

Bjarne Saxhof

Utilsigtede varmetab fra installationer i lavenergihuse

Særtryk af

AKTUEL ENERGIFORSKNING

Meddelelse nr. 150

November 1984







## UTILSIGTEDE VARMETAB FRA INSTALLATIONER I LAVENERGIHUSE

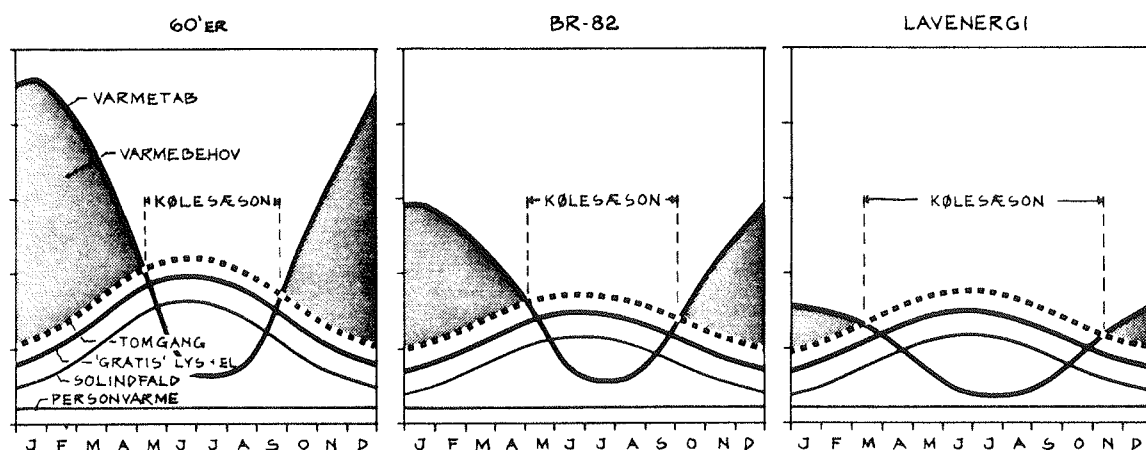
Bjarne Saxhof

Alle varme- og varmtvandsanlæg vil, uanset hvilken energikilde de er baseret på, i større eller mindre grad utilsigtet afgive varme til deres umiddelbare omgivelser, bl.a. fra lagerenheder, fx brugsvandsbeholdere. Varmen kan afgives uden for husets klimaskærm og vil så i reglen være helt tabt for huset, som det er tilfældet med varmeindholdet i den røggas, som slippes ud fra et fyringsanlægs skorsten. Et sådant skorstenstab er samtidig et eksempel på et tab, som kun forekommer, når anlægskomponenten - i dette tilfælde fyret eller brændeovnen - er i drift (at skorstenen også kan give anledning til et stilstandstab pga. gennemtræk er en anden sag).

Indtil olieforsyningskrisen for ti år siden og de deraf følgende energiprisstigninger, var forbrugernes og de fleste producenters interesse for fyringsøkonomi beskeden, selv om skorstenstabet fra et typisk ældre villafyr kan have en størrelse på 1000-2000 l fyringsolie svarende til hele varmebehovet for to-tre lavenergi huse.

Endnu mindre har interessen imidlertid været for utilsigtede varmetab, som forekommer inden for husets klimaskærm, idet det - ganske logisk - har været konkluderet, at tab fra anlægget kommer huset til gode som varmetilskud og altså ikke går til spilde. Når man lige ser bort fra, at varmetilskud i den største del af sommeren er en tvivlsom fordel, er antagelsen korrekt, så længe der er tale om ældre huse med ret store varmetab, hvoraf de utilsigtede tab kun udgør en lille andel. I lavenergi huse vil de utilsigtede varmetab fra anlæggene absolut set have samme størrelse, hvis der ikke tages specielle forholdsregler for at reducere dem, men set i forhold til husenes lave varmebehov vil tabene udgøre en betydelig størrelse.

For at anskueliggøre hvorfor det i lavenergihuse er så væsentligt at nedbringe de ukontrollable varmetilskud, er varmebehovet igennem et normalår i figur 1 optegnet for tre huse med forskellig isoleringsgrad. De tre eksempler repræsenterer typiske varmetab for et 120 m<sup>2</sup> enfamiliehus bygget hhv. i 60'erne, efter det nyeste bygningsreglement og som lavenergihus. Husets varmebehov (som skal dækkes af varmeanlægget) opstår som forskellen mellem det aktuelle tab og det aktuelle varmetilskud, dels fra de utilsigtede varmetab, dels fra gratisvarmen, som i figuren er opdelt i et årstidsafhængigt bidrag fra solindfald gennem vinduerne og et bidrag fra varmeafgivelsen fra personer, lys og husholdningsmaskiner, tilnærmet konstant året igennem. Varmeafgivelsen fra lys og husholdningsmaskiner medregnes til gratisvarme, fordi varmeproduktionen er et biprodukt i forbindelse med det primære formål (belysning, rengøring e.l.) som man betaler for. Varmetilskuddets størrelse er naturligvis stærkt afhængigt af beboernes brug af huset, men den absolutte størrelse har i denne forbindelse mindre betydning, idet interessen koncentrerer sig om indvirkningen på de tre hustyper.



Figur 1. Varmebehov, gratisvarme m.v. i tre typiske enfamiliehuse ved ønsket indetemperatur 20 C.

Det fremgår klart af figuren, at jo lavere varmetab et hus har, jo mere gratisvarme bliver totalt set overskudsvarme, dvs. varmetilskud som giver en højere indetemperatur end krævet/ønsket og derfor bør ventileres bort. Det fremgår

samtidig, at den resterende, anvendelige del af gratisvarmen i et lavenergihus dækker en væsentlig større andel af det samlede varmetab, hvilket bl.a. medfører, at fyringssæsonen i et lavenergihus bliver kortere end i et hus med større varmetab. På figuren er også skitseret et varmetilskud svarende til utilsigtet varmetab fra de tekniske installationer, dvs. varme der må betales for. Det utilsigtede varmetab som her tilnærmet er regnet konstant året igennem kan kun udnyttes, når de samlede varmetilskud ikke overstiger det aktuelle varmetab, og endda kun under forudsætning af at de ukontrollable varmetilskud fra de tekniske installationer fordeles i huset svarende til behovene og ikke blot giver anledning til meget høje temperaturer i et enkelt rum, fyr-rummet. Det gælder derfor om at minimere de ukontrollable betalingskrævende tilskud for i videst muligt omfang at kunne nyde de gratis gløder.

For utilsigtede varmetab inden for klimaskærmen samler interessen sig især om anlægs og anlægskomponenters tomgangstab, dvs. de tab som forekommer, selv om anlægget intet yder, men blot står klar til at levere sin ydelse med kortest muligt varsel, fx varmetab fra en varmtvandsbeholder, som holdes opvarmet til den ønskede varmtvandstemperatur. Tomgangstabet er altså det lavest opnåelige tab for tilsluttede anlæg og optræder normalt såvel i tomgang som under drift. Tomgangstab reducerer altid anlægseffektiviteten for anlæggenes primære formål - eksempelvis skal effektiviteten af et brugsvandsanlæg vurderes ud fra den leverede varmtvandsmængde; at anlægget derudover bidrager til husets opvarmning på ønskede og måske især uønskede tidspunkter er en sekundær - lidt tvivlsom - gevinst.

De efterfølgende eksempler på de utilsigtede varmetabs betydning bygger på analyser af anlæggene i de seks lavenergi-huse, som med støtte fra Energiministeriet blev opført i Hjortekær i 1978-79, nærmere beskrevet af Byberg m.fl. 1979 (1) og af Byberg og Saxhof 1982 (2). Beskrivelse af anlæggene samt mere dybtgående redegørelse for undersøgelsesmeto-

der og -resultater er givet af Byberg 1982 (3), Saxhof m.fl. 1984 (4) og Rasmussen m.fl. 1984 (5).

#### Eksempler på utilsigtede varmetab uden for klimaskærmen

Et af husene opvarmes med et lavtemperaturreadiatoranlæg forsynet fra en varmepumpe med jorden som varmekilde. Huset er opført af lette højisolerede træelementer, og bygherren/de rådgivende ingeniører ønskede aht. risiko for vandskader at undgå skjulte (utilgængelige) rørinstallationer i huset og valgte derfor at placere radiatorernes frem- og returløb i husets uisolerede, ventilerede krybekælder. Trods omhyggelig isolering af rørene (dobbelte så stor isoleringstykkelser som normalt) har dette valg haft meget uheldige konsekvenser for varmesystemets effektivitet. Varmetabet fra fordelingsystemet er under tomgang målt til 17 W/C, relateret til forskellen mellem fordelingsystemets middeltemperatur og krybekældertemperaturen; denne forskel er i fyringssæsonen 20-30 C. Tomgangstabet fra selve varmepumpeenheden (inden for klimaskærmen) udgør kun 1,9 W/C, relateret til temperaturforskellen mellem beholder og bryggers, normalt mindre end 10 C. I en af de undersøgte perioder modtog enheden pga. høj bryggerstemperatur faktisk 0,2 kWh/døgn, medens fordelingsystemet tabte 8,8 kWh/døgn til krybekælderen.

Tabel 1 og 2 viser tabenes betydning hhv. i tre udvalgte 14-dages perioder under simuleret beboelse og i to måleår, det ene under simuleret, det andet under reel beboelse.

Systemeffektiviteten udtrykker forholdet mellem systemets totale varmeydelse og den købte energimængde (el); nettoeffektiviteten udtrykker forholdet mellem den nyttiggjorte varmeydelse og den købte energi.

Den negative indvirkning på nettoeffektiviteten bliver særlig markant i overgangsperioderne, hvor husets varmebehov er beskedent, medens tabet til krybekælderen stadig er betydeligt, som i den i tabel 1 viste forårsperiode (på trods af rimelig høj systemeffektivitet). Under reel beboelse bliver nettoeffektiviteten på årsbasis 0,9 eller med andre ord: det ville i det aktuelle tilfælde have været mere fordelagtigt at benytte direkte elvarme. En væsentlig grund til det store varmetab til krybekælderen er, at cirkulationen i fordelingssystemet opretholdes døgnet rundt, uanset om der er et aktuelt varmebehov - de enkelte radiatorer reguleres med termostatventiler. Den konstante cirkulation bevirker i øvrigt et el-forbrug til pumpe på ca. 25 kWh/måned.

Kun en meget lille del af varmetabet kommer huset til gode i form af en lidt højere krybekældertemperatur, som i beskedent omfang nedsætter transmissionstabt fra huset og giver lidt lunere friskluft, idet ventilationssystemet har luftindtag i krybekælderen.

	Efterår	Vinter	Forår
Fremløbstemperatur, radiator kreds (C)	26,5	27,6	34,4
Varmeydelse, radiator kreds (kWh/døgn)	16,3	28,9	19,5
Heraf varmetab til krybekælder (kWh/døgn)	6,9	8,7	11,0
Nettoeffektivitet	1,6	1,9	1,1
Systemeffektivitet	2,8	2,9	2,7

Tabel 1. Varmeydelse m.m. for tre udvalgte 14-dages perioder under simuleret beboelse. Den højere fremløbstemperatur i forårsperioden skyldes en ændring i termostatindstillingen.

	Simuleret beboelse  1979/80	Reel beboelse  1981/82
Varmeydelse, radiatorkreds (kWh/år)	4820	5240
Heraf varmetab til krybekælder (kWh/år)	1970	2320
El til varmepumpe (kWh/år)	1870	2480
El til øvrige pumper (kWh/år)	470	930
Nettoeffektivitet	1,2	0,9
Systemeffektivitet	2,1	1,5

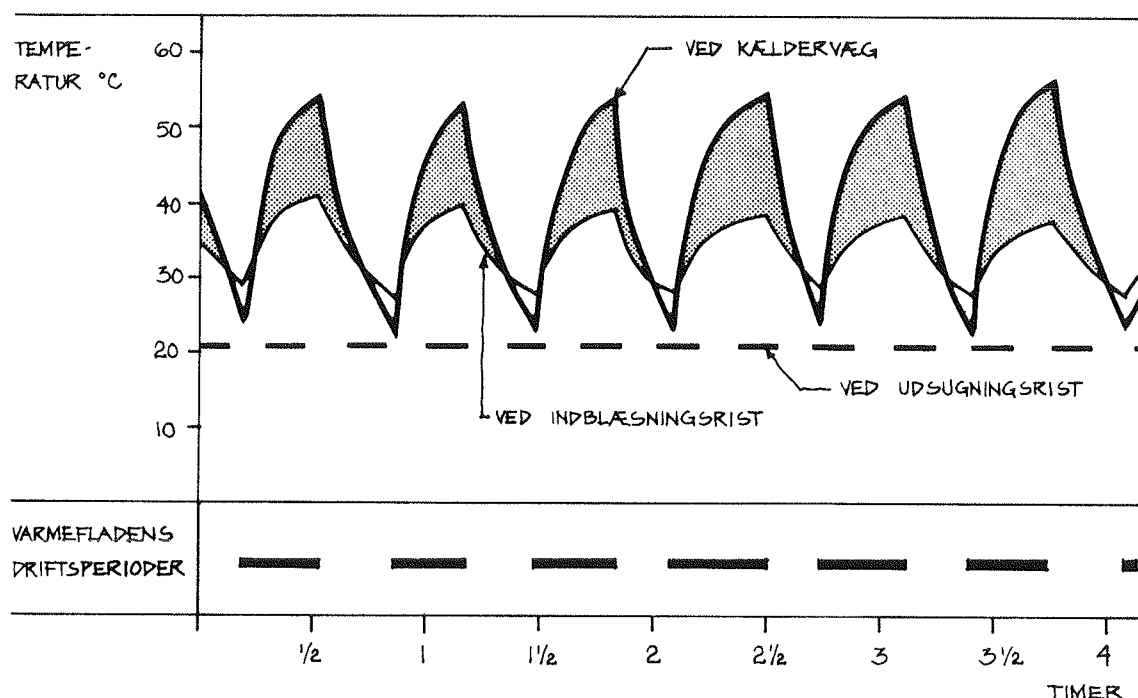
Tabel 2. Varmeydelse m.m. målt gennem to år.

I et af de andre huse opvarmes værelserne med luftvarme fra et stenlager, suppleret med el-opvarmning af den indblæste luft. Fra det centrale anlæg placeret i en kælder under husets midterste del afgrænses luftkanaler ind under terrændæk til værelser og kamre i husets øst- og vestende. Kanalerne (Ø 160 mm) er lagt direkte på drønlagers noddesten i de nederste to lag af fire lag mineraluld med samlet lagtykkelse 300 mm. De decentrale varmeblæser - 500 W til hvert rum - er placeret i kælderen umiddelbart før kanalens indføring under terrændækket.

I en vintermåned (marts) er der foretaget en undersøgelse af driftsforholdene for opvarmningen af vestkammeret (5,0 m luftkanal under gulvet). Kanalen benyttes også til konstant indblæsning af friskluft, ca. 16 m<sup>3</sup>/h, forvarmet i en krydsvarmeveksler. Det centrale varme anlægs to store ventilatorer startes, når termostaten i et af de fire soverum kræver varme. I den undersøgte periode har varme anlægget



været i drift 65% af tiden, med en luftmængde på ca.  $61 \text{ m}^3/\text{h}$  til kammeret - og el-varme under hele driftstiden. Af de tilførte  $324 \text{ Wh/h}$  kom kun  $94 \text{ Wh/h}$ , eller 29%, rummet til gode i opvarmningsperioden - resten gik til opvarmning af luftkanalens umiddelbare omgivelser. Som det også fremgår af figur 2, er hovedparten heraf tabt for huset, men en beskednen del indvindes i form af forvarmning af ventilationsluften i varmeanlæggets stilstandsperioder (35% af tiden), hvor luftmængden jo til gengæld kun er ca. en fjerdedel.



Figur 2. Temperaturforløb for luftvarmesystem til vestkammer.

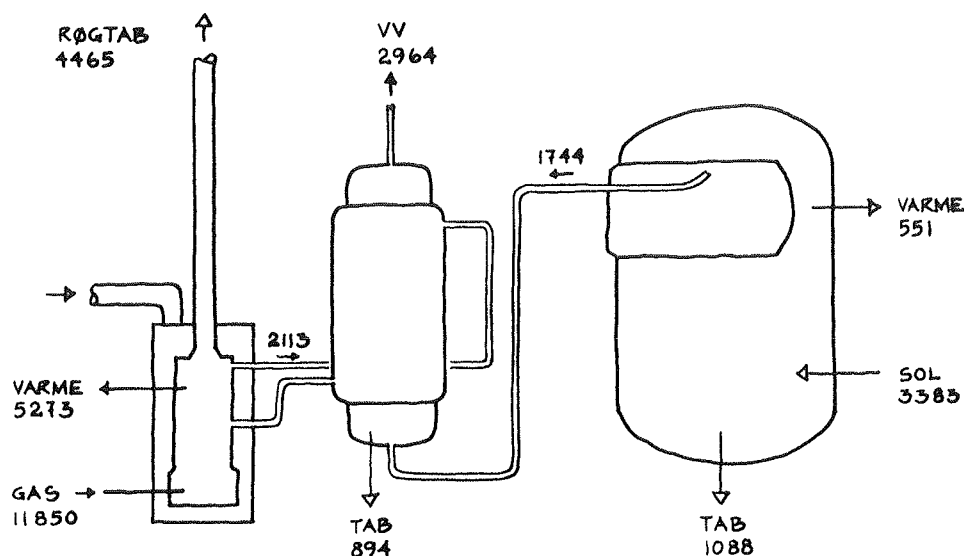
Gulvvarmesystemer på terrændæk, som også er repræsenteret i et af husene, udgør et grænsetilfælde af "utilsigtede varmetab uden for klimaskærmen", idet de selvfølgelig befinder sig inden for denne, men uundgåeligt øger varmetabet gennem gulvet. Forskellige kombinationer af gulv- og fundaments-type med og uden gulvvarme er analyseret af Saxhof og Englund Poulsen 1982 (6), og det er vigtigt at være opmærksom på, at gulvisoleringen skal øges med ca. 200 mm (regnet som mineraluld, type A) for at kompensere for det øgede varmetab.

### Eksempler på utilsigtede varmetab inden for klimaskærmen

Tomgangstabet for en standardtype 210 l el-opvarmet, rimelig velisoleret brugsvandsbeholder opstillet i en kælder i et af husene er målt til 2,4 W/C relateret til temperaturforskellen mellem beholder og omgivelser. Det er ikke noget stort tab, men bliver alligevel til 1,4 kWh/døgn eller ca. 500 kWh/år, dvs. 10% af den projekterede købte energimængde til huset, og som varmetilskud i et kælderrum udfyldt med tekniske installationer ikke til nytte for boligen. Tomgangstabet for to luft-til-vand brugsvandsvarmepumper med 250 l lagertank er målt til ca. 2,0 W/C, typisk med 10% højere tab, når luften strømmer gennem uniten, svarende til normale driftsbetingelser - der var til gengæld stor forskel på de to principielt ens varmepumper mht. hvor stort tomgangsforbruget (og dermed el-regningen) var, idet systemeffektiviteterne var hhv. 3,1 og 1,1.

Tilsvarende blev tomgangstabet fra en 250 l kappebeholder til eftervarme af brugsvand i et kombineret solvarmeanlæg målt til 5,0 W/C, dvs. mere end dobbelt så stort som for de tidligere nævnte beholdere til trods for isolering med 100 mm mineraluld. Ligesom de to andre solvarmeanlæg i bebyggelsen er anlægget forsynet med to vandbeholdere: en akkumulerings-tank for solvarmen (i de to kombinerede anlæg med neddykket forvarmebeholder til brugsvand) og en brugsvandsbeholder, hvor evt. eftervarme tilføres - i de aktuelle tilfælde overføres varme fra 1. til 2. tank med brugsvandet, udelukkende når der tappes varmt vand. Udformningen med to beholdere er valgt for at undgå at varme de store lagervoluminer op med suppleringsvarme, men varmetab fra eftervarmebeholderen kan medføre, at suppleringsvarme er påkrævet, selv om der findes varmt vand i den primære lagertank. Lagertankens tomgangstab er i det nævnte anlæg målt til 12 W/C (for 1500 l) - suppleringsvarmen leveres fra et gasfyr. Figur 3 illustrerer energibalancen for anlægget i et aktuelt måleår inkl. gasfyret, som tegner sig for et betydeligt tab uden for klimaskærmen. Brugen af en kappebe-

holder som eftervarmebeholder er stærkt medvirkende til det store varmetab, idet de højeste temperaturer (højere end varmtvandstemperaturen) jo forekommer i kappen, og kappen dækker næsten hele overfladen.



Figur 3. Varmebalance for gasfyr og vandbeholdere på årsbasis (1979/80). Varmemængderne er anført i kWh/år.

En væsentlig del af el-forbruget til pumper og ventilatorer, ventiler og styreenheder afgives også som varme til omgivelserne og skal henregnes til de utilsigtede varmetab. Det på figur 3 skitserede anlæg er placeret i et 9,3 m<sup>2</sup> stort rum i husets kælder, og rummet får på årsbasis ud over de viste varmetilskud tilført godt 1500 kWh fra elektriske installationer. Tilskuddet kommer kun i yderst ringe grad selve huset til gode - hovedvirkningen er meget høje rumtemperaturer i teknikrummet: årsmiddeltemperatur 22,7 C, middeltemperatur i august (den varmeste måned) 28,2 C og maksimumtemperatur (timemiddelværdi) 30,8 C.

Selv om lagerbeholdere i reglen er de største bidragydere til utilsigtede varmetilskud og deraf følgende overtemperaturer i enkelte rum, kan selve driftsformen (styringen af anlægget) i lige så høj grad spille ind. Et af husene opvarmes med et luftvarmeanlæg placeret i husets bryggers, hvor en centralt anbragt vand-til-luft varmeblæse forsynes



fra et oliefyr. Varmefloden er placeret i et lodretstående kabinet forsynet med en nedadblæsende ventilator - returluften fra rummene løber i bryggerset i en ca. 3 m lang uisolert blikkanal. En termostat i stuen afbryder ventilatoren, når varme er uønsket, men i den oprindelige udførelse var der uafbrudt vandcirkulation mellem oliefyr og varme-flade. Det bevirkede ud over et konstant el-forbrug til pumpe og blandeventil på 90 W, at luften cirkulerede baglæns i systemet, opvarmet af varmekloden. Varmen blev især afgivet til bryggerset, dels fra den uisolerede "returkanal", dels fra det utilstrækkeligt isolerede kabinet. En ændring af styringen med afbrydelse af pumpe og ventil gav dels en el-besparelse på ca. 300 kWh/år (600 kWh/år, hvis anlægget også er tilsluttet i sommerperioden), dels en mærkbar reduktion af overtemperaturen i bryggerset.

Et andet eksempel på en driftsform, som giver et utilsigtet varmetab af betydelig størrelse, er cirkulation af varmt brugsvand. Et af brugsvandssystemerne med de tidligere omtalte varmepumper er udformet med cirkulation. Medens tomgangstabet fra beholderen blev målt til 2,0 W/C, var tomgangstabet fra de ca. 30 m rør placeret i etageadskillelsens isoleringslag 7,5 W/C - eller godt 1600 kWh/år - hvortil kommer et el-forbrug på ca. 200 kWh/år til cirkulationspumpen.

I betragtning af at en gennemsnitsfamilies varmtvandsforbrug energimæssigt udgør ca. 3000 kWh/år må cirkulationstabet betragtes som helt uacceptabelt. Det kan i øvrigt også give kapacitetsproblemer. Hvis familien har brugt det meste af vandet i beholderen, tager det fx 50 timer at opvarme vandet fra 17 C til 55 C ved hjælp af varmepumpen alene. De sidste graders opvarmning tager længst tid - opvarmningshastigheden falder fra 4,7 C/h/100 l til 0,6 C/h/100 l under opvarmningsforløbet pga. stigende varmetab og faldende kompressor-effektivitet. Stoppes cirkulationen, klares den samme opvarmning på 27 timer (10 timer, hvis el-patron på 1000 W indkobles).

## Konklusioner

Utilsigtede varmetab har stor negativ indflydelse på såvel effektiviteten af lavenergihusenes varme- og brugsvandsanlæg som den termiske komfort i enkelte rum. Enhver form for uregulerbar varmeafgivelse i lavenergihusene skal begrænses mest muligt, da de utilsigtede varmetilskud sjældent tidsmæssigt falder sammen med varmebehov og desuden i reglen er koncentreret til sekundære rum (teknikrum/bryggers) med beskeden krav til opvarmning. De tab som ikke kan undgås, skal holdes inden for klimaskærmen - tab fra fyringsanlæg skal begrænses mest muligt ved anvendelse af balanceret aftræk og - i egentlige skorstene - røgspjæld.

## Referencer

1. Mogens R. Byberg, Rolf G. Djurtoft og Bjarne Saxhof: 6 Lavenergihusene i Hjortekær - Kort beskrivelse af husene. Meddelelse nr. 83, LfV, maj 1979.
2. Mogens R. Byberg og Bjarne Saxhof: 6 Lavenergihusene i Hjortekær. Konstruktioner - arbejdsudførelse og erfaringer. Meddelelse nr. 120, LfV, juni 1982.
3. Mogens Byberg: Do Conservation Houses Require Sophisticated Technical Installations?. Meddelelse nr. 127, LfV, november 1982.
4. Bjarne Saxhof, Mogens R. Byberg og Niels Henrik Rasmussen: 6 Lavenergihusene i Hjortekær. Installationer - udformning og erfaringer. Meddelelse nr. 151, LfV, juni 1984.
5. Niels Henrik Rasmussen og Bjarne Saxhof: 6 Lavenergihusene i Hjortekær. Effektiviteter og tomgangstab for varme- og brugsvandsanlæg. Meddelelse nr. 152, LfV, juni 1984.

6. Bjarne Saxhof og K. Engelund Poulsen: Foundations for Energy Conservation Houses - A Thermal Analysis Based on Examples from five Low-Energy Houses at Hjortekær, Denmark. Meddelelse nr. 130, LfV, november 1982.



meisolering - Meddelelse 150

(september 1984)

$$\Delta t(D) \rightarrow \ln \Delta t(0)$$

$$[s] = W \rightarrow [t(s)] = ^\circ C$$

ændres til:

$$= R_4 = \frac{e}{2C\delta} + \frac{Z}{2C}$$

$$= R_6 = \frac{Z}{B} + \frac{B}{2e\delta}$$

ændres til:

er bredden af de ubelagte striber

=  $2B + 2C$  er bredden af de belagte striber

er overlapningen af de belagte striber