har passeret en krydsvarmeveksler. Varmepumpens fordamperdel er ikke forsynet med egen ventilator.

Varmetabsfaktoren for den indbyggede 250 l stålbeholder er ved konstant systemtemperatur målt til 2,1 W/C, når ventilationsanlægget er tilseddelt, og 1,9 W/C når ventilationsanlægget er afbrudt. Forskellen skyldes afkølingen af brugsvandsbeholderens top, når luften strømmer gennem fordamperen. Den indbyggede el-patron i beholderen optager en effekt på 1000 W.



Figur 5: Hus B - Brugsvandsinstallation med målepunkter indtegnet.

Figur 6 viser temperaturen af varmt brugsvand (håndvask i badeværelse) under en forceret varmtvandsaftapning. Det er muligt at tappe ca. 190 l vand ved en temperatur over 40 C. Ved målingerne konstateres det, at termostaten først tilslutter kompressoren 1,5 time efter, at beholdertemperaturen når under den indstillede minimumsværdi. Den store hystereseskylde skyldes dårlig varmekontakt mellem føler og dykrør.



Figur 6: Hus B - Forceret vandtapning (6,6 l/min.) - temperatur varmt brugsvand i håndvask i badeværelse.

Den efterfølgende opvarmningsperiode - hvor beholdertemperaturen stiger fra 6 C til 50 C - har en varighed på ca. 17 timer. Beholdertemperaturen øges gennemsnitligt 6,5 C/h pr. 100 l, hvilket med normale tappeintensiteter er tilfredsstillende - det svarer til en nettovarmeoverføring på 0,76 kW. Hvis varmtvandsforbruget ved enkelte lejligheder er ekstraordinært stort, kan den indbyggede el-patron (på 1000 W) tilsluttes manuelt og vil så leve én opvarmning.

Målinger er også udført under tomgangsdrift, d.v.s. en periode uden varmtvandsforbrug. Kompressorens el-forbrug måles til 0,53 kWh/døgn, og system- og kompressoreffektiviteten beregnes til 3,1. Varmtvandstemperaturen i perioden er gennemsnitlig 50 C.

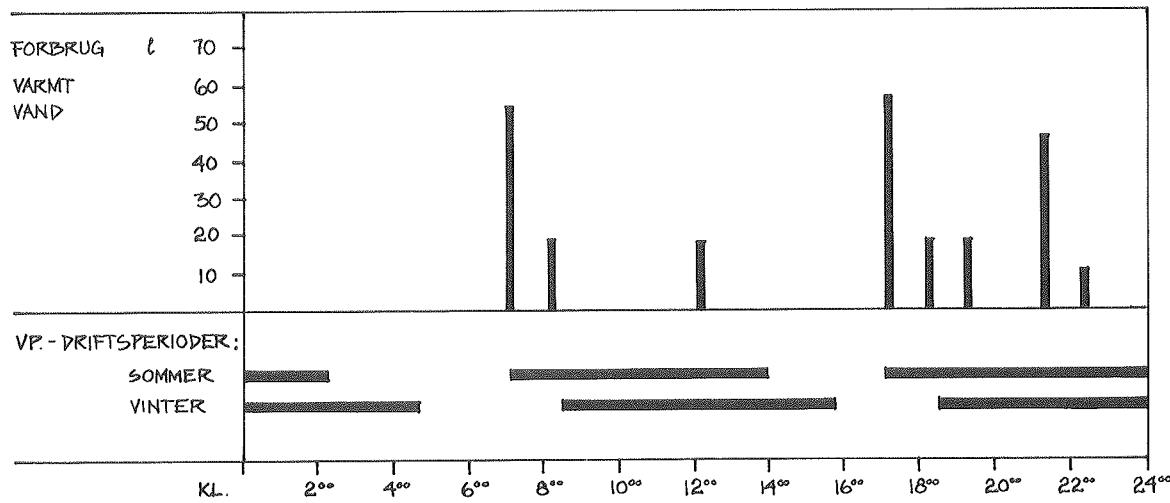
Varmepumpens afrimningsprocedure har ikke været i funktion ved de foretagne målinger. Afrimningen er termostatstyret og begynder iflg. fabrikantens oplysninger, når temperaturen på fordamperen er lavere end -9,5 C. Under afrimningen afbrydes kompressoren. Når afkastluften gennem fordamperen har øget temperaturen på denne til +2 C, starter kompressoren igen.

Forholdene ved normalt simuleret beboelse er undersøgt for en sommer- og en vinterperiode, som hver varer 14 dage. Tabel 6 gengiver de målte og beregnede størrelser for de to perioder.

	sommer	vinter
varmtvandsforbrug (l/døgn)	232	238
vandtemperaturstigning, fra/til (C)	15/58	6/50
varmetab fra beholderen (kWh/døgn)	0,6	1,4
kompressorens driftstid (h/døgn)	16	19
kompressorens forbrug (kWh/døgn)	4,0	4,0
luftmængde gennem fordamper (m ³ /h)	200	185
temperatur luft til fordamper (C)	21	14
afkøling af luften gennem fordamper (C)	9,4	5,8
nettoeffektivitet	2,9	3,0
systemeffektivitet	3,0	3,3
kompressoreffektivitet	3,0	3,3

Tabel 6: Hus B - Varmtvandsforbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret beboelse.

Figur 7 viser fordelingen af varmtvandsforbruget og kompressorens driftstid gennem et repræsentativt sommer- og vinterdøgn.



Figur 7: Hus B – Varmtvandsforbrug m.m. gennem et døgn med simuleret beboelse – sommer- og vinterperiode.

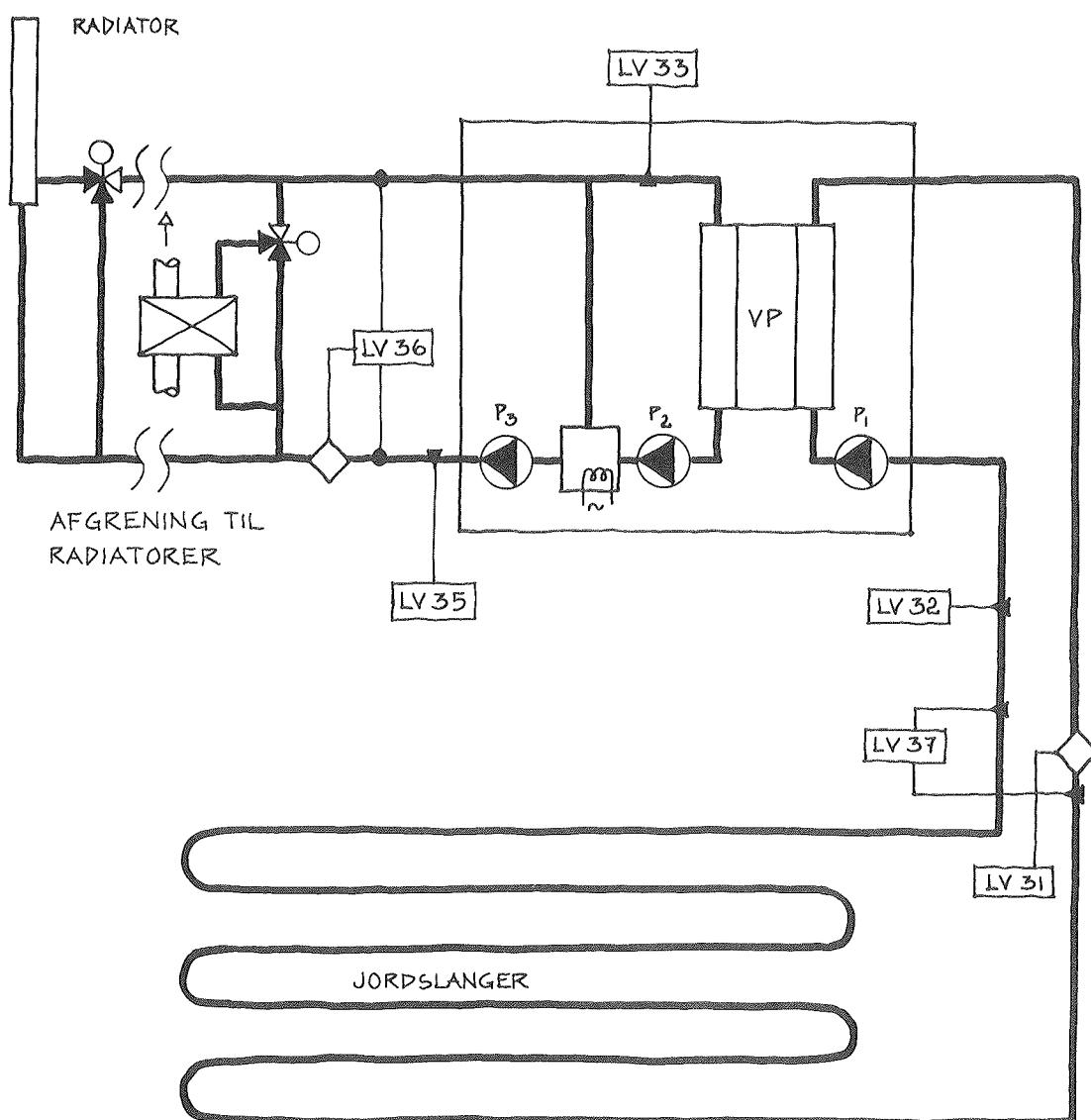
Varmepumpens ydelse og forbrug ændres kun lidt fra sommer- til vinterdrift. Den procentvise store forskel på størrelsen af varmetabet fra beholderen skyldes ekstremt høje temperaturer i bryggerset i sommerperioden. Temperaturen er målt til gennemsnitligt 33,5 C i den pågældende 14-dages periode.

Forskellen i den gennemsnitlige beholdertemperatur i de to perioder (8 C) kan kun forklares ved en regulering af termostatindstillingen. En beholdertemperatur på 50 C må ellers betragtes som tilfredsstillende, og forsøgene med meget store vandforbrug viser, at tilstrækkelige varmtvandsmængder er til stede ved denne temperatur, se figur 6. Som tabel 6 antyder, og tilsvarende undersøgelser for hus C bekræfter, har den valgte termostatindstilling stor indflydelse på kompressorens effektivitet og dermed også på system- og nettoeffektivitet.

Usikkerheden på de beregnede effektiviteter vurderes til 10%.

4.2.2 Varmeanlægget

Varmen til radiatoranlægget i hus B leveres af en specialbygget vand-til-vand varmepumpe, udført med buffertank og større fordamper end normalt. Brinekredsen på varmepumpens fordamperside består af 180 meter PEL slange ($\varnothing 40$ mm) nedgravet i haven i 1,5 meters dybde. I alle husets rum er installeret pladeradiatorer. Vandmængden til hver enkelt radiator reguleres af termostatiske trevejsventiler. I gulvet under radiatorerne findes indblæsningsristene for husets friskluftforsyning. Friskluften kan forvarmes af en centralt placeret varmeflade.



Figur 8: Hus B - Varmeanlæg med målepunkter indtegnet.

Cirkulationspumpen P3 (35 W) kører konstant. P1 (88 W) og P2 (89 W) kører sammen med kompressoren. P2 øger cirkulationen kraftigt i kondensatorkredsen og til dels også i fordelings-systemet.

I varmepumpeuniten findes en 100 l buffertank, hvori er indbygget en 3 kW el-patron. Buffertankens varmetabsfaktor er ved konstant systemtemperatur målt til 1,9 W/C. Da temperaturforskellen mellem buffertanken og bryggerset normalt er mindre end 10 C, er det reelle tomgangstab minimalt.

Radiatoranlæggets fordelingssystem er placeret i krybekælderen. Fordelingssystemets varmetabsfaktor (til krybekælderen) er ved konstant systemtemperatur målt til 17 W/C. I varmetabsfaktoren er det meget lille varmetab til bryggerset inkluderet.

Fordelingssystemet er frostsikret med el-varmekabler.

Varmepumpens forbrug er målt i tomgangssituationen - med cirkulation i fordelingssystemet men ikke gennem radiatorerne - i en periode i december 1980, og størrelserne gives i tabel 7.

Tomgangsforbrugets størrelse afhænger af temperaturforskelen mellem fordelingssystemet og luften i den ventilerede krybekælder samt af kompressorens effektivitet.

Under målingen af tomgangsforbruget er termostaten indstillet på "minimum" (lavere end "1"), da denne indstilling er anvendt i hovedparten af den simulerede beboelsesperiode. Ved et højere temperaturniveau i radiatorkredsen øges tomgangstabet til omgivelserne, og kompressoren får en dårligere virkningsgrad p.g.a. den større differens mellem kondensator- og fordampertemperaturen.

Temperaturen af radiatorvandet ved radiatortilgang (stue) er registreret i afhængighed af termostatindstillingen på var-

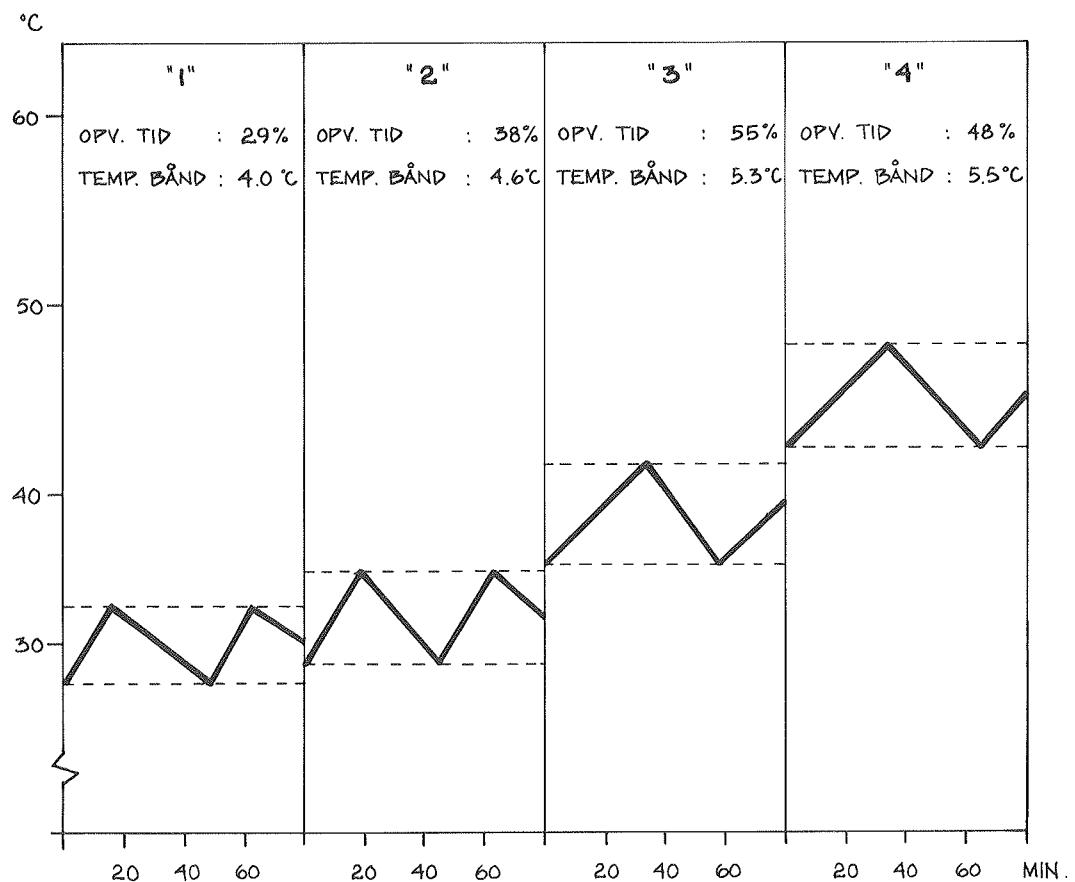
forbrug kompressor (kWh/døgn)	2,4
forbrug cirkulationspumper fordelingssystem, P2 og P3 (kWh/døgn)	1,0
forbrug cirkulationspumpe jordslangekreds, P1 (kWh/døgn)	0,2
middeltemperatur radiatorkreds (C)	27,0
temperatur krybekælder (C)	5,5
varmetab til krybekælder (kWh/døgn)	8,8
varmetab til bryggers (kWh/døgn)	-0,2
systemeffektivitet, tomgang	2,6
kompressoreffektivitet, tomgang	3,7

Tabel 7: Hus B - Kompressorens el-forbrug m.m. ved tomgangsdrift af varmeanlæg.

mepumpen. Under forsøget er der maksimal strømning gennem radiatoren. Figur 9 viser temperaturforløbene samt den procentvise fordeling mellem opvarmnings- og afkølingstid.

Ved simuleret beboelse er forholdene undersøgt for en efterårs-, en vinter- og en forårsperiode. Perioderne har en varighed af 14 dage. I de to førstnævnte perioder er termostaten på varmepumpen sat på "min", medens termostaten i forårsperioden står på "2".

Varmabetet til krybekælderen udgør en uacceptabelt stor del af den producerede varme - i de tre udvalgte perioder mellem 30% og 55% af kondensatorens varmeydelse. For forårsperioden er den nyttiggjorte varmemængde (8,5 kWh) kun 13% større end kompressorens og cirkulationspumpernes el-forbrug, hvilket kommer til udtryk i den lave nettoeffektivitet.



Figur 9: Hus B - Temperaturen ved radiatortilgang i afhængighed af VP-termostatindstilling.

Radiatorkredsens varmeydelse måles kontinuerligt med en joule-måler, som desværre har vist sig mindre egnet til formålet p.g.a. store målerafvigelser ved små temperaturdifferenser mellem følerne, d.v.s. især ved de lave varmeydelser. Varmeydelsen og hermed de beregnede effektiviteter er derfor behæftet med en relativt stor usikkerhed - vurderet til 15% - medens usikkerheden på de øvrige størrelser i tabellen vurderes til 10%.

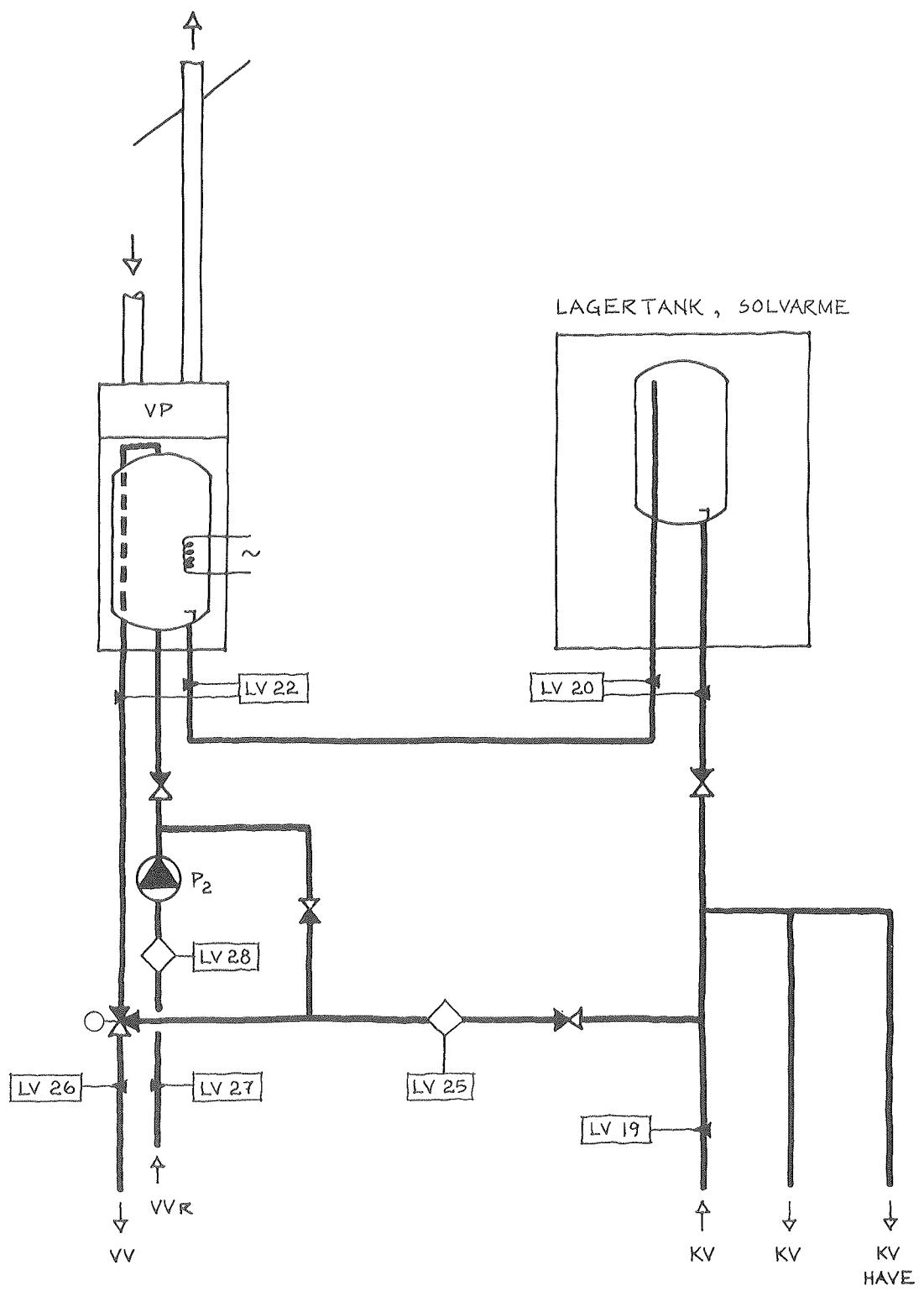
	efterår	vinter	forår
fremløbstemperatur radiatorkreds (C)	26,5	27,6	34,4
varmeydelse radiatorkreds (kWh/døgn)	16,3	28,9	19,5
varmetab til krybekælder jfr. side 36 (kWh/døgn)	6,9	8,7	11,0
cirkulationspumpernes forbrug (kWh/døgn)	1,4	2,0	1,6
kompressorens driftstid (h/døgn)	3,4	6,6	4,3
kompressorens forbrug (kWh/døgn)	4,6	8,4	5,9
temperatur brine før fordamper (C)	7,0	2,2	2,7
temperatur jord ved slanger (C)	8,1	3,5	2,6
nettoeffektivitet	1,6	1,9	1,1
systemeffektivitet	2,8	2,9	2,7
kompressoreffektivitet	3,4	3,4	3,2

Tabel 8: Hus B - Kompressoreffektivitet m.m. i tre 14-dages perioder med simuleret beboelse.

4.3 Lavenergihus C

Specialundersøgelserne omfatter brugsvandsanlægget og blev foretaget i perioden februar-april 1980.

Brugsvandet forvarmes i en 150 l stålbeholder indbygget i solvarmeanlæggets akkumuleringstank. Akkumuleringstanken - 1,8 m³ ståltank - er i top og bund isoleret med 150 mm mineraluld og i siderne med 50-100 mm. Varmetabsfaktoren for tanken er under afkøling målt til 15 W/C.



Figur 10: Hus C - Brugsvandsinstallation med målepunkter inddtegnet.

Brugsvandet eftervarmes af en luft-til-vand varmepumpe, som henter varmen fra ventilationsanlæggets afkastluft, efter at

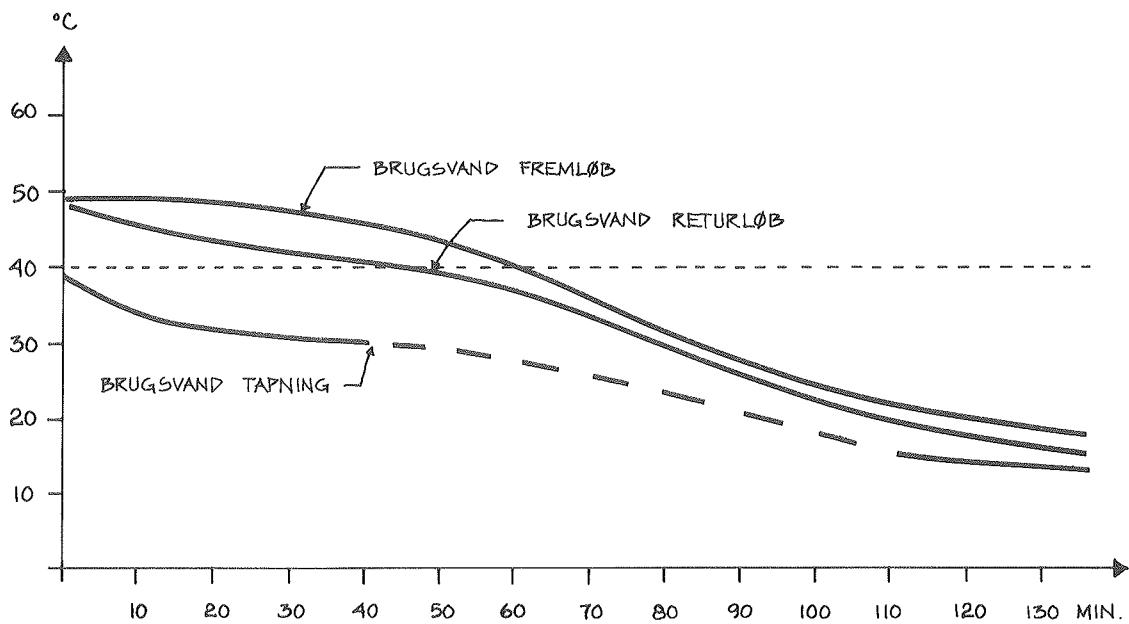
den har passeret en krydsvarmeveksler. Brugsvandsanlægget er udført med tvungen cirkulation gennem den 250 l store varmtvandsbeholder. Cirkulationsledningerne (kobberrør) har en samlet længde på ca. 30 meter. Kobberrørene er ført i isoleringslaget mellem stuen og 1. salen. Cirkulationspumpen optager en effekt på 22 W.

Varmtvandsbeholderen i VP-uniten og cirkulationsledningerne har en varmetabsfaktor på henholdsvis 2,0 W/C og 7,5 W/C - begge målt ved konstant systemtemperatur. Under målingerne er der ingen luftstrømning gennem fordamperen i unitens top. Målinger på en analog unit i hus B viser, at beholderens varmetabsfaktor øges ca. 10% under de normale driftsforhold, d.v.s. med ventilationsanlægget tilsluttet.

Figur 11 viser fremløbs- og returtemperaturen i cirkulationsledningerne under en forceret varmtvandsaftapning. Temperaturen ved tappestedet - håndvasken i badeværelset - er ligeført med illustreret. Ved tapningen konstateres en uønsket iblanding af koldt vand svarende til 40% af den tappede vandmængde. For husets øvrige blandingsbatterier er iblandingsprocenten målt til ca. 25%.

Som det fremgår af figur 11, er det ikke muligt at tappe vand fra håndvasken ved en tilfredsstillende høj temperatur, d.v.s. ca. 40 C. Fra brugsvandsbeholderen kan dog tappes ca. 210 liter vand, før beholdertemperaturen når ned på 40 C. Ved et andet aftapningsforsøg, med aftapning fra både køkken og badeværelse, tappedes 275 liter fra beholderen, før temperaturen var faldet fra 54 C til 40 C. Under aftapningerne er strømforsyningen til kompressor og el-patron afbrudt.

Den efterfølgende opvarmningsperiode, hvor beholdertemperaturen stiger fra 17 C til 55 C, har en varighed på 50 timer. Opvarmningshastigheden, som i gennemsnit er 1,9 C/h/100 l, mindskes kraftigt gennem måleperioden - fra ca. 4,7 C/h pr. 100 l til ca. 0,6 C/h/100 l - hvilket hovedsagelig skyldes

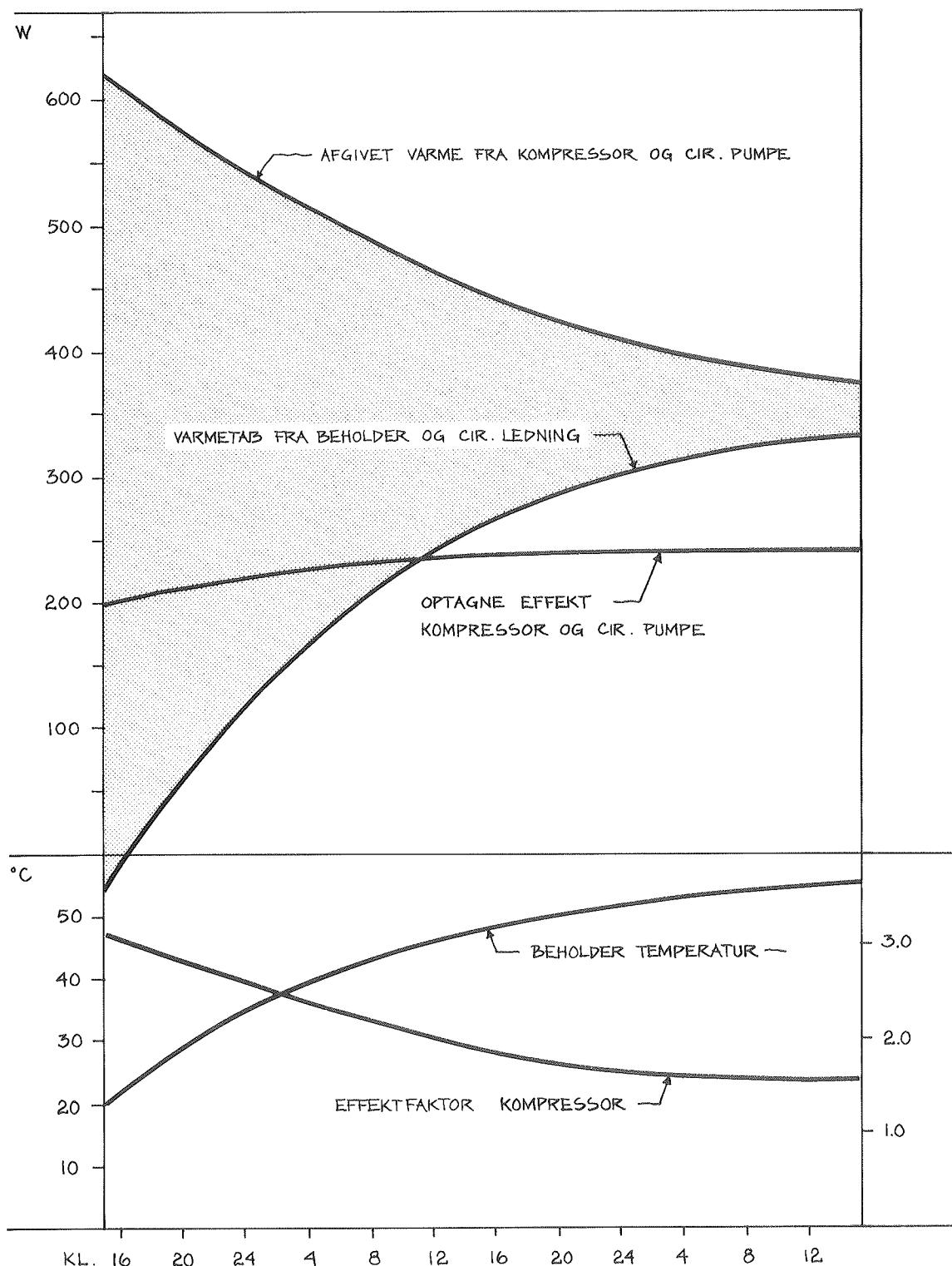


Figur 11: Hus C - Temperaturforhold brugsvandsanlæg - føreret aftapning (4,4 l/min.).

varmetabet fra varmtvandsbeholderen og fra cirkulationsledningerne. Den gennemsnitlige opvarmningshastighed svarer til en nettovarmeoverføring til brugsvandet på kun 0,22 kW. På figur 12 fremstår den del af den afgivne varme fra kompressoren og cirkulationspumpen til brugsvandet, der resulterer i en temperaturstigning, som arealet mellem kurven for "afgivet varme fra kompressor og cir.pumpe" og kurven for "varmetab fra beholder og cir.ledninger". Varmetabet fra cirkulationsledningerne, som dog delvis kommer huset til gode - på både ønskede og uønskede tidspunkter - udgør 75% af det samlede tab.

Kompressoreffektiviteten reduceres fra 3,2 til 1,6 under opvarmningen, hvilket bl.a. kan tilskrives den øgede kondenserstemperatur. Hvis termostaten havde standset kompressoren ved en beholdertemperatur på 50 C, ville effektiviteten ikke være kommet under 2,0.

Til sammenligning kan det nævnes, at opvarmningshastigheden for den samme type varmepumpe installeret i hus B er 6,5 C

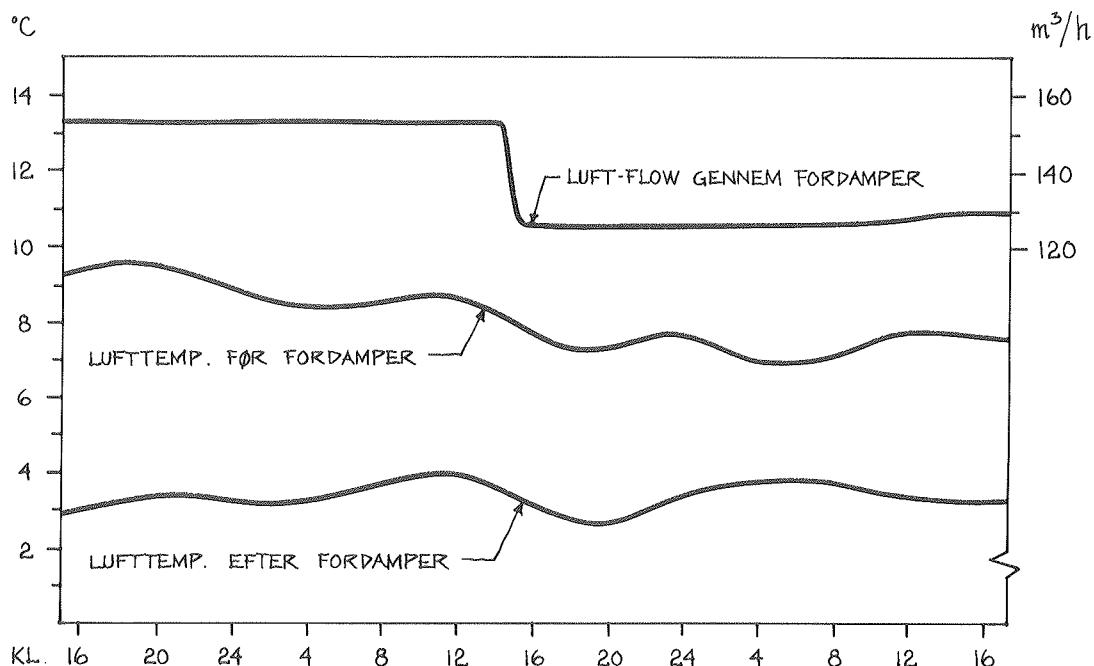


Figur 12: Hus C - Kompressorens effektfaktor m.m. = opvarming fra kold varmtvandsbeholder.

pr. h/100 l. Den store forskel mellem de to varmepumper skyldes primært cirkulation af det varme brugsvand i hus C

samt at den indbyggede termostat er indstillet til et højere temperaturniveau end i hus B.

Figur 13 illustrerer luftflowet og temperaturforholdene ved fordamperen. Der sker en pludselig ændring af luftmængden midt i opvarmningsperioden, som skyldes en manuel regulering af afkastventilatorenens thyristorindstilling. Afkølingen af luften gennem fordamperen falder jævnt fra ca. 6,5 °C til ca. 4 °C.



Figur 13: Hus C – Luftflow og temperaturforhold ved fordamperen i brugsvandsvarmepumpen.

Foretages opvarmningen (fra 14 °C til 55 °C) uden cirkulation af brugsvandet er opvarmningstiden målt til 27 h. Hvis opvarmningen sker ved samtidig tilslutning af den indbyggede el-patron (1000 W) er opvarmningstiden ca. 10 h (uden cirkulation).

I tabel 9 er de gennemsnitlige opvarmningshastigheder gengivet for de tre opvarmningsforsøg. Det må heraf konkluderes, at den utilfredsstillende lange opvarmningstid skyldes varmetabet fra cirkulationsledningerne og den unødvendigt høje termostatindstilling.

	opvarmningshastighed
kompressordrift med cirkulation af brugsvand	1,9 C/h/100 l
kompressordrift uden cirkulation af brugsvand	3,8 C/h/100 l
kompressor- og el-patrondrift uden cirkulation af brugsvand	10,3 C/h/100 l

Tabel 9: Hus C - Gennemsnitlige opvarmningshastigheder af brugsvandet ved opvarmning til 55 C.

Brugsvandsanlæggets el-forbrug er registreret for to perioder uden varmtvandsaftapninger. I den ene periode er cirkulationspumpen afbrudt. Tabel 10 gengiver måleresultaterne.

	med cirkulation	uden cirkulation
beholdertemperatur (C)	49-54	49-54
varmetab fra beholder og cirkulationsledninger (kWh/døgn)	7,3	1,7
cirkulationspumpens forbrug (kWh/døgn)	0,5	-
kompressorens forbrug (kWh/døgn)	3,9	1,5
systemeffektivitet, tomgang	1,7	1,1
kompressoreffektivitet, tomgang	1,8	1,1

Tabel 10: Hus C - Kompressorens forbrug m.m. - brugsvandsvarmepumpen i tomgangsdrift.

Kompressorens forbrug ved tomgangsdrift (uden cirkulation) er meget stort sammenlignet med det tilsvarende for VP-uniten i hus B (0,53 kWh/døgn). Forbrugets størrelse kan ikke umiddelbart forklares, men varmeoverføringen i fordamperen er sandsynligvis reduceret p.g.a. tilsmudsning eller for dårlig fyldning i kølekredsen.

Det må her understreges, at effektiviteternes størrelse i tomgangstilstanden udtrykker forholdet mellem et faktisk tab og den dertil forbrugte tilførte (købte) energi - det er ingen tilskyndelse til at cirkulere brugsvandet, at effektiviteten da er ca. 50% højere.

Varmepumpens driftsforhold er undersøgt i to 14-dages perioder ved simuleret beboelse. Tabel 11 gengiver resultaterne fra sommer- og vinterperioden. P.g.a. bl.a. det tidligere nævnte varmetab fra cirkulationsledningerne er kompressoren i drift døgnet rundt gennem hele vinterperioden.

Tabellen viser en særdeles lav nettoeffektivitet i sommerperioden. Det skyldes primært, at vandet i forvejen af solvarmeanlægget er varmet op til 40 C - varmepumpen kommer derved til at arbejde under ugunstige forhold med stort varmetab fra beholder og cirkulationsledninger, jfr. figur 12.

Registreringerne viser, at varmepumpens afrimningsprocedure ikke har været i funktion - enten fordi betingelserne ikke har været til stede eller p.g.a. en installationsfejl. Da der ved flere lejligheder er observeret store rindannelser ved fordamperen, virker den sidste mulighed mest sandsynlig.

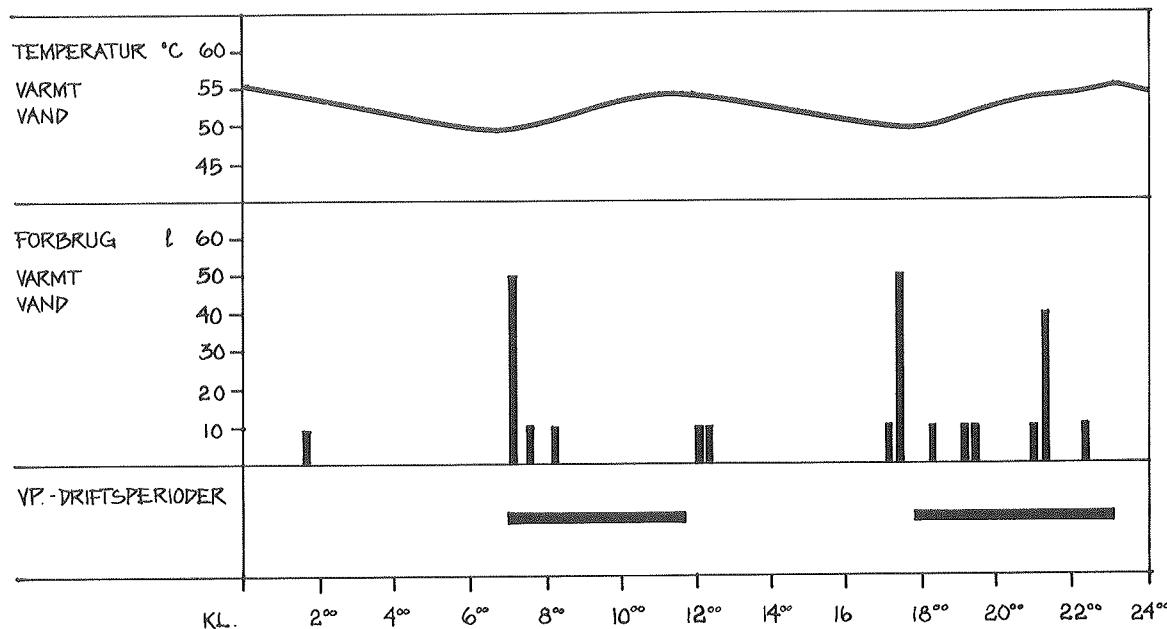
Afrimningen er termostatstyret og skal iflg. fabrikantens oplysninger begynde, når temperaturen på fordamperen er lavere end -9,5 C. Under afrimningen afbrydes kompressoren og ventilationsanlæggets friskluftventilator. Samtidig sættes afkastventilatoren til maksimale omdrejninger, hvorved den varme afkastluft strømmer gennem fordamperen og smelter rimdannelserne. Når temperaturen på fordamperen når +2 C, skiftes tilbage til normaldrift.

	sommer	vinter
varmtvandsforbrug (l/døgn)	244	186
temperaturstigning i akkumulatortank, fra/til (C)	15/40	6/14
temperaturstigning i varmepumpeunit, fra/til (C)	40/52	14/45
varmetab fra beholder (kWh/døgn)	1,2	1,4
varmetab fra cirkulationsledninger (kWh/døgn)	5,2	4,0
kompressorens driftstid (h/døgn)	10	24
kompressorens forbrug (kWh/døgn)	3,4	5,1
cirkulationspumpens forbrug (kWh/døgn)	0,5	0,5
luftmængde gennem fordamper (m ³ /h)	132	132
temperatur luft til fordamper (C)	21	10
afkøling af luften gennem fordamper (C)	7	6
nettoeffektivitet	0,9	1,2
systemeffektivitet	2,6	2,2
kompressoreffektivitet	2,8	2,3

Tabel 11: Hus C - Varmtvandsforbrug m.m. i to 14-dages perioder med simuleret beboelse.

Usikkerheden på de beregnede effektiviteter vurderes til 10%.

Figur 14 gengiver temperaturen af det varme brugsvand i cirkulationsledningens fremløb sammen med fordelingen af varmtvandsforbruget og kompressorens driftstid gennem et sommerdøgn. Aftapningen om natten (10-1) skyldes en fejl i simuleringssudstyret.

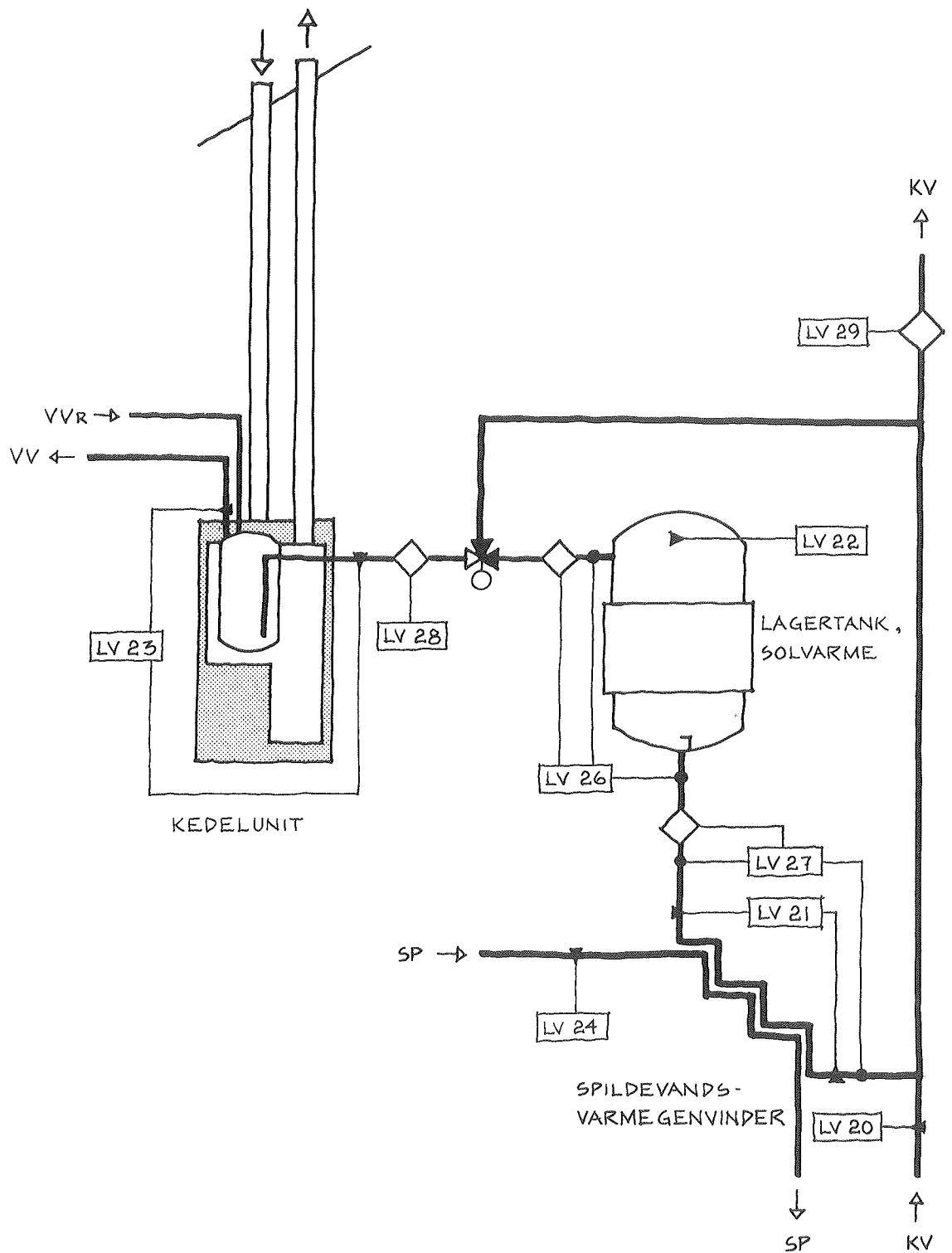


Figur 14: Hus C - Varmtvandstemperaturen i cirkulationsledningens fremløb m.m. gennem et sommerdøgn med simuleret beboelse.

4.4 Lavenergihus D

Specialundersøgelserne omhandler hovedsagelig brugsvandsopvarmningen med speciel vægt på spildevandsvarmegenvinderen og oliefyrsuniten. Undersøgelserne blev foretaget i april og maj måned 1980.

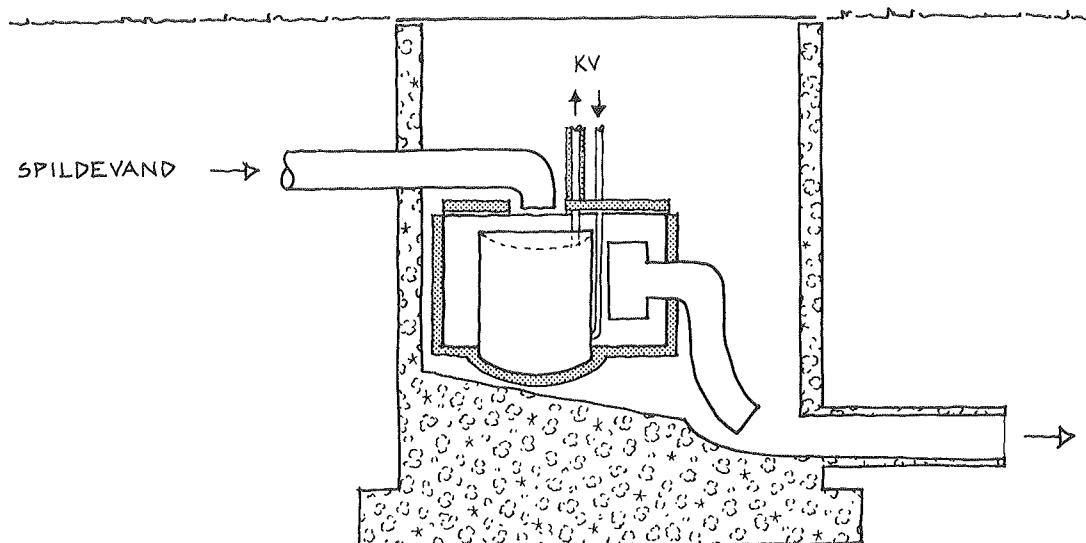
Brugsvandet forvarmes ved passage gennem en spildevandsvarmegenvinder. Dernæst opvarmes vandet i solvarmeanlæggets akkumuleringstank samt om nødvendigt af oliefyret i en indbygget varmtvandsbeholder. På figur 15 er den principielle udførmning af brugsvandsanlægget illustreret.



Figur 15: Hus D - Brugsvandsinstallation med målepunkter
indtegnet.

4.4.1 Spildevandsvarmegenvinderen

Spildevandsvarmegenvinderen, som er placeret i en nedgravet brønd nord for huset, består af en 25 l brugsvandsbeholder, som overskylles af det grå spildevand. Genvinderen er isoleret som vist på figur 16. Det kolde brugsvand føres fra bryggerset til varmegenvinderen. Fra genvinderen føres det forvarmede vand tilbage til bryggerset. De to rørstrækninger, hvoraf røret fra genvinderen til bryggerset er isoleret, er begge ca. 10 meter lange.



Figur 16: Hus D - Lodret snit gennem spildevandsvarmegenvinderen.

Til undersøgelse af varmegenvinderen er foretaget en serie aftapningsforsøg, hvor der udelukkende har været forbrug af varmt brugsvand. En forsøgsserie varer mindst tre timer, og for hver serie beregnes følgende størrelser:

- genvinderens virkningsgrad (defineret i afsnit 3.5 - formel :m:).
- spildevandsvarmegenvinderens varmeydelse pr. m^3 aftapet varmt brugsvand.
- genvinderens varmeydelse i forhold til den samlede varmetilførsel til brugsvandet.

Temperaturen af brugsvandet før og efter genvinderen måles i bryggerset. Det betyder, at de målte varmetilskud til brugsvandet også indebætter brugsvandets varmeudveksling med jorden på strækningen mellem bryggerset og genvinderen.

Resultaterne i tabel 12 stammer fra følgende tappeserier:

- 1: Kontinuerlig tapning fra køkkenvask. Tappehastighed ca. 5 l pr. min.
- 2: 40 l tapning fra køkkenvask en gang i timen (5 l pr. min.).
- 3: 40 l tapning fra køkkenvask to gange i timen (5 l pr. min.).
- 4: 100 l tapning fra køkkenvask en gang i timen (5 l pr. min.).
- 5: 5 l, 15 l og 40 l tapninger (250 l/døgn) svarende til tappemønstret under simuleret beboelse.

tappeserie nr.	1	2	3	4	5
temp. koldt brugs- vand (under tapningen) (C)	9	10	9	10	9-18
temp. brugsvand efter genvinder (under tapningen) (C)	12	17	16	16	13-19
temp. af gråt spilde- vand ved genvinder (under tapningen) (C)	33	33	34	37	13-39
genvinderens tempera- turvirkningsgrad (%)	13	30	28	22	32
genvinderens varme- ydelse pr. m ³ brugsvand (kWh/m ³)	4,2	8,1	9,0	6,6	3,1
genvinderens procent- vise varmeydelse (%)	8	18	18	16	15

Tabel 12: Hus D - Spildevandsvarmegenvinderens varmeydelse m.m.

På baggrund af genvinderens enkle konstruktion er de målte temperaturvirkningsgrader og genvinderens absolute varmeydelse tilfredsstillende. Den største virkningsgrad forekommer ved det simulerede varmtvandsforbrug. Men da der kan være flere timer mellem to aftapninger, bevirker afkølingen af spildevandet i genvinderen, at denne bidrager med en mindre ydelse til den samlede brugsvandsopvarmning i forhold til ydelserne ved hovedparten af de afprøvede tappemønstre.

Spildevandsvarmegenvinderens ydelse må forventes at blive knap så stor, når der også tappes koldt vand i huset. Talværdierne fra den simulerede beboelse bekræfter dog ikke denne antagelse.

Endnu et forhold bevirker, at de procentvise varmeydelser i tabel 12 kan blive reduceret. Ved reel beboelse vil det grå spildevand indeholde bl.a. sæbe- og fedtrester, som kan aflejres i genvinderen og derved mindske varmeoverføringen fra spildevandet til brugsvandet. Ved genvinderens enkle konstruktion er det dog tilstræbt at begrænse tilsmudsningen.

P.g.a. den lange rørføring fra genvinderen til bryggersetsker der, gennem hovedparten af året, en afkøling af det forvarmede brugsvand. Vandvoluminet i røret er ca. 2,5 l, hvilket ved små tapninger kan medføre, at store dele af varmetilførslen til brugsvandet i genvinderen blot overføres til jorden.

Genvinderens varmeydelse er ved specialundersøgelserne beregnet på basis af målte temperaturer før og efter genvinderen samt vandflowet gennem denne. Normalt måles varmeydelsen med en joule-måler, hvis visning ved visse temperaturforhold desværre er behæftet med en stor usikkerhed. Ved specialundersøgelserne vurderes usikkerheden på resultaterne til 10%, medens usikkerheden ved normal drift vurderes til 20%.

4.4.2 Solvarmeanlægget

Efter forvarmningen i spildevandsvarmegenvinderen opvarmes brugsvandet af solvarmeanlægget. Varmen akkumuleres i brugsvandet i en 500 l kappebeholder. Tanken er isoleret med 100 mm mineraluld, og varmetabet er under afkøling målt til 3,4 W/C.

Mellem solvarmeanlæggets akkumuleringstank og oliefyrsuniten er brugsvandsanlægget udstyret med en trevejsventil som skoldningssikring.

4.4.3 Oliefyret

Oliefyrsuniten har indbygget en 135 l varmtvandsbeholder. For bl.a. at reducere gennemtrækstabet er kappen omkring uniten lufttætnet, og lufttilførslen til uniten er ført gennem en kanal, som ender i samme niveau som skorstenen (balanceret aftræk). Unitens varmetabsfaktor er målt under afkølingerne gennem fire fortløbende afkølinger. Mellem afkølingerne hæves beholdertemperaturen ved drift af oliefyret. På basis af fyrets olieforbrug er unitens varmetabsfaktor også beregnet svarende til konstant systemtemperaturmetode, hvor en fyringsnyttevirkning på 0,92 er anvendt. Da brugsvandsanlægget er udformet med naturlig cirkulation, er den samlede varmetabsfaktor for uniten og cirkulationsledningen også målt og beregnet ved de to metoder. Cirkulationsrørrene er kobberrør med en samlet længde på 40 meter.

Tabel 13 gengiver resultaterne af målingerne, som alle er udført uden vandcirculation mellem kedel og varmlufttanlæg.

Som det fremgår af tabellen, giver de to metoder forskellige resultater, hvilket især må tilskrives placeringen af temperaturføleren i toppen af den indbyggede brugsvandsbeholder. Ved målingerne uden cirkulation har afkølingerne en varighed på mellem 10 og 17 timer, hvorved der bliver mulighed

målemetode	konstant temp.	afkøling
oliefyrsunitens varmetabsfaktor (W/C)	4,6	3,0
oliefyrsunitens og cirkulationsledningens samlede varmetabsfaktor (W/C)	9,8	9,0

Tabel 13: Hus D - Oliefyrsunitens varmetabsfaktor m.m.

for en temperaturlagdeling i uniten. Derved bliver afkølingen i beholderens top og også den beregnede varmetabsfaktor mindre. Når brugsvandet cirkulerer, er temperaturudjævningen i beholderen større og afkølingsperiodernes varighed kortere (varighed ca. 8 timer), hvorved forskellen mellem de to metoder mindskes.

Ved de senere beregninger anvendes varmetabsfaktorerne bestemt ved konstant temperaturmetoden (4,6 W/C og 9,8 W/C).

Der er ikke foretaget målinger af brugsvandstemperaturen under forcede aftapninger. Men p.g.a. solvarmeanlægget, oliefyrsunitens effekt (29 kW), varmtvandsbeholderens størrelse og den naturlige cirkulation af brugsvandet må det forventes, at det varme brugsvand forefindes i tilstrækkelige mængder og tilstrækkeligt hurtigt ved alle tappestedet.

Oliefyrets forbrug under tomgang (d.v.s. ingen varmtvandsaftapninger og ingen ydelse til varmluftanlægget) er henholdsvis uden og med naturlig cirkulation af brugsvandet 0,25 l olie/døgn (svarende til 2,5 kWh/døgn) og godt 0,5 l olie/døgn (5,4 kWh/døgn). Under målingerne er varmtvandstemperaturen ca. 47 C.

Gennem to 14-dages perioder er driftsforholdene ved brugsvandsopvarmningen undersøgt sammen med oliefyrsunitens ydel-

se til varmluftanlægget. Måle- og beregningsresultaterne er gengivet i tabel 14. Det skal bemærkes, at varmtvandsforbruget og brugsvandstemperaturen i oliefyrsuniten er større i forårsperioden end i vinterperioden. Forskellen i beholder temperatur skyldes ændring af termostatindstillingen.

	vinter	forår
varmtvandsforbrug (l/døgn)	215	250
temperaturstigning i spildevandsvarmegenvinder, fra/til (C)	5,9/10,9	6,4/7,8
temperaturstigning i akkumuleringstank, fra/til (C)	10,9/13,2	7,8/28,5
temperaturstigning i oliefyrsunit, fra/til (C)	13,2/44,5	28,5/54,7
varmetab fra akkumuleringstank (kWh/døgn)	-0,6	0,4
varmetab fra oliefyrsunit (kWh/døgn)	2,6	3,5
varmetab fra cirkulationsledninger (kWh/døgn)	2,9	3,9
driftstid oliefyr (h/døgn)	2,3	1,2
olieforbrug (l/døgn)	5,1	2,4
indfyret varme (kWh/døgn)	51	24
varme til varmluftanlæg (kWh/døgn)	35	7,3
oliefyrets fyringsnyttevirkning	0,95	0,93
oliefyrets kedelnyttevirkning	0,90	0,78

Tabel 14: Hus D - Varmtvandsforbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret beboelse.

Ved målinger udført af oliefyrsingeniør ca. 14 dage efter de to betragtede perioder bestemtes fyringsnyttevirkningen til 0,92 med 0,5% forskel på måleresultatet før og efter rensning af fyret.

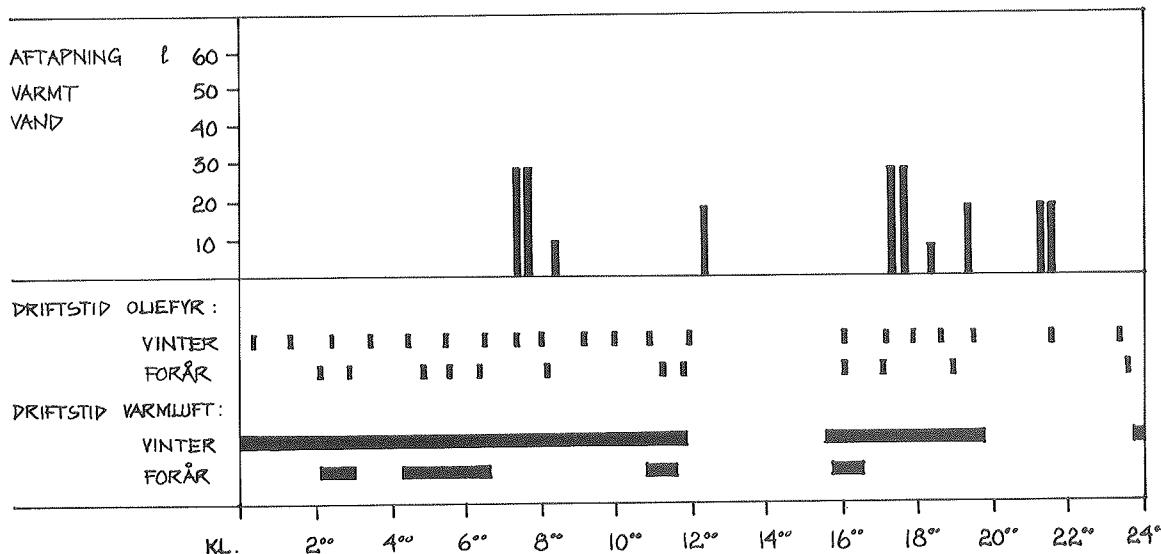
Spildevandsvarmegenvinderens varmetilførsel til brugsvandet udgør i de to perioder henholdsvis 13% (1,3 kWh/døgn) og 16% (2,2 kWh/døgn) af den samlede ydelse til brugsvandet. Ydelsen må betegnes som tilfredsstillende, da genvinderens konstruktion er meget enkel.

Brugsvandets opvarmning i solvarmeanlæggets akkumulerings-tank svarer i vinter- og forårsperioden til henholdsvis 6% (0,6 kWh/døgn) og 30% (4,1 kWh/døgn) af den samlede opvarmning. I vintermånederne er der primært tale om et varmetilskud fra akkumuleringstankens omgivelser (bryggeriset). I sommermånederne leverer solvarmeanlægget derimod en væsentlig større varmemængde til brugsvandet, i 14-dages perioden sidst på sommeren 1979 eksempelvis 75% af den totale vandopvarmning. P.g.a. anlæggets uformning bliver det solopvarmede vand dog ved normalt tappemønster afkølet i den 135 l store brugsvandsbeholder i oliefyrsuniten, hvis ikke også oliefyret er tilsluttet.

Oliefyrets ydelse til varmluftanlægget (se tabellen) inkluderer ikke varmetabet fra rørene mellem uniten og varmeveksleren, hvilket bevirker, at de beregnede nyttevirkninger er 1%-2% for lave. Nyttevirkningerne er i begge perioder tilfredsstillende, men kedelnyttevirkningen afhænger naturligvis meget af kedeltemperaturen.

Usikkerheden på de beregnede nyttevirkninger vurderes til 15% (fyringseffektiviteten er dog bedre bestemt, jfr. resultater af røggasanalyser), medens usikkerheden på solvarmeanlæggets og spildevandsvarmegenvinderens ydelser, p.g.a. måleinstrumenterne, vurderes til 20%.

Figur 17 illustrerer driftsforholdene gennem et repræsentativt døgn i de to undersøgte 14-dages perioder. I figuren er vist fordelingen af varmtvandsforbruget gennem døgnet samt fyrets og varmluftanlæggets driftsperioder.



Figur 17: Hus D - Aftappede varmtvandsmængder m.m. gennem et døgn med simuleret beboelse - vinter- og forårsperiode.

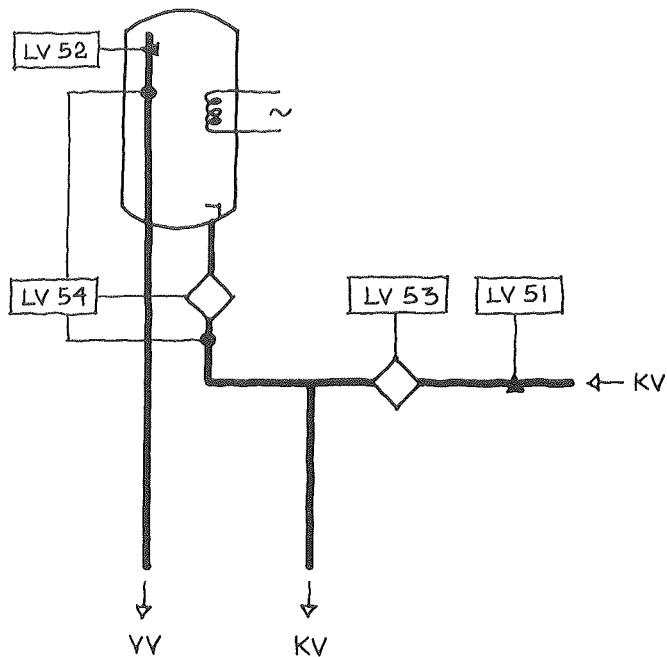
P.g.a. fyrets effekt (29 kW) varer de enkelte driftsperioder kun ca. 7 min. I de perioder, hvor oliefyret kun leverer varme til luftvarmeanlægget - primært nattetimerne - har oliefyret en driftsperiode hver time. Når fyret samtidigt leverer varme til brugsvandet, øges hyppigheden af driftsperioderne til en hver ca. 40 min.

4.5 Lavenergihus E

Specialundersøgelserne omfatter brugsvandsanlægget samt måling af varmetabet fra dele af varmeanlæggets fordelingssystem. Undersøgelserne er foretaget januar-marts 1980.

4.5.1 Brugsvandsanlægget

Brugsvandet opvarmes af et el-varmelegeme på 3000 W i en 210 l varmtvandsbeholder.

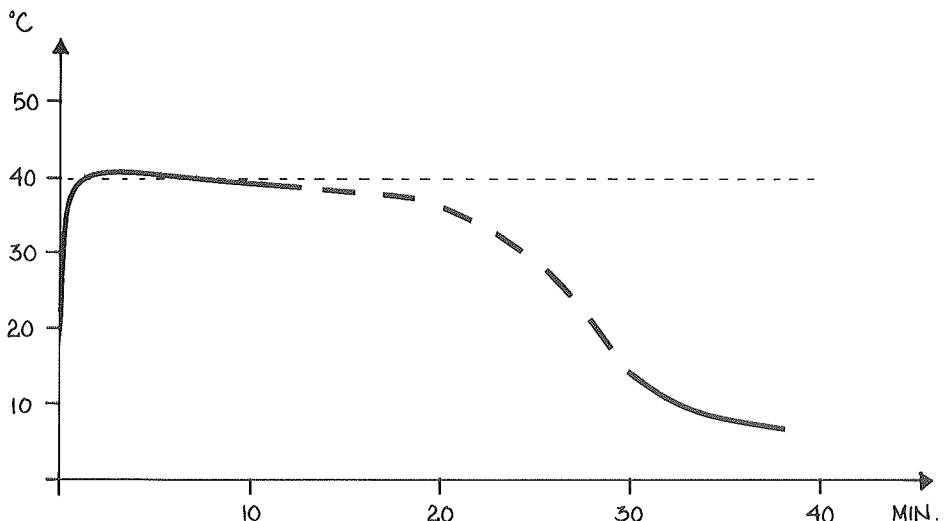


Figur 18: Hus E - Brugsvandsinstallation med målepunkter indtegnet.

Beholderen er isoleret med 50 mm mineraluld og varmetabsfaktoren er ved konstant beholdertemperatur målt til 2,4 W/C.

Figur 19 viser temperaturen af varmt brugsvand (badeværelse øst) under en forceret varmtvandsaftapning. På det tids punkt, hvor undersøgelsen gennemførtes, var der endnu ikke etableret et temperaturmålepunkt i beholderen. Under aftap ningen er strømforsyningen til el-varmelegemet afbrudt.

P.g.a. den lave termostatindstilling er det ikke muligt at tappe tilfredsstillende mængder varmt vand ved en temperatur på 40 C. Målingen viser dog, at der kan tappes ca. 140 l varmt vand (8 l/min.), før temperaturen ved tappestedet er faldet 1 C. Ligeledes viser målingen, at temperaturen ved



Figur 19: Hus E - Forceret vandtapning (8 l/min.) - temperatur af varmt brugsvand ved tappested.

tappestedet hurtigt når et tilfredsstillende niveau, (her ca. et halvt minut efter aftapningens start). Hæves termostatindstillingen blot et par grader, vil brugsvandsanlægget kunne fungere fuldt tilfredsstillende.

Opvarmningen til 40 °C fra kold beholder (7 °C) varede 3,3 h, og opvarmningshastigheden blev målt til 21 °C/h/100 l (svarende til en nettovarmeoverføring på 2,45 kW). Hastigheden er også beregnet under hensyntagen til tabet fra beholderen (beholderomgivelsestemperatur på 17 °C) og en koldtandstemperatur på 7 °C. Opvarmes beholderen til mellem 40 °C og 50 °C, fås en teoretisk opvarmningshastighed på 25 °C/h/100 l.

El-forbruget ved tomgangsdrift - d.v.s. uden varmtvandsaf tapninger - er målt til 1,4 kWh/døgn ved en beholdertemperatur på 40 °C.

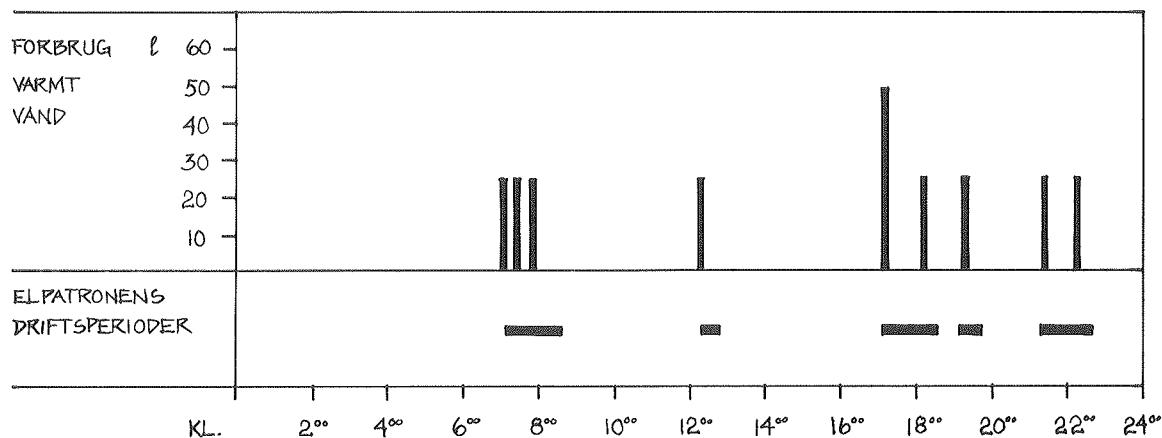
Forholdene ved normalt simuleret varmtvandsforbrug er undersøgt for en 14-dages sommer- og vinterperiode. Tabel 15 gengiver de målte og beregnede størrelser. Det skal bemærkes, at varmtvandsforbruget i sommerperioden er 25% større end det tilstræbte på 250 l/døgn, samt at varmtvandstempera-

turen er forskellig for de to perioder p.g.a. justering af termostatindstillingen.

	sommer	vinter
varmtvandsforbrug (l/døgn)	311	250
temperaturstigning, fra/til (°C)	16/41	3/49
varmetab fra beholderen (kWh/døgn)	1,2	1,8
varmelegemets driftstid (h/døgn)	3,4	5,1
varmelegemets forbrug (kWh/døgn)	10,3	15,2
nettoeffektivitet	0,88	0,88
systemeffektivitet	1,0	1,0

Tabel 15: Hus E - Varmtvandsforbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret beboelse.

Varmtvandsforbruget og el-patronens driftstider gennem døgnet er for vinterperioden illustreret på figur 20. Vandforbruget blev på daværende tidspunkt målt med en joule-måler med 25 l som mindste oplosning.



Figur 20: Hus E - Varmtvandsforbrug (måleropløsning 25 l) og driftstider for el-patron gennem et vinterdøgn med simuleret vandforbrug.

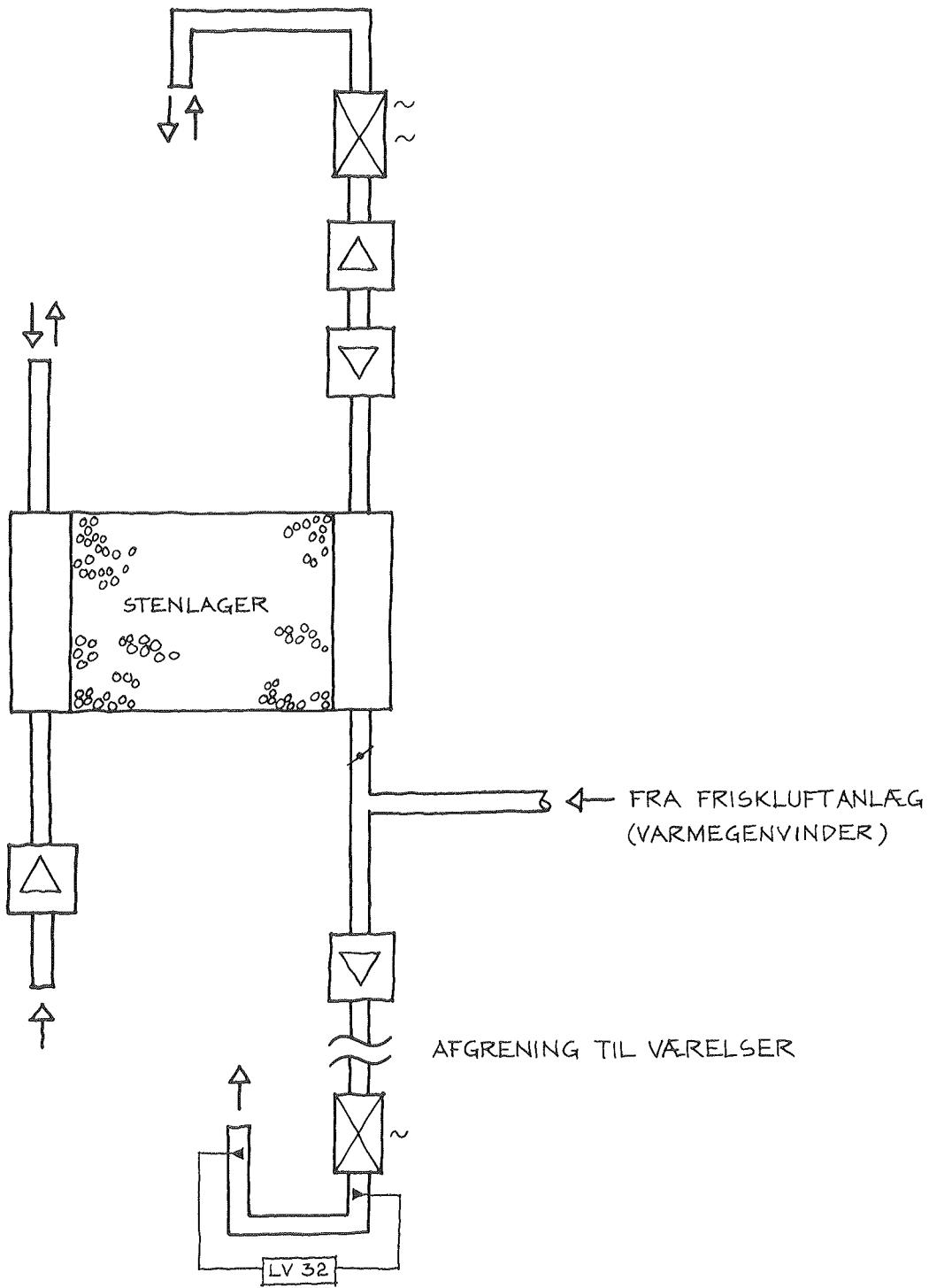
Usikkerheden på de målte vandmængder vurderes til 10%, medens usikkerheden på målingerne af temperatur og el-forbrug vurderes til under 5%.

4.5.2 Varmeanlægget

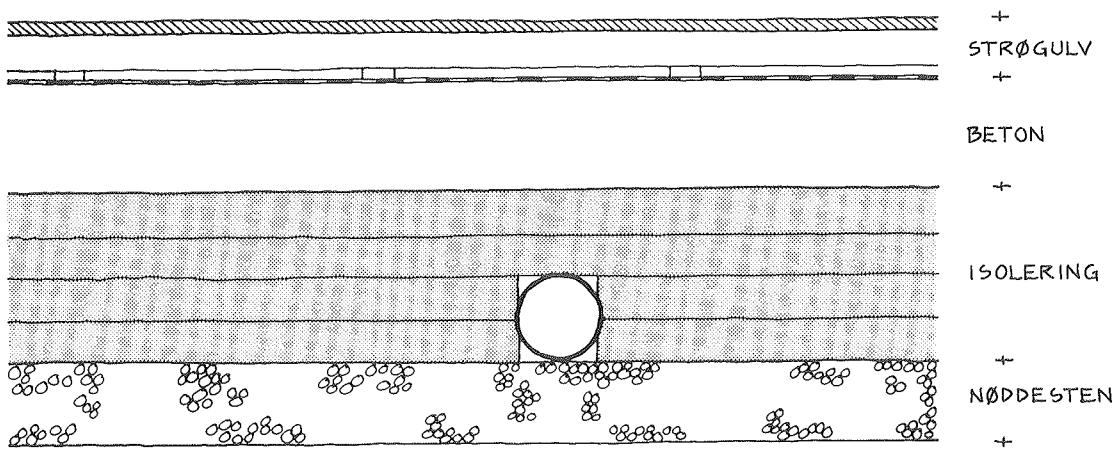
Hus E er udstyret med et luftvarmeanlæg bygget op omkring et 10 m^3 stenlager. Anlægget er opdelt i to delsystemer, hvoraf det første transporterer luft mellem stuen og stenlageret (lufttransportens retning afhænger af temperaturen i stuen). Det andet delsystem transporterer luft mellem de fire værelser og stenlageret. Frisklufttilførslen til stuen foregår via en separat kanal fra husets krydsvarmeveksler, medens forsyningen til værelserne er tilsluttet kanalsystemet fra stenlageret til værelserne. Som figur 21 illustrerer, er der i kanalerne til stuen og værelserne indbygget el-varmeflader.

Kanalerne mellem stenlageret og værelserne ($\varnothing 160 \text{ mm}$) føres dels i kælderen og dels i isoleringslaget mellem betondæk og drænlag. For kanalerne til kamrene og værelserne er kanallængden under betondækket henholdsvis ca. 5,0 m og ca. 1,5 m.

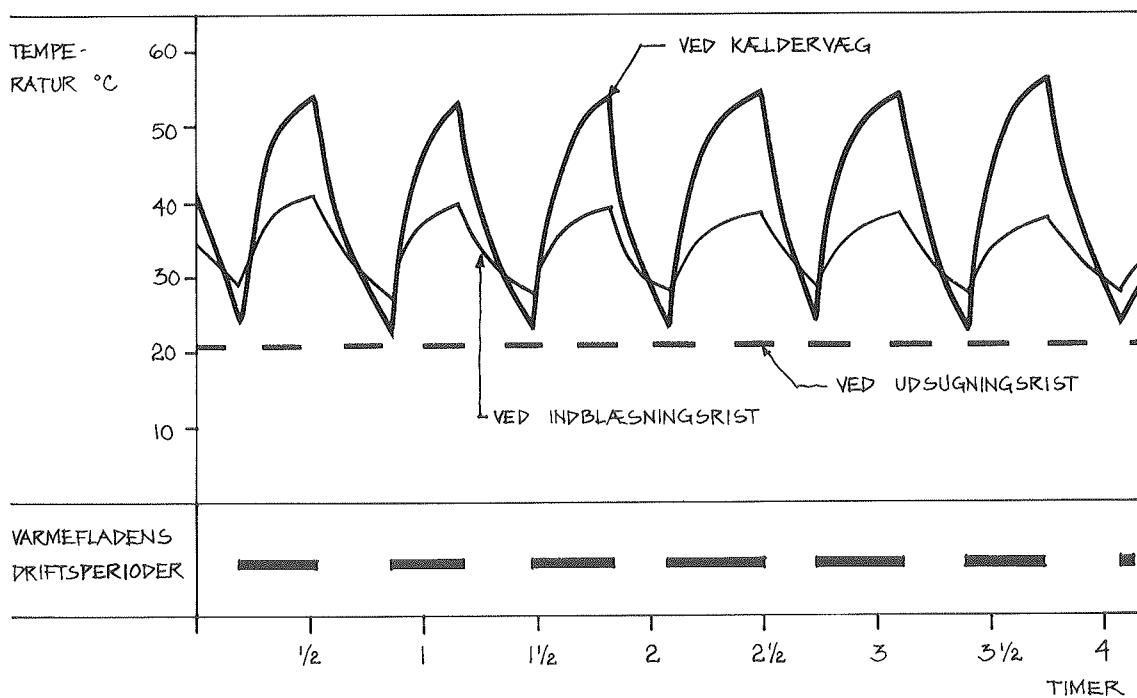
Varmetabet fra den strækning af kanalen til nordvestkammeret, som føres i terrændækket, er beregnet på basis af temperaturmålinger ved indblæsningsristen i kammeret og i kanalen umiddelbart før denne føres fra kælderen ind under betondækket. På figur 23 er temperaturforholdene ved målepunkterne illustreret sammen med el-varmefladens driftstid. El-varmefladen er placeret i kælderen foran temperaturmålepunktet. Tabel 16 gengiver de målte temperaturer og el-forbrug samt de beregnede luftmængder og varmetab. Målingerne er foretaget i marts måned.



Figur 21: Hus E - Luftvarmeanlægget med målepunkter indtegnet.



Figur 22: Hus E - Lodret snit gennem varmluftkanal under terrændæk fra kælder til værelser eller kamre.



Figur 23: Hus E - Temperaturer i luftkanal ved indblæsningsrist i nordvestkammer og ved kældervæg samt temperaturen ved udsugningsrist i kammeret.

friskluft til nordvestkammer (m^3/h)	16
total luftmængde til nordvestkammer (m^3/h)	61
lufttemperatur ved indblæsningsrist når varmeflade slår til (C)	27,6-29,5
lufttemperatur ved indblæsningsrist når varmeflade slår fra (C)	38,8-40,2
lufttemperatur i kanal ved kældervæg når varmeflade slår til (C)	22,5-24,4
lufttemperatur i kanal ved kældervæg når varmeflade slår fra (C)	53,0-55,7
procentvis driftstid for el-varmeflade (%)	65
el-forbrug varmeflade (Wh/h)	324
varmetab i kanal under betondæk (Wh/h)	230
varme tilført nordvestkammer (Wh/h)	94

Tabel 16: Hus E - Luftmængder m.m. til nordvestkammeret.

Som det fremgår, vil kun 29% af varmefladens el-forbrug blive nyttiggjort til opvarmning af nordvestkammeret. Det må derfor konkluderes, at varmetabet i kanalen er uacceptabelt stort. Årsagen til det store varmetab er kanalens placering, da denne er anbragt direkte oven på drænlaget, hvorefter isoleringen (300 mm mineraluld, i fire lag) er lagt ved siden af og oven på kanalen.

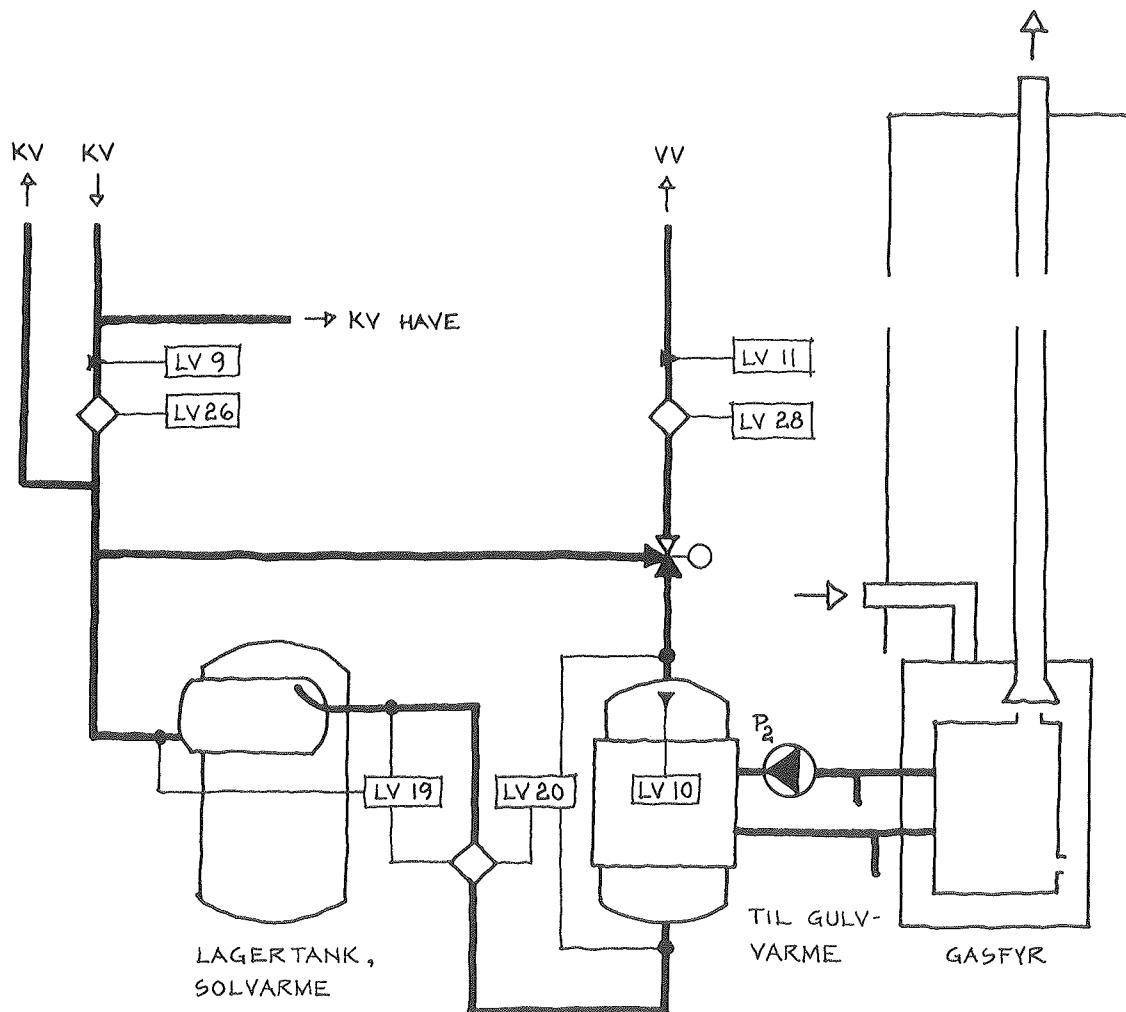
Usikkerheden på de beregnede størrelser vurderes til 10%.

4.6 Lavenergihus F

Specialundersøgelserne vedrører hovedsagelig brugsvandsanlægget og er udført i perioden september 1979-april 1980.

4.6.1 Brugsvandsanlægget

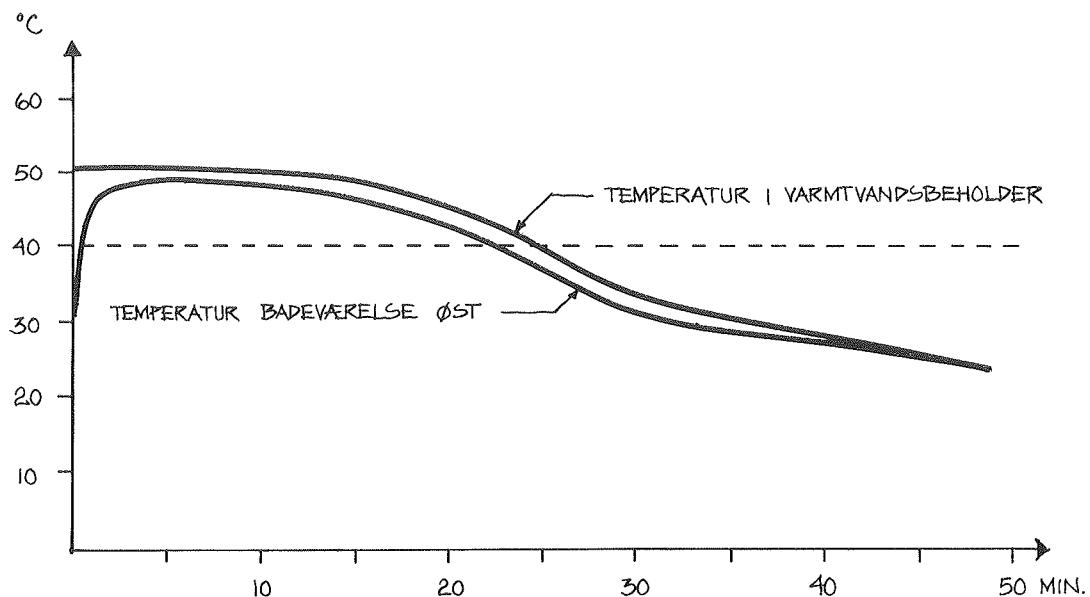
Brugsvandet forvarmes i en 200 l beholder indbygget i solvarmeanlæggets akkumuleringstank. Vandet eftervarmes i en 250 l kappebeholder, som holdes opvarmet af en gasfyret kædel. Fyret har en nominel effekt på 11,6 kW.



Figur 24: Hus F - Brugsvandsinstallation med målepunkter indtegnet.

Varmetabsfaktoren for akkumuleringstanken (1500 l) er under afkøling målt til 12 W/C. Kappebeholderens varmetabsfaktor er på tilsvarende måde målt til 5,0 W/C. Begge beholdere er isoleret med ca. 100 mm mineralulud.

Figur 25 viser temperaturen af det varme brugsvand i kappebeholderen og ved håndvasken i øst-badeværelset under en forceret varmtvandsaftapning. Gasfyret og cirkulationspumpen mellem kedel og kappebeholder er tilsluttet under hele aftapningen. Rørstrækningen mellem kappebeholderen og tapstedet er ca. 18 m.



Figur 25: Hus F - Forceret vandtapning (8 l/min.) - temperatur varmt brugsvand.

Tappehastigheden er ved målingen ca. 8 l/min., og det er muligt at tappe ca. 200 l vand fra varmtvandsbeholderen før temperaturen når under 40 C. Dette er en tilfredsstillende mængde, og det vil yderligere uden ændring af kedeltemperaturen være muligt at tappe større vandmængder i de perioder, hvor koldtvandstemperaturen og temperaturen i akkumuleringstanken er højere end de ved forsøget målte (henholdsvis 5 C og 22 C).

Den efterfølgende opvarmningsperiode - hvor temperaturen i kappebeholderen stiger fra 11 C til 50 C - har en varighed på 3,5 h. Opvarmningshastigheden beregnes heraf til 28 C/h pr. 100 l, svarende til en nettovarmeoverføring på 3,26 kW.

Varmen til varmtvandsbeholderen leveres som nævnt fra en gasfyret kedel, som også leverer varme til gulvvarmesystemet. Brænderen er en atmosfærisk gasbrænder med en konstant brændende pilotflamme. Kedlen og brænderen er indbygget i en lukket kappe, så lufttilførslen udelukkende sker gennem en kanal, som er ført gennem kældervæggen til det fri. Forbrændingsprodukterne føres via skorstenen til det fri overtaget.

Gasfyrets tomgangsforbrug - d.v.s. energiforbrug uden varmeydelse til varmtvandsbeholderen eller gulvvarmeanlægget - er målt gennem nogle døgn i september 1979 og februar 1980. Forbruget er henholdsvis 7,3 kWh/døgn og 13,3 kWh/døgn, hvilket i begge tilfælde er uacceptabelt stort. Årsagen til det store tomgangsforbrug skal primært findes i den konstant brændende pilotflamme og niveauforskellen mellem skorstenens og friskluftkanalens afslutning til det fri. Ved septembermålingen går gasforbruget udelukkende til pilotflammen. P.g.a. pilotflammen kan der ikke indbygges et spjæld i skorstenen eller i friskluftkanalen, hvilket ellers kunne have reduceret den afkølende luftstrøm omkring kedlen. Tomgangsforbrugsmålingen i februar giver den største tabsfaktor, da udetemperaturen her er lavere end i september, hhv. -1,9 C og 14,0 C.

Fyringsnyttevirkningen kan for den aktuelle unit kun bestemmes ved røggasanalyse, jfr. afsnit 3.5.2, og en sådan er ikke foretaget.

Forholdene ved et simuleret varmtvandsforbrug er undersøgt for en sommer- og en vinterperiode på hver 14 dage. Da gasfyret forsyner både varmtvandsbeholder og varmeanlæg, er ydelsen til opvarmning også angivet i tabel 17. Fordelingen af fyrets ydelse til de to systemer måles med joule-målere, som desværre har vist sig noget ustabile og unøjagtige ved små temperaturdifferenser. Derfor er ydelsen til brugsvandet beregnet på basis af de aftappede vandmængder og temperaturen i akkumuleringstanken og i kappebeholderen. Ydelsen

til varmeanlægget beregnes på basis af brænderens forbrug og driftstid, kedlens tomgangsforbrug, en fastsat fyringseffektivitet på 0,8 samt ovennævnte ydelse til brugsvandet.

De to sidstnævnte størrelser i tabel 17 er derfor behæftet med en betydelig usikkerhed - på fyrets kedelnyttevirknings vurderet til 25%.

	sommer	vinter
varmtvandsforbrug (l/døgn)	242	244
temperaturstigning i akkumuleringstank, fra/til (C)	15/48	6/15
temperaturstigning i kappebeholder, fra/til (C)	48/48	15/50
varmetab fra akkumulerings tank (kWh/døgn)	6,0	1,5
varmetab fra kappebeholder (kWh/døgn)	2,3	3,5
driftstid pumpe mellem kedel og kappebeholder (h/døgn)	0,2	19,0
driftstid gasfyr (h/døgn)	0,8	6,4
forbrug pumpe mellem kedel og kappebeholder (kWh/døgn)	0,1	1,3
forbrug gasfyr (m ³ /døgn)	2,0	17,0
indfyret varme (kWh/døgn)	8,8	75
leveret varme til kappebeholder (kWh/døgn)	2,3	13
leveret varme til gulvvarme- anlæg incl. varmetab i rørsystemet (kWh/døgn)	0	35
gasfyrets kedel- nyttevirknings	0,26	0,64

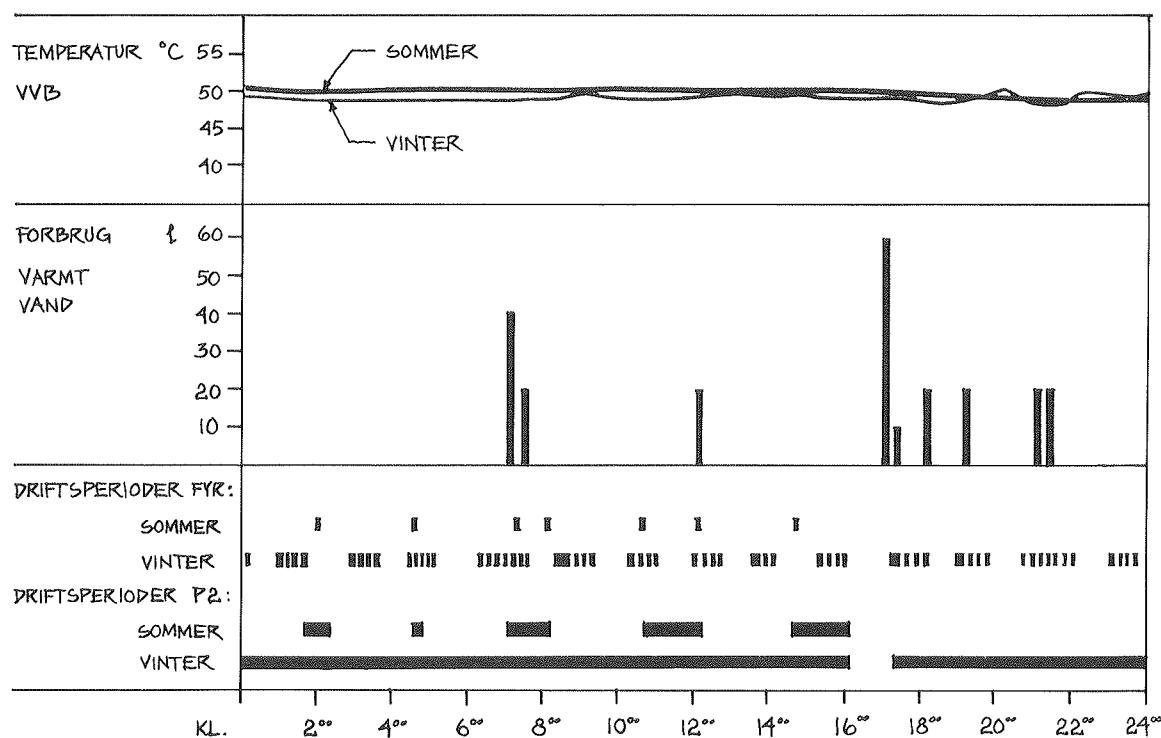
Tabel 17: Hus F - Varmtvandforbrug m.m. i to 14-dages perioder med normalt simuleret tappemønster.

I sommerperioden opvarmes brugsvandet udelukkende af solvarmeanlægget, medens gasfyrets forbrug skyldes tomgangstabet fra kedlen og fra kappebeholderen. For den betragtede periode (primo september), hvor gasfyret heller ikke leverer varme til rumopvarmning, ville det i princippet være muligt at slukke fyret og derved spare ca. 2 m^3 bygas (8,8 kWh) om dagen uden en mærkbar ændring af brugsvandstemperaturen. Med den aktuelle anlægsudformning kan der imidlertid ske uacceptabel afkøling af vandet i kappebeholderen, især på dage med lille varmtvandsforbrug.

I vinterperioden er temperaturen i akkumuleringstanken ca. 15 C, hvilket hovedsagelig skyldes varmetilskuddet fra teknikrummet (ca. 21 C). Det er derfor gasfyret, som i denne periode direkte eller indirekte sørger for hele opvarmningen af brugsvandet.

På basis af de kontinuerligt foretagne registreringer er det ikke muligt at beregne fyringsnyttevirkningen, som for den aktuelle unit i øvrigt kun kan bestemmes ved røggasanalyse. Kedelnyttevirkningen er derimod beregnet og er for begge perioder utilfredsstillende lav. Som tidligere nævnt er størrelserne dog behæftet med en relativt stor usikkerhed.

Nedenfor er temperaturen i kappebeholderen m.m. illustreret gennem et døgn i de to 14-dages perioder. I vinterperioden er gasfyret i gennemsnit i drift ca. 30 min. hver anden time. Driftstiden fordeler sig på 4-6 driftsperioder inden for den ene time (se figur 26). Årsagen til den pendlende drift findes i udformningen af varmeanlægget, som er illustreret på figur 27.

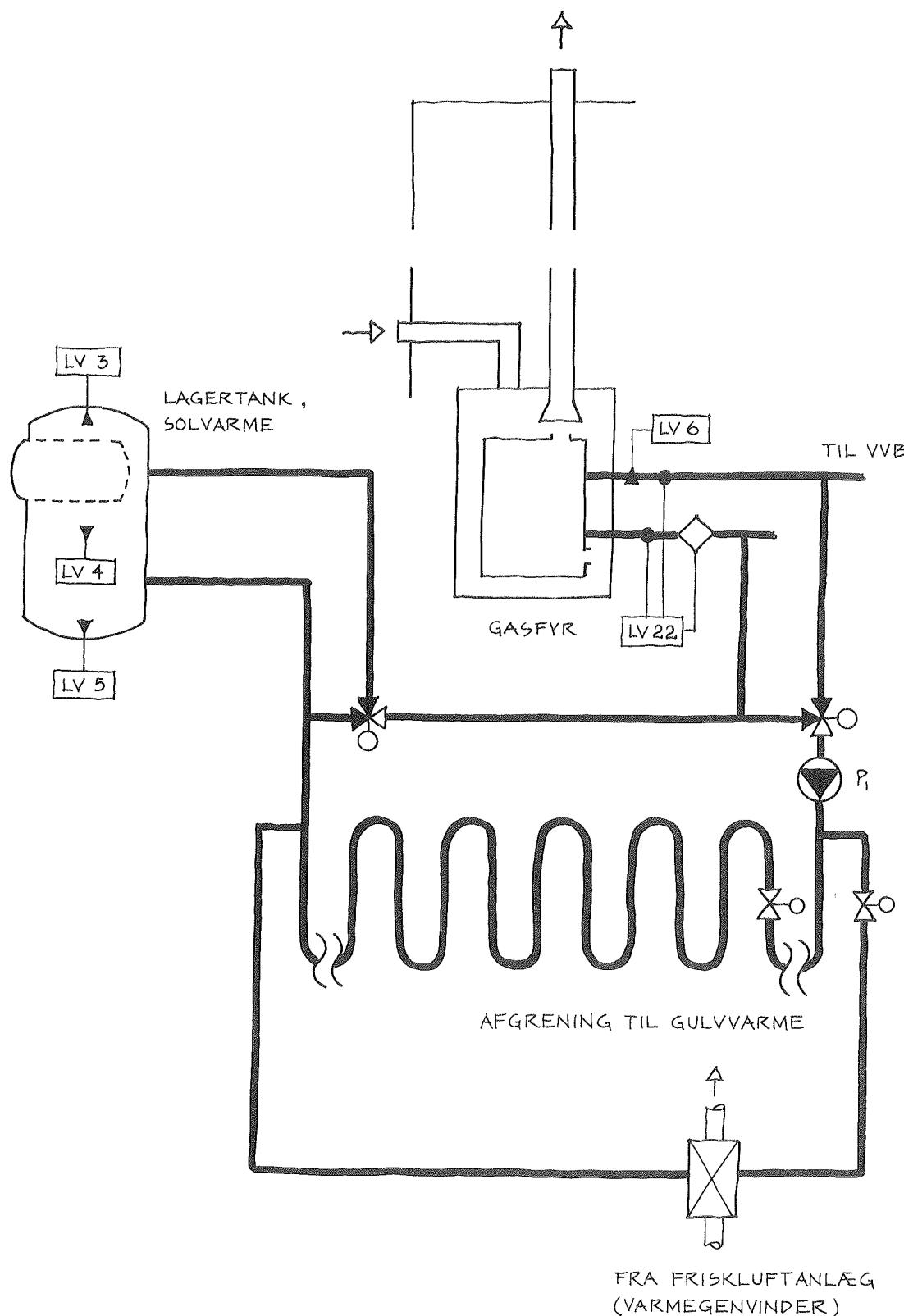


Figur 26: Hus F - Temperaturen i varmtvandsbeholderen m.m. ved et simuleret vandforbrug gennem 1 døgn - sommer- og vinterforhold. P2 er pumpen, som cirkulerer vand mellem kedel og kappebeholder.

4.6.2 Varmeanlægget

Varmetilførslen til rummene fordeles gennem gulvslanger, og en høj fremløbstemperatur er bl.a. af komfortmæssige grunde ønsket. Anlægget er derfor forsynet med en trevejsventil, hvorigennem en del af returvandet recirkuleres. Da kedeltemperaturen varierer mellem 50 C og 55 C, bliver vandstrømmen gennem kedlen lille (især når der ikke er cirkulation til varmtvandsbeholderen), hvilket sammen med kedlens begrænsede volumen (vandindhold 6 l) og store opvarmningskapacitet resulterer i en pendlende drift af fyret. Gasfyrets diskontinuerte drift må forventes at øge kedlens gennemtrækstab.

Figur 26 illustrerer også - såvel for sommer- som for vinterdrift - at der ikke er særlig god varmeoverføring fra gasfyret til kappebeholderen. Vandindholdet i kedel, kappe



Figur 27: Hus F - Varmeanlægget med målepunkter indtegnet - den omtalte shuntventil er placeret ved pumpen P1.

og mellemliggende rørstrækning er i alt ca. 60 l, deraf ca. 50 l i kappen. Gasfyret hæver hurtigt fremløbstemperaturen de ovennævnte 5 C, men pumpen P2 må køre meget længe for at få overført varmen til brugsvandet - det er uhensigtsmæssigt, da kappen (som jo dækker næsten hele overfladen) længe holdes på størst mulig temperatur og derfor har et forholdsvis stort varmetab til omgivelserne. Den lille forskel mellem kedeltemperaturen og vandbeholdertemperaturen er naturligvis en væsentlig årsag til den langsomme varmeoverføring, men hvis kedeltemperaturen blev sat op, ville pendlingen blive endnu mere udtalt, og varmetabene fra både kedel og varmtvandsbeholder ville blive forøget.

4.7 Varmetekniske el-installationers effekter

Som beskrevet i afsnit 3.4 er el-forbruget til de varmetekniske el-installationer målt gennem en kortere periode - typisk en driftstid på mellem 20 og 100 timer. Målingerne er foretaget i den normale driftssituation, og de beregnede effekter gengives i tabel 18 sammen med installationernes mærkeeffekter (oplyst af fabrikanterne).

De installationer, som er tilsluttet en thyristor, er i tabellen mærket med en "*". En thyristor giver mulighed for trinløst at regulere installationens ydelse og samtidig reducere el-forbruget. De anførte effekter for disse installationer gælder den aktuelle indstilling af thyristorstyringen.

En halvering af luftmængderne i varmeanlægget i hus E giver 35-40% reduktion af effektforbruget til ventilatorerne. Denne virkning har kun lille interesse for delsystemet stuen-læger, hvor en nedsat luftmængde blot resulterer i øget driftstid og alt i alt næsten uændret energiforbrug. I delsystemet stenlager-værelser er to ventilatorer imidlertid i drift, så snart blot et af de fire værelser har et opvarmningsbehov - ventilatorerne er derfor i lange perioder i

funktion omtrent i døgndrift, og det er vigtigt at reducere både el-forbruget og den langtfra tabsfri luftvarmetransport mest muligt.

Af samme grund er det uheldigt, at det har været nødvendigt at anvende en så stor cirkulationspumpe til gulvvarmekredsen i hus F - også denne pumpe aktiveres, så snart et enkelt af husets rum har et varmebehov.

Tallene for friskluft- og afkastventilator i hus E viser et eksempel på en uheldig kombination af mekanisk og elektro-nisk indregulering af et ventilationsanlæg med varmegenvin-ding. Indstillingen af anlæggets spjæld har medført, at af-kastventilatoren har måttet køre omrent med fuld kapacitet, medens friskluftventilatoren elektronisk har kunnet regule-res meget ned - det uheldige består i, at medens motorvarmen på friskluftsiden nyttiggøres til opvarmning af indblæs-ningsluften, går den på afkastsiden til spilde (i det aktu-elle anlæg).

De to brugsvandsvarmepumper i hus B og C er af samme type og model. Hovedårsagen til, at der må tilføres væsentlig stør-re effekt til kompressoren i hus C, er, at varmepumpen har leveret en højere varmtvandstemperatur og har skullet dække et større varmetab p.g.a. cirkulation af det varme brugs-vand, jfr. afsnit 4.3 (især figur 12).

	målt effekt (W)	mærke- effekt (W)
<u>hus A: Brugsvand</u>		
kompressor	180-230	210-320
fordamperventilator	80	81
afrimningsvarmelegeme	426	400
el-patron	907	1000
<u>hus A: Varme og ventilation</u>		
kompressor	240-260	260-320
friskluftventilator	46*	55-70
afkastventilator	49*	55-70
<u>hus B: Brugsvand og ventilation</u>		
kompressor	210-250	230-260
el-patron	1016	1000
friskluftventilator	50*	55-70
afkastventilator	51*	55-70
<u>hus B: Varme</u>		
kompressor	1270-1350	1230-1520
cirk.pumpe, jordslangekreds P1	88	90
cirk.pumpe, kondensatorkreds P2	89	90
cirk.pumpe, radiatorkreds P3	35	36
el-patron	2960	3000
<u>hus C: Brugsvand og ventilation</u>		
kompressor	210-340	260-320
el-patron	990	1000
cirk.pumpe, brugsvandskreds	22*	25
cirk.pumpe, solfangerkreds	89*	90
friskluftventilator	37*	55-70
afkastventilator	50*	55-70
<u>hus C: Varme</u>		
el-patron 1	1715	1500
el-patron 2	1205	1500
el-patron 3	1583	1500
cirk.pumpe, gulvslangekreds	76*	90
cirk.pumpe, varmekreds	28*	31
<u>hus D: Ventilation</u>		
friskluftventilator	48*	55-70
afkastventilator	49*	55-70

Tabel 18: De varmetekniske el-installationers målte og påstemplede effekt.

	målt effekt (W)	mærke- effekt (W)
<u>hus D: Varme og brugsvand</u>		
cliepumpe, ventilator i brænderunit	130	100
cirk.pumpe, solfangerkreds	59	70
cirk.pumpe, varmeflade	60	70
ventilator, varmeflade	223**	485
<u>hus E: Brugsvand</u>		
el-patron	3000	3000
<u>hus E: Varme og ventilation</u>		
el-varmeflade, stue trin 1	690	700
el-varmeflade, stue trin 2	1450	1500
el-varmeflade, nordøstskammer	528	500
el-varmeflade, nordvestskammer	530	500
el-varmeflade, østværelse	528	500
el-varmeflade, vestværelse	532	500
ventilator, stenlager stue ($520 \text{ m}^3/\text{h}$)	240*	295
ventilator, stenlager stue ($260 \text{ m}^3/\text{h}$)	140*	295
ventilator, stue stenlager ($550 \text{ m}^3/\text{h}$)	246*	295
ventilator, stue stenlager ($275 \text{ m}^3/\text{h}$)	169*	295
ventilator, stenlager værelser	85*	190
ventilator, værelser stenlager	77*	190
friskluftventilator	39*	125
afkastventilator	112*	125
<u>hus F: Ventilation</u>		
friskluftventilator	45*	55-70
afkastventilator	48*	55-70
<u>hus F: Varme og brugsvand</u>		
cirk.pumpe, gulvvarmekreds	137	150
cirk.pumpe, brugsvandsbeholder	64	55-90
cirk.pumpe, solfangerkreds	124	150

*: installation tilkoblet thyristor, målt effekt for aktuel driftsindstilling.
 **: installation tilkoblet termostatstyret variotransformer (30-220 V)

Tabel 18 fortsat.

5. Sammenfatning og konklusioner

I dette afsnit foretages en sammenligning af dertil egnede resultater husene imellem. Afsnit 5.1 omhandler de gennemførte specialundersøgelser, afsnit 5.2 undersøgelserne ved normal simuleret beboelse, medens rapportens hovedkonklusioner fremlægges i afsnit 5.3.

5.1 Målinger under specielle driftsbetingelser

For alle husene er varmetabet fra brugsvandsbeholderne målt. I tabel 19 er beholderens væskevolumen angivet sammen med de målte varmetabsfaktorer (pr. 100 l totalt væskevolumen).

hus	brugsvands- volumen (m ³)	totale væske- volumen (m ³)	varmetabsfaktor	
			(W/C)	(W/C/100 l)
A	0,280	0,280	2,8	1,0
B	0,250	0,250	2,1	0,84
C*	0,150	1,800	15,0	0,83
C	0,250	0,250	2,2	0,88
D*	0,500	0,530	3,4	0,68
D	0,135	0,340	4,6	1,4
E	0,210	0,210	2,4	1,1
F*	0,200	1,500	12,0	0,80
F	0,250	0,300	5,0	1,7

*: Solvarmeanlæggernes akkumuleringsstanke.

Tabel 19: Brugsvandsbeholdernes varmetabsfaktorer m.m.

Det må forventes, at varmetabsfaktorerne for de store beholder er mindre end faktorerne for de mindre beholdere p.g.a. muligheden for en relativt mindre overflade pr. volumenenhed. I hus C og F ligger varmetabsfaktorerne for akkumuleringsstankene på niveau med visse af de små beholdere, hvilket for hus F's vedkommende især skyldes mange rørforbindelser og lavere isoleringsgrad ud for to "mandehuller" (indstikning af vandbeholder og varmeveksler). For hus C's vedkommende skyldes det især tankens geometri - en trykløs kasseformet beholder med sidelængdeforhold 1:2,6:3,5.

Varmetabsfaktorens størrelse er for hovedparten af beholdrene forholdsvis lav, da det må erindres, at systemerne er udviklet i 1977-78. Sidenhen er der bl.a. på Laboratoriet for Varmeisolering gennemført et udviklingsarbejde til termisk optimering af beholderes konstruktion, således at de nu udføres med færre varmebroer (ovenud af beholderne/gennem isoleringen), med forhindring af selvcirkulation i tilledninger o.s.v.

I hus C og D er brugsvandsanlæggene udstyret med rørsystemer til cirkulation af det varme brugsvand. Rørenes varmetabsfaktor er henholdsvis 7,5 W/C og 5,2 W/C. Rørtabene, som selv i fyringssæsonen kun kommer husene delvis til gode har en meget negativ indflydelse på systemernes effektivitet. Varmabetet er i hus C f.eks. medvirkende til, at den nyttiggjorte varmemængde til brugsvandet i en sommerperiode knapt svarer til kompressorens el-forbrug - d.v.s. en nettoeffektivitet på mindre end 1.

Det må derfor konkluderes, at det er vigtigt at minimere afstanden fra opvarmningsaggregatet til tappestederne, så en cirkulation af brugsvandet kan undgås - et krav som bør kunne opfyldes i alle enfamiliehuse.

Hastigheden hvormed brugsvandet opvarmes er målt i alle huse med undtagelse af hus D. Temperaturintervallet for opvarningen kan ved målingerne være forskelligt fra hus til hus,

bl.a. afhængigt af anlæggenes termostatindstilling. I tabel 20 er opvarmningsintervallet og -hastigheden angivet samt en skønnet hastighed for en opvarmning fra 10 C til 50 C.

hus	A	B	C*	E	F
målt opvarmningsinterval (C)	S: 18-55 V: 26-47	6-50	17-55	7-40	11-50
målt nettovarmeoverføring til brugsvand (kW)	S: 0,69 V: 0,28	0,76	0,44	2,45	3,26
målt opvarmningshastighed (C/h/100 l)	S: 5,9 V: 2,4	6,5	3,8	21	28
skønnet opvarmningshastighed, 10-50 C (C/h/100 l)	S: 7 V: 5	6,5	6	21	28
S: Gælder (i hus A) ved sommerbetingelser. V: Gælder (i hus A) ved vinterbetingelser. *: Ingen cirkulation af brugsvandet.					

Tabel 20: Brugsvandsanlæggene - opvarmningshastigheden.

Opvarmningshastigheden af brugsvandet varierer meget fra anlægstype til anlægstype. De største hastigheder forekommer i hus F og E. På trods af gasfyrets store effekt i hus F (11,6 kW) er opvarmningshastigheden kun 30% større end for anlægget i hus E, hvor el-patronen yder 3 kW. Det skyldes, at varmeoverføringen fra kedelvandet til brugsvandet i den separate kappebeholder i hus F er betydeligt dårligere end fra den indbyggede el-patron til brugsvandet i hus E, bl.a. fordi der kun er nogle få grader forskel på kedeltemperaturen og brugsvandstemperaturen i kappebeholderen. I hus D er opvarmningshastigheden ikke målt, men da varmtvandsbeholderen er indbygget i oliefyrsuniten (29 kW), kan opvarmningen forventes at ske betydeligt hurtigere end i hus E og F.

Opvarmningshastigheden er naturligvis væsentlig mindre for varmepumpeanlæggene, hvis kompressorer optager en effekt på 200-300 W. I hus A afhænger hastigheden af temperaturen i det uudnyttede tagrum, medens årstidsafhængigheden er mindre i hus B og C, hvor varmen hentes fra ventilationssystemernes afkastluft (efter genvinderen). I varmepumpeuniterne er indbygget el-patroner, som kan tilsluttes samtidigt med kompressorerne og derved øge opvarmningshastigheden. Hvis el-patronerne er i drift under hele opvarmningen, fordobles opvarmningshastighederne.

Især for varmepumpeanlæggene afhænger opvarmningshastigheden af brugsvandstemperaturniveauet, da kompressorernes effektivitet falder ved stigende kondenserings temperaturer. Det er derfor vigtigt, at brugsvandstermostaten er indstillet på den laveste temperatur, som er acceptabel for husets beboere. I hus C vil en lavere indstilling samtidig være gunstig for udnyttelsen af solvarmeanlægget (gælder også hus D og F).

Der er foretaget forcede aftapninger af varmt brugsvand i husene B, C, E og F. Aftapningsmængderne ved en temperatur på over 40 C afhænger naturligvis meget af starttemperaturen i beholderne. Konklusionen af forsøgene er, at det vil være muligt at tappe mindst 200 l varmt vand (med en temperatur på min. 40 C), hvis starttemperaturen er 50 C for de varmepumpeopvarmede anlæg og 45 C for de øvrige anlæg med større opvarmningskapacitet.

5.2 Målinger under normale driftsbetingelser (simuleret beboelse)

På baggrund af to 14-dages perioder, henholdsvis sommer og vinter, er anlæggernes driftsforhold undersøgt ved et simuleret beboelsesmønster. Simuleringen gælder en familie med to voksne og to børn og omfatter bl.a. forbrug af varmt og koldt vand, (1).

I tabel 21 er forbruget til produktion af varmt brugsvand angivet. Tallene omfatter al købt energi d.v.s. el til pumpere, ventilatorer, kompressorer og el-patroner samt olie og gas. I tabellen er ligeledes angivet den procentdel af forbruget, som skyldes hjælpeaggregater såsom cirkulationspumper, afrimningsvarmelegemer m.m. I visse huse afviger varmtvandsforbruget i en af 14-dages perioderne fra det ønskede på 250 kWh/døgn. Forbrugene er her korrigert svarende til det ønskede. Derimod er tallene i tabellen ikke korrigert for forskelle i den indstillede varmtvandstemperatur husene imellem, da denne kan afhænge af anlæggenes udformning. Denne indstilling kan have væsentlig betydning for anlægseffektiviteterne og dermed for de målte forbrug. Der er ikke for de enkelte huse korrigert for forskelle i termostatindstillingen i de to 14-dages perioder. Da anlæggene i hus D og F er integrerede brugsvands- og varmeanlæg, er tabelværdierne korrigert for ydelsen til rumopvarmning.

hus	A	B	C	D	E	F
forbrug sommer (kWh/døgn)	4,4	4,3	4,0	16,0	8,3	8,9
heraf til hjælpe-aggregater (%)	26	0	13	0	0	1
forbrug vinter (kWh/døgn)	7,2	4,2	7,4	15,0	15,2	23,0
heraf til hjælpe-aggregater (%)	38	0	7	0	0	6

Tabel 21: Energiforbrug til produktion af varmt brugsvand ved simuleret beboelse - sommer og vinter.

Årstidsvariationen af temperaturen på det kolde brugsvand (ca. 5-15 °C) har alt andet lige en mærkbar indflydelse på energiforbruget til brugsvandsopvarmningen. Ligeledes påvirker solvarmeanlæggernes ydelser i hus C, D og F naturligvis

også mængden af købt energi. I sommerhalvåret kan solvarmeanlæggene i store perioder opvarme brugsvandet til en tilfredsstillende temperatur. Temperaturen af det solopvarmede brugsvand ligger i hus C og F i den undersøgte 14-dages periode i august-september på 40-50 °C, medens den tilsvarende temperatur i hus C i den undersøgte periode i april er 30 °C. På trods af de høje afgangstemperaturer af brugsvandet i akkumuleringstankene er forbruget af købt energi relativt stort i sommerperioden for de tre huse. Den primære årsag hertil er, at alle tre systemer har to varmtvandsbeholdere - efter passage gennem solvarmeanlæggets akkumuleringstank ledes brugsvandet over i eftervarmeaggregatets vandbeholder. Varmeoverføringen mellem de to beholdere sker med brugsvandet, og kun når der er et varmtvandsforbrug. P.g.a. størrelsen af eftervarmeaggregatets brugsvandsbeholder (135-250 l) sker der en betydelig afkøling af vandet - som eftervarmeaggregatet må kompensere for - før det når ud til tappestederne. I hus C og D er cirkulationen af det varme brugsvand også medvirkende til de forholdsvis store forbrug af købt energi.

En del energi kunne spares, hvis det i perioder var muligt at føre brugsvandet direkte fra akkumuleringstanken til tappesterne og samtidigt slukke for eftervarmeaggregatet. Den ret store vandmængde, som kommer til at stå stille i eftervarmeaggregatets brugsvandsbeholder og efterhånden antager rumtemperatur, kan imidlertid give problemer med vandkvaliteten. I hus C ville den beskedne opvarmningshastighed af brugsvandet i varmepumpe-uniten også give problemer, når solvarmeanlægget ikke yder tilstrækkeligt, og behovet for eftervarme pludseligt opstår.

En stor del af brugsvandsanlæggets el-forbrug i hus A skyldes hjælpeaggregater. VP-uniten er udstyret med sin egen fordamperventilator i modsætning til varmepumperne i hus B og C, som udnytter ventilatoren i ventilationsanlægget. Derudover er uniten i hus A udstyret med et elektrisk afrinningsvarmelegeme, som i vinterperioden står for 10% af unit-

ens samlede el-forbrug. I de øvrige varmepumper sker afstrimningen ved brug af varm luft (husets afkastluft).

Værdierne i tabel 21 viser tydeligt, at alt andet lige er brugsvandsopvarmning ved brug af varmepumper som ventet den mindst energikrævende metode. Anvendes direkte el-varme,olie- eller gasfyr bliver forbrugene ved de aktuelle målinger mellem to og seks gange så store. Det kan endvidere konkluderes, at en uheldig udformning af et brugsvandsanlæg, som medfører store tomgangstab, kan bevirket, at næsten hele energibidraget fra et solvarmeanlæg sættes over styr.

På baggrund af de to 14-dages perioder er for varmepumperne beregnet kompressorernes gennemsnitlige effektivitet. Det er foruden de tidligere omtalte tre luft-til-vand brugsvandsvarmepumper en luft-til-luft varmepumpe til rumopvarmning i hus A og en vand-til-vand varmepumpe til rumopvarmning i hus B.

hus	anlæg	kompressorens optagne effekt (W)	kompressor- effektivitet
A	brugsvand sommer vinter	230	3,5
		180	2,7
B	brugsvand sommer vinter	250	3,0
		210	3,3
C	brugsvand sommer vinter	340	2,8
		210	2,3
A	varme sommer vinter	260	2,7
		240	2,7
B	varme sommer vinter	1350	3,4
		1270	3,4

Tabel 22: Varmepumpeanlæg - middel kompressoreffektiviteter m.m. for udvalgte 14-dages perioder.

Kompressoreffektiviteten afhænger af temperaturforholdene ved fordamperen og kondensatoren samt af flowet gennem fordamperen og for varmepumperne til rumopvarmning også af flowet gennem kondensatoren. Generelt er de målte kompressoreffektiviteter tilfredsstillende for kompressorer af denne størrelse.

For at undgå utilgængelige skjulte installationer er varmeanlæggets fordelingssystem i hus B placeret i den uisolerede, ventilerede krybekælder. Dette har medført, at varmetabet til krybekælderen udgør mellem 30% og 55% af den producerede varme. I en 14-dages periode i april måned er den nyttiggjorte varmemængde til rumopvarmning kun 13% større end el-forbruget til kompressor og cirkulationspumper. I den periode ville det - på trods af en kompressoreffektivitet på 3,2 - kun være 13% mere energikrævende at opvarme huset med direkte el-varme.

Effektiviteterne af fyr og kedler i hus D og F er også søgt beregnet. Der foreligger ikke målinger af unitens fyringseffektivitet i hus F, men det forventes, at den ligger omkring 0,8, og denne værdi er anvendt ved udregningen af kedelnyttevirkningen. Varmeydelserne er i flere af lavenergi-husene målt med batteridrevne joule-målere, som har vist sig både unøjagtige og ustabile ved de aktuelle temperaturforhold. Det bevirket bl.a., at ydelserne til opvarmning i hus D og F og hermed nedenstående effektiviteter er behæftet med en stor usikkerhed. For hus D er usikkerheden vurderet til 15% og for hus F til 25% af de opgivne tal. Dog er fyringseffektiviteten i hus D målt ved røggasanalyse flere gange og er hver gang blevet bestemt til 0,92-0,93.

De konstaterede effektiviteter er tilfredsstillende for hus D's vedkommende, hvorimod kedeleffektiviteten i hus F er utilfredsstillende lav. Gasfyret i hus F er udstyret med atmosfærisk brænder med en konstant brændende pilotflamme. Luften til forbrændingen trækkes fra det fri via en luftkanal gennem kældervæggen til fyrets lufttætte kabinet, medens

	hus D		hus F	
	sommer	vinter	sommer	vinter
fyringseffektivitet	0,93	0,95	--	--
kedeleffektivitet	0,78	0,90	0,26	0,63

Tabel 23: Fyringseffektivitet m.m. i hus D og F, bestemt ud fra brændselsforbrug og målt varmeydelse.

skorstenen går 7,5 m lodret op gennem husets tre etager til det fri over tag. P.g.a. pilotflammen og det ubalancede friskluft-/skorstenssystem har fyret et tomgangstab (hovedsagelig gennemtrækstab) på 7,3 kWh/døgn og 13,3 kWh/døgn målt henholdsvis i september og februar. Forskellen i forbruget skyldes udetemperaturniveaueret ved de to målinger, hhv. 14,0 C og -1,9 C. Til sammenligning er oliefyrsunitens tomgangsforbrug målt til 2,5 kWh/døgn.

Målinger på gas- og oliefyret bekræfter, at tomgangstabene fra installationerne til såvel brugsvand som rumopvarmning udgør en stor procentdel af de samlede energiforbrug i lavenergihusene. Mulighederne for at udnytte selv den spildvarme, der forekommer som tab inden for klimaskærmen, er ikke store, da en væsentlig del optræder på uønskede tidspunkter, (2). Det er derfor meget vigtigt, at man ved projektering af installationerne er opmærksom på dette forhold og derved søger at begrænse tomgangstabenes størrelse.

5.3 Hovedkonklusioner

På baggrund af de gennemførte undersøgelser bør følgende forhold fremhæves:

- varmetabet fra beholdere kan have stor negativ indflydelse på brugsvandsanlægs nettoeffektivitet. Hvis en beholder må

holdes permanent opvarmet, er det derfor vigtigt, dels at beholderen isoleres effektivt, dels at beholdertemperaturen holdes så lav som muligt.

- cirkulation af varmt brugsvand er meget energikrævende og skal undgås i lavenergihue.
- brugsvandsanlæg, som får varmetilskud fra solvarmeanlæg, skal udformes med én varmtvandsbeholder eller med mulighed for at føre vandet uden om eftervarmeaggregatets brugsvandsbeholder. Sidstnævnte løsning kan dog give vandkvalitetsproblemer. Alternativt skal der være mulighed for at føre varme fra solvarmesystemets akkumulatortank til eftervarmebeholderen uafhængigt af vandforbruget.
- el-forbruget til pumper, ventilatorer m.m. kan i lavenergihue udgøre en stor procentdel af den købte energi og driftstiden bør derfor begrænses mest muligt.
- til brugsvandsopvarmning er varmepumper som ventet de mindst energikrævende aggregater. Varmepumper i den størrelse, som forefindes i de seks lavenergihue forudsætter imidlertid suppleringsvarme i visse situationer.
- kappebeholdere vil alt andet lige have et større varmetab end øvrige beholdertyper, da de højeste væsketemperaturer forekommer i kappen.
- stor forskel mellem varmeanlæggets effekt og varmebehovet (til brugsvand og/eller rumopvarmning) medvirker ofte til uheldige driftsforhold såsom pendling (med hyppige start/stop). For olie- eller gasfyrede anlæg øges skorstenstabet og for varmepumpeanlæg kan foruden effektiviteten også varmepumpens levetid blive reduceret.
- varmefordelingssystemer skal føres inden for klimaskærmen.

- varmeanlæg skal kunne slukkes, når der ikke er behov for varme.
- varmeanlæg med gas-/oliebrændere skal udføres med balanceret lufttilførsel/luftafkast og helst med et afspærringsspjæld, som lukkes uden for driftstiden.

6. Litteraturliste

6.1 Referencer

1. Aasbjerg Nielsen, A., Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Lavenergihuse i Hjortekær - Statusrapport 1, LfV, Meddelelse nr. 84, juni 1979.
2. Saxhof, B., Byberg, M.R. & Rasmussen, N.H.: 6 Lavenergihuse i Hjortekær, Installationer - udformning og erfaringer, LfV, Meddelelse nr. 151, 1984.
3. Byberg, M.R. & Saxhof, Bjarne: 6 Lavenergihuse i Hjortekær, Konstruktioner - arbejdsudførelse og erfaringer, LfV, Meddelelse nr. 120, november 1982.
4. Saxhof, Bjarne & Aasbjerg Nielsen, A.: Insulation and Air Tightness of six Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark, LfV, Meddelelse nr. 121, november 1982.

6.2 Supplerende litteratur om Energiministeriets Lavenergi-husprojekt

Ud over de i teksten refererede kilder indeholder nedenstående publikationer yderligere oplysninger om Lavenergi-husprojektet.

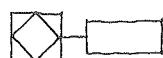
1. Byberg, M.R.: Do Conservation Houses Require Sophisticated Technical Installations?, LfV, Meddelelse nr. 127, november 1982.
2. Byberg, M.R., Djurtoft, R.G. & Saxhof, B.: 6 Low-Energy Houses at Hjortekær - Description of the Houses, LfV, Meddelelse nr. 83, maj 1979.

3. Djurtoft, R.G.: Monitoring Energy Conservation Houses, ENERGEX 82, LfV, Rapport nr. 82-28, juni 1982.
4. Gullev, J.: Lavenergihuse i Hjortekær, Bygeindustrien nr. 1, 1979, pp. 9-15.
5. Rasmussen, N.H.: Trykprøvning af seks lavenergihuse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-69, december 1982.
6. Rasmussen, N.H. & Saxhof, B.: Testing of Heating Systems for Conservation Houses under Actual Climate Conditions, LfV, Meddelelse nr. 128, november 1982.
7. Saxhof, B.: External Insulating Shutters in Energy Conservation Houses, LfV, Meddelelse nr. 129, november 1982.
8. Saxhof, B.: Transmissionskoefficienter og dimensionerende varmetab for seks lavenergihuse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-11, juni 1982.
9. Saxhof, B.: Varmetabsramme og isoleringsgrad for seks lavenergihuse i Hjortekær, LfV, Rapport nr. 82-12, juni 1982.
10. Saxhof, B., Djurtoft, R.G., Byberg, M.R. & Aasbjerg Nielsen, A.: Six Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark, Description of the Houses and Presentation of Energy Measurements during the first Winter, 7th International Congress of Heating and Air Conditioning, "CLIMA-2000", Budapest 1980.
11. Saxhof, B. & Engelund Poulsen, K.: Foundations for Energy Conservation Houses, LfV, Meddelelse nr. 130, november 1982.
12. Zachariassen, H.: H&S lavenergihuus i Hjortekær, Arkitekten nr. 17, 1982, pp. B5-B8.

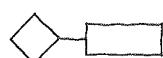
7. Symbol- og signaturliste

Symbol:	Beskrivelse:	Enhed:
C	varmekapacitet	Wh/C
c_p	varmefylde	Wh/kgC
$(k \cdot A)_b$	varmetabsfaktor - beholder/unit	W/C
$(k \cdot A)_{cir}$	varmetabsfaktor - cirkulationsledning	W/C
M	brændselsforbrug (olie/gas)	m ³
Q_{cir}	el-forbrug cirkulationspumper	Wh
Q_e	el-forbrug varmelegeme	Wh
Q_{komp}	el-forbrug kompressor	Wh
Q_{varme}	varmeydelse til rumopvarmning	Wh
T	temperatur	C
T_b	temperatur af brugsvand i beholder	C
T_o	temperatur af omgivelser	C
T_k	temperatur af brugsvand før beholder	C
T_{sp}	temperatur af gråt spildevand	C
T_1	starttemperatur	C
T_2	sluttemperatur	C
V	volumen	m ³
V_{vb}	brugsvandsforbrug	m ³
ρ	massefylde	kg/m ³
τ	tid	h
η	temperaturvirkningsgrad	

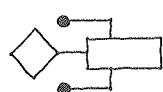
Signatur: Beskrivelse:



måling af luftmængde



måling af vandmængde



måling af varmemængde (joule-måler)



måling af temperaturdifferens



måling af temperatur

8. Summary

6 Low-Energy Houses at Hjortekær Technical Installations - Results from Specific Test Series

Thermal Insulation Laboratory
Technical University of Denmark
Building 118
DK-2800 Lyngby

As part of the Danish Energy Research and Development Programme six prototype low-energy houses have been built at Hjortekær, north of Copenhagen, as detached single-family houses each having a living area of approx 120 m². Five houses were completed in the autumn of 1978 and the last one in March 1979, (3).

Since then, a research team has carried out detailed continuous energy measurements as well as limited investigations of specific problems. During the period from the completion of the houses till May 1980 none of the houses were inhabited, but the occupancy was simulated according to a standard pattern (including electricity consumption for lighting and domestic appliances, heat emission from persons and the use of domestic hot and cold water), (1). After May 1980 the houses were eventually sold and inhabited, and the monitoring was continued till May 1982.

The main objective of the Low-Energy House Project was to demonstrate that it is possible to build 120 m² detached houses with a design energy supply of approx 5000 kWh/year covering space heating, ventilation and domestic hot water.

This report describes a series of specific tests carried out in situ in the six low-energy houses. The test programme includes measurement of heat loss (stand-by losses etc) from hot water tanks and boilers, and from circulation systems, measurement of domestic hot water supply temperature at forced tapping, measurement of the ability of the hot water systems (capacity and speed of hot water production) and measurement of the electricity consumption for technical installations in the hot water systems and heating systems.

As quite a few technical solutions have been applied in the six houses the analyses cover as different items as storage tanks for active solar systems, an air-to-air heat pump, air-to-water heat pumps, a water-to-water heat pump, a grey waste water heat recovery system, an oil burner and a gas burner and a few other topics.

The performance and the energy consumption of the different heating systems and hot water systems have been analyzed at typical summer and winter conditions for selected fortnights.

The main conclusions of the report are as follows:

- heat loss from water tanks does often in a negative way greatly influence the system net efficiency of hot water systems, eg solar systems or heat pump systems. If a tank has to be permanently heated it is very important to insulate it well (without major thermal bridges) and to keep the temperature as low as possible.
- circulation of hot water increases the total heat loss from the system considerably and must be avoided in low-energy houses.
- hot water systems partly heated by active solar should be constructed with one storage tank only. If the after heating aggregate includes a separate tank it should be possi-

ble to bypass this - this solution has in some cases resulted in water quality problems (stale water in the second tank). An alternative solution in case of two tanks is to secure heat transfer from the storage tank independently of the hot water consumption, preferably by natural convection.

- the electricity consumption for pumps, fans etc may in low-energy houses make up a large percentage of the total demanded energy supply and the operating time should thus be minimized.
- as expected heat pumps for domestic hot water heating prove the least energy consuming system. However, small heat pumps like those at Hjortekær do occasionally require additional heat supply, eg for raising the water temperature quickly.
- the heat loss from indirect cylinders with jacket heat exchangers will - at equal conditions - be larger than from other types of water tanks because the surface temperature will be higher.
- a substantial difference between the rating of the heating system and the actual demand (for hot water or heating) often result in poor operating conditions, eg pendling (a high frequency of on/off operation), and this situation is very likely to occur frequently in a low-energy house. In systems with oil or gas burners the flue loss is increased, and in heat pump systems the efficiency and the useful life of the compressor may suffer.
- all supply lines in heating systems must be kept on the inside of the building envelope.
- heating plants must be switched off immediately when there is no need for heating.

- heating plants with oil/gas boilers will have to be made with balanced flue and eventually with a barrier damper which is shut off when the burner is not running.

