

Super lavenergihuse uden problemer

-klimaskærm, installationer og indeklima



PSO projekt nr.: 344-065

Ekolab
UCN, act2learn
Bjerg Arkitektur
Nilan
Develco

Marts 2014



bjerg arkitektur a/s



DEVELCO
P R O D U C T S

Elforsk

PSO Journalnr.: 464-11

projekt nr.: 344-065

Løsninger til optimal klimatisering af
superlavenergihuse – Vi skal gøre det
rigtigt denne gang!

(seneste revision 21-05-2014)

***Super* lavenergihuse uden problemer**

-klimaskærm, installationer og indeklima

Marts 2014

Klaus Ellehauge
Troels Kildemoes
Mike Vinge Madsen

Ekolab
Vestergade 48 H, 2.tv.
DK-8000 Århus C
www.ekolab.dk

Tine Steen Larsen

UCN act2learn – teknologi
Lindholm Brygge 35
9400 Nørresundby

Søren Riis Dietz

Bjerg Arkitektur a/s
Algade 44
9000 Aalborg
www.bjerg.nu

Henry Yndgaard Sørensen

Nilan A/S
Nilanvej 2
8722 Hedensted
www.nilan.dk

Dorthe Gårdbo-Pedersen
Poul Møller Eriksen

DEVELCO Products A/S
Olof Palmes Allé 40
DK-8200 Aarhus N
www.develcoproducts.com

Forsidebillede: Sunshine House - Årstiderne Arkitekter

Indhold

1	Indledning.....	5
2	Hvad er et superlavenergihus?.....	6
3	Lavenergihusets brug.....	7
3.1.1	Brugerens forståelse af huset	7
3.1.2	Brugerbetjening	8
3.1.3	Anbefalinger – Husets betjening.....	8
4	Design og beregning af klimaskærm	10
4.1	<i>Valg af beregningsprogram</i>	<i>10</i>
4.1.1	Anbefalinger - beregningsprogram	11
4.2	<i>Kompakt design</i>	<i>12</i>
4.2.1	Anbefalinger – kompakt design	13
4.3	<i>Termisk masse.....</i>	<i>14</i>
4.3.1	Anbefalinger – termisk masse.....	14
4.4	<i>Isolering.....</i>	<i>15</i>
4.4.1	Isoleringstykkelser	15
4.4.2	Nye isoleringsprodukter.....	16
4.4.3	Henvisninger	18
4.4.4	Anbefalinger - isolering	18
4.5	<i>Kuldebroer.....</i>	<i>19</i>
4.5.1	Indbygning af vinduer	20
4.5.2	Produkter	21
4.5.3	Henvisninger	23
4.5.4	Anbefalinger - kuldebroer.....	23
5	Vinduer og udnyttelse af solindfald	24
5.1	<i>Vinduesdisponering.....</i>	<i>24</i>
5.1.1	Vinduets energitilskud (Eref)	24
5.1.2	Indeklima.	26
5.1.3	Kondens	27
5.1.4	Udluftning	28
5.1.5	Anbefalinger – vinduesarealer og disponering	28
5.2	<i>Produkter</i>	<i>30</i>
5.2.1	Henvisninger	30
5.2.2	Anbefalinger - vinduesprodukter.....	31
5.3	<i>Solafskærmning</i>	<i>31</i>
5.3.1	Indvendig solafskærmning	31
5.3.2	Udvendig solafskærmning - overhæng	32
5.3.3	Solafskærmning i terræn.....	36
5.3.4	Anbefalinger - solafskærmning	36
6	Ventilation og lufttæthed	38

6.1	<i>Lufttætte konstruktioner</i>	38
6.1.1	Betydning for energiforbrug	38
6.1.2	Design.....	39
6.1.3	Anbefalinger - lufttæthed	40
6.2	<i>Ventilation</i>	41
6.2.1	System design	43
6.2.2	Støj	43
6.2.3	Indblæsning og udsugning	44
6.2.4	Luftopvarmning.....	45
6.2.5	Naturlig ventilation	45
6.2.6	Ventilation i passivhuse	47
6.2.7	Emhætte	47
6.2.8	Anbefalinger – ventilation.....	48
7	Sommertemperatur i kritiske rum	50
7.1.1	Anbefalinger – Sommertemperatur i kritiske rum.....	50
8	Opvarmning	52
8.1	<i>Beregning af dimensionerende effekt</i>	52
8.1.1	Anbefalinger – installeret effekt	58
8.2	<i>Opvarmningseffekt for specifikke rum</i>	58
8.2.1	Rumtemperatur – betydning af manglende effekt	58
8.2.2	Anbefalinger – effekt i kritiske rum	59
8.3	<i>Termisk differentiering</i>	60
8.3.1	Anbefalinger – effekt og termisk differentiering	60
8.4	<i>Installationer til opvarmning</i>	61
8.4.1	Varmepumper	61
8.4.2	Boligventilationsvarmepumper.....	61
8.4.3	Bioovn	63
8.4.4	Gulvvarme.....	65
8.5	<i>Anden varmeafgivelse</i>	66
8.5.1	Anbefalinger – installationer.....	66
9	Køling	68
9.1	<i>Køling af ventilationsluft via jorden</i>	68
9.1.1	Frikøling via gulv og loft	71
9.1.2	Anbefalinger - køling.....	72
10	Projektgennemførelse	73
10.1.1	Anbefalinger -Projektgennemførelse.....	73
11	Fremtiden	75
11.1	<i>Smartgrid og udnyttelse af lavtarif el</i>	75
11.1.1	Anbefalinger - Smart grid og synergier	75
Litteratur	77

Bilag 1 Passivhuse.....	80
Bilag 2 Simulering Thyholm hus.....	83
Bilag 3A Kritisk opvarmning.....	84
Bilag 3B Temperaturdifferentiering	88
Bilag 4 Simulering gulvkøling	94
Bilag 5 Udnyttelse af solindfald til opvarmning	97
Bilag 6 Målinger på kompaktanlæg	112
Bilag 7 Luftkvalitet.....	116
Bilag 8 Anvendelse af ventilations-varmepumpe og luftbåren opvarmning i Danmark.....	118
Bilag 9 Kommunikation mellem installationer, energivisualisering og brugerbetjening	120

1 Indledning

I dette katalog angives løsninger på problemer, som har været omtalt i forbindelse med superlavenergihuses indeklima og energiforbrug.

Der er taget udgangspunkt i et internt problemkatalog, som er udarbejdet i projektet, og som bl.a. bygger på referencerne [1]-[7].

Det er rapportens formål hovedsageligt at lægge vægt på, dels de vanskeligheder der er ved at designe huse til det meget lave energibehov, og dels de forhold som projektgruppen har erfaret kan give anledning til problemer i allerede opført lavenergibyggeri. Det vil sige forhold, hvor husene ikke har opført sig som forventet i design og beregningsfasen (f. eks. dårligt indeklima eller for stort energiforbrug).

Rapporten forsøger at give praktiske anvisninger på nogle af de problemer man kan komme ud for specielt ved superlavenergihuse. Rapporten er således ikke en generel anvisning i design af huse, ligesom rapporten kun i mindre omfang refererer til bygningslovgivningen og Bygningsreglementets bestemmelser [8]. Disse samt tilgrundliggende standarder og normer forudsættes bekendt på anden vis.

Rapporten er udarbejdet under projektet: "Løsninger til optimal klimatisering af superlavenergihuse – Vi skal gøre det rigtigt denne gang!" finansieret af PSO -2012, journalnr.: 464-11, projekt nr.: 344-65

Følgende har deltaget i projektet:

Klaus Ellehauge (projektleder)	Ekolab
Troels Kildemoes	Ekolab
Mike Vinge Madsen	Ekolab
Tine Steen Larsen	UCN act2learn
Søren Riis Dietz	Bjerg Arkitektur
Henry Yndgaard Sørensen	Nilan
Dorthe Gårdbo-Pedersen	Develco Products
Poul Møller Eriksen	Develco Products

2 Hvad er et superlavenergihus?

Superlavenergihuse bruges i denne rapport om huse, som benytter de passive eller aktive virkemidler, der skal til for at give husene et lavt energibehov f.eks. på niveau med de tyske passivhuse (se bilag 1).

I det danske bygningsreglement opfyldes lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020 dels ved opfyldelse af energirammen, og dels ved at opfylde skærpede krav til varmetransmissionsværdi for klimaskærmen¹. Ved gradvis at skærpe kravene til varmetransmissionsværdi sikres mod nybyggeri, som alene opfylder energikravet via eksempelvis solcelleanlæg.

Denne rapport omhandler løsninger og problemer med henblik på at opnå lave energibehov på niveau med dem, der gælder for tyske passivhuse, og som vil være fornuftige at stræbe efter ved opnåelse af den danske lavenergiklasse 2015 og bygningsklasse 2020. Dette betyder, at rapportens råd og anbefalinger primært finder anvendelse ved byggerier, der opnår høj energieffektivitet gennem klimaskærm, vinduer og installationer. Andre bygninger, der primært ved brug af aktive teknologier som solceller, solvarme, varmepumper mv. opnår et lavt energiforbrug, ligger som udgangspunkt uden for denne rapport.

¹ Transmissionskravet for lavenergiklasse 2015 er 4 W/m² for et 1-plan parcelhus; i klasse 2020 skærpes kravet til 3.7 W/m² i klasse 2020.

3 Lavenergihusets brug

Som beskrevet i de efterfølgende kapitler medfører superlavenergi huse nye løsninger. Det gælder både indenfor husets design og dets installationer, men de lave energiforbrug opnås kun, hvis huset betjenes som forudsat af designeren.

Det er derfor en udfordring, at huset og dets betjening udformes således, at det er enkelt og ligetil at forstå af beboerne, og således at det kun i ringe grad påfører beboerne restriktioner i forhold til deres ønskede brug af huset, og i forhold til hvad de har været vant til tidligere.

3.1.1 Brugerens forståelse af huset

Erfaringerne viser, at en del indeklimaproblemer kan tilskrives forkert betjening eller indstilling af huset og dets installationer.

Dels kan der hos brugeren mangle en forståelse af selve husets funktion, dels kan det være vanskeligt og indviklet at betjene installationer, som man ikke har erfaringer med fra tidligere, og dels kan brugen af husets installationer være planlagt på en måde, som ikke harmonerer med beboerens ønsker eller behov.

I huse med en væsentlig opvarmning via ventilationsluften kan der måske mangle forståelse for, at hvis man skruer ned for ventilationen (f.eks. for at spare på el-forbruget eller for at undgå støj), vil man samtidigt skruer ned for varmetilførslen.

F.eks. støder man ofte på forvirring omkring brug af vinduer og samspil med ventilationsanlæg i et superlavenergi hus. Hvis der varmeveksles i ventilationsanlægget om sommeren, kan der blive for varmt, og det er vigtigt at beboeren forstår, at ventilationsanlægget skal sættes til by-pass funktion. Eller hvis dette ikke er muligt, at det er bedre at slukke ventilationen og få den nødvendige ventilation gennem vinduer (-hvis dette er muligt).

Nogle huse benytter sig af bevægelig solafskærmning, og det er nok et spørgsmål, i hvor høj grad dette kan anbefales især i beboelseshuse. Hvis der er tale om automatisk styret solafskærmning kan nogle beboere slå automatikken fra, da de oplever det forstyrrende, hvis solafskærmningen bevæger sig for meget op og ned. I nogle tilfælde ønsker beboeren at beholde solafskærmningen på som afskærmning mod indblik fra naboer, og i andre tilfælde ønsker beboeren at bevare udsigten uanset solindfald eller ej.

Dette kan føre til at beboeren dels afkobler den automatiske betjening, eller dels blot bruger afskærmningen ud fra andre kriterier end indeklimaet, hvilket så betyder at huset ikke opfører sig som forudsat.

Det er heller ikke altid, at der hos beboeren er en klar opfattelse af det enkle forhold at åbne vinduer fører til et forøget energiforbrug om vinteren, medens åbne vinduer og naturlig ventilation er med til at undgå overophedning om sommeren (- bortset fra i hede bølger hvor lukkede vinduer kan være med til at holde varmen ude).

Endvidere kan vanerne fra andre huse, om at der skal soves for åbne vinduer om vinteren, måske i lige så høj grad skyldes nødvendigheden af frisk luft frem for ønsket om kulde i soveværelset.

Det er vigtigt at beboerne forstår, at et konstant koldt soveværelse om vinteren dels kan gøre det vanskeligt at opvarme resten af huset og dels forøger energiforbruget. En sådan forståelse kan måske motivere beboeren til at undersøge med sig selv, om frisklufttilførslen

gennem ventilationsanlægget sikrer den ønskede sovekomfort på trods af tidligere vaner om, at der skal være koldt.

3.1.2 Brugerbetjening

Ved planlægningen af husets brug og installationer er det derfor vigtigt at funktionerne forstås af beboeren.

Dette kan til dels sikres ved godt instruktionsmateriale, men det er også vigtigt at betjeningen indrettes, så den er i overensstemmelse med brugernes intuitive forståelse.

Endvidere er det vigtigt, at husets funktion understøtter den måde beboeren gerne vil bruge huset frem for at modarbejde det.

Principielt er der ikke noget i vejen for automatiske funktioner og herunder automatisk samspil af installationer. Tværtimod kan automatisk samspil og enkel central betjening af en række forskellige installationer (som f.eks. varme/ventilationsanlæg og naturlig ventilation) være enklere og bedre at forstå for brugeren end betjening af hver komponent for sig.

Der er derfor ingen tvivl om, at udviklingen går mod bedre integration og samspil af husets forskellige funktioner og komponenter.

Imidlertid er virkeligheden i dag, at der benyttes en del forskellige kommunikationssprog ved de komponenter med kommunikation, som der allerede er på markedet. I bilag 9 er dette omtalt, samt hvilke løsninger der tegner sig på området.

Samspillet mellem bruger og installationer kan endvidere benyttes til at opnå yderligere energibesparelser. Der findes, således som beskrevet i bilag 9, løsninger hvor brugeren f.eks. via internettet kan aflæse forbrug i sit hjem og således sætte ind overfor abnorme forbrug, eller hvis man har højere forbrug end tilsvarende andre boliger.

Et andet eksempel kan være at der sendes en sms til brugeren, hvis han glemmer at slukke for et apparat. Dette kan ændre brugerens adfærd på sigt, men må ikke opfattes som et irritationsmoment.

3.1.3 anbefalinger – Husets betjening

- Overvej nøje, at husets funktion ikke kolliderer med beboernes ønsker. En solafskærmning, der lukker for en god udsigt eller åbner op for naboindsigt, risikerer ikke at blive brugt som forudset.
- Indfør automatisk styring, hvor det kan forenkle brugerens betjening samtidigt med at den understøtter brugernes ønske. F. eks. et ønske om højere eller lavere temperatur i et rum eller forøget ventilation i en periode.
- Vær opmærksom på, at betjening og styring ikke kolliderer med beboernes intuitive forståelse af systemet.
- Sørg for grundigt og pædagogisk instruktionsmateriale vedrørende husets funktion og betjening. Herunder at beboeren får en forståelse af, hvad der er vigtigt og mindre vigtigt i forhold til energiforbruget og i forhold til indeklimaet.
- Sørg for at nødvendig vedligehold af installationer holdes på et minimum (f.eks. udskiftning af luftfiltre og omskiftning af ventilation fra sommer til vinter m.m.), samt er

nøje forklaret og nemt at komme til.

- Indfør gerne visning af forskellige energiforbrug og forhold i huset, som kan anspore beboeren til at forbedre sine vaner i forhold til at opnå yderligere energibesparelser.
-

4 Design og beregning af klimaskærm

De fleste som har arbejdet med design og beregning af superlavenergihuse har oplevet, at ved det første arkitektoniske udkast har det beregnede energibehov været en del højere end tiltænkt. I dette kapitel medtages en del af de forhold, som er vigtige i forhold til at designe huset, så det kan opnå lave energibehov.

4.1 Valg af beregningsprogram

Indledningsvis er det naturligvis vigtigt at beslutte hvilket beregningsprogram man vil benytte.

I forbindelse med den danske energimærkning benyttes Be10 og i forbindelse med passivhuscertificering benyttes PHPP². Selvom passivhuscertificering ikke er så udbredt i Danmark omtales PHPP i denne rapport, da det er udviklet til specielt at regne på huse med lavt energiforbrug og da det er godt valideret i udlandet. Begge programmer regner på månedlige energibalancer, men i forbindelse med vurdering af indeklima er det ofte nødvendigt med timesimuleringer f.eks. med Bsim. Dog er både Be10 og PHPP begge udbygget til at regne simplificeret på kritiske rum (se nærmere om dette i afsnit 7.2)

Årligt energibehov

I forhold til at bestemme det årlige energibehov er det erfaringen, at de 3 programmer regner nogenlunde ens, hvis der benyttes de samme forudsætninger.

Imidlertid benyttes der ikke de samme forudsætninger ved dansk energimærkning og ved passivhuscertificering³. En nærmere redegørelse for dette findes i [9] og [10].

I Be10 regnes der således på en væsentligt større gratisvarme fra personer og apparater end i PHPP, og for superlavenergihuse vurderes det, at Be10 ofte giver for lave rumvarmeforbrug, typisk 10-30 %.

Et andet forhold er, at PHPP ofte regner på en mindre ventilationsmængde, idet den ventilationsmængde, der er fastsat i det danske bygningsreglement, ofte giver for tørt indeklima i vinterperioden.

² PHPP er udviklet til superlavenergihuse som passivhuse. Programmet er Excel-baseret og relativt hurtigt at bruge. Programmet er valideret gennem en lang række måleprojekter og giver ganske præcise estimater for både rumvarmeforbrug og dimensionerende effektforbrug. I forhold til Be10/DS418 medtager PHPP bl.a. betydningen af solindfald, gratisvarme og tidskonstant for huset ved beregning af effektbehovet. Programmet kan som Be10 bruges til at give indikationer om indeklima/temperaturforhold, men kan ikke bruges til detalanalyse af indeklima for specifikke rum.

Der findes en gratis simplificeret version af PHPP (PHVP) som kan benyttes i planlægningsfasen. Ved brug af PHVP anbefales det at anvende en sikkerhed på mindst 20-30 % på det beregnede rumvarmebehov for at sandsynliggøre at en bygning kan opfylde kravene til et passivhus.

³ Et kendt forhold er at man ikke umiddelbart kan sammenligne det udregnede energibehov pr. m² i Be10 og PHPP da Be10 regner på udvendigt opvarmet bruttoetageareal medens PHPP regner på indvendigt opvarmet nytteareal.

Effektbehov

Derimod regner programmerne, selv under samme forudsætninger, forskelligt på effektbehov. En sammenligning er givet i kapitel 7.1. Typisk overestimerer Be10 det dimensionerende effektbehov for parcelhuse med 50 -70 %, medens PHPP snarere underestimerer eller regner lige til grænsen.

Indeklimasimulering

Bsim bruges til detaljerede studier af blandt andet indeklimastudier, effektforbrug i kritiske rum mv. men giver også præcise estimater for både rumvarmeforbrug og dimensionerende effektforbrug, hvis der benyttes de rigtige forudsætninger. Det er tidskrævende at bruge, og kræver stor teknisk indsigt.

Der findes alternative programmer til brug for simulering af energi, temperatur, dagslys mv. f.eks. IESVE.

4.1.1 Anbefalinger - beregningsprogram

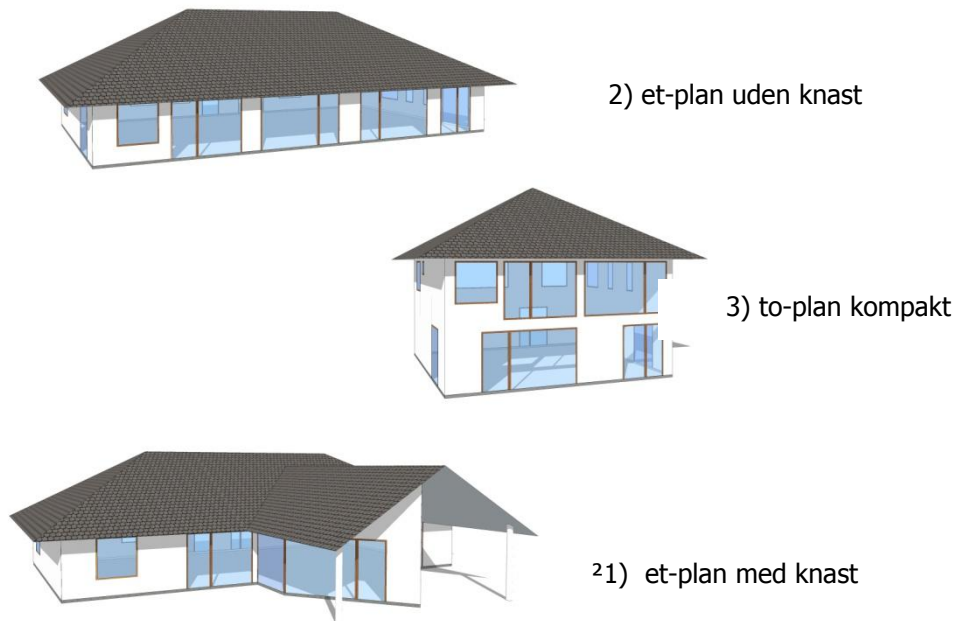
- For dansk energimærkning skal beregningen udføres i Be10.
- Hvis man arbejder i Be10, skal man imidlertid være opmærksom på, at energimærkningsforudsætningerne f.eks. vedr. gratisvarme, indetemperatur m.m. ofte vil føre til, at det beregnede energibehov er for lavt, i forhold til det der kan forventes.
- For vurdering af indeklimaet er det erfaringerne, at indeklimasimuleringer i Bsim bliver mere og mere nødvendige. Hvis det vurderes at forholdene ikke er kritiske, f.eks. hvis der er mulighed for at etablere stor naturlig ventilation eller efterfølgende god solafskærmning, kan der arbejdes i Be10 eller PHPP.
- Bemærk dog, at ved klasse 2015 og 2020 skal indeklimaforhold dokumenteres. For boliger kan det ske ved simplificeret beregning af kritiske rum med Be10, men ellers skal det termiske indeklima simuleres f.eks. med Be10.
- Hvis der er krav om passivhuscertificering anbefales det at arbejde i PHPP, og der må så overføres data fra PHPP til Be10 i forbindelse med dansk energimærkning⁴.
- Man kan overveje at arbejde i PHPP, selvom der ikke er krav om passivhuscertificering ud fra den betragtning, at PHPP er valideret i forhold til lavenergihuse samt er målrettet lavenergihuse. PHPP har flere faciliteter end Be10 f.eks. til at bestemme naturlig sommerventilation, til at bestemme varmetilskud fra apparater m.m.

⁴ Til ældre versioner af PHPP har Ekolab udviklet et program der kan overføre data fra PHPP til Be10. Se endvidere [1]

4.2 Kompakt design

Husets transmissionstab er et produkt af husets overflade areal og konstruktionernes u-værdier. Det er således lige så vigtigt at nedbringe overfladearealet som at nedbringe u-værdierne.

I nedenstående eksempel er angivet overflade areal og rumvarmebehov pr. m² etageareal for et hus på 180 m² i 3 udgaver, idet der er benyttet samme værdier for vægge, vinduer ventilation m.m.



Figur 1 Lavenergihus på 180 m² i 3 udgaver

Der er taget udgangspunkt i et hus, der er udformet ligesom parcelhuset i eksemplet, der medfølger Be10. Men huset er omdannet til et lavenergihus ved at indføre mekanisk ventilation med varmegenvinding og ved at forbedre isolation og vinduer.

I nr. 2 udformning af huset er knasten nedlagt, således at huset bliver regulært rektangulært. Udover at husets vægareal herved er blevet mindre, er der sket det, at de to vinduer i knasten orienteret henholdsvis SØ og SV nu er orienteret mod syd, og at der ikke optræder skygger som følge knasten.

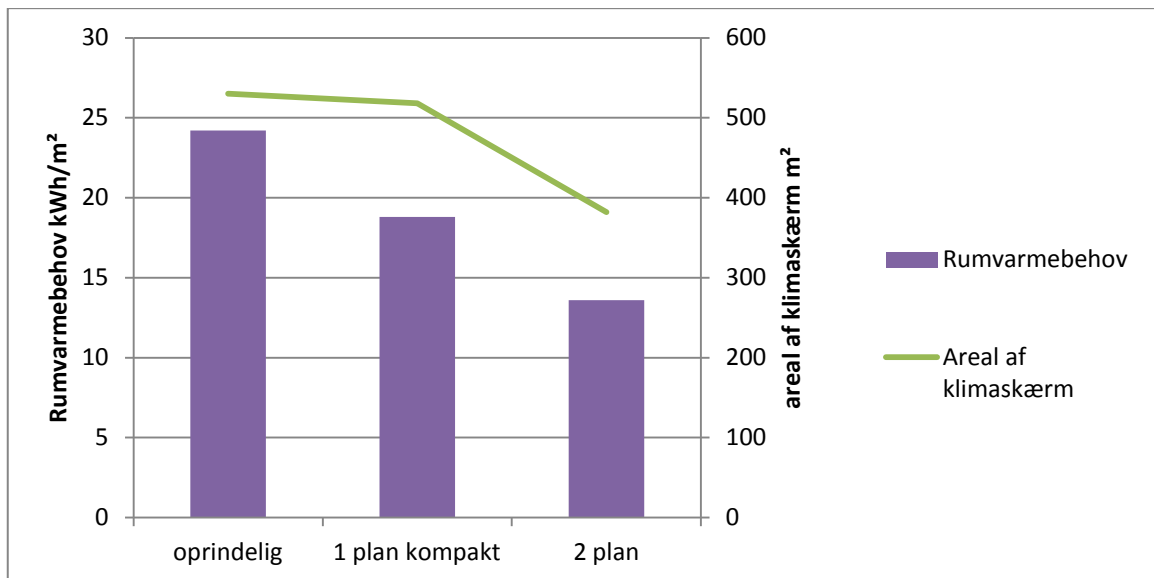
Som det ses nedsættes rumvarmebehovet allerede her.

I nr. 3 udformning er huset gjort 2 etages, idet husets bredde er bibeholdt i forhold til eksempel 2.

Herved nedsættes tag og gulvareal, medens vægarealet ikke vokser tilsvarende, og rumvarmebehovet nedsættes yderligere.

Som det ses af Figur 2 nedsættes rumvarmebehovet i dette eksempel næsten med 50 % ved at gå fra det oprindelige til det mest kompakte design⁵.

⁵ I sidstnævnte tilfælde hvor huset går fra 1 plan til 2 plan skal man dog være opmærksom på, at hvis huset ønskes beregnet som et passivhus, vil det areal der skal divideres med i de to tilfælde ikke være ens, idet arealet under trappen kun kan delvis medregnes for højder



Figur 2 Energibehov ved 3 udformninger af 180 m² lavenergi huse

Figur 3 illustrerer for et 150 m² parcelhus virkningen på overfladeareal for typiske husopbygninger.

I tabellen ses, hvor stor en andel af klimaskærmen de forskellige konstruktioner udgør afhængigt af husets facon

150 m ² etageareal	1-plans loft til kip	1-plans vandret loft	1½-plans	2-plan
Tag/loft	219 m ² ~ 43 %	150 m ² ~ 38 %	125 m ² ~ 39 %	75 m ² ~ 26 %
Facade - vinduer/døre	140 m ² ~ 28 %	90 m ² ~ 24 %	110 m ² ~ 34 %	137 m ² ~ 48 %
Terrændæk	150 m ² ~ 29 %	150 m ² ~ 38 %	88 m ² ~ 27 %	75 m ² ~ 26 %
Klimaskærm i alt	509 m ²	390 m ²	323 m ²	287 m ²

Figur 3 Kompakthed og overfladeareal [11]

4.2.1 anbefalinger – kompakt design

- Kompakt design er meget væsentligt for at opnå lave energiforbrug. Dermed være ikke sagt, at lavenergi huse ikke kan opføres med større arkitektonisk frihed. Det større varmetab som følge af den forøgede overflade må imidlertid kompenseres med andre tiltag.

over 1 m hvis det er udnyttet, og idet trappehullet på 1. sal ikke medregnes, som det gør i BR10

4.3 Termisk masse

Termisk masse medvirker til at dæmpe udsving i rumtemperaturen.

Varme fra solindfaldet om dagen kan således lagres i konstruktionen og afgives om aftenen. På den måde kan husets energibehov reduceres ligesom dæmpning af temperatursvingningerne nedsætter husets behov for køling.

Det er imidlertid vigtigt, at termisk masse indarbejdes med omtanke.

Hvis der i varme perioder f.eks. som følge af mangelfuld solafskærmning og for lille ventilation om dagen lagres mere varme, end der kan afgives om natten vil huset uanset termisk masse opbygge større og større overtemperatur. Ved bygninger med stor termisk masse vil det endvidere være vanskeligere og tage længere tid at få kølet huset ned.

En anden effekt af for meget termisk masse er at genopvarmningstiden forlænges.

Såfremt opvarmningsaggregatet kun er dimensioneret til grænsen som f.eks. ved superlavenergihuse opvarmet med kompaktaggregat kan det være vanskeligt at holde den ønskede rumtemperatur i perioder, hvor der ikke er gratisvarmetilførelse, f.eks. når beboerne er på ferie, og det kan tage lang tid at opnå den ønskede temperatur igen.

Det kan derfor være nødvendigt at tilføre ekstra varme fra andre varmekilder f.eks. en elblæser eller en ovn.

4.3.1 anbefalinger – termisk masse

- Termisk masse kan udjævne temperatursvingninger og nedsætte energibehovet en smule.
 - Termisk masse afhjælper ikke problemer i huse, hvor der tilføres for meget energi (solindfald) i forhold til hvad der kan bortskaffes (natventilation).
 - Overophedning skal løses ved solafskærmning og ventilation og ikke ved termisk masse.
 - Vær opmærksom på at husets genopvarmningstid er længere ved større termisk masse.
-

4.4 Isolering

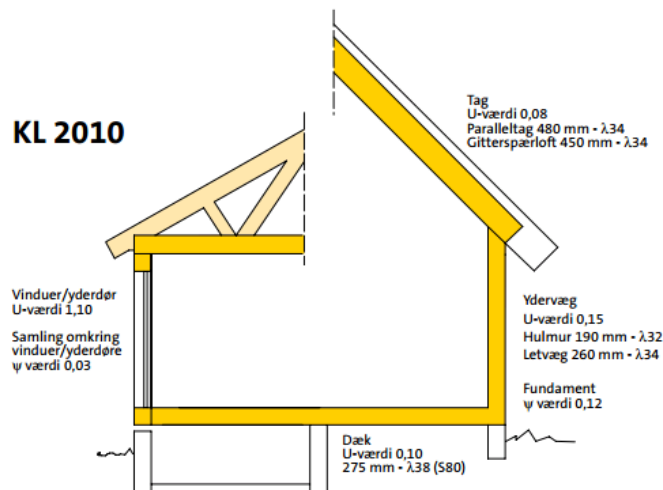
4.4.1 Isoleringstykkelser

Et superlavenergi hus kræver god isolering og lave u-værdier.

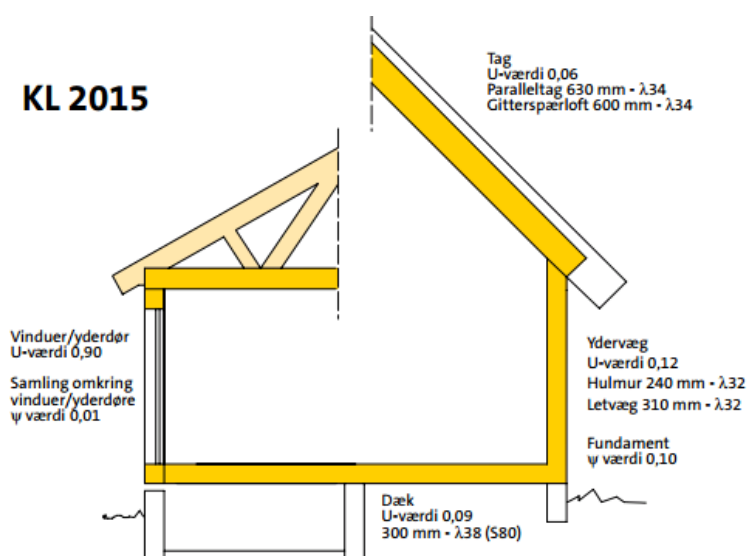
Med de gængse isoleringsmaterialer kræves der ofte isoleringstykkelser på 300- 450 mm for at opnå de nødvendige u-værdier.

Den kraftige isolering betyder samtidigt at der opnås et godt termisk indeklima uden kuldestråling og kuldeetræk ved vinduer.

Figur 4 og Figur 5 viser typiske U-værdier og isoleringstykkelser for henholdsvis 2010 og 2015 byggeri baseret på mineraluld i bedste lambda-klasse. U-værdier for klasse 2020 vil blive marginal bedre og nærme sig værdier benyttet i danske passivhuse, hvor alle ikke transparente flader som væg, loft og terrændæk typisk isoleres til $U < 0.1 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$.



Figur 4 Typisk isolering for bygningsklasse 2010 [12]



Figur 5 Typisk isolering for bygningsklasse 2015 [12]

De stigende isoleringstykkelser særligt i ydervægge, udgør stadig en barriere i superlavenergibyggeri både mht. beskatning, effektivt boligareal samt lysindfald.

- Byggeri beskattes på nuværende tidspunkt efter bruttoetagearealet, medens det kun er det indvendige areal der reelt kommer beboerne til gode. Incitamentet til at isolere ydervæggen ekstra er derfor mindre.
- Tykke ydervægge giver arkitektoniske udfordringer, idet de helst ikke skal skygge for udsyn gennem vinduerne, hindre godt dagslys i at komme ind i rummet og give huset karakter af indelukkethed. Der er imidlertid mange eksempler på vellykket arkitektonisk udformning af bygninger med tykke ydervægge, eksempelvis i Komforthusprojektet [13]. Især fremkomsten af vinduer med ekstremt lave U-værdier har muliggjort brug af større vinduesarealer (uden forøget varmetab), hvilket kompenserer for den større vægtykkelse.

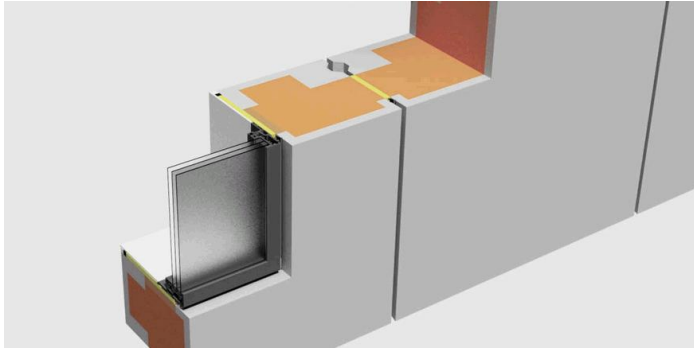
4.4.2 Nye isoleringsprodukter

Nye isoleringsprodukter med markant lavere lambda-værdi end for klassiske isoleringsprodukter som mineraluld, vinder kraftigt frem i udlandet og vil uden tvivl vinde stigende indpas i dansk byggeri i de kommende år. Disse produkter reducerer isoleringstykkelserne betragteligt og vil eliminere diskussioner om store vægtykkelser.

I nedenstående eksempler benyttes PUR-skum.



Figur 6 britiske Kingspan markedsfører PUR-isolering med deklareret lambda-værdi på 0.021

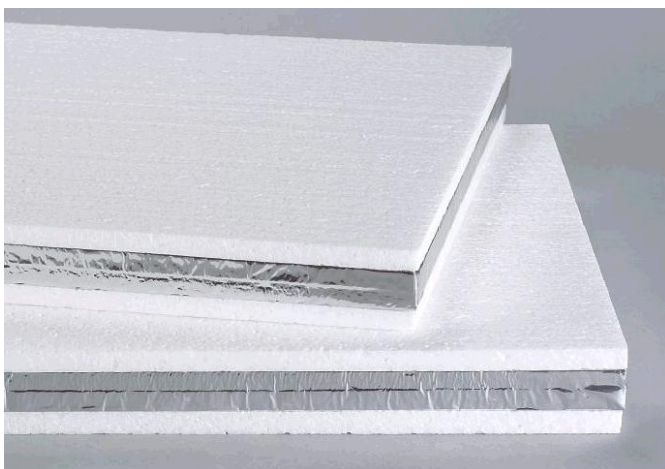


Figur 7 Det danske firma Connovate, har for nyligt lanceret tynde præfab-byggeelementer til superlavenergi-byggeri baseret på højstyrkebeton og PUR-isolering



Figur 8 Testhuset "Villa Vid" i Århus (klasse 2020) er opført med præfabrikerede vægelementer fra Connovate med U-værdi $0.083 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ – vægtykkelsen er 35 cm. sandwich elementbaseret på højstyrkebeton og PUR-skum fra det danske firma Connovate

Vacuum-isolering vinder også frem, men bruges dog typisk kun til demonstrationsprojekter og samt konstruktionsdetaljer, hvor pladshensyn er meget afgørende (Figur 9).



Figur 9 Vacuum-paneler (beskyttet af polystyren) fra det danske firma Barsmark [16]

4.4.3 Henvisninger

- [11] "KomforthusBogen" fokuserer på superlavenergi-byggeri, stort udvalg af konstruktionsløsninger
 - [17] "Den lille lune" rummer mange konstruktionsdetaljer
 - [14] Kingspan isolering
 - [15] Præfab elementer i højstyrkebeton med PUR-isolering
 - [16] Vacuum isolering
-
-

4.4.4 anbefalinger - isolering

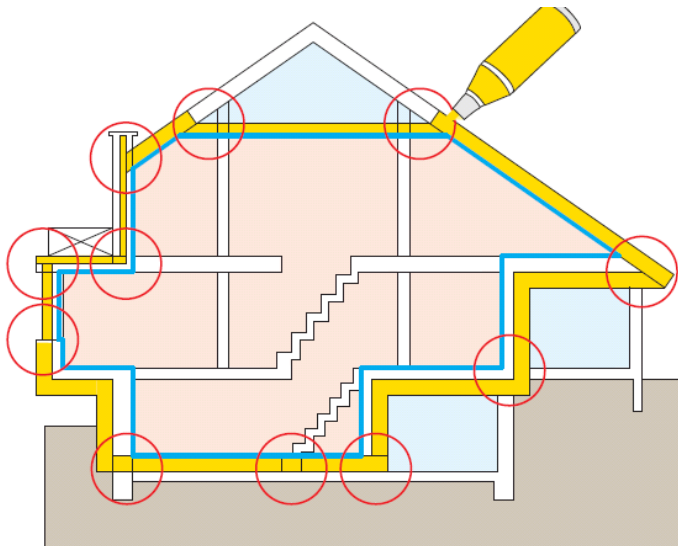
- Tykke vægge kan udnyttes arkitektonisk, f.eks. til siddevinduesnicher.
 - Ved tykke vægge giver færre større vinduer mere lys i rummet end flere små vinduer.
 - Den samlede vægtykkelse kan reduceres ved at benytte lette konstruktioner.
 - Vægtykkelsen kan reduceres ved at benytte nye mere effektive isoleringsmaterialer end den traditionelle mineraluld (men indtil videre er de nye materialer ofte dyrere)
-

4.5 Kuldebroer

Når isoleringsstandard og vindueskvalitet forbedres kommer kuldebroerne til at fylde forholdsvis meget i energiregnskabet, medmindre der også gøres meget for at reducere disse.

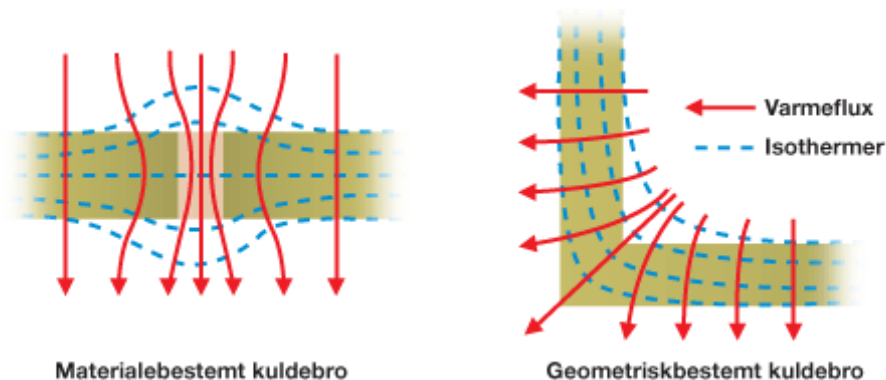
I parcelhuseksemplet i afsnit 4.2 står kuldebroerne for 20 % af rumvarmebehovet, hvis huset på anden vis bringes ned på lavenerginiveau.

Med større fokus på kuldebroerne, både materialebestemte og geometriske (se Figur 11), vil der være større behov for at granske og analysere kuldebroerne. Således er der også behov for at beregne dem nøjagtigt ved hjælp af flerdimensionelle beregninger som f.eks. Therm og HEAT, frem for at de skønnes ud fra tabeller eller lignende. Therm er et gratis program til stationær beregning – primært til konstruktionsdetaljer over jordniveau som indbygningdetaljer for vinduer, væghjørner mv. HEAT kan udover "stationært" også beregne dynamisk og derfor simulere temperatur over året for eksempel i konstruktioner i jorden. Dette benyttes blandt andet til beregning af fundamenter.



Figur 10 Eksempler på kuldebroer i byggeri [13]

I forhold til at opnå energimærkningen eller f.eks. passivhuskriteriet skal opmærksomheden henledes på, at det både i forhold til den danske energimærkning og i forhold til passivhuskriterierne er tilladt at fradrage negative linjetab fra hushjørner. Negative linjetab ved hjørner er beskrevet i DS418 annek M.



Figur 11 Typer af kuldebroer [18]

Bl. a. KomfortHus-projektet [13] har bidraget med et stort antal konstruktionsdetaljer med fokus på minimering af kuldebroer for eksempel omkring fundamentsdetaljer, samling mellem væg og loft, vinduesindbygninger mv. (se Figur 10 og Figur 12).



Figur 12 Fundamentsdetalje for fuldmuret passivhus i Komforthus-projektet - Stenagervænget 12 ($\Psi_{\text{Fundament}} = 0.08 \text{ W/m}^2\text{K}$, linitab konverteret til udvendige mål jf. passivhus-standard $\Psi_{\text{Fundament}} = 0.0 \text{ W/m}^2\text{K}$). [13]

4.5.1 Indbygning af vinduer

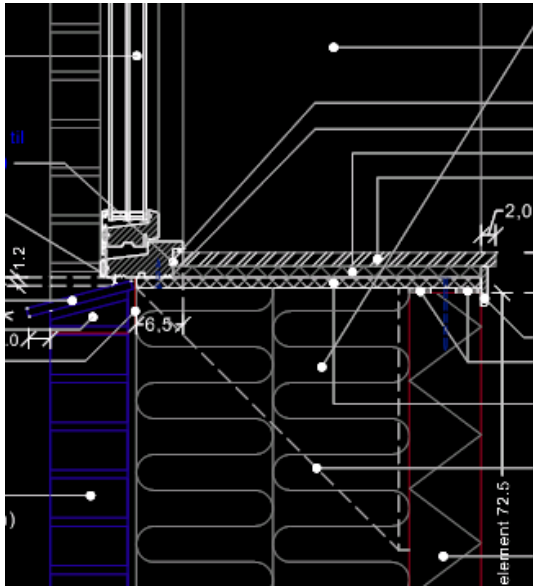
Indbygning af vinduespartier er et centralt punkt indenfor superlavenergibyggeri. Da en stor del af de første byggerier har benyttet sig af vinduer fra udlandet, primært Tyskland og Østrig, og disse er kendetegnende ved dels at lukke indad og dels kraftige karme, har der i mange projekter været fokus på at "mildne" udtrykket af de tykke karme ved at indbygge karmen bag formuren. Udover at mildne udtrykket er indbygning bag formur varmeteknisk god, idet karmen indbygges i isoleringslaget. Ulempen er at vinduet vanskeligt kan installeres og udskiftes udefra. Et eksempel på en indbygning bag formur i tungt byggeri ses på Figur 13.



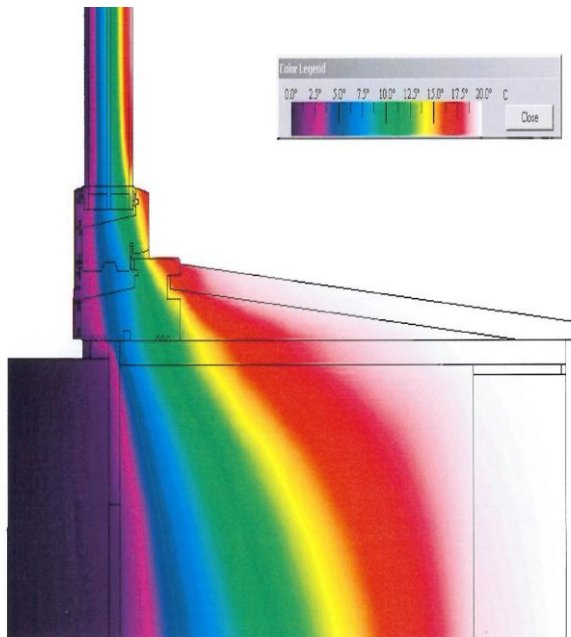
Figur 13 Indbygning af indadgående vindue bag formur – brug af purenit – Stenagervænget 28 i Komforthus-projektet. [13]

I kraft af at danske vinduesproducenter igen er blevet godt repræsenteret indenfor højisolerede vinduer, udvikles der løbende gode indbygningsløsninger til danske udadgående vinduer. Et eksempel på en indbygning af et dansk vindue (Rationel) ses på Figur 14. False er isolerede via dels purenit, dels via polystyren samt vægisolering i hulmurens fulde bredde.

Det samlede linietaf for vinduets indbygning er: $\Psi_{Indbygning} = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$. En Therm beregning af vinduet ses på Figur 15.



Figur 14 Indbygning af udadgående vindue – brug af purenit i fals. $\Psi_{Indbygning} = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figur 15 Therm beregning af løsning fra Figur 14. $\Psi_{Indbygning} = 0.02 \text{ W/m}^2\text{K}$

4.5.2 Produkter

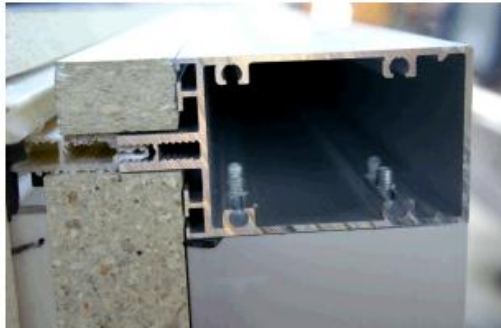
“Værktøjskassen” til minimering af kuldebroer i samlinger mv. øges konstant med nye produkter. I det følgende nævnes eksempler på nye produkter:

- Purenit (fiberprodukt) – har markant bedre isoleringsevne end træ; benyttes i fals mv. $\lambda \approx 0.06\text{-}0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

- PT-200 er en vandresistent komposit plade fremstillet på basis af genvundet polyurethan. Den kan med fordel anvendes alle steder, hvor der er problemer med fugt, vægt, kuldebroer eller formstabilitet.
- Vacuum-paneler. $\lambda \approx 0.007 \text{ W/m}^2\text{K}$ Især relevant ved konstruktioner med meget ringe plads, eksempelvis vindue/dørsamlinger
- Beslag og profiler i komposit materiale med lav varmeledningsevne



Figur 16 Purenit med $\lambda \approx 0.06-0.1 \text{ W/m}^2\text{K}$ [19]



PT-200 i et SAPA aluminium profil.

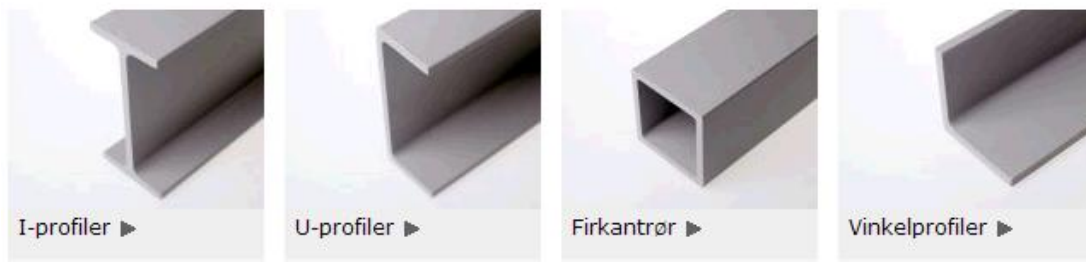


PT-200 i et facadevindue.



PT-200 brugt som termostop i fundamentet under udvendig dør.

Figur 17 PT-200 med $\lambda \approx 0.076 \text{ W/m}^2\text{K}$



Figur 18 Beslag og profiler i kompositmateriale fra den danske producent Fiberline Composites [20]

4.5.3 Henvisninger

For konstruktionsløsninger til superlavenergibyggeri kan der for eksempel henvises til:

- [11] Komforthusbogen fokuserer på superlavenergibyggeri, stort fokus på minimering af kuldebroer
- [17] Den lille lune rummer mange konstruktionsdetaljer
- [21] weber.dk har mange forslag til fundamentsløsninger med lavt linietaf

For beregningsværktøjer henvises til:

- [22] Therm (2-D beregninger, gratis program):
 - [23] HEAT 2 og HEAT 3 (værktøj til beregninger af 2- og 3 dimensionale kuldebroer)
-

4.5.4 anbefalinger - kuldebroer

- I princippet tegnes huset således, at der i alle tænkelige snit overalt er ubrudt isolering mellem ude og inde.
 - Vær opmærksom på vinduets indbygning.
 - Lær af allerede udformede konstruktionsdetaljer.
 - Hvis man er i tvivl må kuldebroen beregnes med et flerdimensionelt beregningsprogram som f.eks. Therm eller HEAT
-

5 Vinduer og udnyttelse af solindfald

5.1 Vinduesdisponering

I ethvert lavenergihus har vinduerne stor betydning for indeklimaet og for energiforbruget.

I dag er der fremkommet nye effektive lavenergivinduer, som ved sydvendte orienteringer giver energitilskud til huset, men nu som tidligere er det stadig en udfordring for mange, hvordan huset designes med vinduer, så der er et lavt energiforbrug, et behageligt indeklima og gode dagslysforhold.

Udnyttelsen af passiv solvarme har tidligere været opfattet som en speciel disciplin, som har givet anledning til huse med store sydvendte glasfacader og et håbløst overophedet indeklima. Omvendt har tidligere tiders dårlige vinduer med dårlige u-værdier ført til at lavenergihuse var huse med så små vinduer, at de havde dårlige dagslysforhold og dårligt udsyn.

Energiforbruget, indeklimaet og dagslysforholdene er således et samspil mellem vinduernes størrelse og placering, solafskærmningen og vinduernes egenskaber i forhold til u-værdier, lystransmittans. Ændring af en enkelt egenskab i løbet af projektet vil således influere på andre egenskaber. F.eks. kan et større vinduesareal mod syd nedsætte det årlige energiforbrug, men må kompenseres med bedre solafskærmning, så der ikke bliver for varmt om sommeren.

På side 28 er givet anbefalinger vedr. valg af vinduesarealer m.m.

5.1.1 Vinduets energitilskud (Eref)

Vinduer med gode energimæssige egenskaber er afgørende for opnåelse af henholdsvis lavt rumvarmeforbrug og god termisk komfort. I Danmark benyttes Eref-værdien for klassificering af vinduets energimæssige balance i fyringssæsonen. En positiv Eref-værdi betyder, at der under givne standardvilkår lukkes mere varme ind end ud, dvs. vinduet giver et energitilskud til boligens opvarmning.⁶

Tabel 1 viser klassificeringen af vinduer efter *Eref-værdi*. I superlavenergihuse benyttes i udpræget grad A-mærkede vinduer.

⁶ Energitilskuddet for vinduer og døre i et referencehus kan bestemmes ud fra følgende formel:

$$E_{\text{ref}} = 196,4 \cdot g_g \cdot f_f - 90,36 \cdot U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}, \text{ hvor}$$

g_g er den totale solenergitransmittans for ruden

f_f er glasandelen for vinduet

U_w er varmetransmissionskoefficienten for vinduet (og ikke kun ruden)

E_{ref} beregnes altid for et standardiseret vinduesstørrelse (1,23 x 1,48 m), mens

E_w udregnes for den aktuelle størrelse af vindue eller dør.

Energiklasse	Energitilskud E_{ref} , kWh/m ² , jf. pkt. 4
A	$0 \leq E_{ref}$
B	$-17 \leq E_{ref} < 0$
C	$-33 \leq E_{ref} < -17$
D	$-55 \leq E_{ref} < -33$
E	$-60 \leq E_{ref} < -55$
F	$E_{ref} < -60$

Tabel 1 Klassificering af danske vinduer efter E_{ref}

I superlavenergibygninger er 3-lags ruder nødvendige for at opnå en tilstrækkelig varmeisolering i vinduerne. Glas har dog den egenskab at lysindfaldet reduceres for hvert glasstykke lyset passerer, hvilket betyder at såvel lysgennemfald og solvarmeindstråling reduceres i forhold til en almindelig 2-lagsrude. De senere år er det dog blevet almindeligt at flere vinduesproducenter tilbyder 3-lags argonfyldte ruder med specialglas, som tillader typisk ca. 20% større solvarmeindstråling og 4-5 % højere lystransmittans, dog på bekostning af en lidt dårligere varmeisolering. Disse ruder har den klare fordel at energibalancen E_{ref} er væsentligt bedre end for de ruder, der blev anvendt i superlavenergi vinduer for få år siden.

I nedenstående tabel sammenlignes 2 af de bedste superlavenergivinduer fra positivlisten på www.energivinduer.dk [24]. Vinduernes ramme/karm konstruktion er næsten identisk. Men som det fremgår af E_{ref} værdien er der en betydelig energimæssig gevinst ved at udvælge ruder efter energimæssige egenskaber, da energibalancen E_{ref} påvirkes meget af rudevalget. Eksemplet viser endvidere, at der findes vinduer med langt bedre energimæssige egenskaber end minimumskravet til A-mærkede vinduer kræver.

Tabel 2 E_{ref} værdi for standard rude størrelse 1,23x1,48 cm [24]

	Vindue med u-værdi optimeret rude:	Vindue med g-værdi optimeret rude:
Rudetype:	4-20-4-20-4	4-20-4-20-4
U-værdi, center:	0,50 W/m ² ·K	0,62 W/m ² ·K
g-værdi:	0,49	0,62
Lt værdi:	0,71%	73%
E_{ref} :	+17,8 kWh/m ² pr. år	+32,7 kWh/m ² pr. år

Der kan være en energimæssig gevinst ved at differentierer rudevalget afhængigt af verdenshjørnerne, således at vinduer med optimeret g-værdi anvendes mod syd samt evt. øst og vest. Ruder med optimeret u- værdi kan anvendes mod nord. E_{ref} værdien er en gennemsnitsbetragtning for vinduer fordelt mod de forskellige verdenshjørner og kan derfor ikke erstatte en beregning ved konkret valg af ruder. I en præcis vurdering af vinduers energimæssige ydeevne ved varierende orienteringer og skyggeforhold kan E_{ref} værdien ikke anvendes.

Vinduers samlede energimæssige ydeevne forbedres ved brug af store frem for små vinduer, hvilket skyldes, at glasandelen dermed bliver større, og dermed bliver den passive solvarme relativt større. Vinduer mod syd giver den bedste energibalance på årsbasis. Glasarealet mod

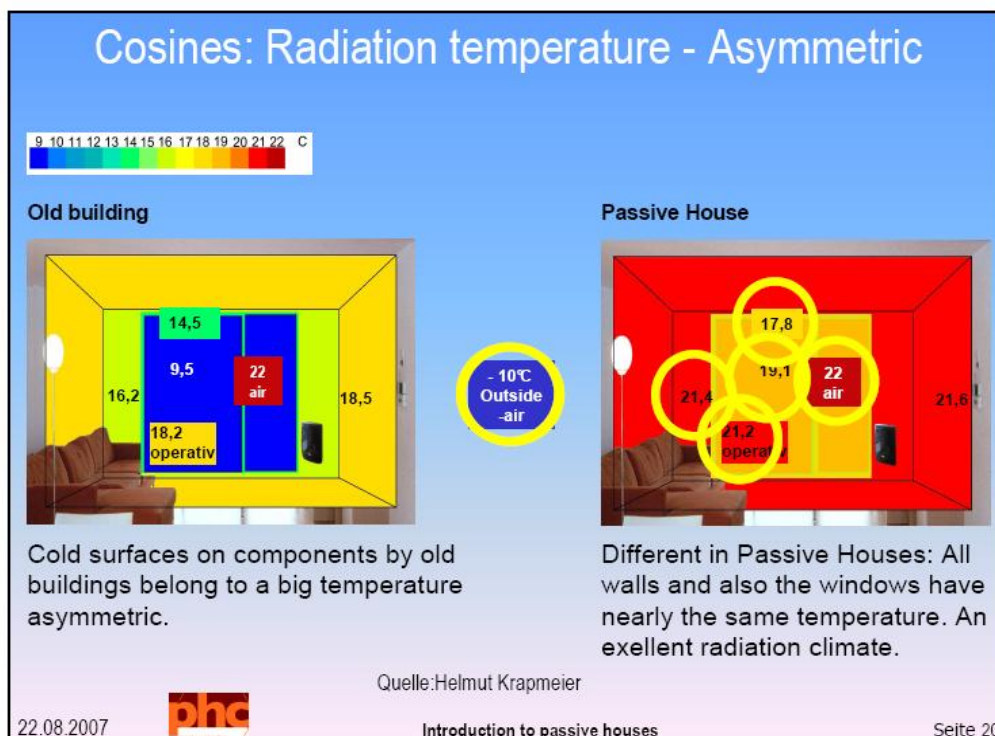
syd bør ikke overdrives for at opnå varmetilskud via passiv solvarme på grund af risikoen for overtemperatur. Ved anvendelse af større vinduesarealer mod øst, vest og særligt syd bør der etableres effektive tiltag til at begrænse uønsket opvarmning og konsekvensen for rum med større glasarealer bør vurderes ved beregning. Beregningen kan være baseret på simple modeller, som findes i Be10 programmet. I tilfælde, hvor der er tale om mere komplekse rum, eller rum som ligger uden for erfaringsrammen, bør der gennemføres en dynamisk simulering.

Vinduer placeret mod øst og vest kan ved valg af de bedste A-mærkede vinduer bidrage med en positiv energibalace. Det kan særligt være en god ide for optimal udnyttelse af den passive solvarme at have et anseligt vinduesareal mod øst, da det kan bidrage med varme fra morgenstunden. Om natten vil en bygning bruge varme lagret i termisk masse, men hvis temperaturen falder under et vist niveau vil varmeanlægget aktiveres. Det er derfor vigtigt at tilvejebringe et solvarmetilskud tidligt på dagen, så det undgås at varmeanlægget aktiveres.

5.1.2 Indeklima.

Superlavenergivinduer har udover den energimæssige fordel også den fordel, at inderste glas ikke er koldt selv ved meget lave udetemperaturer; vinduesnicher kan derfor udnyttes fuld ud som aktivt areal. Endvidere bevirker den lave U-værdi, at klassisk kuldenedfald elimineres og at der ikke er behov for varmekabler ved vinduespartier for at modvirke kuldenedfald. Dette muliggør en meget mere fleksibel placering af varmeafgivere.

Figur 19 viser kontrasten i termisk indeklima inklusiv kuldestråling for et rum i henholdsvis en gammel bygning med traditionelle vinduer med termoruder og så et tilsvarende rum med isolering og vinduer svarende til superlavenergi-byggeri. I den velisolerede bygning har alle flader stort set sammen temperaturer selv ved -10 grader udenfor, hvorimod der er store temperaturforskelle for rummet i den gamle bygning.



Figur 19 Termisk indeklima – overfladetemperaturer [25]

5.1.3 Kondens

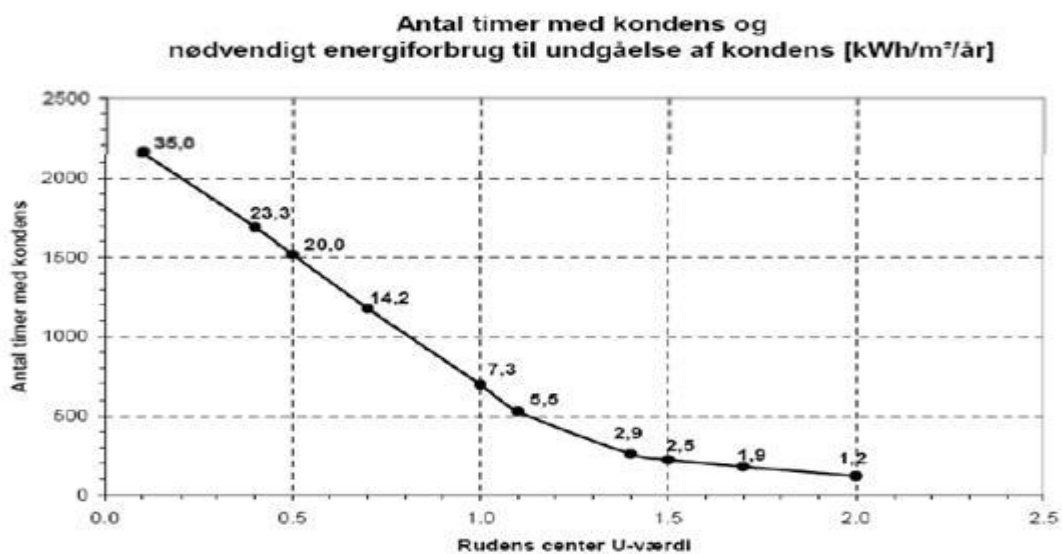
Et debatpunkt omkring lavenergivinduer har været risikoen for udvendig kondens på vinduer. Dug kan i kortere perioder dannes på udvendig side af moderne lavenergiruder som konsekvens af rudens høje isoleringsevne. Risikoen for udvendig kondens er derfor betydeligt større for 3-lags energiruder frem for 2-lags energiruder.

Dug opstår når temperaturen på udvendig side af glasset når ned på den udvendige luftfugtighedsdugpunkt. Det opstår normalt i perioder, hvor den relative luftfugtighed når tæt på 100 procent – specielt om natten og tidligt om morgenen (særligt efter kolde klare vindstille nætter med stor varmestråling til himmelrummet fra den udvendige rude, som hermed er særlig kold).

I områder med stor luftfugtighed, som for eksempel bygninger ved vådområder eller tæt på vandområder er risikoen for udvendig kondens på glas øget.

Der er foretaget beregninger over sammenhængen mellem U-værdi og antal timer med dug. Figur 20 viser et studie udført af Danmarks Tekniske Universitet [26]. Jo lavere U-værdi, des større antal timer med (forventet) dug på vinduerne.

Vinduesindustrien forsker i metoder til at reducere og helt minimere udvendig kondens. Hydrofile belægninger (nano-teknologi) nævnes af nogle som en mulighed. Konstruktiv udformning hvor man nedsætter varmestrålingen til himmelrummet via udvendig solafskærmning er en anden løsning, klassisk tagudhæng en tredje mulighed til at reducere problemet. Et klassisk trick fra udlandet, hvor man har mange års erfaring med 3-lags ruder, er at vaske udsatte ruder med sulfo en gang om året for at mindske overfladespændinger og få duggen til nemt at forsvinde fra glasset.



Figur 20 Sammenhæng mellem U-værdi og antal timer med dug [26]

En nærmere analyse af indeklimaforhold ved vinduer samt konsekvenser for vinduesdesign er angivet i bilag 5.

Erfaringerne er derudover, at duggen som regel forsvinder i løbet af formiddagen, og at det i høj grad er individuelt, hvorvidt det opfattes som et irritationsmoment.

5.1.4 Udluftning

Vinduer kan i mange tilfælde være et meget effektivt element til at regulere rumtemperaturen i varme perioder (se mere herom under naturlig ventilation). I forbindelse med brug af vinduer til at regulere rumtemperaturen er der grundlæggende to situationer, som vinduerne skal projekteres/vælges efter. Den ene situation er hurtig udluftning, som er et behov, når man f.eks. kommer hjem fra arbejde på en varm sommerdag. Ved hurtig udluftning er det en fordel at kunne åbne så mange og så store glasfelter som muligt, helst på forskellige facader for at opnå tværventilation. Det der kræves af vinduerne og dørene i denne situation, er at de kan fikseres eller bremses. Den anden situation er natkøling. I denne situation er det vigtigt at vinduer og døre kan åbnes i en kombination af åbninger på facader og højtsiddende vinduer som f.eks. tagvinduer. I natkølingssituationen skal åbningsgraden af vinduerne afstemmes mellem muligheden for at skabe luftgennemstrømning og risikoen for indbrud. Der kan ikke gives generelle anbefalinger til fabrikater eller åbningsgrader, som er indbrudssikre. Når der projekteres løsninger, hvor der anvendes åbentstående vinduer/lemme mv. bør der foretages en individuel undersøgelse af forsikringsmæssige forhold.

5.1.5 Anbefalinger – vinduesarealer og disponering

- Vinduernes egenskaber, areal og placering har stor betydning for energiforbruget og evnen til at overholde en energiramme samt for indeklimaet. Vinduerne skal derfor disponeres nøje allerede fra starten af projektet, og konsekvensen af ændringer skal undersøges med det samme.
- Indenfor visse grænser (svarende til normal praksis for andre huse) kan lavenergihuse udformes med større eller mindre samlede vinduesarealer.
- Anvend få store vinduer frem for mange små, det giver bedre energibalance og det får væggene til at synes slankere.
- Større arealer mod syd og mindre mod nord giver mindre energiforbrug, men store sydvendte glasfacader kan nemt føre til overophedningsproblemer, selvom der foretages effektiv solafskærmning.
- Vinduer har varierende kvaliteter i forhold til deres orientering mod verdenshjørnerne. Behagelige lysforhold opnås, når der anvendes en balanceret fordeling af vinduesarealer efter orientering.
- Lysindfald gennem østvendte vinduer har en god indflydelse på regulering af døgnrytmen hos mennesker, og bevirker en energibesparelse ved at varmeanlæggets drift stoppes tidligere på dagen.

- Vinduer mod øst og vest kan dog være vanskeligere at solafskærme med tagudhæng, da solen står lavere i de to retninger.
 - Højsiddende vinduer giver dagslys dybere ind i rummet.
 - Vinduer placeret tæt på en lys væg giver bedre dagslystilførsel end vinduer uden tilstødende vægge.
 - Moderne 3-lags lavenergivinduer er i dag så gode, så det anbefales at undgå tidligere tiders lavenergihuse med små vinduer og dårlige dagslysforhold eller huse med store sydvendte glasfacader. I stedet bør vinduerne i højere grad disponeres efter, at der kan sikres et behageligt indeklima og gode dagslysforhold.
-

5.2 Produkter

I forhold til udenlandske producenter, har den danske vindues-branche været forholdsvis længe om at lancere superlavenergi-vinduer. Danske superlavenergihuse har derfor i en periode typisk været præget af udenlandske vinduer. Situationen har indenfor de sidste få år ændret sig markant, og der er nu et stort antal danske producenter med ekstremt energieffektive vinduer i klassisk dansk stil med smalle karme mv.

Figur 21 viser et eksempel på et superlavenergivindue Futura+ fra den danske producent IDEAL, som er baseret på en komposit-opbygning af PUR og træ.

Figur 22 viser U- og E_{ref}-værdier for Futura+ som funktion af glastype og gasfyldning.



Figur 21: Futura+ fra den danske producent IDEAL, som er baseret på en komposit-opbygning af PUR og træ.

Eksempel på E _{ref} og U-værdier :	Gas	U _w ¹⁾	E _{ref} ²⁾
Futura+ med 2-lags optimeret lav-energirude	Argon	1,30	-1
Futura+ med 3-lags lav-energirude	Argon	0,85	+5
Futura+ med 3-lags lav-energirude	Krypton	0,69	+19
Futura+ med 3-lags optimeret lav-energirude	Argon	0,87	+24
Futura+ med 3-lags optimeret lav-energirude	Krypton	0,71	+39

Eksemplerne er baseret på et element i den definerede standardstørrelse: 1230 x 1480 mm.
1) Enheden er W/m²K.
2) Enheden er kWh/m²/år.

Figur 22 U- og E_{ref}-værdier for Futura+ som funktion af glastype og gasfyldning.

5.2.1 Henvisninger

[27] Glasfakta

[29] Vinduesindustrien

[28] Viden om vinduer

[24] energivinduer.dk

5.2.2 Anbefalinger - vinduesprodukter

- Det er normalt nødvendigt at benytte supereffektive (3-lags)lavenergivinduer med lav u-værdi og god soltransmittans.
- Der kan være en sammenhæng således at vinduer med god u-værdi har lavere soltransmittans(g-værdi) og vinduer med god soltransmittans(g-værdi) har dårligere u-værdi.
- Den gode u-værdi er vigtigst på nordvendte ruder, medens den gode soltransmittans er vigtigst på sydvendte ruder. Det kan derfor være en god ide, at benytte forskellige ruder afhængigt af orientering.
- Vinduerne bør nøje udvælges til projektet, da der er meget store forskelle på den energimæssige ydeevne fra de bedste til de dårligste A-mærkede vinduer.

5.3 Solafskærmning

Solafskærmning er en fælles betegnelse for en lang række af virkemidler, der har til formål at begrænse solindstrålingen i en bygning enten for at reducere varmetilførslen eller for at reducere direkte sol, som kan genere. Ofte anvendes en type solafskærmning, som tilgodeser begge ønsker eller der anvendes kombinationer af solafskærmninger, som hver er med en målrettet funktion.

5.3.1 Indvendig solafskærmning

Indvendig solafskærmning er en populær løsning, fordi den bl.a. er relativt billig, kan eftermonteres uden elinstallation, ikke udsættes for vejrliget og sidst men ikke mindst bidrager til indretningen. Indvendig solafskærmning er et vidt begreb, og det er vigtigt at have fordele og ulemper for øje. Indvendig valg af solafskærmning bør indgå som en overvejelse i projekteringen af bygningen. Indvendig flytbar solafskærmning fungerer bedst som supplement til udvendig solafskærmning, da den indvendige solafskærmning er let at justere i forhold til generede sollys, men ikke afskærmer effektivt mod solvarme sammelignet med udvendig afskærmning. Velfungerende indvendig solafskærmning er fleksibel, let at justerer og tillader dagslysgennemgang ved afskærmning mod direkte sollys. Indvendig solafskærmning bør endvidere kunne indstilles så udsynet er helt frit.

Tabel 3 Indvendig solafskærmning

Type	Investering	Afskærmning for varme	Afskærmning for lys	Udsyn ved afskærmning
Lyse gardiner	Lav	mellem	Mellem	Lav/ingen
Mørke gardiner	Lav	Lav	Høj	Ingen
Persienner/lameller	Lav	Mellem	Høj, men tillader lysgennemgang ved solafskærmning.	mellem
Solfilm	Lav	Mellem	Lav	Høj

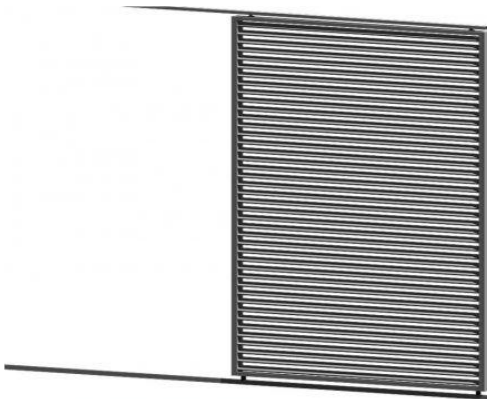


Figur 23 Top down/bottom up plisse er et eksempel på indvendig solafskærmning med stor fleksibilitet og høj brugervenlighed. [30]

5.3.2 Udvendig solafskærmning - overhæng

Faste solafskærmninger kan have væsentlig negativ indflydelse på såvel udsyn og dagslystilgang. Ved anvendelse af faste solafskærmninger er det vigtigt at være opmærksom på at der gælder forskellige afskærmningsprincipper for vinduer med varierende orientering, hvilket skyldes solhøjden i forhold til vinduet i sommersituationen.

Faste afskærmninger efter "udhængsprincippet" virker effektivt mod højtstående sol og kan derfor med fordel anvendes mod syd. Typen er dog ikke særligt effektiv mod øst og vest, da solen står relativt lavt. Afskærmningen tillader samtidigt et godt udbytte af passivsolvarme om vinteren, hvor solen står lavt mod syd. Typen kræver dog supplerende indvendig solafskærmning, da lavtstående sol morgen/aften og vinterhalvår kan være generende og give overophedning. Udhæng som solafskærmning er på trods af mange kvaliteter ikke særlig god i forhold til dagslysindfald særligt på overskyede og mørke dage.



Figur 24 Solatek skyderammer. Vejrstabil og simpel regulerbar solafskærmning [31].

Faste afskærmninger efter princippet lodrette lameller virker mod lavtstående sol når solen ikke står vinkelret ud for vinduet, typen er derfor ofte anvendelig mod øst og vest. Typen er dog ikke optimal i forhold til at give mulighed for at modtage passiv solvarme, dette kan dog forbedres ved at kunne dreje lamellerne manuelt om en lodret akse afhængigt af årstiden. Lamellerne kan også placeres i rammer, som kan forskydes bort fra vinduet, hvorved fuld dagslysudnyttelse bliver mulig.



Figur 25 Lodrette lameller anvendes på øst- og vestvendte facader.[31]

Faste afskærmninger som er indbygget i ruden, såkaldte solafskærmnede belægninger, er virksom for alle solorienteringer. Denne type afskærmning er dog den mindst attraktive i superlavenergihuse, idet solvarmetilskuddet til alle tider reduceres også når bygningen har et varmebehov. Fordelen er primært lav pris og ingen vedligeholdelse. Solafskærmende belægninger kan ud fra et brugerperspektiv virke som en attraktiv form for solafskærmning, da den forekommer "usynlig".

Automatisk solafskærmning er ofte den dyreste, men også den afskærmningsløsning der giver det bedste indeklima, da den kan målrettes mod det øjeblikkelige behov – afskærmning af varme, afskærmning mod lys eller åben for passiv solvarme. Visse typer er dog vindfølsomme, hvorfor det i blæsende sommerperioder kan være vanskeligt at få tilstrækkelig dækning mod solvarmeindstrålingen. Vindfølsomme udvendige afskærmninger bør altid forsynes med en vindvagt, da levetiden ellers reduceres kraftigt.

Automatiske solafskærmninger kan installeres med avancerede styringer. En automatisk styring består som regel af en vejrmåler og en styreenhed. Vejrmåleren registrerer sol og/eller vind og sender informationen videre til styreenheden, som herefter sætter solafskærmningen i den rigtige position.

Bemærk endvidere at beboeren kan have andre ønsker til den bevægelige solafskærmning end indeklima og energiforbrug. F.eks. indkig fra naboer eller udsigt og derfor ikke betjener den efter hensigten eller evt. ligefrem frakobler den automatiske betjening. Se mere herom i kapitel 3.



Figur 26 Vindvagt med solføler. [32]



Figur 27 Eksempel på udvendig automatisk solafskærmning som screens. [32]

Tabel 4 Udvendig solafskærmning

Type	Investering	Afskærmning for varme	Afskærmning for lys	Udsyn ved afskærmning	Vejrfølsom
Microshade(øst, syd, vest), (princip enten som udhæng eller lodrette lameller)	Lav	Høj	Lav	Mellem-høj	-
Markiser med motor(syd)	Mellem	Mellem-høj	Mellem	Mellem-høj	Sne, vind
Udhæng(syd)	Lav-høj	Mellem	Mellem	Høj	-
Persienner med motor	Høj	Høj	Høj	Lav-mellem	Vind
Persienne mellem glas	Høj	Høj	Høj	Lav-mellem	-
Screen med motor	Mellem	Høj	Mellem-høj	Lav-mellem	Vind
Skodder	Lav-mellem	Høj	Høj	Lav-mellem	-
Høje træer tæt på bygning(syd)	Lav-høj	Mellem	Mellem	Højt	-
Løvfældendeklatreplanter på espalier over vinduer(syd primært)	Mellem	Mellem	Mellem	Højt	-
Lodrette lameller(øst+vest)	Mellem	Mellem	Mellem	Mellem	-
Glasbelægning	Lav	Lav-mellem	Lav-mellem	Mellem-høj	



Figur 28 Sunshine House - Vejrstabil fast og regulerbar udvendig solafskærmning i kombination. (Illustration Årstiderne Arkitekter)

5.3.3 Solafskærmning i terræn

Solafskærmning i terrænet kan være bakker, bygværker og beplantning. Et fællestræk for denne type af solafskærmning er at den ikke er effektiv mod solen i den varme del af året, hvor solen står højt på himlen. I den kolde del af året, hvor solindstråling kan være ønsket, for at nedsætte energiforbruget til opvarmning afskærmes solen derimod.

Ved projektering af superlavenergihuse gælder det derfor om undgå skyggegivere i terrænet fra sydøst til sydvest eller om muligt at skabe størst mulig afstand til disse, for at øge bygningens mulighed for at modtage passiv solvarme.

5.3.4 anbefalinger - solafskærmning

- Vær opmærksom på at superlavenergihuse kan overophedes på solrige dage hele året.
- Indarbejd solafskærmning i bygningens design.
- Ved de sydvendte vinduer skal der udføres passende solafskærmning f.eks. i form af tagudhæng.

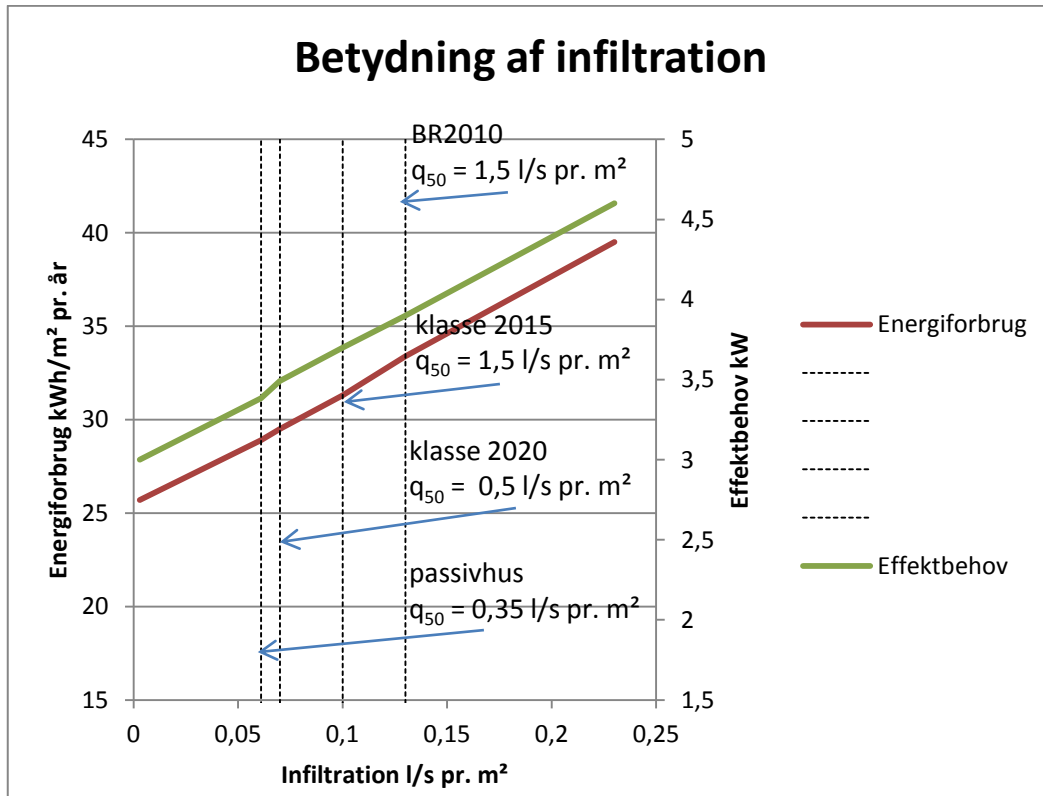
-
- Bevægelig udvendig solafskærmning med automatik giver flest fordele, hvis den ikke går på tværs af beboernes ønsker i forhold til udsyn/indkig, men er oftest dyrest.
 - Vindfølsomme solafskærmninger kan være ineffektive på vindudsatte lokationer.
 - Mørke gardiner er kun effektive mod uønsket direkte solstråling.
 - Der henvises til bl.a. Indeklimahåndbogen for data vedrørende effektiviteten af forskellige solafskærmningstyper.
 - Undgå skygger i træer og bygninger mod syd eller skab afstand til disse.
 - Høje træer tæt på en bygning kan give skygge som et tagudhæng, og også modvirke ophedning af tag-/loftsrum.
 - Det kan ofte være nødvendigt at udføre dynamisk simulering f.eks. med Bsim til verifikation af, at solafskærmningen er tilstrækkelig.
-

6 Ventilation og lufttæthed

6.1 Lufttætte konstruktioner

6.1.1 Betydning for energiforbrug

Husets lufttæthed har stor betydning for husets energiforbrug og dimensionerende effektbehov. Figur 29 viser for eksempelhuset på 180 m² fra afsnit 4.2 ændringen i energiforbrug og effektbehov som funktion af infiltrationen.



Figur 29 Rumvarmebehov og effektbehov som funktion af infiltration. På figuren er også vist de luftskifter q_{50} , som er de maksimalt tilladelige ved de danske energiklasser og ved passivhuscertificeringen

I det danske bygningsreglement er kravene til lufttæthed ved en blowerdoortest:

Luftskiftet pr. m² opvarmet etageareal gennem utætheder i klimaskærmen må ved trykprøvning med 50 Pa ikke overstige:

- Normale bygninger 1,5 l/s pr.
- lavenergibygningsklasse 2015 1,0 l/s pr. m².
- bygningsklasse 2020 0,5 l/s pr. m²

For bygninger med høje rum gælder andre tal (se BR10)

For lavenergiklasserne 2015 og 2020 skal tætheden eftervises ved måling (blowerdoortest), medens normale bygninger kan benytte 1,5 l/s pr, medmindre kommunalbestyrelsen stiller krav om måling af tætheden.

Luftskiftet ved blowerdoortesten omregnes til infiltration ud fra formlen:

- I brugstiden som: $0,04 + 0,06 \times q_{50}$.
- Udenfor brugstiden: $0,06 \times q_{50}$

hvor q_{50} er ventilationen i liter/sek. pr. m^2 opvarmet etageareal ved trykprøvning med 50 Pa. Ved beregninger i Be10 tages der ikke hensyn til om bygninger ligger i læ eller er udsat for stærk vindpåvirkning.

Det kan være opfattelsen at det er vanskeligt at opnå den fornødne tæthed som specificeret i bygningsreglementet. Det kan derfor være interessant at sammenligne de danske krav med kravene til passivhuse, som der er gode erfaringer med at overholde, idet alle certificerede passivhuse blowerdoortestes.

Ved passivhus-certificering er der et krav om at luftskiftet ved blowerdoortest ikke må overstige: $0,6 h^{-1}$.

I et hus med en rumhøjde på 2,5 m svarer dette til et luftskifte på $0,42 l/s/m^2$ indvendigt areal og hvis det udvendige etageareal er 20 % større end det indvendige svarer det til $0,35 l/s$ pr. m^2 opvarmet etageareal, og er altså i det tilfælde lavere end det danske 2020 krav.

En lufttæthed svarende til kravet i et passivhus vil under normale kunne opnås, når der alene er få mindre og usystematiske utætheder i tæthedsplanet. Det er endda muligt at reducere utætheden til mindre end 50% af kravet i et passivhus, selv i muret byggeri.

I PHPP omregnes blowerdoortestens resultat ved huse med mekanisk balanceret ventilation ud fra formlen $e * n$ hvor n er resultatet af blowerdoortesten (i $1/h$) og e er en faktor bestemt af i hvor høj grad bygningen ligger i læ. Faktoren e ligger mellem 0,01 og 0,1.⁷

For huse der ikke er lavenergihuse og ikke ligger i læ giver omregningen i PHPP omtrent samme infiltration som i Be10, men i de fleste andre tilfælde beregnes en mindre infiltration. Se Tabel 1

Tabel 5 Beregning af infiltration ud fra blowerdoortest (forudsætninger: indvendig rumhøjde 2,5 meter, udvendigt etageareal er 20% større end indvendigt)

	Blowerdoortest		Infiltration l/s pr. m^2			
	l/s pr. m^2	$1/h$	Be10	PHPP $e=0,1$	$e=0,06$	$e=0,01$
Normale bygninger efter BR10	1,5	2,16	0,13	0,125	0,075	0,013
lavenergibygninger Klasse 2015	1	1,44	0,1	0,083	0,050	0,008
lavenergibygninger klasse 2020	0,5	0,72	0,07	0,042	0,025	0,004
Passivhus krav	0,35	0,6	0,061	0,035	0,021	0,003

6.1.2 Design

Det har været en udfordring for nogle husbyggere, at kravet om blowerdoor-test er blevet indført. Der har ikke tidligere været en udbredt håndværkstradition for at sikre en lav infiltration, særligt har der manglet fokus på samlingsdetaljer, gennemføringer og dampspærretætning. Det har eksempelvis været normalt at montere en dampspærre, som ikke har været effektiv på grund af mangelfuld tapning og samling med tilstødende bygningsdele. Endvidere har planlægning af føringsveje været mangelfuld med det resultat at dampspærre og konstruktioner er blevet perforeret og gennemboret uden efterfølgende holdbar og effektiv tætning.

⁷ Såfremt der ikke er tale om balanceret mekanisk ventilation korrigeres yderligere. Der henvises til PHPP program og manual.

Superlavenergihuse kræver en tæthed, som er på niveau med kravet til et passivhus eller endnu bedre for at sikre, at infiltrationens relative andel af det samlede varmetab er lav. Forudsætningen for at opnå en god eller endog ekstrem god tæthed skabes allerede når de første konstruktioner og deres sammenbygning vælges.

Det er endvidere vigtigt at tænke på hvilken forringelse der kan ske med tætheden efter ibrugtagningen. En enkelt eller flere gennembrydninger af tæthedslaget kan således give anledning til et væsentligt større energiforbrug, ligesom det kan give problemer med fugt.

6.1.3 Anbefalinger - lufttæthed

- Planlæg et enkelt og entydigt tæthedsplan. Planlæg så vidt muligt at installationer føres inden for tæthedsplanet.
- Overvej sammenbygningen mellem alle konstruktionsdele. Det kan ikke påregnes at bygningsdele, der blot er sammenklemte, sammenstøbte, sammenmurede opnår tæthed.
- Anvend gennemføringsmanchetter for alle gennemføringer i dampspærre.
- Terrændæk og dækskonstruktioner med rørgennemføringer tilstøbes eller forsegles med fleksibel tætningsmasse.
- Der kan opnås tætte konstruktioner med murværk som tæthedsplan, men det kræver dog, at der som den indvendige overflade som minimum tyndpudses(vandskures) på samtlige indvendige overflader også bag skabe mv.
- Sammenbygningen mellem ydervæg og gulv kan ofte være utæt pga. ujævne overflader, støv, uflexible materialer og randisolering. Tætning af denne detalje kan eksempelvis sikres med en fleksibel armeret membran, smøremembran eller særlige rebånd, der kan tætte små spalter/sprækker. God tæthed ved gulv/væg giver yderligere den fordel at risiko for Radonindtrængning reduceres væsentligt.
- Dampspærre i lofter og dennes samling med ydervægge kan med fordel udføres med dobbelt tætning eller som en klemt fugesamling. Det kan dog være vanskeligt at udføre en effektiv klemt fugesamling.
- Der kan opnås gode resultater med mange forskellige dampspærretyper, men det kan være lettere at sikre et godt resultat, med dampspærretyper som ikke folder når de strækkes.
- Ved hjørnesamlinger kan der opnås god tæthed ved anvendelse af fabriksfremstillede dampspærrehjørner, men der kan også opnås gode resultater ved anvendelse af foldeteknikker og fleksible tapetyper.
- Foretag så vidt muligt en blowerdoorundersøgelse på et tidspunkt, hvor tæthedsplanet er etableret, men inden den indvendige montage af gulve, lofter og vægbeklædninger. Konstaterede utætheder kan herved udbedres uden væsentlige merudgifter. Da der ved en blowerdoortest forekommer et over/undertryk op til ca. 75 Pa, altså svarende til trykket fra en ca. 7,5 kg tung genstand, er det vigtigt at dampspærren er fastholdt

inden tryksætning af bygningen.

- Blowerdoorundersøgelse bør altid foretages når udetemperaturen er nogle grader lavere end inde, da det herved er muligt at identificere utætheder ved brug af undertryk og termografi. Når der etableres undertryk, vil kold udeluft afsløre utætheder på grund af lokal afkøling, som herved kan afsløres med et varmefølsomt termografikamera.

6.2 Ventilation

Det nødvendige luftskifte i bygninger er fastsat i bygningsreglementet [8]. For boliger er som bekendt fastsat, at der skal opretholdes et mindste luftskifte på 0,3 l/s pr. m² etageareal, men luftskiftet kan godt behovsstyres til større mængder.

Behovet for større ventilation vil typisk være til stede, når man f.eks. har gæster, har en højere forurening via f.eks. tændte stearinlys eller der bor flere personer i boligen.

Udover at fjerne CO₂ og luftforurening påvirker ventilationen også luftfugtigheden i huset.

Ifølge DS/EN 15251 anbefales det at holde den relative luftfugtighed RF indenfor 25-60 %, svarende til kategori II. Endvidere kan det anbefales at RF < 45 % opnås i minimum en måned om året, da støvmider dør, når den relative luftfugtighed kommer under 45 %. [47] (se mere herom i bilag 7).

Større ventilation vil give mindre luftfugtighed og mindre ventilation større luftfugtighed.

Kilder til fugt i en bolig er typisk beboerne selv, madlavning, fugtige planter, tørring af tøj indendørs samt badning. Også den relative luftfugtighed varierer med årstiderne, da RF indendørs påvirkes af vandindholdet i udeluften. Da vandindholdet i vinterperioden med kolde temperaturer er meget lavt, vil kold udeluft der opvarmes via for eksempel ventilationsanlægget, resultere et lavt vandindhold i den opvarmede luft, og dermed også en lav RF.

Hvis det antages, at indeluften hele året har samme temperatur og luftfugtighed, vil mængden af fugt som fjernes gennem luften afhænge af udetemperaturen og luftfugtigheden af den indkommende friskluft. F.eks. vil der ved $t_{ude}=0^{\circ}\text{C}$ og RH 70 % kunne fjernes ca. 3,2 g/m³, mens der ved $t_{ude}=14^{\circ}\text{C}$ og RH=70 % tilføres ca. 1,2 g/m³ (antaget inde kondition 20°C, 40 % RH).

For høj luftfugtighed kan give sundhedsmæssige problemer med husstøvmider, skimmelsvamp og råd, og for lav luftfugtighed kan resultere i gener i form af for eksempel tørre øjne eller generede slimhinder. Rent bygningsmæssigt medfører ændringer i luftfugtighed at bygningsmaterialer arbejder hvilket kan give skader.

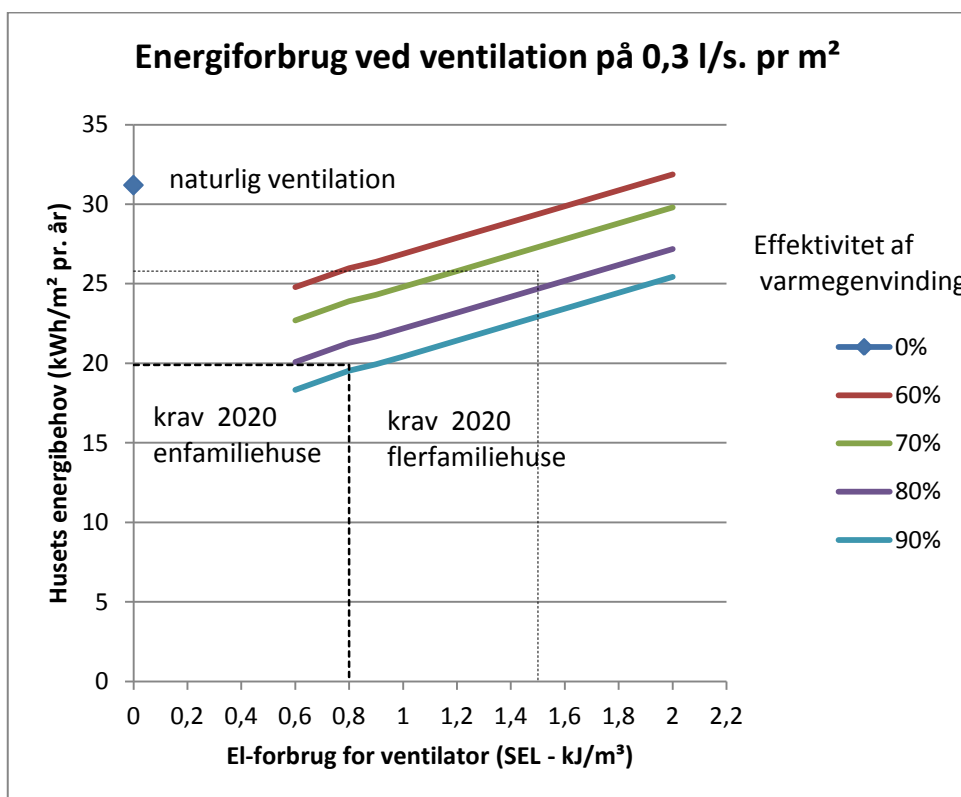
Luftfugtigheden ved en given ventilation kan henover året fastsættes ud for antal beboere og aktiviteter m.m. I de tyske passivhuse anbefaler man en lavere ventilationsmængde end de 0,3 l/s pr. m², som skal benyttes i Danmark.

Imidlertid vil fugtproduktionen i huset jo variere meget i forhold til husets brug og behovstyret ventilation har derfor store fordele i forhold til at opnå god luftkvalitet samt energibesparelse.

Enfamiliehuse kan ventileres ved naturlig ventilation, men såfremt der er tale om superlavenergihuse gør naturlig ventilation det vanskeligt at komme ned på de lave energibehov, idet der ikke findes effektive varmevekslingssystemer i forbindelse med naturlig ventilation. Naturlig ventilation er dog et af de vigtigste midler til at fjerne overtemperaturer i boliger og skal altid tænkes ind i projekterne. Naturlig ventilation beskrives i kapitel 6.2.5.

Næsten alle superlavenergihuse uføres derfor med mekanisk ventilationsanlæg med varmegenvinding. Man skal være opmærksom på at varmegenvindingsanlæggets effektivitet og el-forbrug til ventilator har stor betydning for husets samlede energiforbrug

Figur 31 viser energiforbruget pr. m² etageareal for et 180 m² enfamiliehus afhængigt af varmevekslereffektivitet og el-forbrug til ventilator (SEL værdien)



Figur 30 Energiforbrug ved ventilation på 0,3 l/s pr. m²

Som det ses på figuren nedsætter et effektivt ventilationsanlæg med et lille el-forbrug husets energibehov meget væsentligt. For enfamiliehuset i eksemplet vil de krav der stilles i Bygningsreglementet nedsætte energibehovet fra 31 kWh/m² pr år til 20 kWh/m² pr. år.

For at spare energi og samtidig opnå komfortforbedringer findes der flere producenter som tilbyder ventilationsaggregater med behovsstyring af luftmængden efter både fugt og CO₂. Disse anlæg gør det muligt at reducere ventilationsraten i perioder med lav belastning.

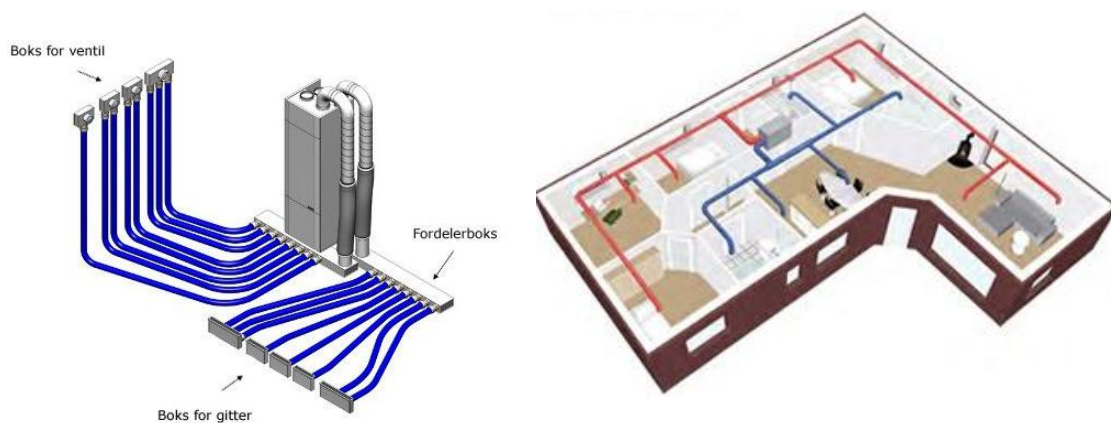
6.2.1 System design

Ved design af et ventilationssystem skal der tages hensyn til energiforbrug til lufttransport, kondensrisiko, støj, lydoverførsel mellem rum, luftoverførsel mellem rum, behovsstyring, hygiejne og termisk komfort.

For boliger foregår indblæsning typisk i opholdsrum og udsugning i køkken, bad og bryggers. I praksis betyder det kan være svært at opnå tilstrækkelig god luftkvalitet i mindre rum som f.eks. soverum, hvor luftskiftet kunne ønskes højere når disse rum er i brug.

Det kan derfor overvejes, i perioder at gøre det muligt at flytte en del af indblæsningen til de rum, hvor brugerne pt. opholder sig. F.eks. til soveværelserne om natten. Sidstnævnte vil medvirke til en bedre luftkvalitet og til at den forøgede lidt køligere indblæsningsluft er med til at sænke temperaturen i soveværelset.

Der er grundlæggende 2 typer af kanalsystemer, som finder anvendelse. Den ene type er fordelerrørssystemet med fordelerbokse, og den anden traditionelle type er anlægget med hovedkanal og afgreninger.



Fordelerslangesystem, Kilde: Nilan

Traditionelt system med hovedkanal og afgreninger. Kilde: DUKA

Figur 31 Layout af luftkanaler

De to forskellige principper for luftfordeling har begge styrker og svagheder.

I projekter med begrænsede luftmængder kan der være fordele ved at vælge systemet med fordelerslanger, idet der kan findes føringsvej for ventilationen i terrændæk, etagedæk og vægge, da rørene er fleksible og tynde. Endvidere har løsningen en indbygget fordel i kraft af en god dæmpning mod overførsel af lyd/tale mellem rum på grund af fordelerboksen.

Hvis der er behov for større luftmængder anvendes den traditionelle løsning hvor rørføringen kan skaleres op, eller fordeler løsningen skaleres ved at lægge flere slanger.

6.2.2 Støj

I superlavenergi huse er det vigtigt at have styr på støj og lydtransport mellem rum. Husene er, fordi de er velisolerede og tætte, ofte meget støjsvage i forhold til lyd fra omgivelserne og baggrundsstøjen er derfor lav. Det betyder, at støj fra installationer og øvrige rum kan forekomme tydeligere end normalt. Det anbefales, at være særlig påpasselig med støj fra

tekniske installationer i soverum, hvor man bør tilstræbe et lydtrykniveau, der ikke overstiger 25 dB(A).

Som tommelfingerregel bør tekniske anlæg som pumper og ventilationsaggregater placeres i separate rum, når dette er muligt.

Der bør foretages støjmæssig dimensionering af lyddæmpere på kanalsystemet tidligt i projekteringen, da det ofte kan være svært at få plads til den nødvendige lyddæmpning, hvis teknikrum og føringsveje er utilstrækkeligt disponeret.

Ved design af luftovergange mellem rum er det vigtigt at sikre at man ikke væsentligt svækker den lydisolering som vægkonstruktion og dør mellem rummene udgør. Den ofte anvendte løsning med en simpel spalte under døren reducerer lyddæmpningen så meget at det må betragtes som en væsentlig komfortforringelse. Med en sprække under døren vil musik, tale mv. kunne høres tydeligt i tilstødende rum. Der findes på markedet forskellige overtryksventiler, men der er også eksempler på specialløsninger, som integreres i dørgerigten/overkarmen og dermed er skjulte.



Figur 32 Eksempel på lyddæmpet overtryksventil fra Lindab.

6.2.3 Indblæsning og udsugning

Placeringen og valg af indblæsning og udsugning har væsentlig betydning på indeklima og komfort. Da ventilationssystemer i boliger kun har begrænset kapacitet ved normal drift, er det vigtigt at det luftskifte som er muligt udnyttes effektivt.

I baderum bør udsugningen placeres over den største fugtkilde, som ofte er bruseren, herved opnår man at mest mulig fugt udsuges direkte. I toiletrum uden vinduer kan det endvidere være en fordel at etablere udsugning direkte fra toilet skålen, hvorved lugt kun spredes minimalt til omgivelserne. Der kan endvidere på markedet fås toiletter med indbygget udsugning og recirkulering via kulfilter.

Valg af indblæsningsventiler skal sikre både god opblanding og trækfri lufttilførsel. Det er særligt i soverum og ved siddepladser, at der er risiko for træk. Indblæsningsventiler bør placeres under hensyntagen til, at der om sommeren skal kunne indblæses kølig luft ved et forceret luftskifte for at kunne holde bygningstemperaturen på et acceptabelt niveau.

Endvidere vil der i frostperioder være risiko for tilisning af varmeveksleren i ventilationsaggregatet, og under afisningsproceduren kan der forekomme indblæsning af uopvarmet luft. Indblæsningsventiler bør derfor placeres så langt fra sovepladser og siddepladser, som det er muligt for at undgå gener. Der kan alternativt anvendes lavimpuls indblæsningsystemer eller såkaldte ventilationslofter som kan fordele luften over et større areal, hvorved trækrisikoen reduceres. Disse løsninger udmærker sig ved lavt tryktab og gode ventilationsegenskaber ved både store og små luftskifter.

6.2.4 Luftopvarmning

Fra passivhuskonceptet kendes kompakte ventilationssystemer med indbygget varmepumpe som overfører energi fra udsugningsluften til både indblæsning og til varmtvandsbeholder. Det har vist sig, at denne opvarmningsform stiller store krav til design og udførelse for at virke acceptabelt. Hvis varmeanlægget dimensioneres uden væsentlig overkapacitet som sikkerhed, skal der ikke være mange design eller udførelsesmæssige fejl før enkelte rum eller hele boligen kommer til at mangle opvarmning i perioder.

Opvarmning via ventilationsluften stiller derfor store krav til rådgiveren med at beregne husets kommende energiforbrug. Det er svært at forudsige brugernes behov og de mange rådgivere har ikke den store erfaring med opvarmning via ventilationsluften. Derfor er der set eksempler på, at det er gået galt.

Nedenstående overvejelser bør indgå ved valg af rumopvarmning via ventilationsluften:

- Anlægstypen har et begrænset energipotiale. Det kan tage lang tid at opvarme boligen om vinteren, hvis anlægget har været slukket.
- Varmeydelsen kan ikke differentieres mellem rummene. Det kan være nødvendigt med en ekstra lille el-varmeplade i nogle rum.
- Varmebehov og luftbehov er ikke nødvendigvis ens.

Endvidere gælder dog også at udfordringen ved et lavenergihus ikke blot er at opvarme det. På grund af den tætte konstruktion og gode isolering, er det ofte en større udfordring at køle bygningen, faktisk den største del af året. Et ventilationsaggregat med integreret varmepumpe har ofte reversibel kølekreds, og kan køle luften i stedet for at opvarme den. Det er muligt at køle luften med op til 10 °C, men på grund af det lave luftskifte, vil det ikke virke som et airconditionanlæg. Ved køling af luften fjernes fugt, hvilket giver en lavere fugtighed i boligen og det medfører at varmen føles mere behagelig, og giver en bedre komfort i de varme perioder.

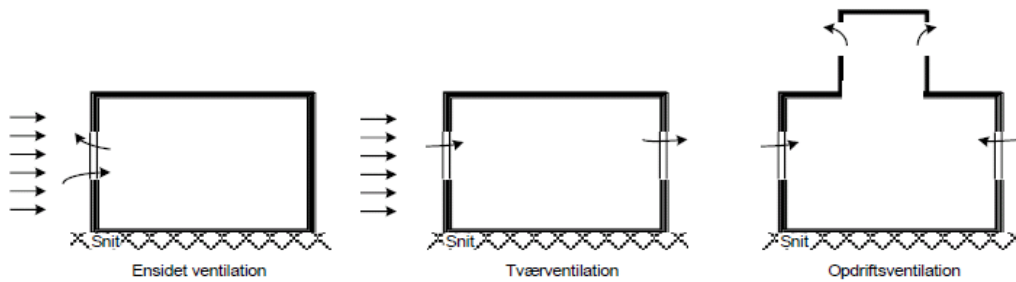
I Danmark forlanger bygningsreglementet, at der skal være individuel rumopvarmning når der opføres 2020 byggeri, anlægstypen kan derfor ikke anvendes uden videre i superlavenergibyggeri.

Der er forskellige muligheder for at skabe individuel rumopvarmning ved brug af kompakttaggregater. De mest brugte løsninger går ud på at anvende kompakttaggregatet som basisvarme sammen med en mindre elradiator. Der er også eksempler på kompakttaggregater, der kombineres med en mindre jordvarmepumpe eller udeluftvarmepumpe, hvorved det er muligt at forsyne et mindre traditionelt varmegiversystem med f.eks. gulvvarme eller radiatorer.

6.2.5 Naturlig ventilation

Naturlig ventilation er et af de vigtigste midler til at fjerne overtemperaturer i boliger, og skal altid tænkes ind i projekterne fra start. Mest optimalt er det at stile efter at kunne foretage naturlig ventilation i både dags- og nattetimer, dvs. også i perioder hvor beboerne ikke er hjemme. Ventilation sikres ved at åbne vinduer eller alternativt åbne små ventilationslemme. Åbningerne skal være tyverisikre og i overensstemmelse med gældende forsikringsregler.

De mest effektive måder at bortventilere den varme luft på er ved enten tværv ventilation eller termisk opdrift (kræver højdeforskel i boligen mellem åbningerne). Herudover kan suppleres med ensidet ventilation, hvor kun et vindue i rummet åbnes. De tre typer ventilation er illustreret på Figur 35. Opdriftsventilationen vist til højre kan også kombineres med tværv ventilation.



Figur 33 Principper for naturlig ventilation [33]

Et eksempel på gennemarbejdet brug af naturlig ventilation findes bl.a. i "Bolig for Livet" opført i Lystrup nær Århus. Ventilationsåbningerne udgøres af flere små oplukkelige vinduer i stueplanet samt oplukkelige ovenlysvinduer på 1. sal, se Figur 36. Dermed skabes en effektiv opdriftsventilation. Styringen af vinduesåbningerne foregår automatisk, og princippet i ventilationsstrategien ses på Figur 37.

I sommerperioden vil styringen af den naturlige ventilation som udgangspunkt foregå efter rumtemperaturen med åbning af vinduerne for køling, men også CO_2 og relativ luftfugtighed kan påvirke åbningsgraden. Åbningsgraden bliver beregnet ud fra det ønskede maximale luftskifte, vejrdata osv.

Der er udført en lang række målinger på huset og resultaterne for rumtemperatur er gode. Målinger viser blandt andet, at køkken-alrummet, som er familiens naturlige samlingspunkt, opnår kategori I for termisk komfort mht. overophedning. Det er den bedste af fire klasser (I, II, III, IV) iht. den europæiske standard EN 15251 for indeklimate.



Figur 34 Placering og udformning af åbningerne i "Bolig for Livet" [34]

afbalanceres med udtagsluften. Denne løsning har den fordel at varmen fra emhætteluften varmeveksles til indtagsluften og derved ikke går til spilde.

En ulempe er at mados føres gennem ventilationsanlægget og at man derfor skal være mere påpasselig med hyppig rengøring af filtre. Løsningen udføres bl.a. af Nilan og Ecovent. Ved Nilans løsning installeres et ekstra labyrintfilter efter emhætten for at undgå at fedtpartikler ender i ventilationsaggregatet.

Fra udlandet er der gode erfaringer med emhætter uden udkast til det fri, hvor luften i stedet filtreres i kulfiltre og recirkuleres i køkkenet. Dette er en enklere og billigere løsning. Erfaringerne er at selve emhætten er god til at tage den værste luftforurening (fedtpartikler), medens husets øvrige basisventilation sørger for at fugt og øvrige lugtgener hurtigt bortventileres. Der er ved nogle lavenergibyggerier opnået dispensation fra Bygningsreglementet til at udføre denne løsning.

6.2.8 Anbefalinger – ventilation

- Etabler gode muligheder for at skabe naturlig ventilation. Dette giver brugerne en mulighed for en relativ hurtig finjustering af den indvendige temperatur i varme perioder.
- Etabler naturlig ventilation, som kan anvendes både i dags- og nattetimer i varme perioder som supplement til den mekaniske ventilation. Kombinationen er sammen med god solafskærmning en effektiv løsning til at skabe et godt termisk indeklima.
- Foretag en tidlig disponering af plads til ventilationsanlæggets layout for at sikre mulighed for lyddæmpning og lave tryktab.
- Som hovedregel foretages indblæsning i de mindst belastede rum (soveværelser, opholdsrum m.m.) og udsugning i de mest belastede rum (køkken og badeværelse).
- Det kan overvejes, i perioder at gøre det muligt at flytte en del af indblæsningen til de rum, hvor brugerne pt. opholder sig. F.eks. til soveværelserne om natten. Sidstnævnte vil medvirke til en bedre luftkvalitet og til at den forøgede lidt køligere indblæsningsluft er med til at sænke temperaturen i soveværelset.
- I bygningsreglementet er det et krav at temperaturen skal kunne reguleres individuelt i hvert rum, og 2020 byggeri må ikke opvarmes udelukkende ved luftvarme. Centrale luftvarmeanlæg der opvarmer hele huset er således ikke mulige. Basisvarme, som f.eks. luftvarme fra en kompaktunit kan dog tilføres uden differentiering mellem rum, så længe mindre individuelle varmekilder i de enkelte rum giver mulighed for en væsentlig differentiering af temperaturen.
- Placer ikke ventilationsaggregater i opholdsrum og langt fra soverum. I forceret driftstilstand larmer de fleste aggregater.
- Anvend støjdæmpede løsninger ved luftovergange mellem rum på samme måde som kanalsystemet er lyddæmpet for at undgå "telefoneffekt". Undgå trækgener ved at

placere indblæsningsventiler på afstand af opholdszoner.

- Anvend emhætte tilsluttet ventilationsanlægget. I tætte huse er der ved afkast direkte til det fri. risiko for dårligt virkende emhætte og komplikationer i forhold til bioovne, medmindre der også etableres luftindtag til emhætten fra det fri.
 - Der er gode erfaringer med emhætter med recirkulation af luft via kulfilter. Dette er ikke tilladt i bygningsreglementet, men der er i flere tilfælde opnået dispensation.
-

7 Sommertemperatur i kritiske rum

Der har været fokuseret på, at specielt lavenergihuse er belastede af for høje temperaturer, men principielt bør risikoen for høje temperaturer ikke være meget større end i huse, der ikke er lavenergihuse. Forskellen i varmetransmission mellem et lavenergihus og et ikke lavenergihus er ikke så stor, at et ikke lavenergihus slipper nævneværdigt bedre fra at lukke for meget varme ind i huset.

Afgørende for begge hustyper er derimod, at der ikke slippes for megen solvarme ind ved fornuftig vinduesdisponering og effektiv solafskærmning, samt at der er gode muligheder for at bortventilere for høje temperaturer.

Muligheden for at der skal opstå for høje temperaturer i bygningen, er som regel størst i de rum, der er udsat for stort solindfald. Det er nødvendigt at vurdere risikoen for høje temperaturer, og i bygningsreglementet er specificeret, at for energiklasse 2015 og 2020 skal det dokumenteres, at der ikke opstår for høje temperaturer i for lang tid.

Den seneste version af Be10 er blevet udbygget, så der kan udføres en simplificeret beregning af enkelte rum. For boliger kan en sådan dokumentation ske ved beregning med Be10, og ellers må indeklimaet simuleres f.eks. med Bsim.

De tidligere nævnte anbefalinger vedrørende isolering, vinduer, solindfald og ventilation gælder naturligvis også for det enkelte rum, og nedenfor er anført yderligere anbefalinger.

7.1.1 Anbefalinger – Sommertemperatur i kritiske rum

- Mulighed for at styre rumtemperaturen i varme sommerperioder påvirkes af en række faktorer: vinduesareal, vinduesorientering, skygger, solafskærmning, ventilationsløsning, udluftningsmuligheder, naturlig ventilation, hybrid ventilation og termisk masse. Mange af faktorerne låses tidligt i designfasen og konsekvensvurderinger for sommertemperaturen i kritiske rum bør derfor indgå fra begyndelsen.
- Energiberegningsprogrammet Be10 ver. 7 kan anvendes til en simpel og meget hurtig vurdering af, om der vil være problemer med høje temperaturer i kritiske rum. Beregningsgangen er simpel og undersøgelsen af et rum tager under 5 min. når først energiberegningen er lavet.
- I større bygninger med komplekse sammenhænge mellem brugsmønstre og regulering af tekniske anlæg anbefales det, at der udføres en dynamisk simulering, som på timebasis kan beregne effektbalance og varmeakkumulering.
- Bemærk at i energiklasse 2015 og 2020 skal indeklimaet dokumenteres. For boliger kan det ske ved beregning af kritiske rum i Be10, og ellers må det simuleres.
- Opholdsrum med udelukkende nordvendte vinduer kan man som regel se bort fra i forhold til vurdering af sommertemperaturer.
- I opholdsrum med væsentlige glasarealer, som vender mod øst eller syd eller vest, bør det altid indgå i vurderingerne om sommertemperaturen kan styres med de valgte

løsninger. Opholdsrum som modtager solvarme hele dagen kan være særligt kritiske.

- Termisk masse bør anvendes med varsomhed. Tunge huse kan være meget svære at køle ned i varme perioder, hvis bygningsdelene først er blevet for varme. Dette skyldes at kølekapaciteten som bestemmes af forskellen mellem temperaturen ude og inde er lav.
 - Erfaringerne viser at det kan være et effektivt virkemiddel mod høje temperaturer at etablere naturlig ventilation eller hybrid ventilation. Ved disse ventilationsformer kan luftskiftet hæves væsentligt om natten når temperaturdifferensen er størst. Det er således muligt at opnå køling med et lille eller ingen ekstra elforbrug.
 - Naturligventilation kan etableres med fordel i bygninger i flere etager eller bygninger der ligger frit ved at kombinere åbning af vinduer i forskellige højder. Særligt højsiddende vinduer er effektive til at fjerne varme, som vil samle sig under taget/loftet.
 - I enetages bygninger eller bygninger, som ligger beskyttet kan det være en fordel at etablere hybrid ventilation. Hybrid ventilation kan være en kombination af åbne vinduer og udsugning via en ventilator med lavt tryk og stor luftmængde. Når temperatur- og vindforhold giver tilstrækkelige naturlige drivkræfter kan ventilatoren standses.
 - Det anbefales at foretage en prioritering af virkemidler til at undgå høje sommertemperaturer efter følgende kriterier i prioriteret rækkefølge: Undgå solindstråling, udvælg solafskærmningsløsninger, der har lille eller ingen genevirkninger for brugere, samt fjern overskudsvarme løbende(dag og nat) ved at etablere gode udluftningsmuligheder.
-

8 Opvarmning

Som bekendt har der i nogle af de første superlavenergihuse i Danmark været problemer med at kunne opvarme husene eller dele af husene tilstrækkeligt i kolde perioder.

Årsager hertil kan være at husets kilmaskærm ikke er udført som forudsat og derfor giver anledning til for store varmetab.

Men sandsynligt er det også at husets varmeanlæg har været underdimensioneret i forhold til behovet.

Årsager til at det dimensionerende behov er undervurderet kan være:

- Beregningsprogrammet regner forkert.
- Huset benyttes under andre forudsætninger end forudsat
- Klimaet er værre end det der er benyttet i beregningerne

8.1 Beregning af dimensionerende effekt

Ved superlavenergihuse spiller husets dynamik en større rolle for det dimensionerende varmebehov end for andre huse. I DS 469 for varmeanlæg [35] fastsættes den dimensionerende effekt som varmebehovet, når der er -12°C udenfor, når der ikke er solindfald samt ingen gratisvarme fra personer og apparater, og der tages ikke hensyn til husets varmekapacitet.

Hvis man regner dynamisk på effektbehovet vil man for lavenergihuse se, at det ofte kan være andre vejr-situationer, som kan kræve den største varmetilførsel. De lave nattemperaturer forekommer i Danmark således ofte i perioder med klar himmel og derfor soltilskud til huset om dagen. Vinterperioder med knap så lave temperaturer, men med lille soltilskud om dagen, således som det ofte forekommer i Danmark, kan derfor medføre et større behov for tilført varme. Dette gælder i særlig grad for superlavenergihuse, som har en lang tidsrespons i forhold til ændrede vejrforhold.

Som nævnt regner Be10 ikke dynamisk, medens Bsim simulerer effektbehovet time for time. I PHPP har Passiv Haus Institut i Tyskland analyseret de forskellige vejrdata, som programmet regner på, og identificeret 2 perioder, som vil være værst og som derfor benyttes ved dimensioneringen.

Til belysning af problematikken er der i det følgende udført en sammenligning af de effektbehov, som der beregnes med de 3 programmer Be10, PHPP og Bsim. Basis for undersøgelsen er Thyholm Huset opført i Skibet 2008 som en del af Komforthus projektet [13]. Huset er certificeret som passivhus. Huset har et etageareal på 177 m^2 . Huset har et indvendigt nettoareal "TFA" på 144.9 m^2 (benyttes i PHPP). Thyholm Huset er middeltungt byggeri med teglmur, betondæk samt skillevægge i tegl.

Be10-model

I Be10 er Thyholm Huset modelleret efter BR's normale krav, dvs. der opereres med gratisvarme fra personer og udstyr på i alt 5 W/m^2 , mekanisk ventilation på 0.3 l/m^2 pr. sek, -12 grader i dimensionerende udetemperatur mv. Bemærk imidlertid, at når Be10 beregner det nødvendige effektbehov, medregnes der ikke gratisvarme samt solindfald.

PHPP-model

Huset er modelleret jf. PHPP som en 1-zone model og følger PHPP-anvisninger. I PHPP udregnes effektbehovet i 2 vejsituationer af forskellig karakter, som Passiv Haus Institut har analyseret sig frem til er de mest effektkrævende (jvf. ovenfor).

PHPP benytter et væsentligt lavere energitilskud som gratisvarme fra personer og apparater (ca 1,7 W/m² mod Be10's 5 W/m²). Dette anses i de fleste tilfælde for mere realistisk og er derfor bibeholdt ved PHPP beregningen [9].

Bsim-model

Bilag 2 viser modellen af huset benyttet til Bsim analyse. Modellen er opbygget med klimaskærm, rumopdeling, ventilation mv. så tæt som muligt på det opførte Thyholm Hus. Varmeanlægget er i de foretagne beregninger udført med hurtigtvirkende radiatoranlæg.

Ventilationsanlægget i Thyholm Huset er udført med jordveksler for temperering af friskluft før indgang til modstrømsveksler, således at afrimning elimineres og der sikres en konstant høj indblæsningstemperatur på minimum ca. 16 grader i den koldeste periode af året. Bsim kan ikke simulere jordveksler, så denne er udeladt i simuleringerne. Som erstatning for virkningen af jordveksleren er der i modellen integreret en varmeplade i ventilationsanlægget, som sikrer en indblæsningstemperatur på minimum 16 grader.

Ved Bsim simuleringen er benyttet samme lave energitilskud fra personer og apparater som ved PHPP beregningen, idet denne i de fleste tilfælde anses for mest realistisk.

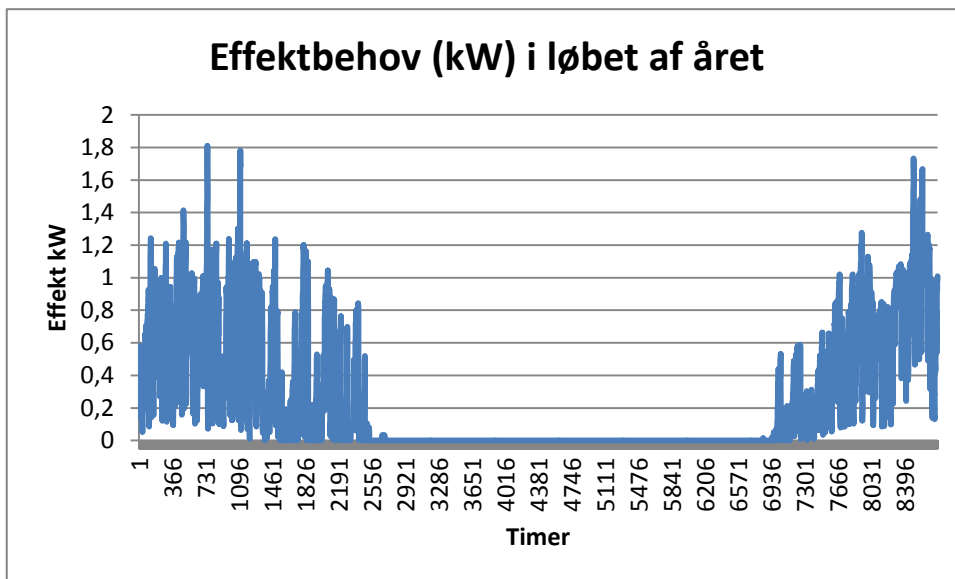


Figur 36 Thyholm Huset

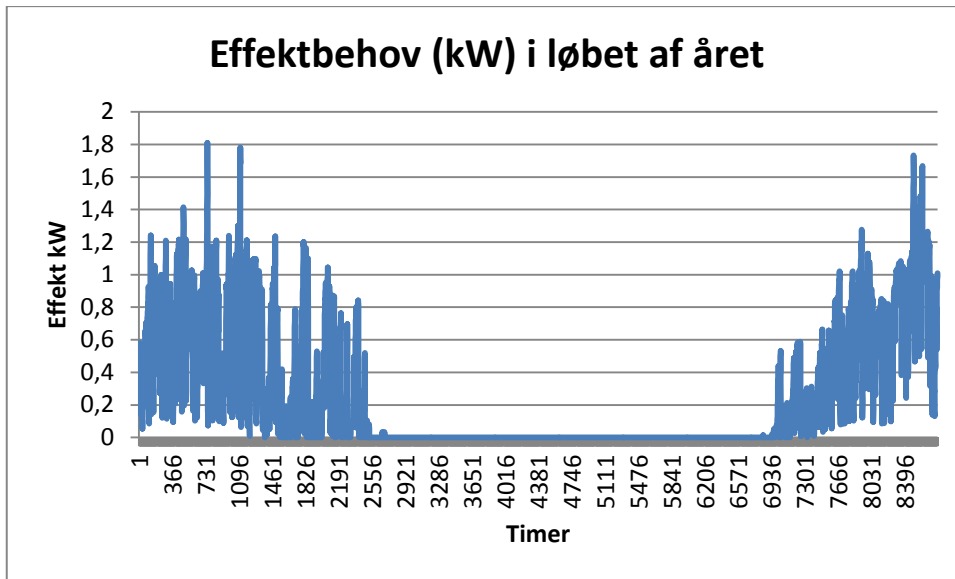


Figur 37 Thyholm Huset er udført med kompaktanlæg fra Drexel & Weiss bestående af 2,5 kW jordvarmeanlæg, ventilationsanlæg og varmtvandsbeholder

Bsim angiver ikke direkte det nødvendige effektbehov, men dette kan man finde som den maksimale timeværdi ved gennemgang af beregningerne.

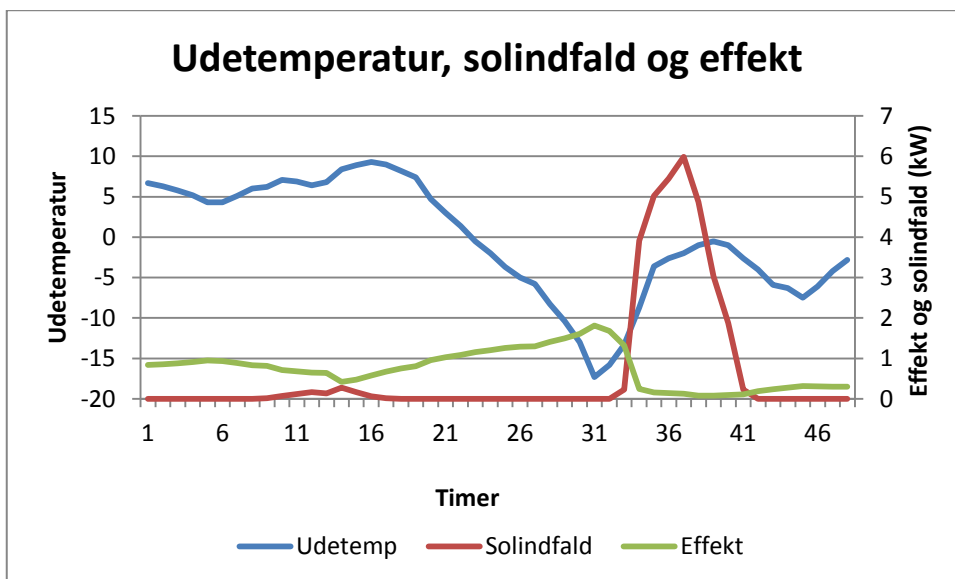


Figur 40 viser beregnet effektforbrug over hele året til rumopvarmning, og det ses at det maksimale effektbehov på 1,8 kW findes på et tidspunkt i begyndelsen af februar.



Figur 38 Effektbehov for Thyholm Huset i løbet af året (Bsim)

Figur 41 viser simuleringen i den periode på 48 timer (primo februar), hvor det maksimale effektbehov på 1.8 kW optræder. Det ses at i dette tilfælde optræder det maksimale effektbehov efter en dag, hvor der ikke har været solindfald, og hvor der efterfølgende sker et kraftigt fald af udetemperaturen til -17.3 grader. Det ses endvidere at solindfaldet dagen efter får effektbehovet til at falde til næsten nul.



Figur 39 Sammenhæng mellem udetemperatur, effekt og solindfald for periode på 48 timer (primo februar). Dimensionerende effekt på 1.8 kW.

Bemærk at selvom der kan findes en maksimal effekt både ved beregning med PHPP og Bsim opfylder den ikke DS 469 og dermed bygningsreglementet, idet det som beskrevet ovenfor i DS 469 er angivet at det dimensionerende effektbehov skal beregnes, som det sker i Be10 d.v.s uden at der regnes dynamisk og uden der tages hensyn til gratisvarme og solindfald.

Tabel 5 viser tal for beregnet effekt- og rumvarmebehov for de 3 programmer. De specifikke rumvarmeforbrug er alle relateret til et etageareal på 177 m².

Tabel 6

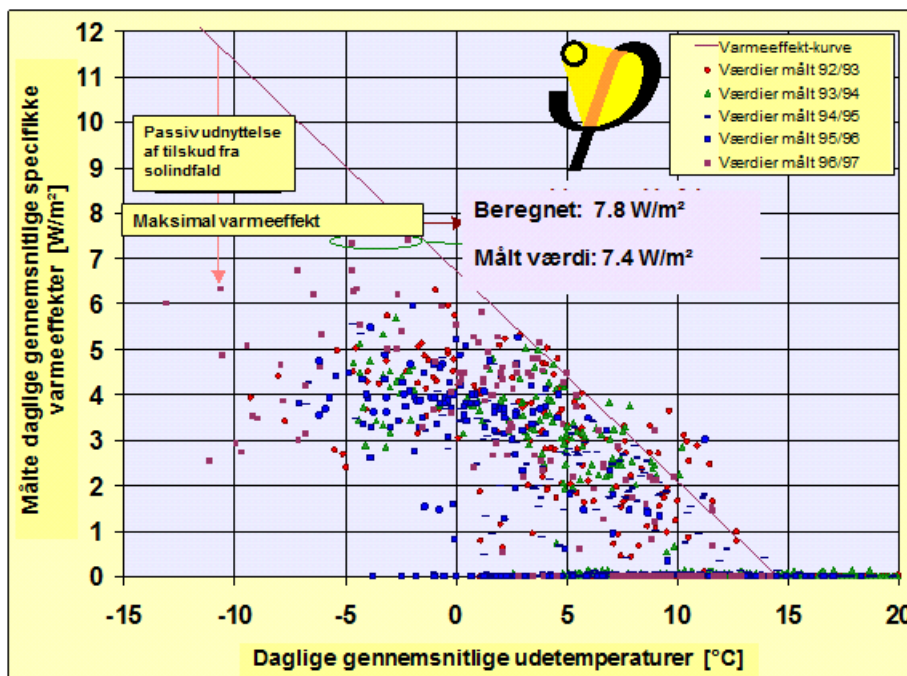
	Dimensionerende effektbehov [kW]	Rumvarmebehov [kWh]	Specifikt rumvarmebehov
Be10	3.0 kW	1850 kWh	10.5 kWh/m ²
PHPP	1.7 kW	2194 kWh	12.4 kWh/m ² * ad 1)
Bsim	1.8 kW	2176 kWh	12.3 kWh/m ²

Ad 1: Huset har et rumvarme jf. PHPP på 15.1 kWh/m² (indvendigt nettoareal)

Med hensyn til effektbehov ses det af tabellen, at Be10 giver klart det højeste effektbehov. PHPP og Bsim er tæt på hinanden med en afvigelse på 6%. De sidstnævnte programmer medtager begge betydningen af gratisvarme og solindfald, hvilket er den primære årsag til den relativt store forskel til Be10.

Mht. årligt rumvarmebehov tager alle 3 programmer hensyn til solindfald og gratisvarme, og det ses, at der for Thyholm Huset tilnærmelsesvis er fuld overensstemmelse mht. beregnet rumvarmebehov for Bsim og PHPP, men ikke i forhold til Be10. Dette skyldes, at der i de aktuelle beregninger er benyttet samme forudsætninger vedrørende gratisvarme og ventilation i PHPP og Bsim, men ikke i Be10.

På Figur 42 er vist målte daglige gennemsnitlige specifikke varmeeffekter for et passivhus i Darmstadt Kranichstein som funktion af udetemperaturen. Det maksimale effektbehov er med PHPP beregnet til 7,8 W/m². Det ses, at ingen af de målte effekter kommer over denne værdi, idet der er en tendens til, at i det aktuelle klima vil den passive soludnyttelse begrænse effektbehovet ved de lave udetemperaturer.



Figur 40 Specifikt effektforbrug (målt) for passivhus- sammenligning med PHPP (kilde: Passivhaus Institut)

Varmt brugsvand

Varmeanlægget skal desuden være i stand til at forsyne husstanden med tilstrækkelige mængder af varmt brugsvand i de koldeste perioder. Den nødvendige effekt afhænger af varmtvandsanlægget. Hvis der f.eks. er et dagligt forbrug på 160 liter varmt vand, som opvarmes fra 10 – 55 grader, og en varmtvandsbeholder på mere end 160 liter kræves en middeleffekt i alle døgnets timer på 0.35 kW. Denne effekt skal i henhold til DS469 adderes til varmesystemets samlede effektbehov.

I kompaktanlæg og i andre installationer kan der være brugsvandsprioritering, således at anlægget ikke leverer varme til rumopvarmningen, når der er behov for opvarmning af brugsvandet. Hvis kompaktanlæggets maksimale kapacitet i det viste eksempel for Thyholm Huset kun var 1,8 kW, ville anlægget skulle prioritere brugsvandet i 4.7 timer i døgnet, hvor det således ikke kunne lave rumopvarmning. I perioder med ekstra mange gæster kan der måske være tale om længere perioder, hvor der således ikke er nok effekt til rumopvarmning.

Konklusioner vedrørende det dimensionerende effektbehov

Ved lavenergihuse, hvor der har været problemer med at opnå tilstrækkelig komforttemperatur i vinterperioder, har der været overvejet flere mulige årsager til dette.

Således har været nævnt betydningen af, at beboere som regel har mere end 20 °C i stuen sådan som det er forudsat i DS469. Endvidere har været nævnt betydningen af, at der ikke er så megen gratisvarme i huse, hvor der bor færre personer end forudsat. Der har været nævnt betydningen af koldere vintre end forudsat og endelig har været nævnt, at der skal en ikke ubetydelig varmemængde til at uddrive byggefugt i husets første leveår.

Tabel 6 viser det maksimale effektbehov for Thyholm Huset beregnet med PHPP ved forskellige indetemperaturer.

Tabel 7 Dimensionerende effect

Indetemperatur [C]	Dimensionerende effekt (PHPP) [kW]
20	1.7
22	1.9
24	2.1

Det er klart at de ovennævnte forhold vedrørende indetemperatur, gratisvarme og klima spiller ind for det årlige energibehov, og det spiller også ind for det dimensionerende effektbehov, hvis varmeanlægget har været dimensioneret "til grænsen" f.eks. baseret på PHPP eller Bsim.

Thyholm Huset er udført med et kompaktanlæg (jordvarmeanlæg) med en max effekt på ca 2.5 kW. Korrigeres for middeleffekt til varmtvandsproduktion på 0.35 kW, er der ca. 2.15 kW til rådighed for rumopvarmning. I forhold til det dimensionerende effektbehov jf. PHPP på 1.7 kW er der derfor en sikkerhedsfaktor på 1.25. I meget kolde perioder (< -10 grader) er der registreret kortvarige perioder, hvor rumtemperaturen i huset falder til lige under 20 grader (ca. 19 grader) og hvor det er tydeligt, at unitten er presset til det yderste mht. ydelse. Huset var på det pågældende tidspunkt beboet af 2 voksne og 1 barn.

Det vurderes imidlertid, at hvis varmeanlægget dimensioneres i henhold til DS469, hvor der ikke tages hensyn til solindfald og gratisvarme, vil det i de fleste tilfælde være på den sikre

side. Heri indgår også en vurdering af, at det er rart at have reservekapacitet i opvarmningsanlægget til at kunne genopvarme huset hurtigt f.eks. efter en vinterferie.

8.1.1 Anbefalinger – installeret effekt

- Jf. DS 469 skal den dimensionerende effekt bestemmes ved en udetemperatur på -12°C og uden varmetilskud fra solindfald og personer og maskiner m.m. Dette vurderes at give tilstrækkelig sikkerhed i forhold til at kunne klare den fornødne opvarmning under danske forhold.
- Be10 kan benyttes til beregning af effektbehovet jf. ovenstående.
- Ved beregning med PHPP eller Bsim kan beregnes mindre effektbehov, men dette er så baseret på, at der er en vis gratisvarme til rådighed for beboelse samt et vist solindfald m.v. Dette er forhold, som man ikke kan være sikker på altid gælder for huset. Hvis man ønsker at opvarme huset udelukkende med et aggregat med lille kapacitet (f.eks. et kompaktanlæg) og f.eks. søger dispensation for bestemmerne i bygningsreglementet, således som det er sket for en række danske byggerier, må man derfor være meget nøje med dimensioneringen, samt vurderingen af, hvilken ekstra kapacitet der er nødvendig.
- For anlæg med mikro-varmepumper skal det sikres, at rumopvarmning ikke "frakobles" i meget lange perioder på grund af brugsvandprioritet (ved store brugsvandsbehov kan en mikrovarmepumpe have problemer med at følge med) – eventuelt kan en boost-effekt (f.eks. hjælpe-elpatron i varmtvandsbeholder) overvejes til kritiske situationer.

8.2 Opvarmningseffekt for specifikke rum

Det er vigtigt at kende effektbehovet i de enkelte rum for at kunne foretage en korrekt dimensionering af varmeafgivelsen. Denne bestemmelse kan foretages i hånden via DS 418, i Be10 ver. 7, eller i avancerede simuleringsprogrammer som Bsim. Beregningen skal medtage varmetab gennem klimaskærm og korrekte ventilationsmængder inklusiv indblæsningstemperatur.

Er den krævede effekt ikke til stede under alle forhold, kan ønsket rumtemperatur ikke fastholdes. Hvor meget rumtemperaturen afviger fra det ønskede, afhænger udover opvarmningseffekt, også af luftudveksling med andre rum, samt termisk kobling til tilstødende rum. I kapitel 7.2.1 analyseres via et eksempel betydningen af manglende opvarmningseffekt.

8.2.1 Rumtemperatur – betydning af manglende effekt

I superlavenergihuse har man nogen gange antaget, at der ikke behøvedes så stor opmærksomhed på temperaturen i det enkelte rum, idet man har antaget at temperaturen indenfor den kraftige isolering ville udligne sig. Dette har i flere byggerier medført en for lille fokus på tilstrækkelig præcis bestemmelse af effektbehov med deraf følgende endog meget lave indetemperaturen i udsatte rum. Især byggeri med ren luftopvarmning, hvor opvarmningen er 100 % koblet til ventilationen og ventilationen skal køre præcist, som forudsat med korrekte flowmængder, har været udsat for dette problem.

Antagelsen om at varmen nemt kan fordele sig i huset og give jævn temperatur, er en forsimplet antagelse og har givet problemer i byggeri. Årsagen til at der ikke sker en fuld temperaturudjævning skyldes følgende:

- Luften "kan ikke bevæge sig frit mellem rummene på grund af vægge og døre
- Flowretninger for luft er primært styret af den mekaniske ventilation
- Termiske kobling mellem rum dvs. hvor god temperaturudligning der er mellem rummene via varmetransmission, kan være lav. En skillevæg i tegl giver en meget høj kobling; er det ene rum varmere end det andet, vil varme nemt strømme fra det varme rum til det kolde rum (vægvarme). Omvendt vil en let skillevæg med isolering give en meget ringe termisk kobling; er det ene rum varmere end det andet, vil varme kun meget svagt strømme fra det varme rum til det kolde rum.

Problemer med for kolde rum hvor opvarmningseffekten ikke kan følge med, kan eksempelvis optræde hvis friskluften er koldere end forudsat eller hvis luftmængden er større end forudsat, og man kun har regnet med 0,3 l/m²*sek for selve værelset og "glemt", at luftmængden f.eks. også ventilerer en gang.

Betydning af manglende opvarmningseffekt i en meget kold periode, er analyseret i Bilag 3A for et enkelt rum i Thyholm Huset. Rummet har et indvendigt areal på 17.8 m² (udvendigt areal = 23.7 m²) og vender mod nordøst. Rummet har en terrassedør mod øst. Rummet ventileres som udgangspunkt med 30 m³/h friskluft. Friskluften tilføres rummet med en temperatur på 16 grader (den meget kolde udeluft forvarmes i en brinekreds, således at tilisning og efterfølgende bypass med meget kold luft undgås. Via passage af ventilationsanlægget modstrømsveksler hæves temperaturen til 16 grader).

Vurdering af resultater

Selvom simuleringerne er forenklede og eksempelvis ikke medtager luftudveksling ved gentagen "åbning-lukning" af dør, viser de tydeligt, at der indenfor en ekstrem velisoleret klimaskærm kan opstå lave rumtemperaturer, hvis effekten er utilstrækkelig på grund af, forkerte forudsætninger om ventilationsflow, lavere varmegenvindingsgrad end forudsat, mindre tilgængelig effekt end forudsat. Derfor skal man være meget omhyggelig med nøje projektering.

Simuleringerne viser også, at den termiske kobling har en klar indvirkning på, hvordan temperaturudjævning mellem rum forløber. Hvis varmeafgivelsen i rum er slukket eller utilstrækkelig, kan rum blive kolde; især i byggeri med lette isolerede skillevægge kan der opstå temperaturer klart udenfor komfortområdet.

8.2.2 anbefalinger – effekt i kritiske rum

- Beregn dimensionerende effektforbrug for de enkelte rum i bygningen for at sikre tilstrækkelig opvarmningseffekt – brug DS 418 eller Be10.
 - Regn på den rigtige ventilationsmængde, vær opmærksom på det øgede effektbehov, hvis ventilationen i det kritiske rum er dimensioneret til at skulle ventilere flere rum (indblæsning i et rum og udsugning i et andet).
 - Bemærk at i energiklasse 2015 og 2020 skal indeklimaet dokumenteres. For boliger kan det ske ved beregning af kritiske rum i Be10, og ellers må det simuleres.
-

8.3 Termisk differentiering

Det kan være et stort ønske at have mulighed for differentierede temperaturer i lavenergihuset, for eksempel et ønske om et koldt soveværelse.

I Bilag 3B er der foretaget en analyse af mulighed for termisk differentiering i et ekstremt velisoleret hus (Thyholm Huset) dvs. mulighed for forskel i temperatur mellem forskellige rum. Ønsker man eksempelvis et koldt soveværelse, kan det opnås i en stor del af vinterhalvåret ved at slukke for sit varmeanlæg i rummet og lukke af til husets øvrige rum (den mekaniske ventilation er uændret og fortsætter med at levere friskluft forvarmet via anlæggets varmeveksler). Uden at åbne for vinduerne (og dermed bypasse sin varmegenvinding), kan man typisk sænke temperaturen 2.5-4.5 grader i forhold til husets øvrige rum. Hvor meget temperaturen kan sænkes, afhænger især af skillevæggens opbygning, varmetab for klimaskærmen i det pågældende rum, effektiviteten af varmegenvindingen samt luftmængden (største termiske differentiering opnås i huse med skillevægge med lav varmetransmission, samt med store luftmængder).

Det skal bemærkes, at et klassisk luftvarmesystem til opvarmning af friskluft (opvarmning til for eksempel 50 grader) normalt kun er udstyret med en enkelt varmeplade; denne varmeplade styres af en centralt placeret rumtermostat. Dette betyder, at varm frisk luft blæses ind i alle rum, også rum som måtte ønskes kolde. Den ønskede lavere temperatur kan derfor ikke opnås i disse rum uden en vis åbning af vinduer, som koster energi. Opbygning af luftvarmeanlæg med mulighed for differentieret indblæsningstemperatur (brug af flere rumtermostater samt reguleringsspjæld) er mulig, men giver en fordyrelse af anlægget.

8.3.1 Anbefalinger – effekt og termisk differentiering

- Det er i perioder muligt at holde temperaturen lavere i enkelte af husets rum. Hvor meget og i hvor store perioder afhænger af forholdene, men kan i mange tilfælde imødekomme beboernes ønske om f.eks. et køligere soveværelse.
- Hvis rummet ikke opvarmes med luftvarme, men f.eks. en radiator vil slukning af denne, samt at døren til øvrige rum holdes lukket, kunne sænke temperaturen 3-4 °C i vinterens koldeste måneder, selvom vinduet ikke åbnes.
- Lette skillevægge med isolering giver bedre temperaturadskillelse til de øvrige rum end massive teglvægge.
- Temperatursænkningen afhænger i høj grad af temperaturen på ventilationsluften. Såfremt rummet opvarmes med luftvarme vil temperatursænkningen kun kunne gøres, hvis det er muligt at afbryde varmetilførslen til ventilationsluften for det enkelte rum.
- Hvis ventilationsluften ikke eftervarmes, men blot forvarmes af varmevekslingen vil den indblæste temperatur afhænge af effektiviteten af varmevekslingen.
- Endvidere vil temperatursænkningen afhænge af, hvor stor ventilationsmængden er. Hvis rummet tilføres meget kølig luft, vil det være muligt at sænke temperaturen mere,

end hvis der ikke tilføres så meget luft.

- Rummets temperatur kan naturligvis sænkes yderligere ved åbning af vinduer, men dette vil i opvarmningsperioden betyde en forøgelse af energiforbruget til opvarmning.
- Udenfor opvarmningsperioden er det naturligvis vigtigt, at beboerne har mulighed for at holde vinduer åbne om natten.

8.4 Installationer til opvarmning

I enfamiliehuse er den effekt det er nødvendigt at tilføre så lille, at tidligere normalt dimensionerede varmeanlæg vil være voldsomt overdimensionerede. For at imødekomme de små varmebehov i enfamiliehuse er der derfor kommet produkter på markedet, som har væsentligt mindre effekt end tidligere. Nedenfor er givet kommentarer til anvendelser i superlavenergihuse.

8.4.1 Varmepumper

Da varmepumpers årsydelse og effekt afhænger af mange forhold – herunder varierende temperaturer i varmekilden og hvor varmen afgives - er det kompliceret at beregne en præcis ydelse fra en varmepumpe samt varmepumpens energiforbrug.

Det er vigtigt at have testdata fra varmepumpen under de rigtige temperaturforhold.

Da temperaturer og energibehov varierer over året skal en korrekt ydelse beregnes med et program, der både kan regne detaljeret på huset og på varmepumpen.

De mest almindelige programmer der findes til beregning af lavenergihuse kan ikke foretage en sådan detaljeret beregning, og der er derfor usikkerhed om, hvor præcist man kan forvente et resultat, og det er derfor vigtigt at have tilstrækkelig kapacitet på varmepumpens ydelse.

Ved anvendelse af varmepumper er det særligt vigtigt, at tage hensyn til at disse indeholder en kompressor, som kan give anledning til støj og vibrationer. Varmepumper bør derfor placeres på og ved faste tunge underlag, som ikke forplanter vibrationer. Endvidere er støjstrålingen særligt ved start af kompressoren generende og hørbar, derfor bør disse anlæg placeres i separate rum så langt fra soverum som muligt.

8.4.2 Boligventilationsvarmepumper

Da passivhuse er designet netop med henblik på at al rumopvarmning kan leveres med ventilationsluften er der i de fleste passivhuse i udlandet installeret ventilationsvarmepumper (kompaktanlæg) hvor varmen udtages af afkastluften og benyttes som eneste opvarmningskilde til at opvarme det varme brugsvand samt til at opvarme indblæsningsluften.



Figur 41 Kompaktaggregat til luftvarme, Nilan.

De danske firmaer Nilan og Genvex udfører sådanne anlæg, som er blevet testet og certificeret ved passiv Haus Institutet i Tyskland, og som de har leveret til mange passivhuse. [36]

Anvendelsen er især en fordel i huse hvor der ikke stilles krav om termisk differentiering af rummene, idet anlægget kan installeres således at det centralt opvarmer ventilationsluften som fordeles til de forskellige rum ved den samme temperatur. Dette giver en meget enkel og billig installation, og det er erfaringen fra udlandet, at i huse med rigelig mekanisk ventilation kan beboerne efter et stykke tid vænne sig til, at der er samme temperatur i alle rum.

I Danmark kan anlæggene ikke anvendes om eneste varmekilde, da det kolliderer med bygningsreglementets bestemmelser vedrørende termisk differentiering af rum (se afsnit 8.3). Der er dog i Danmark udført en del bygninger, hvor der er givet dispensation i forhold til bestemmelserne.

Anlæggene kan dog i Danmark endvidere anvendes med supplement fra andre varmekilder.

F.eks. markedsfører Nilan således et anlæg med integreret en jord- eller luftvarmepumpe til opvarmning af boligen, hvilket giver mulighed for individuel opvarmning af de enkelte rum. Anlægget har endvidere den mulighed at passiv køle boligen med en brine/vand varmeveksler via ventilationsluften, men også via centralvarmesystemet ved at lede koldt vand igennem det.

Endvidere findes ventilationsanlæg, der er udstyret med en modstrømsveksler kombineret med en varmepumpe, og hvor varmepumpen ikke brugertil produktion af varmt brugsvand, men udelukkende til opvarmning af tilluften.

Beregning af ydelsen for anlægstypen er yderligere vanskelig end beregning af andre varmepumper, som beskrevet ovenfor.

Bl.a. Nilan har udarbejdet et notat om hvordan anlægstypen tages i beregning i Be10, men ellers kan anlægstypen beregnes med PHPP, som er udfærdiget specifikt til at tage anlægstypen i beregning ud fra de testcertifikater som er udarbejdet af Passiv Haus Institut [36]

Til yderligere belysning af problematikken vedrørende anvendelse af ventilationsvarmepumper se bilag 8

Som en del af nærværende projekt er anlægstypen vurderet nærmere ved målinger på anlæggene i 3 energirenoverede huse i Hjørring. Se bilag 6

8.4.3 Bioovn

Bioovne til træpiller og fastbrændsel kan godt benyttes i forbindelse med superlavenergihuse, men det kræver særlig fokus på helt gennemarbejdede løsninger. I Danmark er der begrænset erfaring med brug af bioovne i lavenergibyggeri og et "dansk designgrundlag" findes ikke rigtigt. I rapporten "Bologopvarmning ved brændefyring" [37], er der udført en analyse og vurdering af mulighederne for brug af brændeovne i nybyggeri.

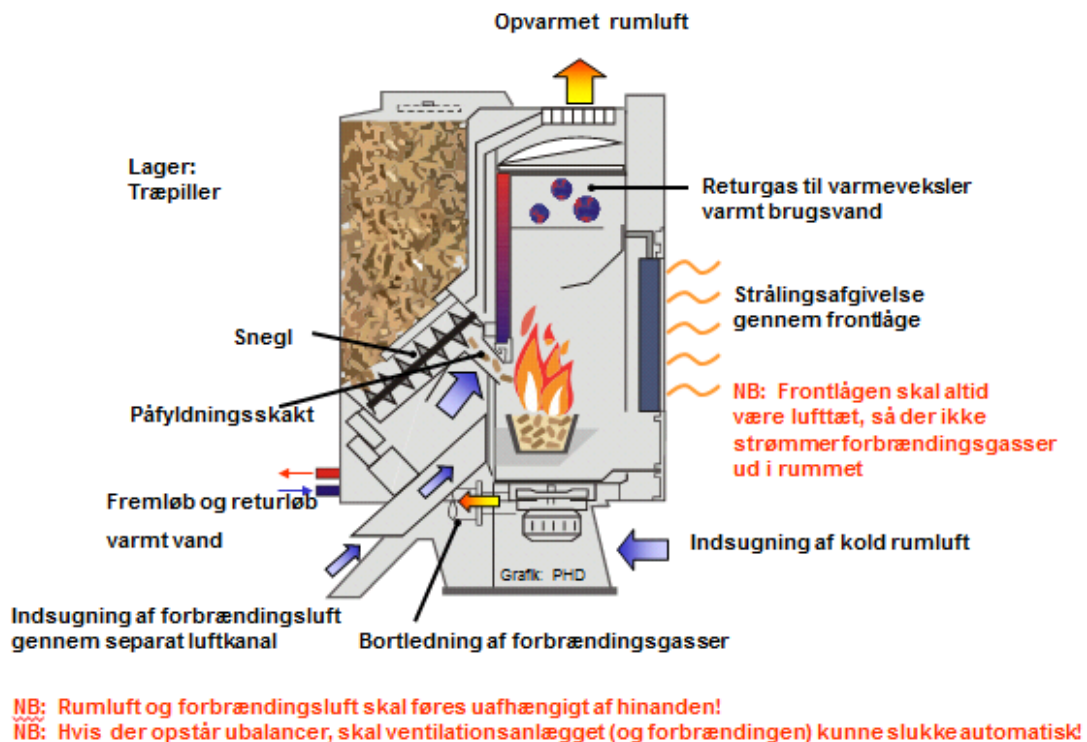
I Tyskland og Østrig findes der et meget stort antal superlavenergihuse, som har velfungerende varmesystemer med bioovn som den primære varmekilde. For at undgå uhensigtsmæssigt drift i sommerhalvåret, er disse bioovne stort set altid kombineret med solvarmeanlæg, som dækker varmekonsumet (primært varmt vand) tilnærmelsesvis 100 % i perioden April – Oktober.

Der er i udlandet foretaget et stort udredningsarbejde og foreligger gode sikre løsninger. Hvis man ønsker at installere en bioovn-løsning i et lavenergihus er det derfor en god ide at seke til disse gennemarbejdede løsninger. Hovedprincipperne kan ses af Figur 43 og Figur 44 og beskrives i det følgende:

- Varmeafgivelsen til det rum, hvor bioovnen er opstillet, skal begrænses for at undgå overophedning. Bioovnen skal være udstyret med vandkedel, så en stor del af ovnens effekt afsættes til centralvarmevandet. Forholdet mellem varmeafgivelse rum/centralvarmesystem må maksimalt være 20/80. Der findes systemer med 10/90. Forholdet 40/60 er ikke acceptabelt, fordi den direkte varmeafgivelse til rummene vil blive for stor. Bioovnen bør endvidere ikke opstilles i mindre rum da varmeafgivelsen fra ovne vil opvarme rummet for kraftigt.
- Der skal suppleres med et solvarmeanlæg. For at undgå uhensigtsmæssigt drift i sommerhalvåret, er bioovne stort set altid kombineret med solvarmeanlæg, som dækker varmekonsumet (primært varmt vand) tilnærmelsesvis 100 % i perioden April – Oktober.
- Der skal indbygges en passende stor buffertank i systemet for at give en mere jævn drift af bioovn (særligt relevant for bioovne til fastbrændsel, men også relevant for pilleovne). En buffertank også nødvendig af hensyn til solvarmeanlægget. For en pilleovn med max effekt på 8 kW anbefales et tankvolumen på 300-500 liter.
- Forbrændingsluften må ikke føres sammen med rumluften. Brændeovnen skal have separat luftkanal til forbrændingsluft, således at bioovn og ventilationsanlæg ikke påvirker hinanden.
- Bioovnen skal være meget lufttæt (frontlågen skal kunne lukke effektivt).

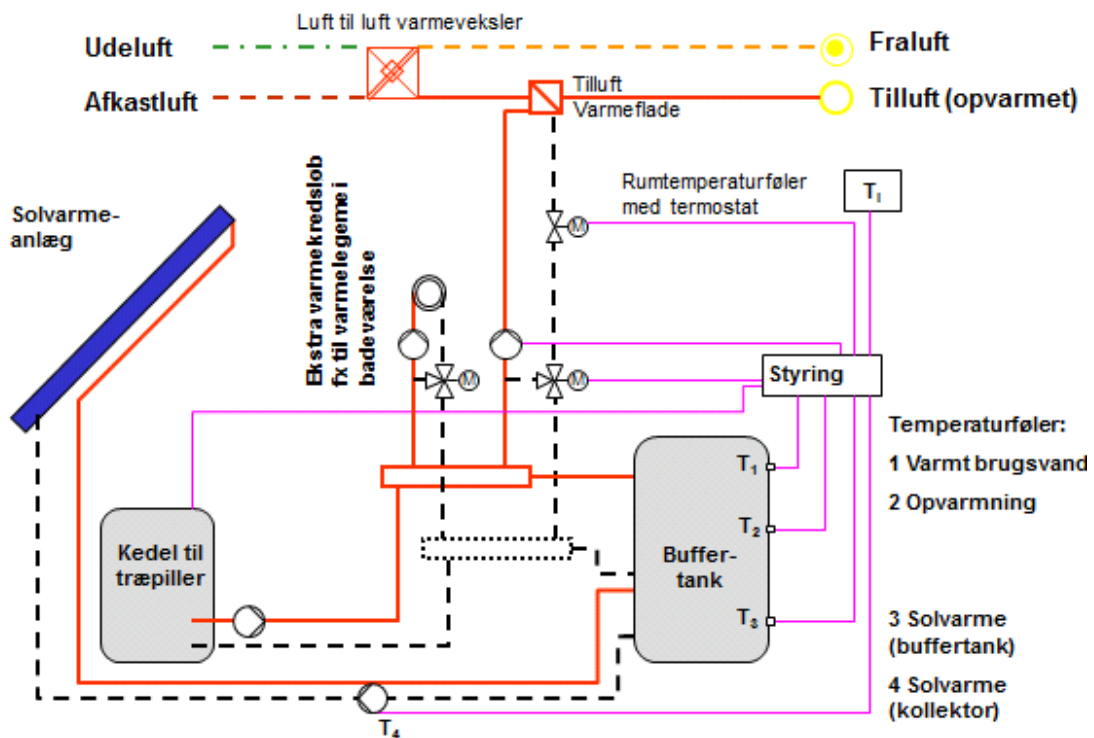
- Sikkerhed og frakobling: Hvis der er ubalance (trykforskel mellem ovn og rum > 1 Pa, dvs undertryk i rummet for eksempel på grund af fejl i ventilationssystemet), skal ventilationsanlægget stoppe. Hvis det ikke sker, er der risiko for, at forbrændingsgasser bliver suget ud af ovnen i tilfælde af lækage ved frontlågen.

Biomasse: System: Træpilleovn



Figur 42 Bioovn til træpiller til superlavenergi huse – indbygget kedel [38]

Biomasse: Opbygning af anlæg - træpiller/brænde



Figur 43 Klassisk tysk/østrigsk system med bioovn til træpiller suppleret af solværmeanlæg. Buffertank er indbygget. Rumvarme afgives både som luftvarme og gulvvarme/radiatorvarme [38]

8.4.4 Gulvvarme

Gulvvarme i superlavenergi huse giver ofte anledning til misforståelser mellem projekterende og brugere. Da et superlavenergi hus opvarmet med gulvvarme kun kræver en minimal overtemperatur på gulvet på ca. 1-3 grader i forhold til rumluften betyder det at mange sædvanlige gulvmaterialer som fliser, klinker og pvc vil føles kølige selvom gulvet afgiver varme.

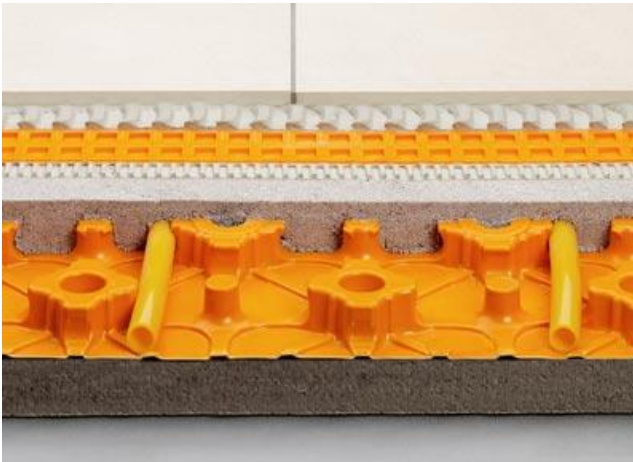
Tabel 28.1. Komforttemperaturer for forskellige gulvmaterialer for personer med bare fødder.

Gulvbelægning	Komfortabelt temperaturinterval, °C
Sten, marmor, beton	27-30
Linoleum, pvc	25-29
Træ, kork	23-28
Tæppe	21-28

Figur 44 Tabel fra Indeklimahåndbogen.

En metode til at opnå komfortgulvvarme kan være at anvende lette gulvvarmesystemer på begrænsede arealer. Gulvvarmetemperaturen kan da hæves i tidsbegrænsede intervaller, hvorved det er muligt at opnå en komfortabel temperatur på gulvet uden at varmeafgivelsen

bliver så stor at rummet overophedes. Et eksempel kunne være hurtigvirkende gulvvarme i badeværelset i den del af gulvarealet som typisk betrædes. Hvis temperaturen hæves kortvarigt morgen og aften kan der opnås en forbedret komfort.



Figur 45 Gulvopbygning med hurtigvirkende gulvvarme. Kilde: Schlüter Systems

Det vil generelt ikke være muligt at opføre superlavenergihuse med gulvvarme, som lever op til den traditionelle forventing om komforten ved et gulvarmesystem. Gulvvarme i superlavenergihuse vil ofte give problemer, hvis ikke der laves en forventningsafstemning med brugerne.

Da der ikke kan opnås en høj gulvtemperatur uden overophedning kan valg af gulvbelægning i stedet bruges til at skabe komfort. Generelt vil gulve af lette træsorter som fyrretræ og kork give gulve, der ikke føles kolde ved normal rumtemperatur. Gulvvarme kan udmærket anvendes om varmekilde, men den bør være hurtigvirkende og den kan med fordel begrænses til mindre arealer for at reducere investeringen. Hvis der anvendes gulvvarme i mindre arealer, bør disse udvælges så brugerne kun sjældent betræder disse, da der ellers opstår ubehag på grund af temperaturforskelle. Mindre områder som er egnet til gulvvarme er f.eks. vinduesnicher ved glasarealer der går til gulvet eller områder som primært betrædes med sko.

8.5 Anden varmeafgivelse

Radiatoranlæg kan være en velfungerende, billig og enkel varmeløsning i et superlavenergihus. Særligt når varmekilden er f.eks. fjernvarme eller en bioovn kan radiatorer være et godt alternativ.

Der er i superlavenergihuse lang større frihed til placering af radiatorer, da disse er små og ikke behøver at sidde under vinduer for at modvirke kuldenedfald. Radiatorer er en sikker løsning til hurtig regulering af rumtemperaturen, og en løsning som mange danskere har en intuitiv forståelse af.

8.5.1 Anbefalinger – installationer

- Ved dimensionering af varmegivere bør det overvejes om besparelsen ved at dimensionere til grænsen er en god ide, særligt når varmekilden har overkapacitet. Der kan opnås større fleksibilitet ved ønske om højere rumtemperatur og ved ønske om

kortvarigt at hæve temperaturen.

- Cirkulation af varmt brugsvand medfører øget energiforbrug og forøget varmebelastning om sommeren og bør undgås ved planlægning af teknikrumsplacering eller evt. ved brug af mindre rørdimensioner til kritiske tapsteder.
 - Pas på støj fra installationer. I lavenergi huse er baggrundsstøjen ofte lav og støj bliver derved mere hørbar.
 - Større akumuleringsstanke for solvarme og bioovne kan, selvom de er velisolerede, afgive en væsentlig effekt til opstillingsrummet typisk 150-200W. Varmeafgivelsen kan medvirke til varmemproblemer om sommeren.
 - Invertere for solcelle anlæg bør om muligt placeres uden for klimaskærmen, da både støj fra køleblæser og varmeafgivelse er et problem i forhold til indeklimaet. Varmeafgivelsen fra en inverter kan ved et 6 kWp anlæg typisk ligge på 100-300W.
-

9 Køling

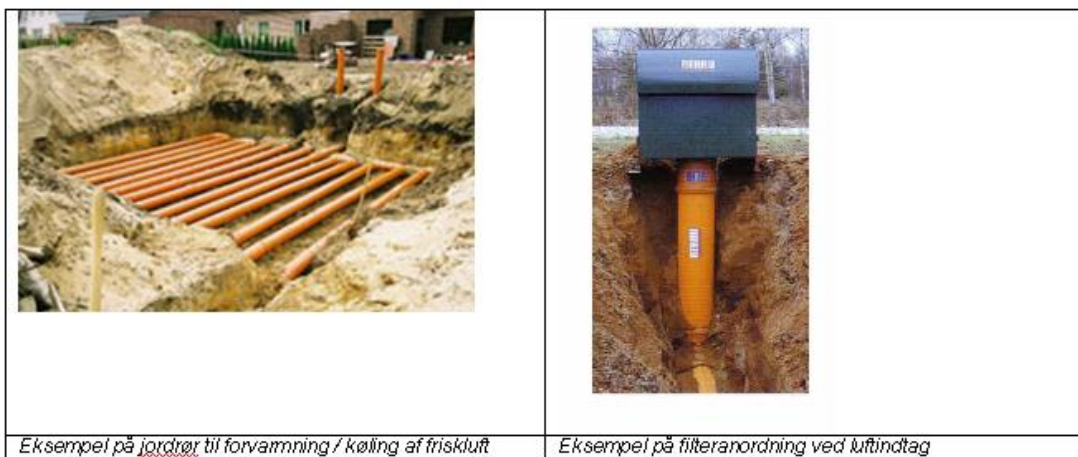
Generelt skal huset så vidt muligt udformes så energikrævende og fordyrende køling undgås. Naturlig ventilation er et af de vigtigste midler til fjernelse af overtemperaturer i huset. Naturlig ventilation er dog ikke altid tilstrækkelig. Som et ekstra middel til fjernelse af overtemperaturer er frikøling så småt på vej ind i parcelhusbyggeri, især i udlandet i forbindelse med passivhusbyggeri benyttes frikøling i stigende grad.

I de følgende gennemgås metoder og principper indenfor frikøling til parcelhuse.

9.1 Køling af ventilationsluft via jorden.

Luftkanal i jord

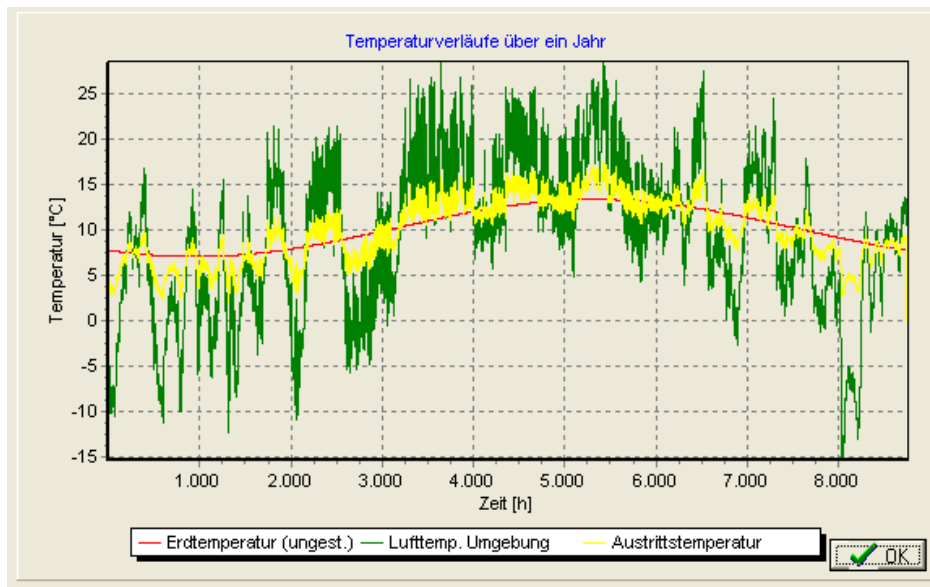
En del passivhuse er især i udlandet udført således, at luftindtaget til ventilationsanlægget føres igennem rør i jorden (alt efter type typisk 40-80 m placeret i ca. 1.5-2 m dybde). Formålet er at temperere indblæsningsluften, dvs. om vinteren forvarmes luften og i sommerperioden afkøles luften. Opvarmningen om vinteren giver typisk anledning til, at passivhusets rumvarmebehov nedsættes med typisk 5-8 %. Samtidigt elimineres risikoen for at ventilationsanlæggets modstrømsveksler fryser til is, når afkastluften nedkøles til under frysepunktet i kolde perioder.



Figur 46 Jordrør til forvarmning og køling af friskluft

Virningen af jordkøling på indblæsningstemperaturen hen over året kan ses af Figur 48. Indblæsningstemperaturen reduceres typisk med 8-10 grader på meget varme sommerdage i sommerperioden.

Effekten af jordkøling er relativt begrænset og kan ikke redde indeklimaet i et hus, som har store overtemperaturproblemer. Køleeffekten for Thyholm Huset beskrevet i bilag 2 ligger ved et ventilationsflow på 123 m³/h på ca. 400 W på de allervarmeste dage. Der kan naturligvis opnås større køleeffekt ved at forcere ventilationsflowet, men det koster el. Den typiske erfaring er at indetemperaturen i de varmeste perioder kan reduceres med 1-2 grader ved at benytte jordkøling.



Figur 47 Indblæsningstemperatur ved jordkøling

Værd at bemærke om jordkøling af friskluft med jordrør

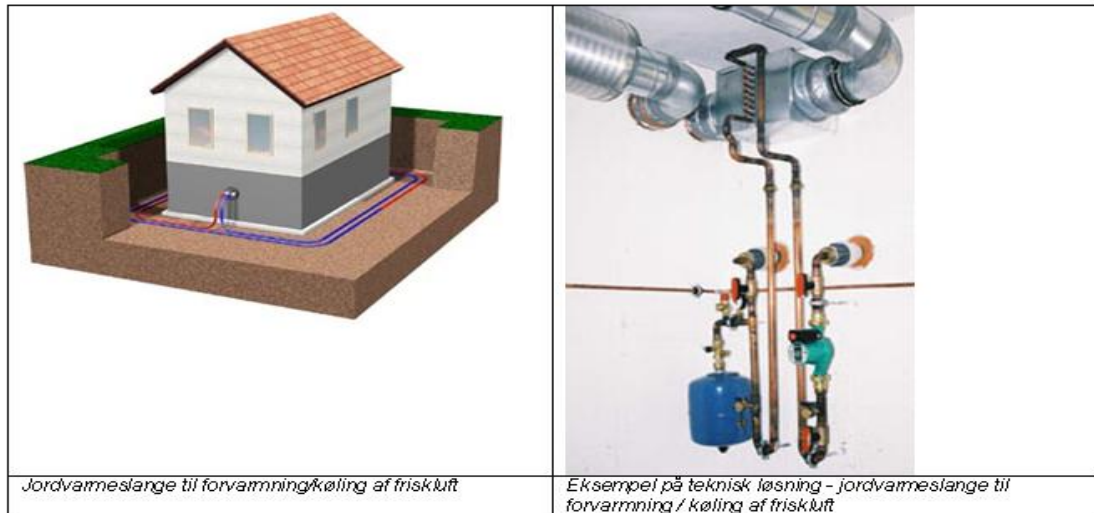
Når udeluften om sommeren trækkes gennem et rør anbragt i jorden, vil dette give anledning til kondens i røret. Røret skal derfor udføres med fald således at kondensen bortledes i en brønd eller lignende. Der er risiko og frygt for at kondensen giver anledning til vækst af mikroorganismer og dermed til forurening af indblæsningsluften. Det er usikkert hvor stort problemet er, hvis jordrøret udføres med korrekt fald, samt hvis åbningen er afskærmet for indtrængning af snavs og insekter m.m. Det skal også bemærkes, at flere store udenlandske leverandører af jordrørssystemer for eksempel tyske REHAU markedsfører særlige jordrør, som indvendigt er belagt med et særligt lag som hæmmer bakterievækst.

SBI udgav i 2012 rapporten [39], hvor 7 anlæg er undersøgt. Konklusionen af rapporten er de fornævnte risici for forurening af indblæsningsluften og at jordrørssystemerne derfor ikke opfylder Bygningsreglementet krav om at *"ventilationsanlæg og ventilationsåbninger direkte til det fri skal være konstrueret og installeret, så de ikke tilfører de ventilerede rum stoffer, herunder mikroorganismer som gør indeklimaet sundhedsmæssigt utilfredsstillende."* Energistyrelsen og dermed de danske myndigheder støtter sig til denne rapport og fraråder derfor denne type anlæg. Ønskes køling/forvarmning af friskluft, anbefaler Energistyrelsen derfor brug af jordslangesystem.

Jordslangesystem

For at eliminere risici for mikroorganismer i jordkanaler kan køling/forvarmning foretages ved hjælp af jordslangesystem med lille cirkulationspumpe og med væske/luft-veksler indsat i ventilationsanlæggets friskluftkanal. Løsningen er vist på Figur 49. Styringsmæssigt er denne løsning optimal, da man frit kan vælge, hvornår der skal henholdsvis køles og forvarmes (mere fleksibel end jordrørsløsningen, hvor luften altid trækkes igennem jordrøret uanset det kan være mere optimalt at blæse den friske udeluft direkte ind i huset uden temperering). Et af de førende firmaer i Europa er det tyske firma netec (www.sole-ewt.de), som har leveret et stort antal anlæg både til enfamiliehuse, men også til større byggerier.

Som simpel dimensioneringsregel benytter man i forbindelse med parcelhuse forholdet "1 : 2" imellem slangelængde og ventilationsflow. Til et dansk parcelhus med en krævet ventilation på ca. 200 m³/h, benyttes ca. 100 m jordslange lagt i en dybde på ca. 1.5 m.



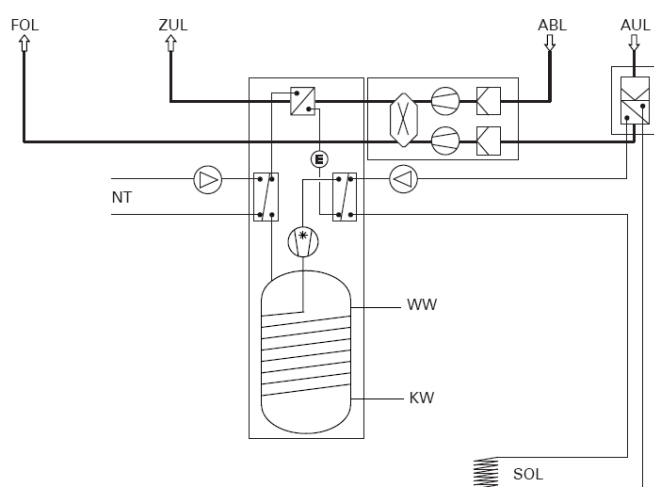
Figur 48 Frisklufttemperering med jordslanger

Alternativt jordslangesystem - Brineløsning

Det østrigske firma Drexel & Weiss, har siden 2007 markedsført kompaktanlæg, hvor samme jordslange indgår både som brinekreds til anlæggets varmepumpe og som forvarme/køleelement til anlæggets ventilationsdel. Økonomisk set er denne løsning derfor fordelagtig, da der ikke skal etableres separat køle/forvarmeanlæg til luften. Anlægget er bl.a. benyttet i Thyholm Huset beskrevet i bilag 2

Figur 50 viser konceptet. Jordslangen passerer væske/luft veksler, hvor friskluften kan tempereres (hvis det ønskes). Dernæst ledes væsken fra jordslangen videre til varmepumpens fordamperdel.

Køleeffekten ligger i samme størrelse som et traditionelt jordrørsanlæg; for Thyholm Huset ligger effekten på ca. 400 W på varme sommerdage.



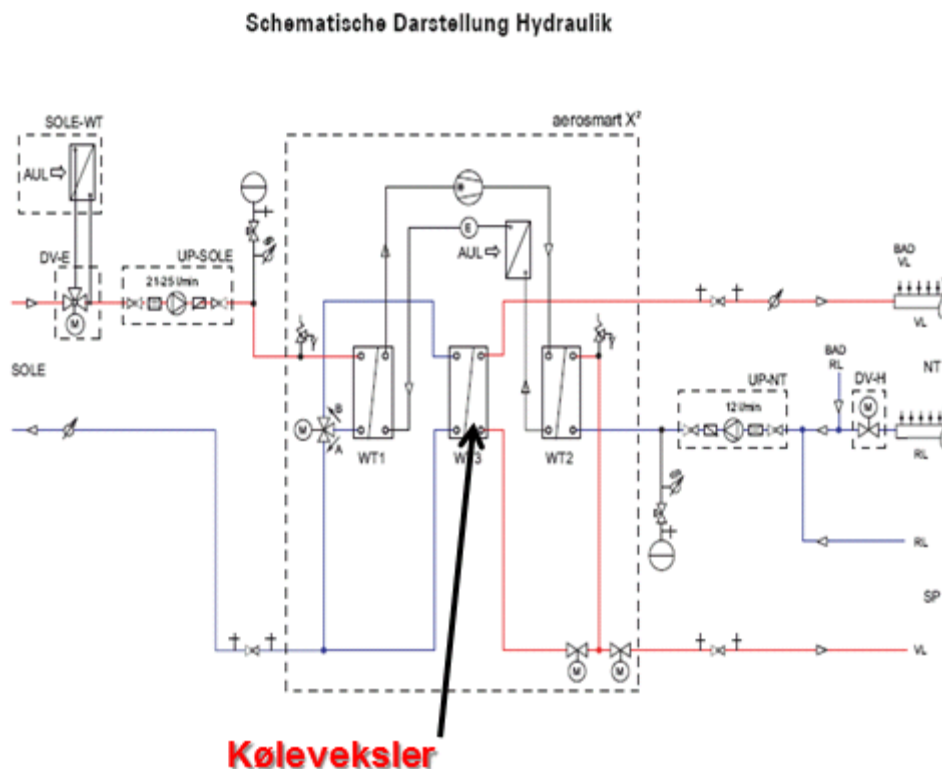
Figur 49. Kompaktanlæg fra Drexel & Weiss (type XLS)

9.1.1 Frikøling via gulv og loft

Køling via termoaktive konstruktioner som gulv er stadig i sin absolutte vorden indenfor parcelbyggeri, men der findes enkelte systemer på markedet. Køling via gulvet er særlig oplagt i forbindelse i forbindelse med jordvarmeanlæg, hvor væsken i jordslangekredsen bruges som kølemedie. Der kan opnås store betydelige køleeffekter med meget lavt elforbrug (der skal i princippet kun bruges el til en lille cirkulationspumpe). Bilag 4 viser via BSIM-simulering et eksempel på effekten af gulvkøling implementeret i modellen for Thyholm Huset. Som det ses, vil gulvkøling kunne minimere de overtemperaturer, som forekommer i huset.

Det østrigske firma Drexel & Weiss, har siden 2011 markedsført kompaktanlæg af X²-typen, hvor køling via brinekredsen er indbygget. Systemet er vist på Figur 51. I systemet er der indbygget en ekstra væske/væske-veksler (køleveksler), som bruges til afkøling af væsken i eksempelvis husets gulvvarmeslanger via kold væske fra jordslanger.

Det danske bidrag på Decathlon 2012 "Fold" (Figur 52), er ligeledes et eksempel på et hus udført med køling i både gulv og loft.



Figur 50 Gulvkøling med Drexel & Weiss system X²



Figur 51 "Fold"

9.1.2 Anbefalinger - køling

- Effekten af at køle indtagsventilationsluften ved at føre den gennem en jordkanal, eller ved at køle den med brinen fra jordslanger er begrænset og kan ikke redde et "alt for varmt hus". Naturlig ventilation og solafskærmning er de basale midler til bibringelse af acceptable rumtemperaturer.
- Temperering af indtagsluften i en jordkanal eller ved brinen fra jordslanger medvirker til at mindske behovet for afrimning/afising af ventilationsvarmeveksleren.
- Ønsker man at temperere sin luft, brug som førstevalg brinen fra jordslanger, idet denne løsning er sikker. Ved brug af jordkanal skal man have stor opmærksomhed på korrekt udførelse for at eliminere risiko for forurening af friskluften.
- Køling via konstruktionerne, typisk gulvet, kan med fordel udføres. Gulvkøling kan give meget store køleeffekter. På nuværende tidspunkt findes kun få systemer på markedet.
- Gulvkølingen kan benytte de eksisterende gulvvarmeslanger, men kan også etableres via separate slanger.
- For at undgå for store lodrette temperaturgradienter, begræns forskel i gulvtemperatur og rumtemperatur til max ca. 3 grader (gulv må ikke blive for koldt).
- Maksimal specifik køleeffekt ligger på ca. 20 W/m² gulvflade. Større specifikke effekter kan opnås men på bekostning af risiko for ringere komfort (kolde gulve).
- Gulve med klinker føles "koldere" end f.eks. trægulve; vær derfor varsom med for kraftig køling på klinkegulve.
- Man skal sikre sig imod kondens på gulvet (der må ikke være zoner på gulvet som når en så lav temperatur, at der er fare for kondens).

10 Projektgennemførelse

Superlavenergihuse opnår en høj grad af energieffektivitet via isoleringstykkelser og komponenter, som adskiller sig fra traditionelle huse. Men da der er tale om bygninger med et minimalt varmekonsum og ofte varmekilder og varmeproduktion, som er dimensioneret uden større sikkerhedsfaktorer, er det vigtigt at bygningerne lever op til de forudsætninger, som er lagt til grund for dimensioneringen. For at sikre, at bygningen kan leve op til kravene, er det for lavenergihuse særligt vigtigt, at der gennemføres en systematisk kontrol og opfølgning i løbet af hele byggeprocessen.

10.1.1 Anbefalinger -Projektgennemførelse

Handling:	Aktion:	Hvornår:
Kvalitetssikring af projekt	Forudsætninger, beregninger, bygbarhed, arbejdsmiljø mv. kontrolleres og projektet revideres med dokumentation af revisioner.	Løbende i hele projekteringsperioden. Fejl bør opdages på et tidligt tidspunkt, da det kan være umuligt eller svært at korrigere fejlen senere.
Overdragelse af projekt	Ved projektoverdragelse til entreprenør identificeres kritiske tidspunkter og processer og det aftales, hvordan disse overkommes. Der bør udpeges en eller flere som ansvarlige.	Inden byggeriet påbegyndes.
Egenkontrol	Entreprenøren kontrollerer og dokumenterer at byggematerialer er i overensstemmelse med projektmaterialet. Indbygningen kontrolleres og alt dokumenteres.	Løbende i hele byggeperioden. Processer kontrolleres ved opstart, midtvejs og slutkontrolleres.
Tilsyn	Entreprenørens egenkontrol gennemgås. Tilsyn med leverede materialer, arbejdsgange, indbygning.	Flere gange i byggeperioden. Der udarbejdes ved projekteringen en tilsynsplan som tilsigter størst værdi af tilsynet.
Afprøvninger	Kan omfatte bl.a. blowerdoorundersøgelse og trykprøvning af installationer, funktionskontrol af teknik.	Så tidligt som muligt, så fejl kan rettes op med minimale konsekvenser.
Idriftsætning	Indregulering, indstilling og afprøvning gennemføres og dokumenteres.	Udføres inden mangelgennemgang.

Mangelgennemgang	Bygherren og entreprenøren gennemgå i fællesskab byggeriet og dokumentationen.	Udføres inden aflevering til bygherren.
Ibrugtagning	Brugeren af bygningen instrueres om betydningen af adfærd, brug af husets tekniske udstyr samt nødvendig vedligehold og service. Gennemgangen bør sammenfattes i en protokol.	Når brugeren er kommet på plads i bygningen.
Målinger	Der kan foretages målinger for at sikre at byggeriet er udført korrekt og at idriftsætning og ibrugtagning er gennemført til tilfredsstillende.	Afhængigt af typen af målinger kan disse udføres straks efter ibrugtagningen, mens f.eks. måling af energiforbrug bør afvente at huset er endeligt udtørret.

11 Fremtiden

11.1 Smartgrid og udnyttelse af lavtarif el

Smart Grid er primært el-markedets ønske om at tilpasse forbruget og produktionen af el til hinanden. Da det ikke kan lade sig gøre at gemme el (effektivt), er det nødvendigt at tilpasse produktionen til forbruget. Da der kommer mere og mere alternativ energi, bliver produktionen mindre fleksibel (Solen skinner når den gør og vinden blæser når den gør). Herved opstår behovet for fleksibelt forbrug. Dette kan delvist opnås ved f.eks. el-patroner på fjernvarmeværkerne, men det nye er at man nu også begynder at udnytte de enkelte husstandes fleksibilitet.

Der er en del apparater i en husstand der kan stille fleksibilitet til rådighed for det "smarte grid". Det der typisk bliver nævnt er "at vaske om natten". Der er dog en lang række andre ting der kan udnyttes f.eks. ventilationsanlæg, vask, tørring, opvask og hygge belysning.

Ved lavenergihuse er som tidligere nævnt husets tidskonstant lang, og det vil sige at et velopvarmet hus kan holde den ønskede temperatur i lang tid, selvom rumopvarmningen afbrydes i en periode.

Nogle nyere opvarmningsformer som f.eks. solvarme, varmepumper eller biokedler benytter endvidere et varmelager, som kan benyttes til at lagre energi til opvarmning i en periode, navnlig hvis energibehovet ikke er så stort.

Der er bl.a. begyndt at komme hårde hvidevarer som kan styres til at anvende energi når den er til rådighed. F.eks. vil køle/fryseskabe kunne køle ekstra i off-peak perioder, for så at slappe af i peak. Et eksempel på samspil med husets opvarmningsinstallation er ny vaskemasker/tørretumbler, der vha. indbygget varmepumpe anvender det varme vand fra en lagertank til at vaske, for derefter at pumpe varmen tilbage i lagertanken inden spildevandet lukkes ud. Derved kan vaskes når som helst, uden at belaste grid'et. Der er allerede prototyper af denne type maskiner.

Ovenstående eksempler har særligt perspektiv i forbindelse med super lavenergihuse, hvor rumopvarmningen endvidere nemt kan udskydes på grund af husets lange tidskonstant, og hvor der derfor må forventes at fremtidens lavenergihuse vil være de første huse med den nødvendige styring af en lang række komponenter til udnyttelse af smart-grid fordele.

11.1.1 Anbefalinger - Smart grid og synergier

- Det forventes at elforbrugende husholdningsapparater i løbet af en årrække vil blive i stand til at tilpasse driftsmønster efter online elprognose for lav-tarif el. Det forventes at denne teknologi vil blive billig og formentlig standard i mange produkter. Det anbefales at afvente denne teknologi frem for etablering af individuelle specialløsninger til styring af husholdningsapparater.
- I superlavenergihuse vil opvarmning i mange tilfælde kunne udskydes nogle timer eller endog døgn uden at rumtemperaturen falder væsentligt. Det gør bygningstypen velegnet til at udnytte lav-tarif el, når varmekilden er baseret på el. Såfremt der indbygges en varmelagringsbuffer i systemet, vil mulighederne for at udnytte lav-tarif el kunne forbedres yderligere, da det vil være muligt at udskyde opvarmning af huset i et

eller flere døgn indtil el-prisen er lav.

- I mange tilfælde vil en varmelagringsbuffer sammen med varmepumpebaserede opvarmningssystemer både forbedre driften samt forbedre mulighed for at udnytte lavtarif el. Varmepumpedriften forbedres da færre og længere køretider for kompressoren giver højere gennemsnitlig COP-værdi. Samtidig kan varmelagringsbufferen afhængigt af design give mulighed for etablering af solvarmeanlæg som en fremtidssikringsmulighed eller som et element til at øge den energimæssige selvforsyningsgrad.
 - Med den nuværende solcelleordning, som er en timebaseret nettomålerordning vil varmepumpesystemer med varmelagringsbuffer samtidig give en mulighed for at tilpasse driften af varmepumpen til perioder med el-produktion. Herved forbedres rentabiliteten af solcelleanlægget, da egenudnyttelsen af den producerede strøm stiger.
-

Litteratur

- [1] Komforthusene : Målinger og Analyse af Indeklima og Energiforbrug i 8 Passivhuse 2008-2011. ., 92 s. (DCE Technical Reports; Nr. 126). -Samt 8 delrapporter, Larsen, Tine Steen; Jensen, Rasmus Lund; Daniels, Ole, Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, 2012
- [2] Understanding of Danish Passive Houses based on Pilot Project Comfort Houses., Camilla Brunsgaard, PhD Thesis, Aalborg Universitet, 2011
- [3] EnergiParcel, Statusrapport, Tine Steen Larsen, Aalborg Universitet, 2010
- [4] Lavenergihuse i praksis – eksempler, tjeklister og resultater, Stenløse, Bruno Andersen, Ove Mørck, Kirsten Engelund Thomsen, Jørgen Rose, Malene Blaabjerg Dollerup, Egedal Kommune, Cenergia, SBI, DONG Energy, 2008
- [5] Erfaringsopfølgning på lavenergibyggeri klasse 1 og 2 – med "Fremtidens Parcelhuse" som eksempel, Lars Kristensen, Ole Michael Jensen, Det Grønne Hus, SBI, 2007
- [6] Intelligente Energiydelser i lavenergi boliger baseret på brugerdreven innovation. Energy Flex House, Ditte Marie Jørgensen m.fl., Teknologisk Institut m.fl., 2012
- [7] H2College som præfabrikerede passivhuse, Niels Haldor Bertelsen, Boligselskabet Fruehøjgaard, Almennet, 2010
- [8] Bygningsreglementet BR10, Energistyrelsen, <http://bygningsreglementet.dk/>, 2010
- [9] Behov for klar definition af et dansk passivhus, Klaus Ellehauge, Troels Kildemoes, Artikel HVAC magasinet, <http://ekolab.dk/download/>, 2007
- [10] Passivhuse i dansk kontekst – vejledning, hjælpeværktøj og eksempler (seneste revision 25-01-2009) EFP, Klaus Ellehauge Troels Kildemoes Kirsten Engelund Thomsen Ole Michael Jensen Søren Pedersen, Ellehauge & Kildemoes SBI Statens Byggeforskningsinstitut, Aalborg Universitet [Passivhus.dk](http://passivhus.dk) ApS , <http://ekolab.dk/download/>, 2009
- [11] Komforthusbogen, Komforthusene – erfaringer, viden, inspiration, Isover, <http://www.komforthusene.dk/vidensdeling>, 2010
- [12] Kort og godt om energikravene i BR2010, Nybyggeri, tilbygninger, ændret anvendelse og sommerhus, Isover, <http://www.isover.dk/r%C3%A5dgivning/brochurer>, 2011
- [13] Komforthusprojektet, Isover m.fl., <http://www.komforthusene.dk/>, 2008-2010
- [14] Kingspan Isolering, Kingspan, <http://www.kingspaninsulation.dk/> ,
- [15] Connovate Præfab elementer i højstyrkebeton med PUR-isolering, Connovate, <http://connovate.dk/> ,
- [16] Vakuum isolering, Barsmark A/S, <http://www.barsmark.com>,
- [17] Den lille lune, Rockwool, <http://www.rockwool.dk> , 2013

-
- [18] Rockwool hjemmeside, Rockwool,
<http://www.rockwool.no/r%C3%A5dgivning/for+private/gode+r%C3%A5d+til+etterisolering+av+din+bolig/ofte+stilte+sp%C3%B8rsm%C3%A5l>
- [19] Purenit isolering, Puren gmbh, <http://www.puren.eu>
- [20] Fiberline beslag og profiler, Fiberline Composites, <http://www.fiberline.dk>
- [21] Weber fundamentsløsninger, Weber, www.weber.dk
- [22] Therm (2-D beregninger, gratis program), Lawrence Berkeley National Laboratory, Building Technologies Department, <http://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>
- [23] HEAT 2 og HEAT 3 (værktøj til beregninger af 2- og 3 dimensionale kuldebroer), Blocon, <http://www.buildingphysics.com/index-filer/heat2.htm>
- [24] Energivinduer - en del af løsningen. Positivlisten, , www.energivinduer.dk
- [25] Passiv Haus Institut, Helmut Krapmeier, Passiv Haus Institut, <http://www.passiv.de/>
- [26] Energimæssig helhedsvurdering af vinduer, Byg* DTU, Jørgens Schultz, Finn Kristiansen, 2002, R-035
- [27] www.glasfakta.dk
- [28] Viden om vinduer, Lading arkitekter m.fl., <http://www.viden-om-vinduer.dk/>
- [29] Vinduesinfo, VinduesIndustrien, <http://www.vinduesindustrien.dk>
- [30] www.faber.dk
- [31] www.solatek.dk
- [32] www.acrimo.dk
- [33] Vurdering af indeklimaet i hidtidigt lavenergibyggeri - med henblik på forbedringer i fremtidens lavenergibyggeri. 65 s. (DCE Contract Reports; Nr. 100)., Larsen, Tine Steen, Aalborg : Aalborg Universitet. Institut for Byggeri og Anlæg, 2011.
- [34] Bolig for Livet, Velfac, <http://velfac.dk/vinduer-erhverv/cases/nybyg/bolig-for-livet/>, 2010
- [35] DS469 Varme – og køleanlæg i bygninger 2. udgave, Dansk Standard, 2013
- [36] Liste over certificerede varmeanlæg, Passiv Haus Institut, www.passiv.de/komponentendatenbank/waermepumpenkompaktgeraet/
- [37] Boligopvarmning ved brændefyring, SBI , 2012
- [38] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, AKKP 36.
- [39] Udeluftindtag gennem kanaler i jord, SBI rapport 2012:06, SBI, 2012
- [40] Zertifizierte Passivhaus-Planer und -Berater, Passivhaus Institut, IPHA, <http://www.passivhausplaner.eu/mitgliederdatenbank.php>

-
- [41] Passipedia, , <http://passipedia.passiv.de/>
- [42] Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser, AKK 22.
- [43] Kriterien und Algorithmen für Zertifizierte Passivhaus Komponenten: Verglasungen und Transparente Bauteile Version 2.01, 05., Passivhaus Institut, http://www.passiv.de/downloads/03_zertifizierungskriterien_transparente_bauteile.pdf, 2012
- [44] Vejrkarkiv, DMI, <http://www.dmi.dk/>
- [45] Fugtstyret boligventilation: Målinger og evaluering (SBI; 2008:08), , Bergsøe, Niels Christian; Afshari, Alireza, Statens Byggeforskningsinstitut, SBI, 2008
- [46] Demand controlled ventilation systems - State-o-the-art-review, Technical report D nr R2009:04, Maripuu, M.-L.; Afshari, A., Department of Building Technology, Building Services Engineering, Chalmers University of Technology, 2009.
- [47] SBI-anvisning 196, Indeklimahåndbogen, Ole Valbjørn, Susse Lausten, John Høwisch, Ove Nielsen, Peter A. Nielsen, Statens byggeforskningsinstitut, 2000
- [48] DS/EN 15251, Input-parametre til indeklimaet ved design og bestemmelse af bygningers energimæssige ydeevne vedrørende indendørs luftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustik, Dansk standard, 2007
- [49] www.poolworld.dk

Bilag 1 Passivhuse

Passivhuskonceptet blev i 1990-1991 første gang realiseret af den tyske forsker Wolfgang Feist, som siden grundlagde Passivhaus Institut (Passivhusinstituttet) i Darmstadt i Tyskland, der har varetaget videre udvikling og standardisering.

Det anslås, at der i dag er bygget mere end 25.000 huse efter passivhuskonceptet, hvoraf de fleste er bygget i Tyskland og Østrig.

Passivhuskonceptet omtales i denne rapport fordi det har medført at der er en meget stor erfaringsmængde at trække på når det gælder om at udfærdige superlavenergihuse der f.eks. lever op til de danske lavenergiklasser. Endvidere findes der et omfattende undervisningsmateriale og kursusprogrammer. I Danmark er det registreret at ca 150 personer har gennemgået et omfattende kursus som gør dem til certificerede passivhusdesignere.[40].

Passivhuskonceptet er en frivillig standard, som sikrer at huse bygget efter standarden har et meget lavt energiforbrug til rumopvarmning og et reduceret energiforbrug til teknik og husholdning. Endvidere sikrer standarden, at husene har et godt indeklima. Det dimensionerende effektbehov er endvidere så lille, at passivhuse ofte kan opvarmes direkte via ventilationsluften, med minimalt luftskifte.

”Passivhaus” eller på dansk ”passivhus” betegnelsen er ikke beskyttet, så alle har lov til at kalde en bygning for et passivhus. Der eksisterer imidlertid en certificeringsordning, således at kun huse der opfylder en række nøje definerede bestemmelser kan opnå et certifikat. Certificeringsordningen er ligeledes udviklet af Passivhaus Institut i Darmstadt. Til påvisning af energiforbruget bruges beregningsprogrammet PHPP.

Passivhus definition

- det totale varmebehov til rumopvarmning skal være under 15 kWh/m² boligareal eller de maksimale effektbehov skal være under 10 W/m².
- det totale primærenergibehov til varmt brugsvand, rumopvarmning/køling, ventilation, pumper, husholdningsstrøm, lys mv. skal være under 120 kWh/m² boligareal.
- husets lufttæthed målt ved blowerdoor-test $n_{50} < 0.6 \text{ h}^{-1}$

Et byggeri kan således først certificeres som passivhus, hvis det overholder disse kriterier, herunder det årlige varmebehov til rumopvarmning på højst 15 kWh/m², udregnet med lokale klimadata, men med beregningsprogrammet PHPP.

Med hensyn til energibehovet til rumopvarmning skal det bemærkes, at det ikke er tilladt at nå de 15 kWh/m² ved hjælp af produceret varme f. eks. fra et solvarmeanlæg. Derimod kan det primære energibehov godt nedsættes ved hjælp af solvarme, men ikke ved hjælp af el fra solceller.

Endvidere skal bemærkes følgende vigtige forskelle mellem beregningerne med PHPP i relation til passivhuskriterierne og beregningerne med Be10 i relation til energiklasserne i det danske bygningsreglement:

- at der i ovenstående passivhusdefinitioner som referenceareal benyttes det indvendige nettoareal, medens der i Be06 benyttes opvarmet bruttoetageareal

- at der i passivhuse kun indregnes ca. 1/3 af det varmetilskud, der forudsættes i Be06
- at de 120 kWh/m²/år primærenergiforbrug, som benyttes ved passivhuse, forudsætter en konverteringsfaktor 2,6 mellem elforbrug og primært energiforbrug til produktion af el og for varme 0,2 -1,5 (1,1 for olie og naturgas).

Man kan således ikke direkte sammenligne pasivhuskriteriet med energiforbrugte beregnet med Be10. Se [10]

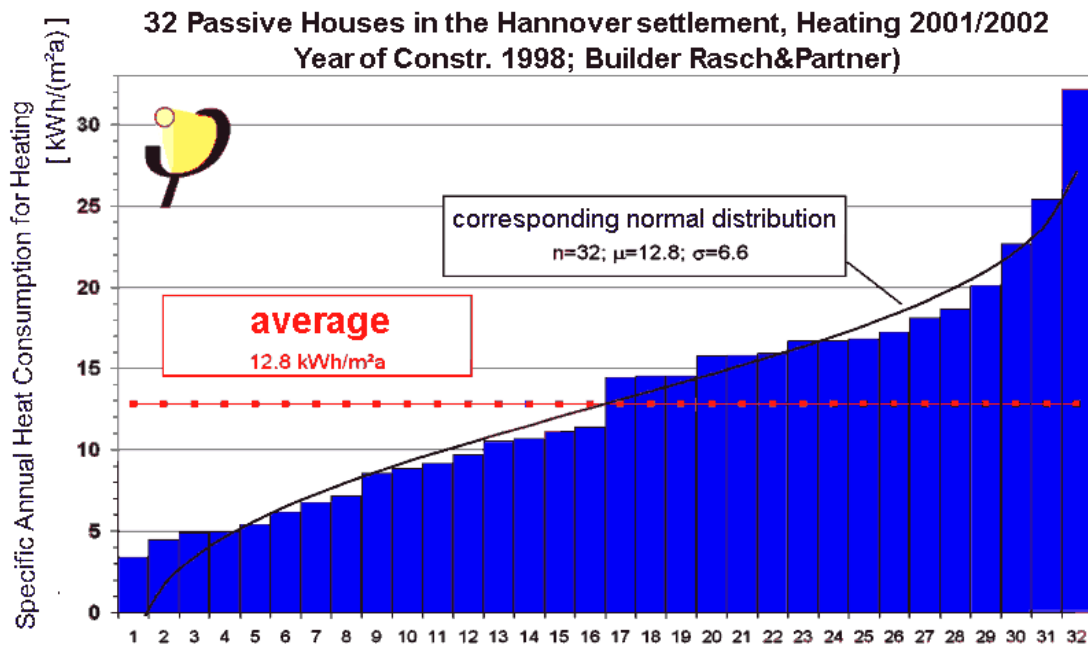
Udover de ufravigelige krav har PHI opstillet en række stærke anbefalinger.

- U-værdi for vinduer < 0.85 W/m²/K (inklusive kuldebro ved indbygning)
- U-værdier for vægge, lofter, gulve < 0.15 W/m²/K (typisk omkring 0.1 W/m²/K)
- Linietaf ψ < 0.01 W/m/K (udvendige mål)
- Varmeveksler med $\eta \geq 0.75$

Passivhus certificering

I alt 14 institutioner/firmaer i Tyskland, Østrig, Schweiz, Danmark, England og USA er godkendte til at certificere passivhuse efter retningslinier udarbejdet af PHI.

Ved certificeringen skal det dokumenteres at energiforbruget overholder de nævnte kriterier. Dette sker ved en energiberegning i programmet PHPP, som Passiv Haus Institut har udviklet specifikt til beregning af lavenergihuse. Programmet er grundigt valideret ved målinger på en række passivhuse. Nedenstående Figur 53 viser målte rumvarmebehov for 32 ens passivhuse. Ligesom for almindelige huse er der stor forskel på husenes energiforbrug afhængigt af beboernes brug af huset, men det gennemsnitlige behov svarer til beregningen, som forudsagde et behov på 13,5 kWh/m²



Figur 52 Målte energibehov i 32 passivhuse [41]

Certificering af bygningskomponenter

Passivhaus Institut udfører også certificering af komponenter for passivhuse. Certificeringen indebærer bl.a. at komponentens egenskaber i relation til anvendelsen i et passivhus er eftervist og dokumenteret.

De certificerede produkter er testet efter uniforme kriterier og således at de lever op til skrappe energimæssige krav.

Værdierne fra produktcertifikaterne kan indsætte direkte i PHPP, som bruges til at lave de nødvendige energiberegninger for passivhuse.

På PHI's hjemmeside (www.passivehouse.com) er der en oversigt over firmaer godkendt til at foretage certificering af passivhuse samt lister over certificerede komponenter til passivhuse (vinduer, døre, ventilationsanlæg, facade-elementer mv.).

Passivhuse i Danmark

Det første certificerede passivhus i Danmark er et enfamiliehus, som blev færdiggjort i vinteren 2007/2008. I løbet af 2007/2008 er der bl.a. blevet bygget en række passivhuse ved Vejle (de såkaldte "Komforthuse"). Disse huse er blevet monitoreret og fulgt intensivt af Aalborg Universitet, og en del af erfaringer der ligger til grund for denne rapport stammer fra disse huse.

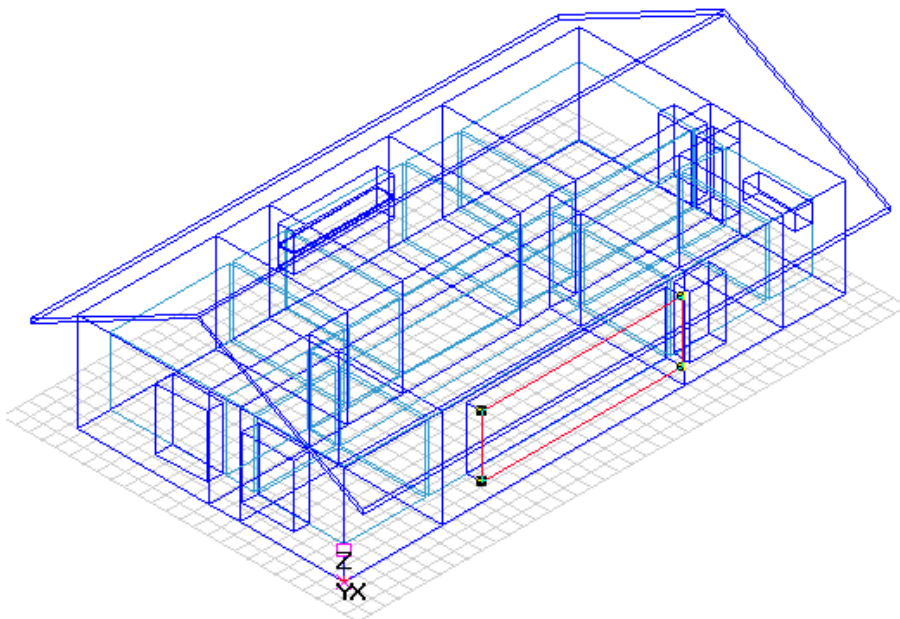
Siden er en hel del andre passivhuse blevet realiseret både i form af enfamiliehuse, etageboliger og kontorbygninger m.m.

Den danske lavenergiklasse 2020 er til en vis grad fremkommet, som følge af, at der i EU er planer om, at indføre at fremtidigt byggeri omkring år 2020 skal udføres efter passivhuskriterierne eller kriterier der ligger op ad disse..

Bilag 2 Simulering Thyholm hus

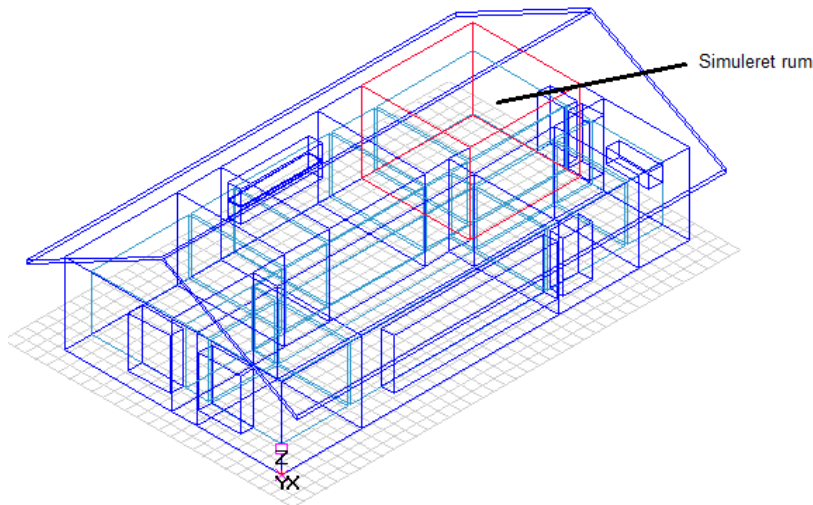
Tabel 8 Hoveddata for bygning til Bsim simulering

Parameter	Størrelse
Etageareal	177 m ²
Netto indvendigt etageareal (TFA)	144.9 m ²
U-værdi væg	0.086 W/m ² *K
U-værdi loft	0.059 W/m ² *K
U-værdi terræn	0.060 W/m ² *K
Rumtemperatur i alle rum	20 grader
Ventilation (grundventilation i huset – benyttet i beregninger)	123 m ³ /h
Udluftning via vinduer/døre (udluftning startes når rumtemperatur > 24 grader)	Max 1.5 h-1
Virkningsgrad modstrømsveksler	75 %
Internt varmetilskud til rumvarmeberegning (personer og udstyr – jf. fordelt i bygningen)	304 W (= 2.1 W/m ²) (nettoareal)
Internt varmetilskud effektberegning (personer og udstyr – jf. fordelt i bygningen)	232 W (= 1.6 W/m ²) (nettoareal)
Jordtemperatur (vedr. varmetab til jord – der opereres med konstant jordtemperatur på 10 grader året rundt)	10 grader
Referenceår (dette referenceår rummer perioder med udetemperaturer ned til -18 grader)	CHP.DRY



Figur 53 Bsim model af Thyholm Huset

Bilag 3A Kritisk opvarmning



Figur 54 Simuleret rum i Thyholm Huset

Betydning af manglende opvarmningseffekt i en meget kold periode, er analyseret for et enkelt rum i Thyholm Huset. Rummet har et indvendigt areal på 17.8 m² (udvendigt areal = 23.7 m²) og vender mod nordøst. Rummet har en terrassedør mod øst. Rummet har indblæsning på 30 m³/h friskluft. Udsugning fra værelset foregår via passage under dør – luften bruges således også til ventilering af tilstødende gangareal. Friskluften tilføres rummet med en temperatur på 16 grader (den meget kolde udeluft forvarmes i en brinekreds, således at tilisning og efterfølgende bypass med meget kold luft undgås. Via passage af ventilationsanlægget modstrømsveksler hæves temperaturen til 16 grader).

Der er udført følgende simuleringer 1-5:

- Simulering 1: Varmesystem i rum kører normalt med setpunkt på 20 grader, ventilation kører normalt med et flow på 30 m³/h (der indblæses frisk forvarmet luft i rummet (minimumstemperatur 16 grader), udsugning af luft under "fiktiv" dør – dør konstant lukket). Der antages en konstant tilførsel af "gratisvarme på 39 W" i rummet. Omkringliggende rum har alle varmesystem med setpunkt = 20 grader. Skillevægge er i tegl. Dør ikke direkte modelleret, indgår i skillevæg.
- Simulering 2: Varmesystem i rum yder på grund af fejlprojektering kun 33 % af planlagt max effekt på 300 W dvs. varmeafgivelse kan maksimalt yde 100 W til rummet⁸. Setpunkt på 20 grader, ventilation kører normalt (der indblæses frisk forvarmet luft i rummet som i simulering 1, udsugning af luft under "fiktiv" dør – dør

⁸ Manglende effekt kan eksempelvis optræde i forbindelse med et klassisk luftvarmeanlæg i passivhuse, hvor tilluften ikke opvarmes til den dimensionerende temperatur på typisk 50 grader. Dette kan eksempelvis skyldes manglende effekt i varmepumpe kombineret med manglende PTC-element (elektrisk varmeplade til ekstra sikring). Passivhaus Institut, som er pioner indenfor udbredelse af luftvarmeanlæg, har indenfor de sidste år kraftigt understreget, at den dimensionerende temperatur for eksempel 50 grader, skal være tilgængelig under alle forhold for at sikre ønsket komforttemperatur.

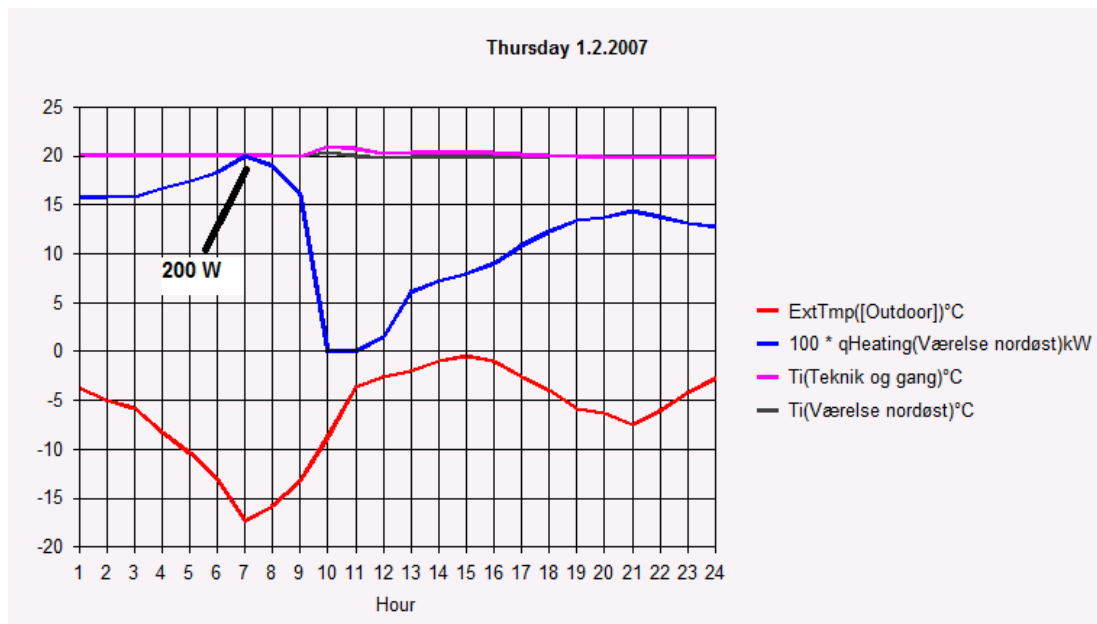
konstant lukket). Der antages en konstant tilførsel af "gratisvarme på 39 W" i rummet. Omkringliggende rum har alle varmesystem med setpunkt = 20 grader. Skillevægge er i tegl. Dør ikke direkte modelleret, indgår i skillevæg.

- Simulering 3: Som simulering 2, dog er skillevægge lette med isolering..
- Simulering 4: Som simulering 2, dog med fordoblet flowmængde på 60 m³/h.
- Simulering 5: Som simulering 1 dog med indblæsningstemperatur på 10 grader. Indblæsningstemperaturen er lav, enten på grund af bypass-drift (afisning af veksler) eller dårlig virkningsgrads.

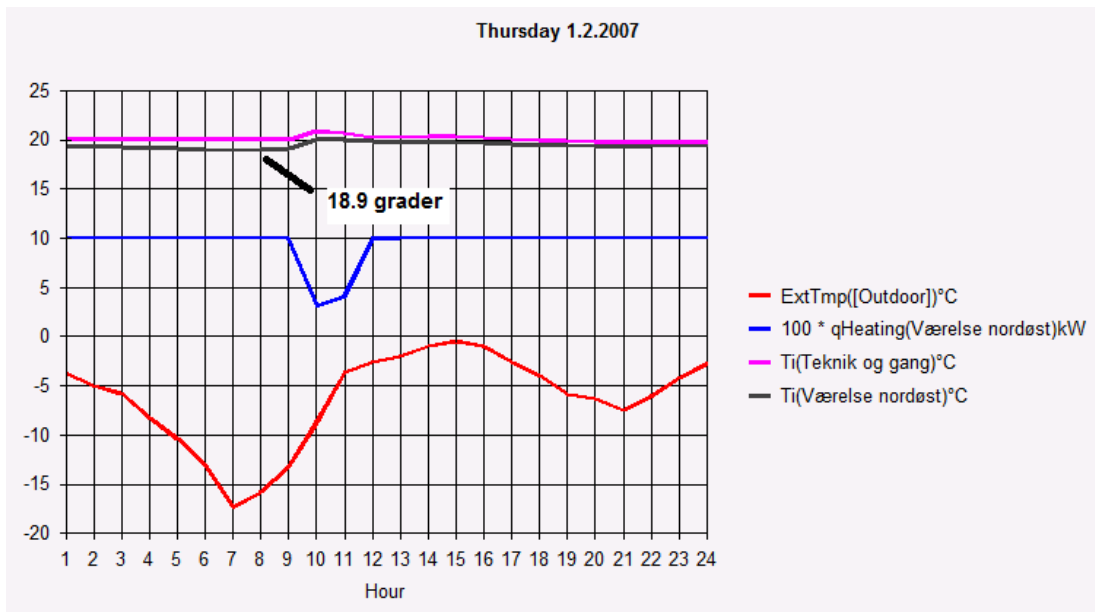
Bsim beregningen i simulering 1 viser et krav til effekt på 200 W for at opretholde 20 grader (Figur 56). Såfremt der kun tilføres 100 W f.eks. på grund af fejlprojektering, bliver temperaturen henholdsvis 18.9 grader for udgaven med teglvægge (Figur 57) og 18.5 grader for udgaven med lette vægge (Figur 58).

Hvis den projekterede luftmængde er 60 m³/h i stedet for de tidligere forudsatte 30 m³/h, f.eks. fordi ventilationsmængden betjener både det kritiske rum og et tilstødende gangareal, samt tilgængelig effekt er 100 W mod de projekterede 300 W, falder temperaturen til 18.4 grader (krævet effekt stiger fra 200 W til 235 W ved at forøge luftmængde fra 30 til 60 m³/h) (Figur 59).

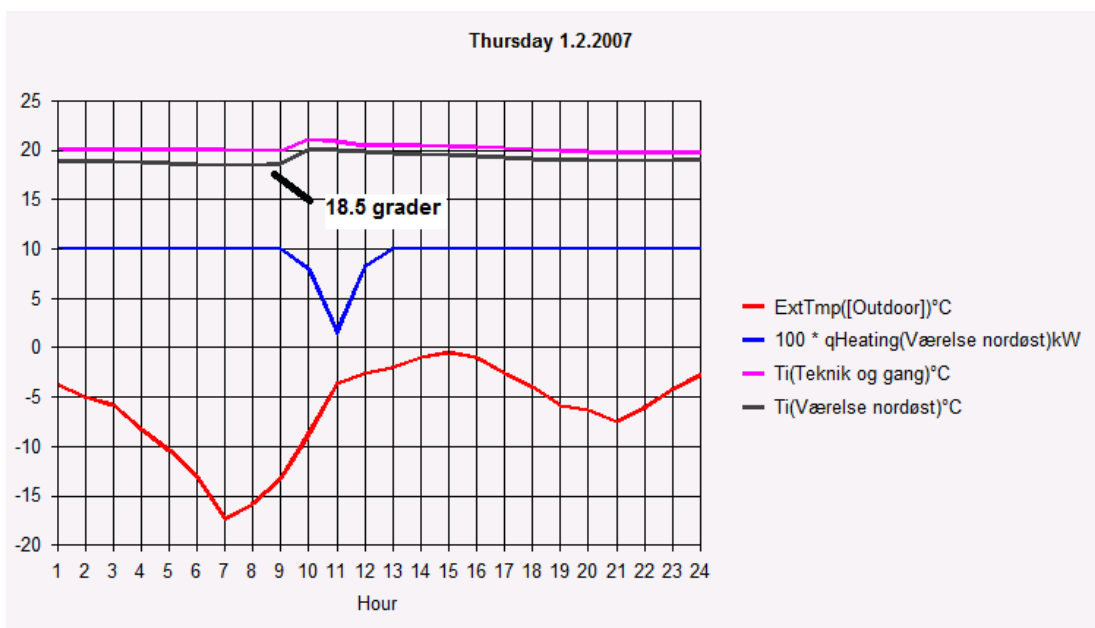
Simulering 5 (Figur 60) viser at effektbehovet stiger fra 200 W til 260 W, såfremt der indblæses med en middeltemperatur på 10 grader fremfor 16 grader. Lave indblæsningstemperaturer kan eksempelvis forekomme i forbindelse med "bypass-drift" i kolde perioder (afisning af veksler) for anlæg uden forvarmning og /eller efteropvarmning af friskluft,



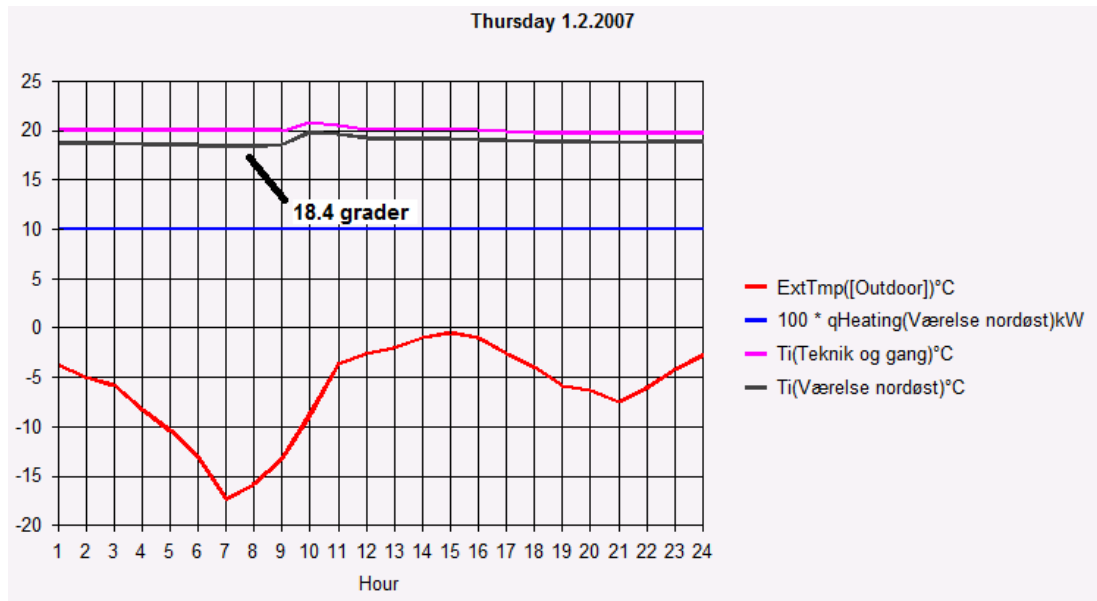
Figur 55 Simulering 1: Varmesystem kører normalt – max krævet effekt på 200 W. Temperatur i rum(værelse nordøst) ≈ 20 grader. Temperatur i tilstødende rum vist (Teknik og gang).



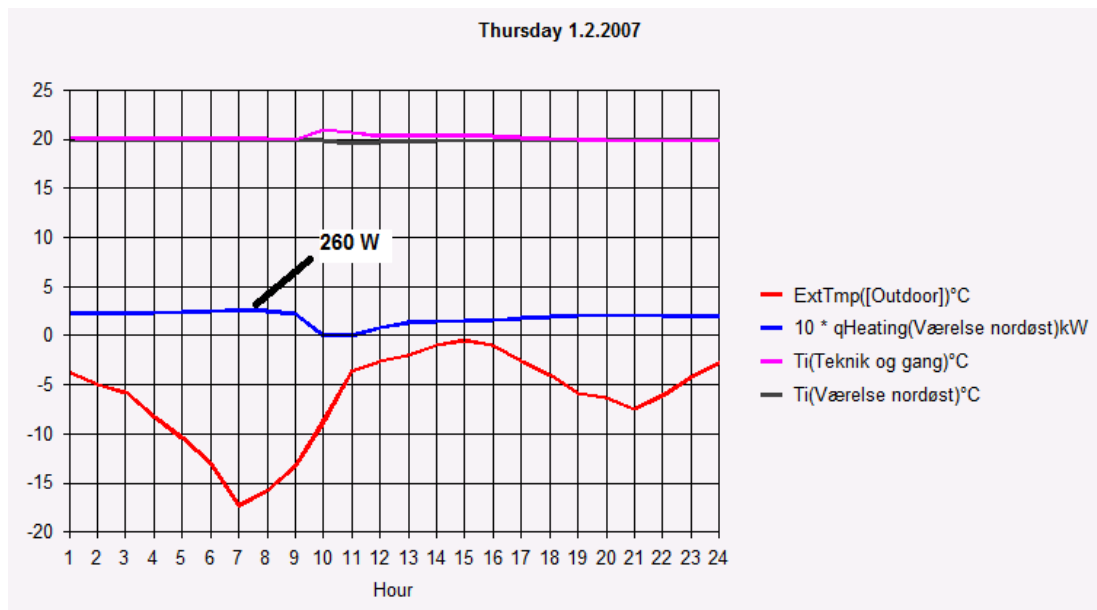
Figur 56 Simulering 2: Varmesystem kører på "lav kraft = 100 W". Temperatur i rum \approx 18.9 grader i ekstrem-situationen.



Figur 57 Simulering 3: Varmesystem kører på "lav kraft = 100 W". Temperatur i rum \approx 18.5 grader i ekstrem-situationen.

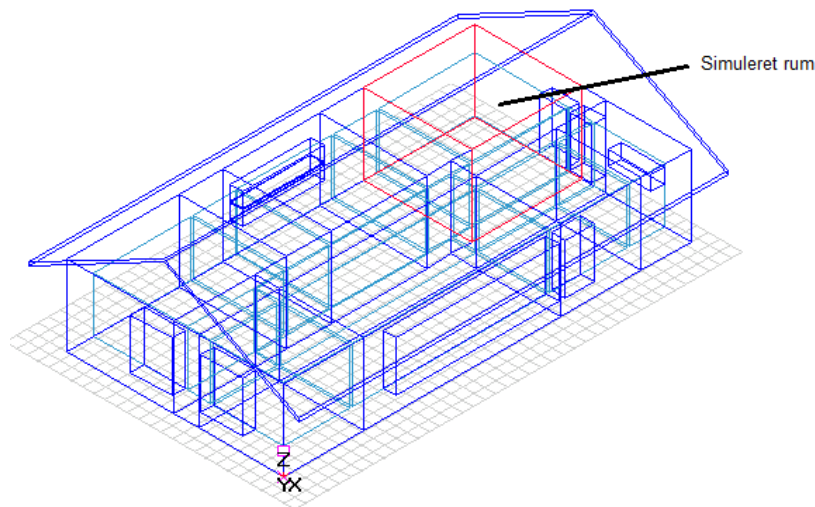


Figur 58 Simulering 4: Varmesystem kører på "lav kraft = 100 W". Indblæsningsmængde 60 m³/h. Temperatur i rum ≈ 18.4 grader i ekstrem situationen.



Figur 59 Simulering 5: På grund af bypass eller dårlig varmegenvinding, indblæses luft med en temperatur på 10 grader. Krævet effekt for at opretholde 20 grader stiger med 30 % fra 200 W til 260 W.

Bilag 3B Temperaturdifferentiering



Figur 60 Simuleret rum i Thyholm Huset

Der er udført følgende simuleringer 1-3 for at undersøge indvirken fra termisk kobling og flowmængde på rumtemperatur på en ekstrem kold dag (2. februar):

- Simulering 1: Varmesystem i rum slukkes helt, ventilation kører normalt med et flow på $30 \text{ m}^3/\text{h}$ (der indblæses frisk forvarmet luft i rummet med en temperatur på 16 grader, udsugning af luft under "fiktiv" dør - dør konstant lukket). Der antages en konstant tilførsel af "gratisvarme på 39 W " i rummet. Omkringliggende rum har alle varmesystem med setpunkt = 20 grader. Skillevægge er i tegl.
- Simulering 2: Som simulering 1, dog er skillevægge lette – gipsvægge med 90 mm isolering i mellemrum.

Simuleringer 3-4 viser beregnede rumtemperaturer i januar måned med følgende variationer:

- Simulering 3: Som simulering 1, dog med fordoblet flowmængde på $60 \text{ m}^3/\text{h}$.
- Simulering 4: Som simulering 1, dog med indblæsningstemperatur på 19 grader.

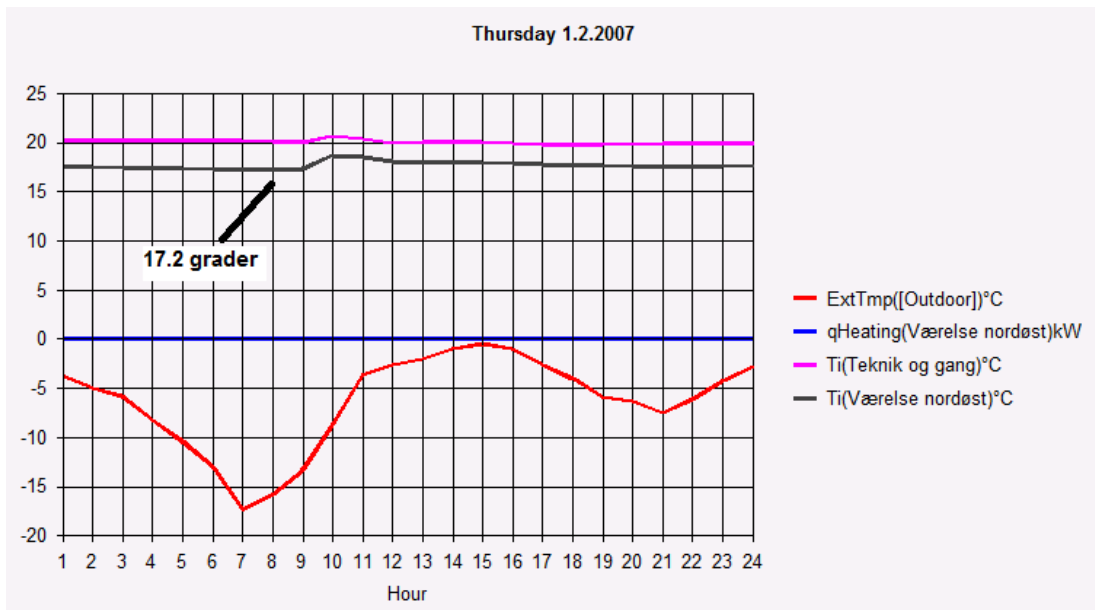
Figur 62 (teglvægge) viser en temperatur på 17.2 grader. Med lette skillevægge med isolering falder temperaturen til 15.2 grader på årets koldeste dag (Figur 64).

Figur 63 og Figur 64 viser opnåelige rumtemperaturer for det nordøstlige værelse i Thyholm Huset i januar måned, såfremt varmeanlæg er helt slukket. Forskellen mellem middelumtemperatur for teglvægsløsning og en løsning med let væg er 2.1 grader. Der er således mulighed for en væsentlig lavere temperatur i byggeri med lette isolerede vægge.

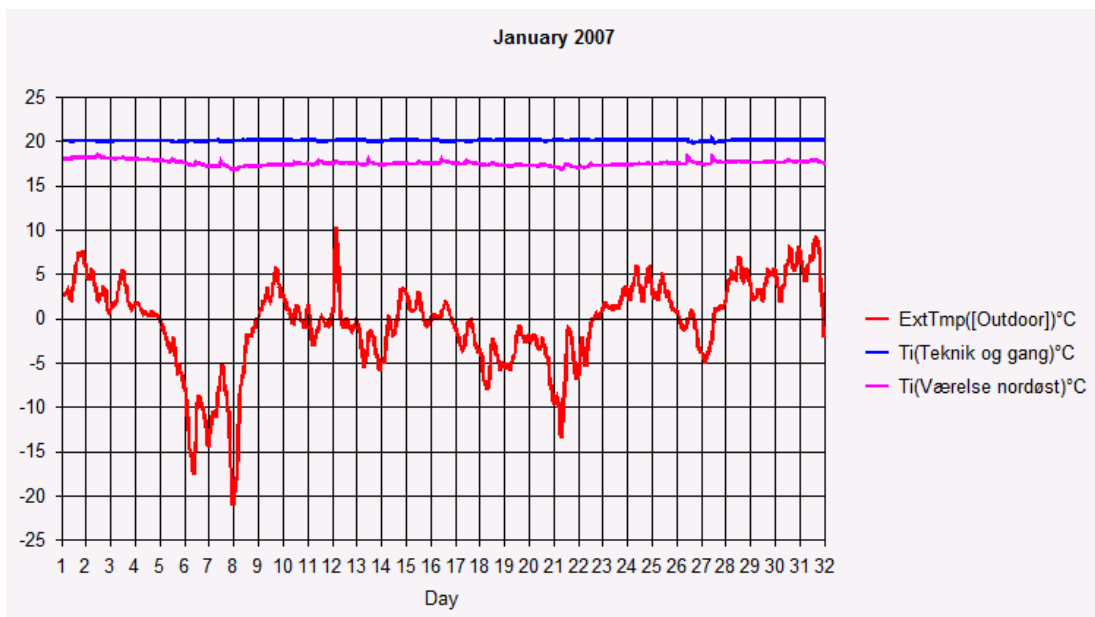
Figur 65 viser opnåelige rumtemperaturer i teglvægsløsningen for det nordøstlige værelse i Thyholm Huset i januar måned, såfremt varmeanlæg er helt slukket og der indblæses med dobbelt luftmængde (60 m³/h) ved en temperatur på 16 grader. Middelttemperaturen i januar måned reduceres fra 17.52 grader til 17.27 grader dvs. en begrænset reduktion i temperatur (i og med at indblæsningsluften er tempereret til 16 grader, vil det forøgede flow kun lede til en begrænset ekstra afkøling af rummet på grund af lille forskel i temperatur på indblæsningsluft og rumtemperatur).

Figur 67 viser opnåelige rumtemperaturer i teglvægsløsningen for det nordøstlige værelse i Thyholm Huset i januar måned, såfremt varmeanlæg er helt slukket og der indblæses med en temperatur på 19 grader (kan f.eks. skyldes bedre virkningsgrad for varmeveksleren i ventilationsanlægget eller at modstrømsveksleren "fødes" af ekstra varm udsugningsluft). Middelttemperaturen i januar måned øges fra 17.52 grader til 18.26 grader dvs. ca. 0.7 grader. Virkningsgraden for varmeveksleren i ventilationsanlægget vil således påvirke rumtemperaturen mærkbart og reducere størrelsen af termisk differentiering.

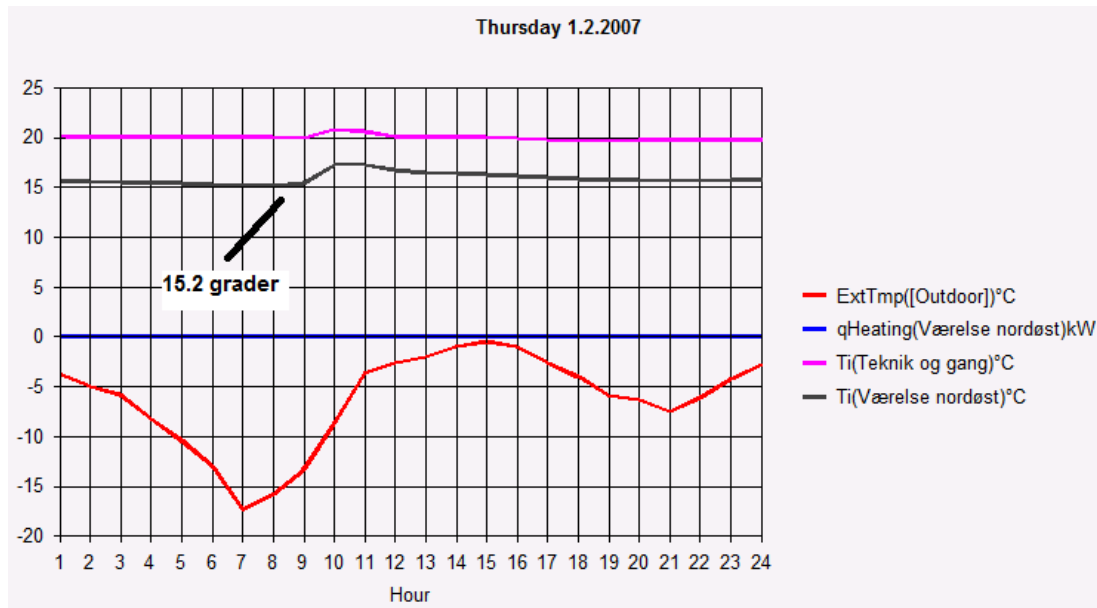
Figur 68 viser resultat fra undersøgelse udført af Passivhaus Institut for et soveværelse i et passivhusbyggeri [42]. Ved helt at stoppe for indblæsning af varm luft i soveværelset, reduceres temperaturen (januar måned) med ca. 3.5 grader. Resultatet af denne undersøgelse, at der kan opnås en relativ markant temperaturredifferentiering ved at slukke for varmetilførslen, falder pænt i tråd med resultaterne af de udførte simuleringer for Thyholm Huset.



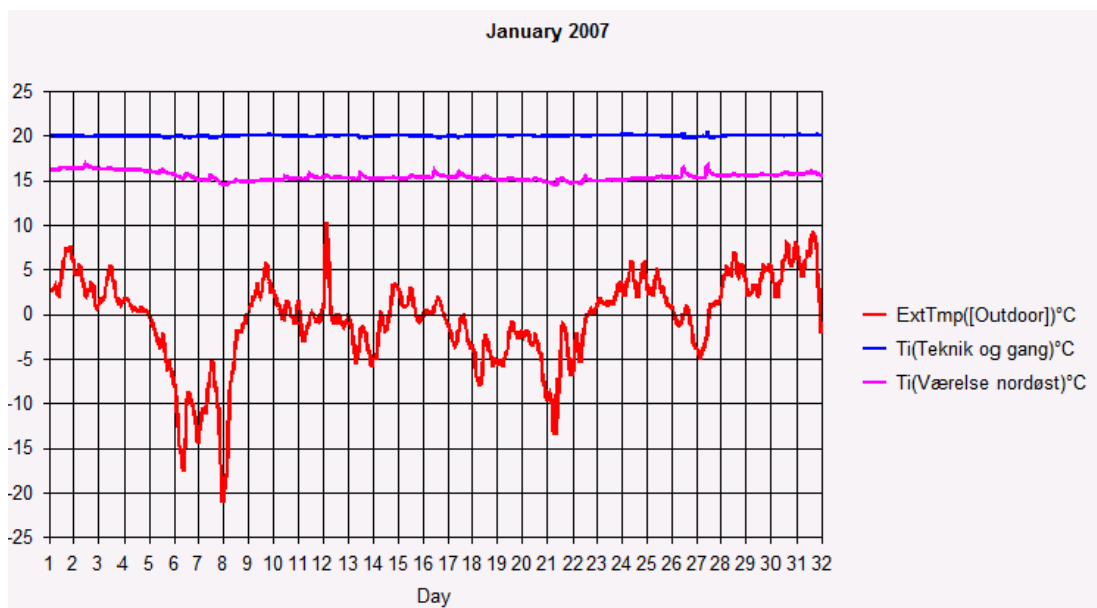
Figur 61 Simulering 1: Teglvæg - Varmesystem er slukket – temperatur falder fra 20 grader til 17.2 grader.



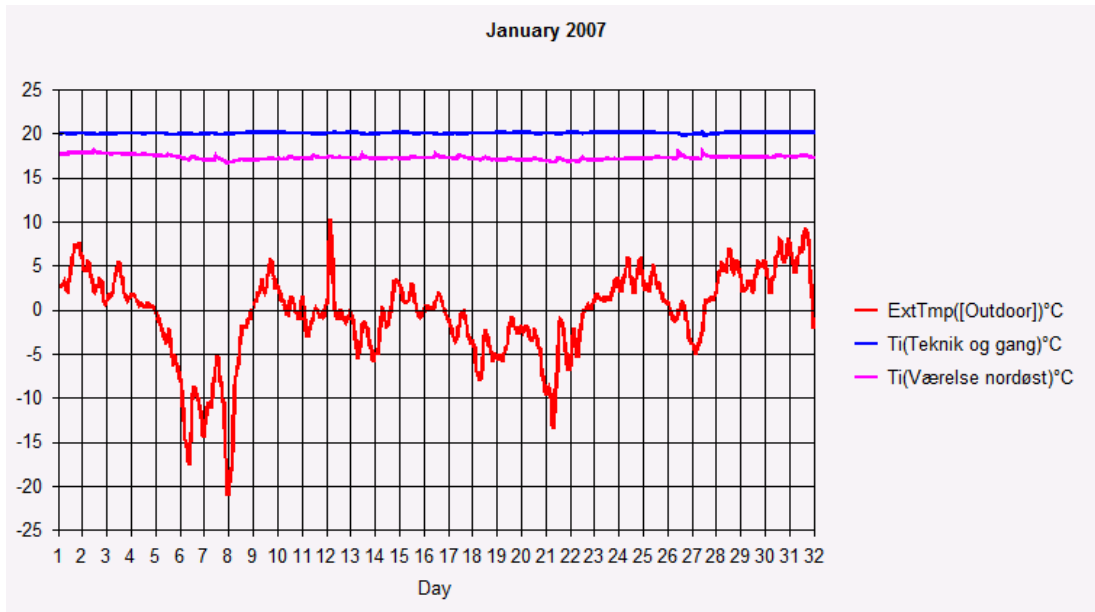
Figur 62 Simulering 1: Teglvæg - Varmesystem er slukket (middeltemperatur i rummet i januar er 17.52)



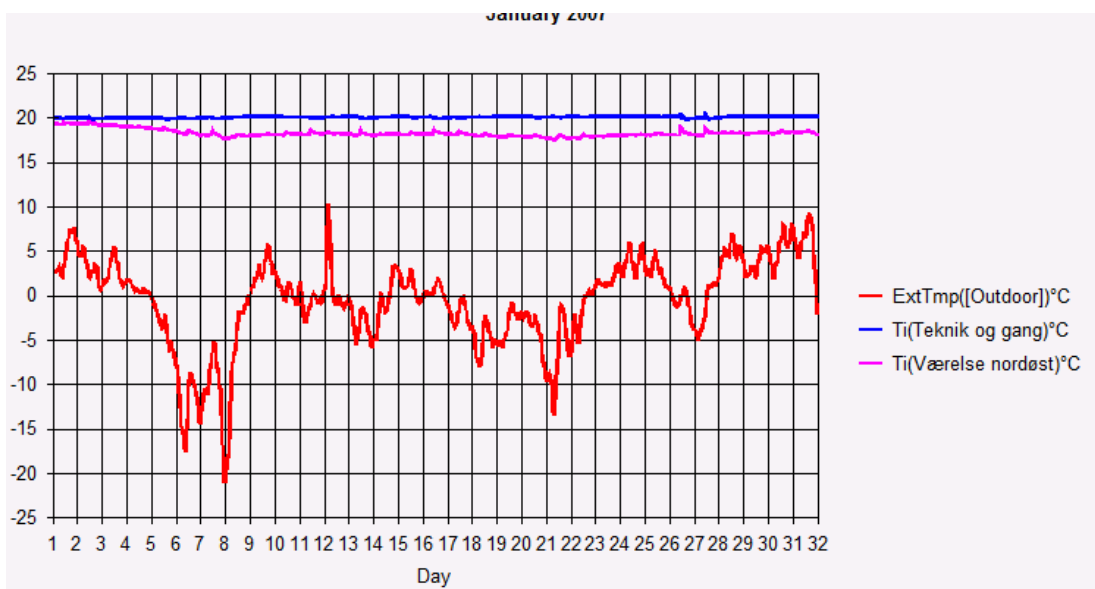
Figur 63 Simulering 2:Lette vægge - Varmesystem er slukket. Temperatur falder fra 20 grader til 15.2 grader.



Figur 64 Simulering 2:Lette vægge - Varmesystem er slukket (middeltemperatur i rummet i januar er 15.43)



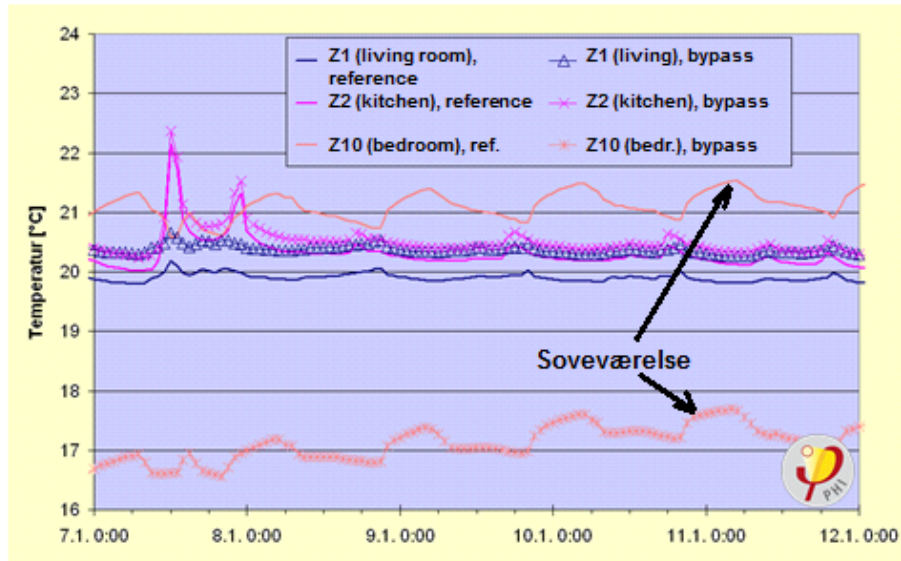
Figur 65 Teglvæg - ingen varme – luftmængde fordoblet til 60 m³/h.
Indblæsningstemperatur 16 grader (middeltemperatur i rummet i januar er 17.27)



Figur 66 Teglvæg - ingen varme – indblæsningstemperatur 19 grader (middeltemperatur i rummet i januar er 18.26)

Bedroom: unheated

■ Bypass for supply air duct for bedroom



Figur 67 Undersøgelse udført af Passivhaus Institut. Temperatur i soveværelse (primo januar) reduceres med ca. 3.5 grader ved at stoppe varmetilførslen.

Bilag 4 Simulering gulvkøling

Thyholm Huset beskrevet i bilag 2 tænkes udført med kombineret gulvvarme/gulvkøling i det centrale køkken-alrum. Hvorledes vil det påvirke indetemperaturen i rummet?

Ålborg Universitet har fuldt Komforthus-projektet meget tæt igennem flere år og har udført en lang række målinger af energi- og indeklima. Indeklimaet i Thyholm Huset er således også blevet evalueret og beskrevet i rapporten [1] .

Nedenstående Tabel 8 viser specifikke tal for Køkken-Alrum i Thyholm Huset. I år 2011, hvor huset var 100 % beboet, viste målinger i alt 703 timer med temperaturer over 26 grader og 93 timer med temperaturer over 27 grader. Det vil sige at det specifikke rum langt fra opfylder Bygningsreglementets krav om max 100 timer over 26 grader og 25 timer over 27 grader.

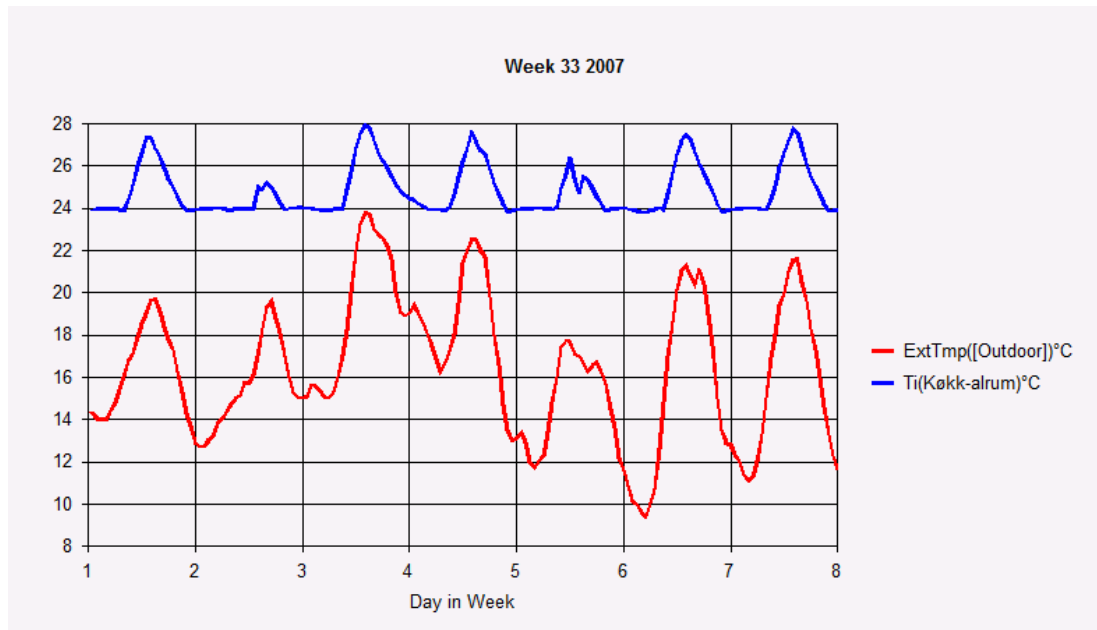
		<19 [h]	<20 [h]	>25 [%]	>26 [h]	>27 [h]	Afvigelse fra Kat. II [%]
HUS 12 Køkken/ alrum	2009**	36	521	42	2220	904	31
	2010**	66	480	21	861	392	15
	2011	0	0	27	703	93	8

Tabel 9 Temperaturer i køkken-alrum i Thyholm Huset

BSIM modellen beskrevet i bilag 2 er benyttet til analyse af temperaturforholdene i køkken-alrum. Tabel 9 viser BSIM resultatet for køkken-alrum. BSIM resultaterne ligger relativt tæt på de målte værdier og viser derfor samme tendens som de faktiske målinger; at der er problemer med overtemperaturer. Figur 69 viser temperaturforløb for køkken-alrum i uge 33.

Tabel 10 Uden køling

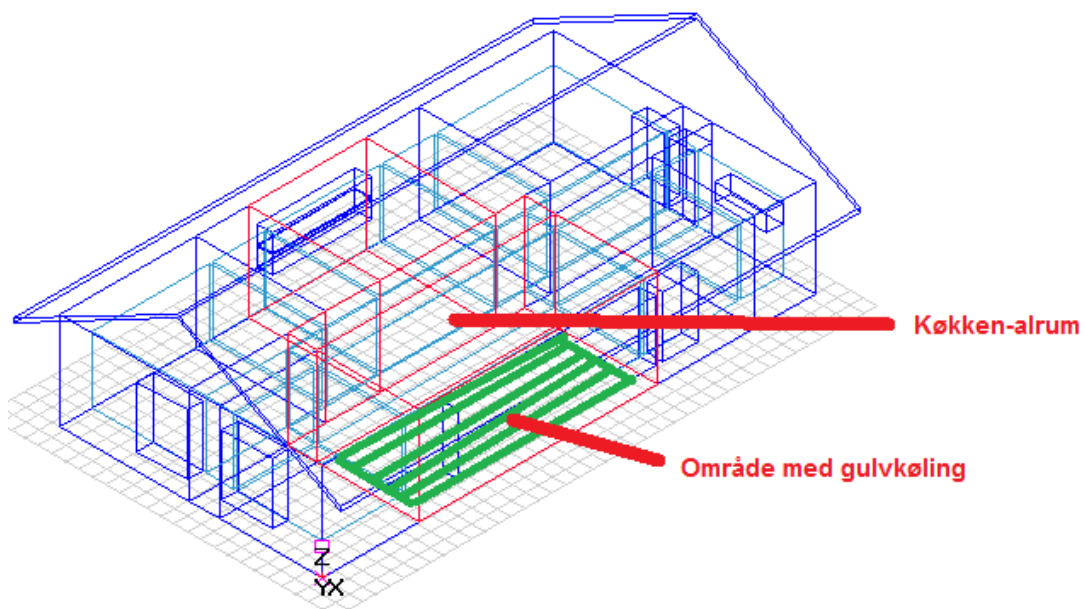
Thyholm Huset –	➤ 26 grader (h)	➤ 27 grader (h)
Køkken-alrum	421	129



Figur 68 Temperatur i køkken-alrum i i uge 33 – ingen gulvkøling

Det antages nu at der implementeres gulvkøling i en del af gulvet i køkken-alrummet. Jf. Figur 70 etableres gulvkøling i 28 m² gulvflade. Gulvslangerne er placeret i den nederste del af en 100 mm tyk betonplade med 22 mm flydende trægulv ovenpå (træg gulvvarme/køling).

Styringen er meget simpel. Såfremt indetemperaturen overstiger 24 grader, starter gulvkølingen. Flowet i kølekredsen er 360 l/h. Indløbstemperaturen til gulvkredsen ligger mellem 15-16 grader.



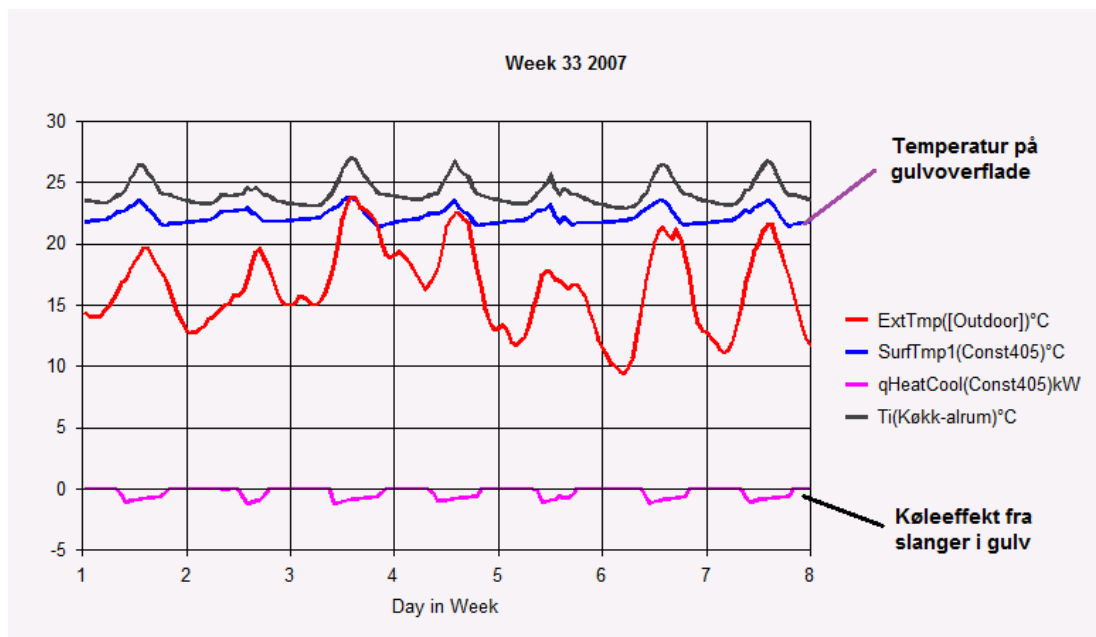
Figur 69 Der udføres gulvkøling i det grønne område, i alt 28 m².

Tabel 10 viser indflydelsen på indetemperaturer. Antallet af timer med høje temperaturer er blevet stærkt reduceret. Figur 71 viser plot for uge 33 over indetemperatur, gulvtemperatur, udetemperatur samt køleeffekt i gulvslanger. Som det ses, varierer køleeffekten fra slangerne fra 0 – 1.25 kW (on/off styret). Gulvets overfladetemperatur ligger i middel på ca. 22.2 grader og ligger i niveau 2-2.5 grader under indetemperaturen. Gulvets køleeffekt i middel over samtlige dage i uge 37 ligger på 0.36 kW svarende til en specifik køleeffekt i middel på 12.9 W/m² (maksimal specifik køleeffekt ca. 20 W/m² i pågældende periode). Forskellen i temperatur mellem gulvoverflade og indeluft (vertikal temperaturgradient) er derfor så lille, at ubehag omkring kulde vil være negligerbart (anbefalet grænse sættes typisk til 3 grader).

En yderligere reducere af antallet af timer med høje temperaturer kan i det viste eksempel opnås ved eksempelvis at øge arealet af kølefladen eller indføre en mere intelligent styring, som kompenserer for trægheden i gulvkølingen.

Tabel 11 med køling

Thyholm Huset –	➤ 26 grader (h)	➤ 27 grader (h)
Køkken-alrum	149	20



Figur 70 Temperatur i køkken-alrum i uge 33 – med gulvkøling

Bilag 5 Udnyttelse af solindfald til opvarmning

Bidrag Søren Dietz – Bjerg Arkitektur

I dette bilag vil følgende punkter blive belyst

- Sikring af komfort (overfladetemperatur og minimumstemperatur)
- Betydning for energi effektivitet og strømeffektivitet
- Klima som parameter for vindues design
- Vinduets energieffektivitet
- Komponenter på markedet i Danmark

Bilaget fokuserer på design barrierer for opnåelse af energi effektive vinduer, der samtidig opfylder tilstrækkelige komfort standarder. Standard for komfort er defineret for passivhuse for en lang række glas og vindues produktgrupper – ligesom der er certificeret en række produkter, som både opfylder høj energi effektivitet i kombination med høj standard på indeklimaparametre.

Eksempler på kritiske punkter gennemgås og 2 typiske bygningstyper i Danmark er medtaget, tæt-lav byggeri og etagebyggeri. For begge typer findes der en stor eksisterende bygningsmasse fra perioden 1960-1980, som fremadrettet skal energirenoveres.

Klimaeffektive vinduesløsninger hertil er et vigtigt bidrag til reduktion af de bygningsrelaterede klimaeffekter.

Passiv varme tilførsel – vinduer og udnyttelse af solindfald.

Huse der opfylder 2020 krav – navnlig huse med varmebehov som passivhuse, har så lille et varmebehov, at det ofte kan tilføres som opvarmet friskluft eller via mindre varmeplader. Det kan være via vandbårne varmeplader integreret i gulv eller væg, eller det kan være via konventionelle radiatorer.

Varmeeffektkriteriet for passivhuse er max effektbehov $< 10\text{W/m}^2$ nettoareal. Det svarer til at 10 små fyrfads lyst der hver afgiver ca. 30Wt kan opvarme en stue eller køkken allrum på ca. 30 m², vel at mærke når varmebehovet er størst i vinterperioden.

Dette har en større betydning for designet af bygnings komponenter, rum, orientering og indretning end vi umiddelbart skulle tro. Fremadrettet vil varmekilder ikke være låst til f.eks. at skulle placeres under eller i forbindelse med vinduer. Varme tilførslen er så lille at det ikke længere giver nogen mening at fordele den ud til alle vinduer.

Vinduerne skal derfor både kunne opfylde helt nye komfort standarder – så der uden varmetilførsel fra radiator sikres kondensfrie overflader.

I huse med passivhus standard gælder 3 bløde kriterier for glas og vinduer som ofte overses. Det ene er kriteriet for glassets energi effektivitet, hvor det anbefales at Glassets g værdi $\geq 0,50$. De 2 andre bløde kriterier definerer indirekte en komfort standard, det er glassets U_g værdi $\leq 0,75\text{ W/m}^2\text{K}$ og vinduets samlede U_w , som skal være $\leq 0,80\text{ W/m}^2\text{K}$.

Kriterier for komfort og energieffektivitet er beskrevet i dokumentet "Certificeringskriterier transparente bygningsdele" [43].

Funktionale kriterier i passivhuse

Kriterier for komfort og samtidig energieffektivitet er design grundlaget for vindueskomponenter til passivhuse. 2 komfort betingelser skal overholdes ved certificering af vinduer for at sikre mod kondens på indvendige overflader og undgå kuldenedfald:

- Hygiejne kriteriet for max rel. overflade fugtighed $a_w \leq 0,80$
- Behagelighedskriteriet $|\theta_{si} - \theta_{op}| \leq 4,2K$

U værdien for et indbygget vindue defineres ved formlen:

$$U_{\text{transparent installed}} \leq 4,2K / ((-0,03 \cdot \cos \beta + 0,13) \text{ m}^2K/W \cdot (\theta_{op}K - \theta_aK))$$

For klimaregion Danmark (køligt tempereret klima) afledes en min. Værdi for et indbygget vindue i reff. Mål 1,23x1,48 m således:

$$\theta_a = -16K$$

$$U_{\text{transparent installed}} \leq 4,2K / ((0,13) \text{ m}^2K/W \cdot (22K - -16 K))$$

$$U_{\text{transparent installed}} \leq 0,85 \text{ w/m}^2K$$

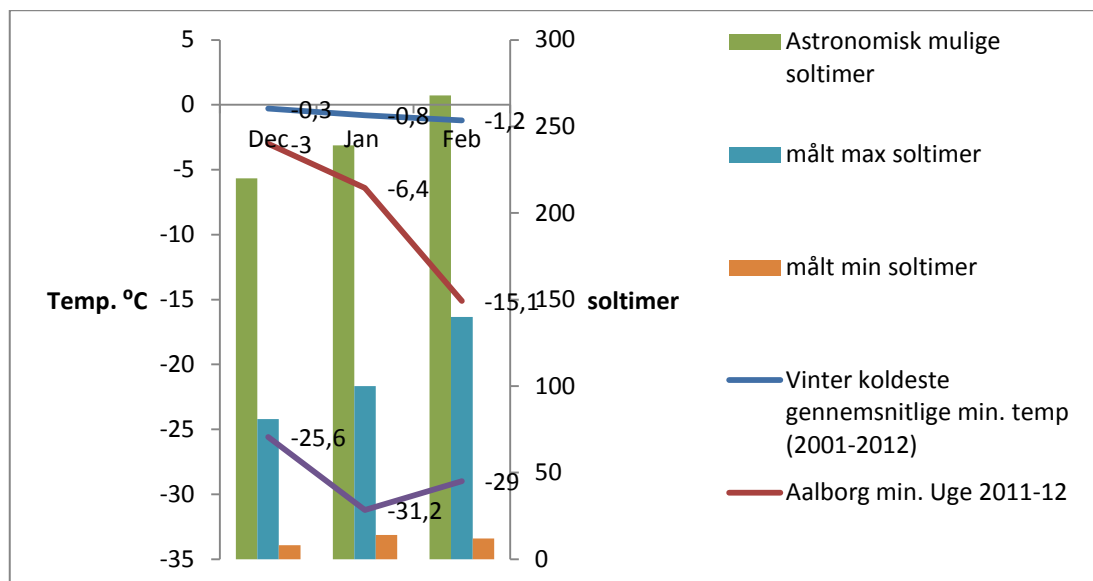
Hygiejne kriteriet sikrer, at der ved normale rel. fugtigheds forhold i rummet $\leq 50\%$ ikke er samtidig højere rel. fugtighed end 80% ved de bygningsdele, der har de koldeste overflader. Den rel. fugtighed er ikke konstant i rummet men afhænger af de umiddelbare omgivers temp. Ved lavere overflade temperaturer stiger den rel. fugtighed! Derfor afledes hygiejne kriteriet af den rel. fugtighed ved overfladen. Dette sikres ved at have tilstrækkeligt høje overflade temperatur på klimaskærmens indvendige overflader – herunder glasset. Overfladetemperaturen θ_{si} må ikke ligge mere end $4,2$ grader under rumtemperaturen defineret som den operative rumtemperatur θ_{op} på 22 °C. Ved større temp. forskel bliver luftsøjlen ved glasset for tung i forhold til luften i øvrigt og falder nedad – herved opstår trækgener. Ved lavere lavere overfladetemperatur og nævnte fugtighedsforhold dannes der kondens og så høj fugtighedsaktivitet (rel .overfladefugtighed) at skimmelsvampe kan vokse.

Der er opstillet overordnede klimatiske zoner med afledte glasopbygninger. Heraf fremgår f.eks., at den udvendige design temperatur er -16 °C. For design og dokumentation af de indvendige min overflade temp. benyttes i Danmark 0 °C. De 0 °C giver ikke et retvisende billede af min. overflade temp. indvendigt ved absolutte temperatur forskelle.

En undersøgelse af regionale og lokale temperatur forskelle vil føre for vidt i denne sammenhæng, alligevel skal der til illustration af problematikken og som grundlag for debat og opfordring til overensstemmelse mellem forskellige klimadefinitioner her opstilles klimadata for laveste vinter temperatur absolut og måneds middeltemp. Eftersom DRY modellen, der ligger til grund for generel energi design i Danmark ikke er baseret på absolutte og regionale temperatur data set – vil der også her være en barriere for at kunne designe en bygning til et konkret regionalt klima. Også her er der brug for at klimamodeller opdateres til regionale data set.

For perioden marts-april 2012 er der oprettet logdata af bl.a udetemperatur målt i et kompakt ventilationsanlæg i en passivhus rækkehusbebyggelse ved Åbybro i nærheden af Aalborg. For dette område er der her opstillet klimadata for perioden og forskellige tilgængelige målte temp. data. Det ses at der dels er et stort spring imellem det solare potentiale og min. max. værdier af de målte antal soltimer. Det ses også at der er stor forskel mellem en design. udetemp. på 0 °C og de forskellige middel og absolutte målte værdier.

Konsekvensen for design afledt af forskellige klima parametre analyseres senere. Her skal forskellen i min. værdier for klimaregion og derved også behovet for dokumentation og design ved absolutte min. værdier blot påpeges.



Figur 71

Klimadata for absolutte min. temperatur og middel min. temperatur for Ålborg målestation. Data for periodens soltimer foreligger kun som månedstal. Alligevel ses en sammenhæng mellem månedsudsving i forhold til normal temperaturen på landsplan. Ved lavere temperatur er der tendens til flere soltimer. Ved højere temperaturer synes der omvendt en tendens til færre soltimer en middeltal for en normal periode. Tendensen er kendt ved regioner med klima der er under indflydelse af kontinentale vejrsystemer. Når kolde vejr systemer fra øst og nord øst påvirker vejret i Danmark kan det på samme måde antages at der er tendens til koldere vejr med en tendens til et mere tørt og skyfrit vejr – og derved flere soltimer. Omvendt kan køligere vejr fra vestlige retninger eller vejrsmæssige låste situationer med skydække medføre relativt milde temperatur forhold – men tilgængelig få soltimer.

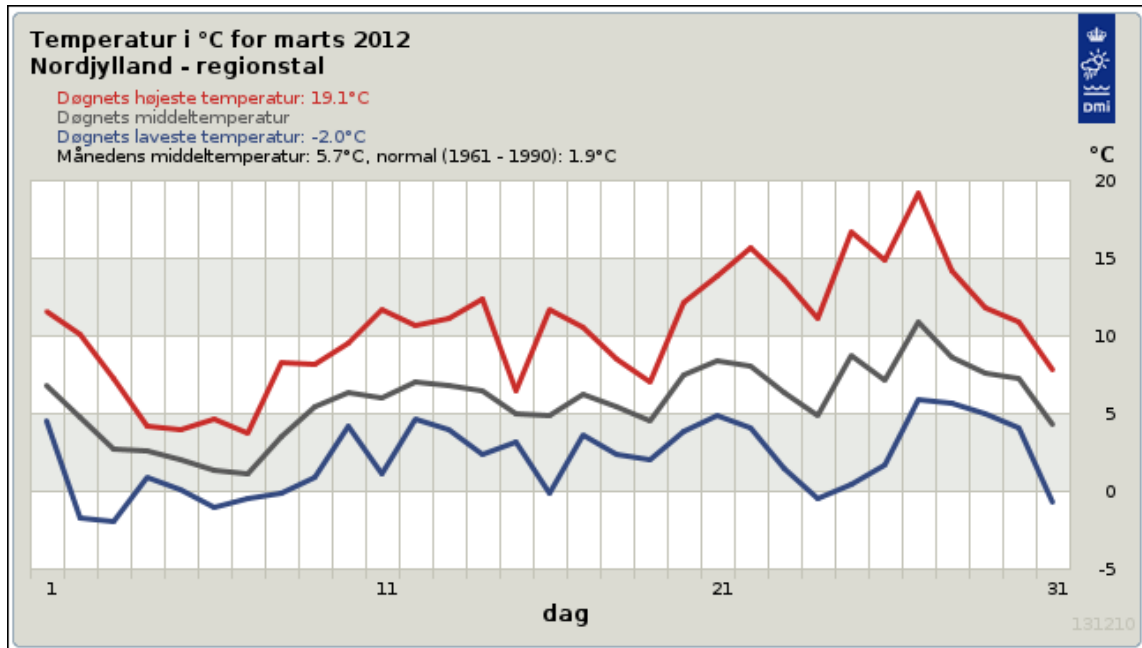
Der er registreret måle usikkerhed ved data fra tidligere normal perioder. DMI har udfærdiget nye korrigerede soltime tal, der bedre svarer til de nye måle data. De nye data har for dec og jan lidt flere soltimer, feb. lidt færre korr. målte soltimer. Da udsvinget i målte soltimer er forholdsvist stort betyder vinduets varmetab, herunder U værdien og det samlede glasareal desto mere for den oplevede komfort. PHPP medtager beregning af 2 klimasituationer som medtager forskelle i middeltemperatur og soltimer for de 2 klimasituationer. En gennemgang heraf vil føre for vidt i denne sammenhæng.

Klimadata for temperatur, nedbør og målte soltimer tyder på at der er en sammenhæng mellem skydække og målte temperaturer.

Tabel 12 Landstal for vinteren 2011-12 [44]

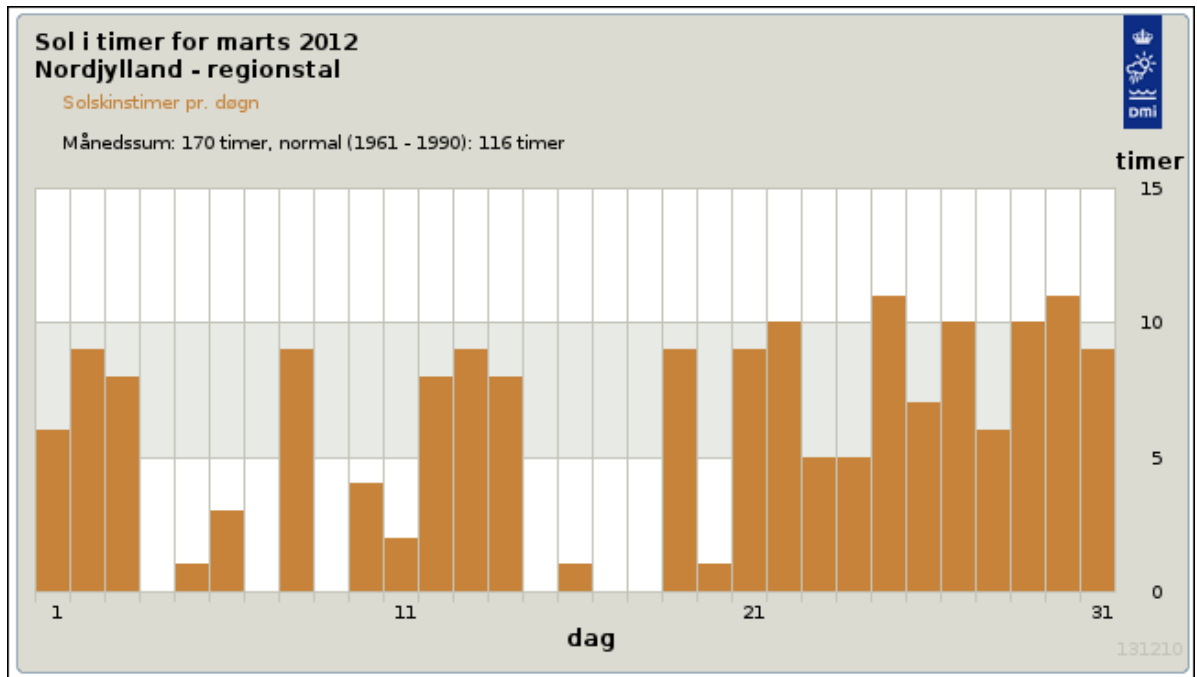
	December 2011	Januar 2012	Februar 2012	Vinter 2011-2012
Middeltemperatur	4,2 °C (1,6)	2,3 °C (0,0)	-0,5 °C (0,0)	2,0 °C (0,5)
Nedbør	99 mm (66)	79 mm (57)	31 mm (38)	208 mm (161)
Sol	50 timer (43)	73 timer (43)	106 timer (69)	229 timer (155)

DMI data for Nordjylland er vist for middeltemperaturer og solskinstimer vinter 2011-12. Der er tilsyneladende en klimatisk sammenhæng mellem middeltemperatur og soltimer. I den midterste del af Marts måned ligger middeltemperaturen relativt stabil – hvilket tyder på et gennemgående skydække med få soltimer. I opgørelse over regionstal af målte soltimer pr. dag ses dette også. Omkring dag 2-3 er der et temperaturfald og samtidig et højt dagligt antal soltimer. Sidst i perioden medfører soltimerne tilsyneladende endelig en stigning i de maksimale dagtemperaturer og en vis middeltemperaturstigning.



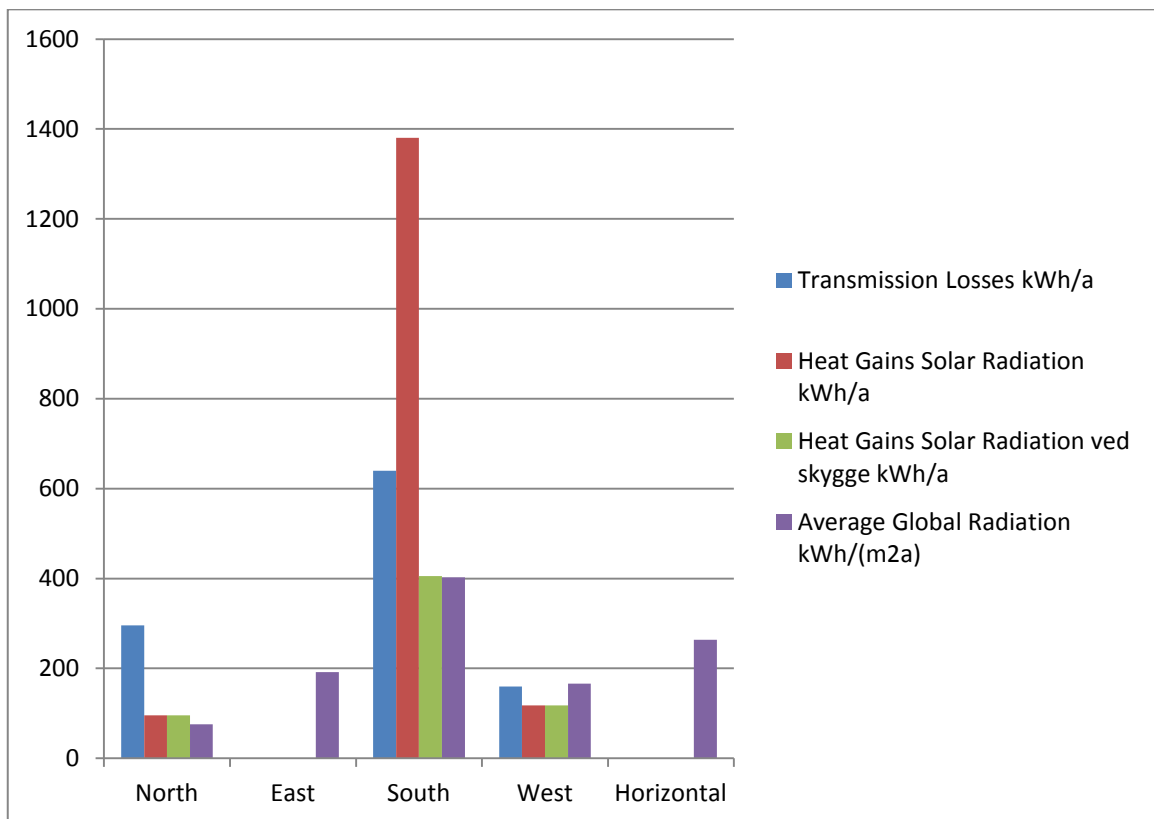
Figur 72 DMI [44]

For at kunne udnytte solindfaldet i varmeperioden, navnlig på de dage hvor middeltemperaturen falder og der tilgængelig er klart skydække og solskin, vil en orientering af glasarealet på de lodrette facade nødvendigvis optimere solvarme bidraget – jo mere de orienteres mod syd. Solens indfaldsvinkel i varmeperioden de 3 centrale måneder December, Januar og Februar har en solazimut, der hvis man filtrerer sol indfaldsvinkler fra for landskabsskygge ligger fra 10 til 25 grader +-syd. Solhøjden varierer fra ca 10 ° til 25 ° i denne periode. Det betyder også at glasflader integreret i tagflader med relativt små hældninger vil have et meget lille solart varmebidrag på grund af den relativt store indfaldsvinkel og dermed store refleksion. Det er således navnlig de lodrette glasflader der giver et væsentligt solart varmebidrags potentiale geometrisk set. Nu er det jo ikke alene den direkte solindstråling der medfører solart varmebidrag. Selv en diffus himmel reflekterer solens lys og kan derved i mindre skala bidrage med solvarme – endda ved nordvendte orienteringer der i varmeperioden slet ingen direkte solbestråling har. Varmemængden er dog ikke tilstrækkelig til at opveje de tilsvarende store tab gennem fladen – så det er alene typisk syd orienterede glasfaldere der har et netto varmebidrag.



Figur 73 DMI [44]

Ved beregning af skyggeeffekt på de syd og vest vendt glasarealer i opvarmingsperioden, ses det, at et ellers stort netto solvarmebidrag fra sydvendte glas orienteringer reduceres og endda kan medføre et netto varme underskud. Den relativt store globale potentielle indstråling ved en horisontal glasflade er svært at udnytte til et passivt varmebidrag da det samtidig medføre store kølelaste i sommerperioden. Glasfordelingen falder derfor let ud til fordel for en syd orientering når energi effektivitet er design parameter.



Figur 74 Den solare indstråling ved et rækkehus – gavlfacade med sydvest og nordfacader.

Passivhuset er beregnet og dimensioneret med PHPP. Der er ligeledes udført beregninger for glasarealer beskyttet med snedriver og skodder i varmeperioden. Effekten ses på faldet fra det solare varmebidrag. Røde søjler uden utilsigtet skygge, grønne søjler med skyggepåvirkning fra utilsigtede snedriver op ad glasset og skodder der i varmeperioden var trukket for sydvendte glas.

Vindues design og overfladetemperaturer

For certificering af bygningskomponenter opstilles der globale randbetingelser som for vinduers vedkommende er opdelt i regionale klimazoner. Her skal de gældende randbetingelser og certificeringsbetingelser for vinduer med passivhus standard oplistes:

Tabel 13

Passivhus min. Værdier for komfort design af vinduer	Rand betingelser for hygiejnekræverium		Hygiejnekræverium		Udvendig temp. for behagelighed °C	Maximale varmemodstandskoefficienter			Solar faktor	Energi effektivitetsklasser glas: U_{eq} mindre end			
	θ_a	rHi	$\theta_{Si, min}$	fRsi		orientering 90,45,0° i forhold til horisontal	$U_{w indbygget}$	U_w		U_g	A	B	C
Klimaregion 3 køligt middel	-5,00	0,50	12,60	0,70	-16,00	vertikal 90	0,85	0,80	0,75	1,60	-0,35	-0,20	0,00
						skrå 45	1,00	1,00	1,00				
						horisontal	1,10	1,10	1,10				

Klima data for et køligt regionalt henviser til Tabel 12 – randbetingelser, tilstrækkelige certificeringskriterier og afgrænsninger for vinduers effektivitets klassifisering [43]

Energi effektivitet defineres i Danmark ud fra Eref formelen

$$E_{ref} = 196,4 \cdot g_g \cdot f_f - 90,36 \cdot U_w \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

hvor

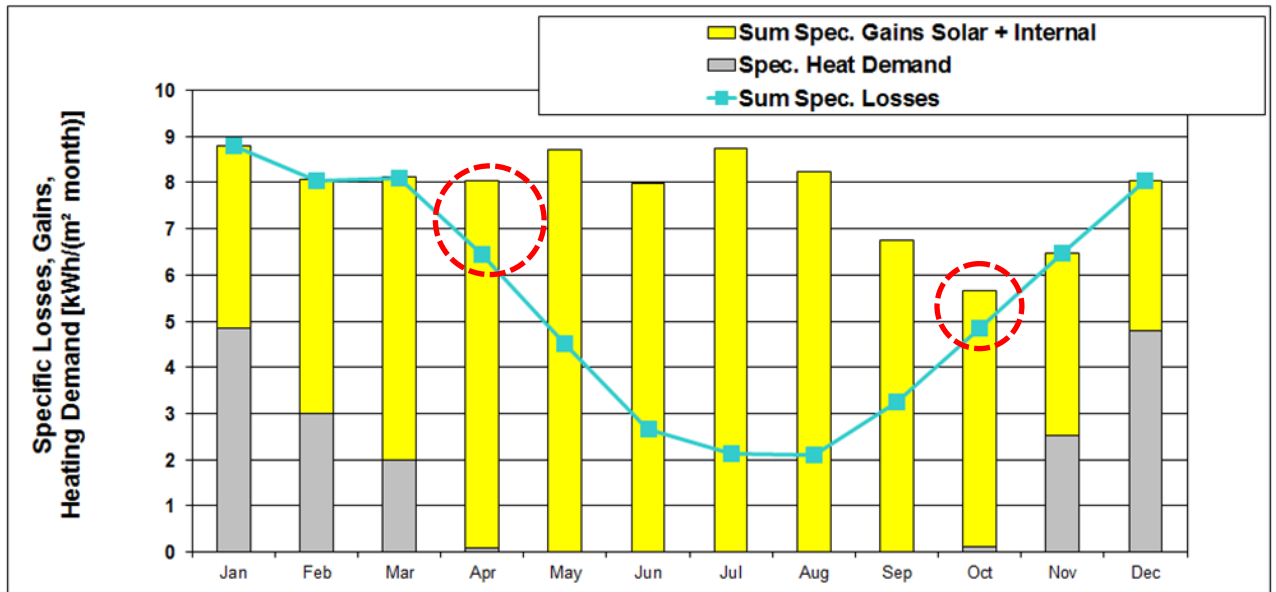
g_g er den totale solenergitransmittans for ruden

f_f er glasandelen for vinduet

U_w er varmetransmissionskoefficienten for vinduet (1,23 x 1,48 m).

Eref beregnes for fyrings sæsonen, som typisk ligger fra og med Oktober til og med April måned. Bag ved beregningen ligger en bestemt bygningsmodel med et fastlåst glasareal og orientering af glasarealet.

Da det solare tilskud i super energi effektive huse overstiger behovet forkortes fyringssæsonen. Modellen bag og Eref formelen giver derved ikke et tilstrækkeligt billede af hvor stor en andel af den potentielle solenergi der rent faktisk bidrager til rumopvarmningen.



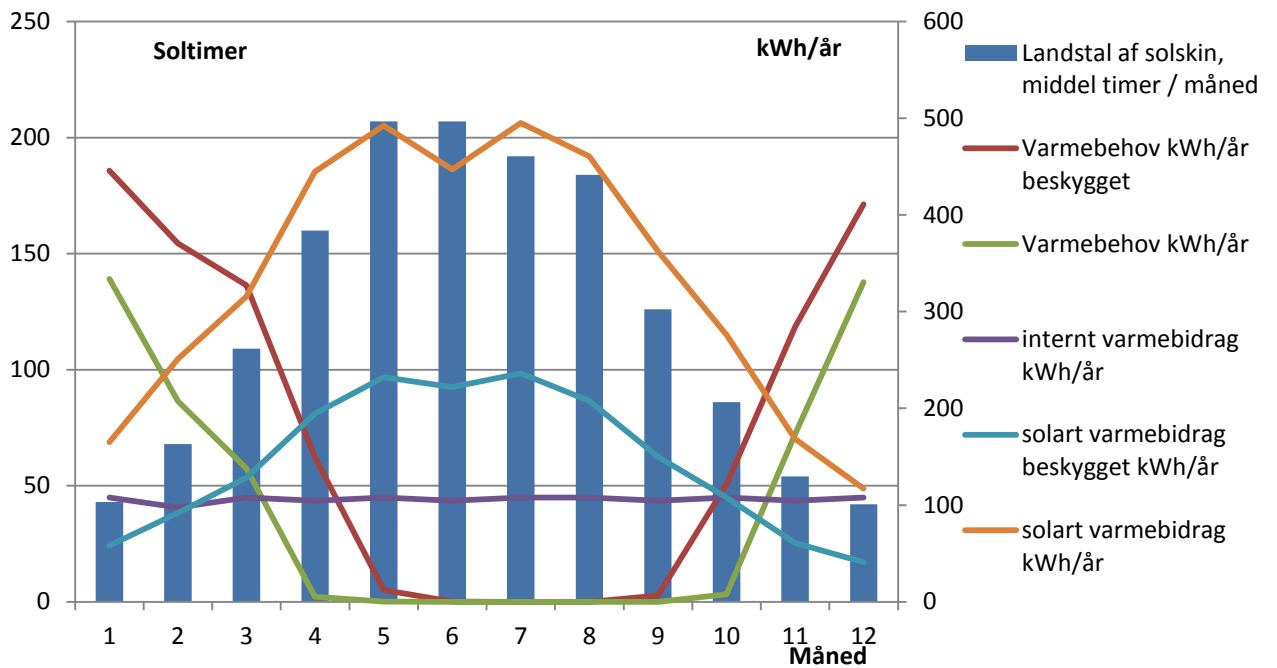
Figur 75

For et rækkehus med 4 boliger er der for en 3værs. gavlt type opstillet en PHPP beregning. PHPP beregningens månedsopdelte energibalance viser at der i April og Oktober måned er et solart overskud som ikke udnyttes til rum opvarmning. Vindues design medtager det solare opvarmnings potentiale der rent faktisk bidrager til at dække varmebehovet.

Medregnes det totale solare potentiale kan det medføre store udsving i varmeeffektbehovet, da et større glasareal også medfører et større opvarmningsbehov i de perioder, hvor glasarealet medfører et stort netto varmetab.

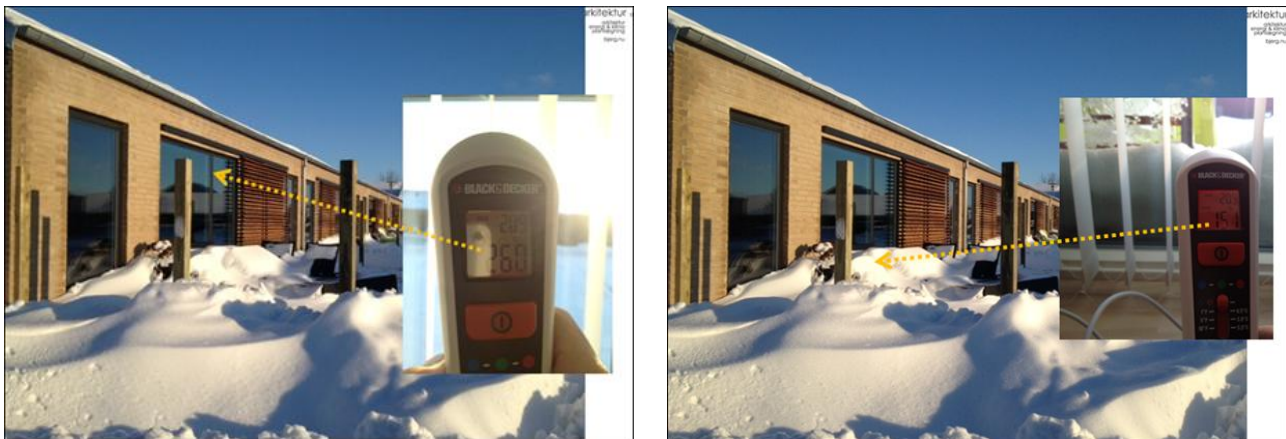
For samme bolig er der beregnet varmebehov og solar energibalance for kritiske glasarealer, der ved en besigtigelse var registreret beskyttet. Vinterperioden kom pludselig med sne og fygning. Det medførte at der op ad glasset lå snedriver på op mod 1 m og at solskodder til brug mod sommer overtemperaturer – ikke var trukket fra og forblev stående foran sydvendte glas.

I Diagrammet er for begge situationer, uskygget glasflader og beskyttet glasflader beregnet varmebehov og de månedlige solare varmebidrag. Overordnet ses, at der er et solart varmebidrag, som topper i sommerhalvåret og aftager henimod varmeperioden. Derved bliver det afgørende at udnytte det solare potentiale i varmeperioden. Jo højere energieffektivt – jo kortere varmeperiode og desto større indvirkninger har evt. skyggepåvirkninger af glasset. Varmeperioden forlænges med 2 måneder ved beskygning og stiger med 182% fra 17kWh/m² til 31 kWh/m² årligt. Det solare varmebidrag påvirkes naturligvis også i sommerhalvåret – men da der her ikke er et varmebehov er dette til den gode side – det minimere kølebehovet.



Figur 76

Ved besigtigelse blev der på indvendig glas side registret overflade temp. på glasset uden skyggepåvirkning på 26,0 C og 15,1 C ved skygge og kuldestråling fra snefelt. Glasfeltets nederste temperatur indvendigt ligger 6,9 K over den operative temp i rummet på 22 C. Herved opstår der ved glasfeltet en tungere luftsøjle som bidrager til kuldepåvirkning og trægene ved ophold tæt på glasset.



Figur 77

En yderligere effekt af glassets meget lave U værdi på 0,539 W/m²k er at varmestråling indefra er så reduceret at den ikke medfører en af smeltning af snedriver foran glasset. Beboerne i de berørte boliger "valgte" ikke at fjerne snedriverne aktivt før de fysiske sammenhænge blev påpeget. Der er således behov for en periode hvor brugeren oplever de ændringer der sker ved klimaskærmen i forhold til det forventede. Både indvendig og udvendig som konsekvens af en højere energieffektivitet i bygningsdele og komponenter. I

den sidste vinterperiode (uden snedriver) er der os bekendt ikke registreret kuldenedfald fra beboerne her.

Store åbninger med glas i etageboliger

Det samme tema med oplevet overfladetemperatur og afgrænsning af inde/ude rummet opstår også typisk ved reovering af etageboliger. Her er der tit behov for at føre klimaskærmen helt udenpå det eksisterende bygningsvolumen alene fordi der er store konstruktive kuldebroer. Ved etablering af vinduer hvor der før var altan åbninger opstår der en gradbøjning rumligt af klimaskærmen, som ikke er bygningsfysisk eller energimæssigt hensigtsmæssig – men som der ikke desto mindre er en reel udfordring. Beboeren der har en altan – ønsker sig af med kuldebroer og varmetab herigennem – men ikke altan funktionen. En mulighed er at indføre et fleksibelt vindue i form af en foldedørsparti med højisoleret glas eller et skydedørsparti.

For et foldedørsparti der har et bredde/højde mål på 3,6x2,2 m er den samlede U værdi beregnet for et dansk produceret foldedørs parti. Ved valg af glastype med Kryptonfyldning fås en Uglass på 0,49 W/m²K og den samlede U værdi for elementet inkl antagede linjetab ved indbygningen beregnes til 0,85 W/m²K. ved valg af en glas opbygning 4-12-4-12-4 med argon fyldning fås en Uglass værdi på 0,72 W/m²K – hvilket stadig er tilstrækkeligt for glassets vedkommende i forhold til komfortkriteriet – men da det samlede varmetab fra elementet overstiger 0,85 W/m²K må der forventes kuldenedfald og trækgener i særlige kolde perioder med udetemp < - 16 °C. Endvidere er der risiko for kondensdannelse ved ekstremt lave udetemp. Da komponenten ikke har umiddelbar funktion som klimaskærm vil det først ved senere indragelse af altanen som boligareal være en reel risiko. Alligevel stiller energireoveringer med langsigtede holdbarhedsperspektiver helt nye krav til bygnings- og komponent design

Tabel 14

An-zahl	Bezeichnung	Abweichung zur Nordrichtung	Neigung gegen die Horizontale	Orientierung	Rohbaumaße Fenster		eingebaut		Verglasung		Rahmen		g-Wert	U-Werte		Rahmenmaße				Einbau			Ψ-Werte		Ergebnisse				
					Breite	Höhe	in Fläche im Flächenblatt	Nr	Auswahl Verglasung aus FenTyp	Nr	Auswahl Rahmen aus FenTyp	senkr. Einstrahlung		Verglasung	Rahmen	Breite links	Breite rechts	Breite unten	Breite oben	links 1/0	rechts 1/0	unten 1/0	oben 1/0	Ψ _{Standard}	Ψ _{Einbau}	Fensterfläche	Verglasungsfläche	U-Wert Fenster	Glasanteil je Fenster
					m	m			auswähler:	auswähler:		W/(m ² K)		W/(m ² K)	m	m	m	m					W/(m ² K)	W/(m ² K)	m ²	m ²	W/(m ² K)	%	
3	Foldedør: mi	180	90	Süd	0,720	2,200		0	0,49 glas krypt	9	lacuna midterpa	13	0,50	0,49	1,01	0,05	0,05	0,11	0,14	0	0	1	1	0,039	0,040	4,8	3,58	0,78	75%
2	Foldedør: si	180	90	Süd	0,720	2,200		0	0,49 glas krypt	9	lacuna sidesp	14	0,50	0,49	1,01	0,06	0,06	0,11	0,14	0	1	1	1	0,039	0,040	3,2	2,36	0,84	75%
3	Foldedør: mi	180	90	Süd	0,720	2,200		0	0,72 glas Argon	8	lacuna midterpa	13	0,50	0,72	1,01	0,05	0,05	0,11	0,14	0	0	0	0	0,039	0,040	4,8	3,58	0,92	75%
2	Foldedør: si	180	90	Süd	0,720	2,200		0	0,72 glas Argon	8	lacuna sidesp	14	0,50	0,72	1,01	0,06	0,06	0,11	0,14	0	1	1	1	0,039	0,040	3,2	2,36	1,01	75%

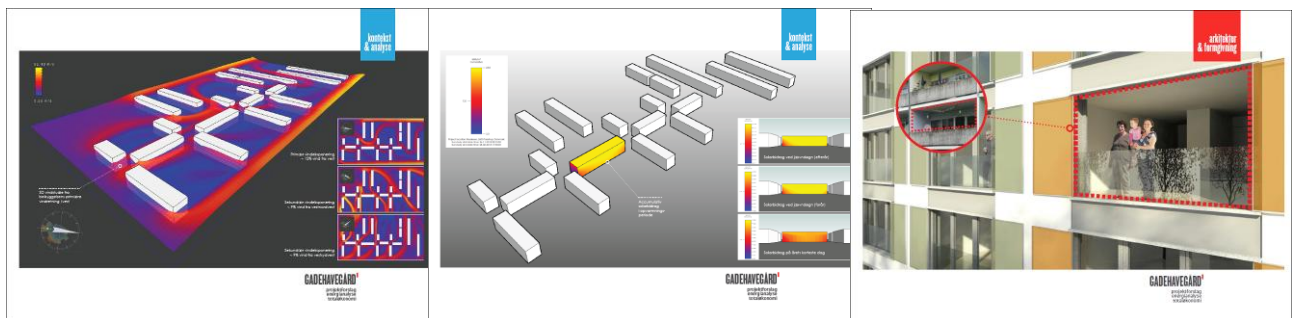
PHPP beregning af U værdi installed for et foldedørsparti med 5 elementer. Den samlede Uværdi med 3 lags glas er henholdsvis 0,80 W/m²K ved Krypton gasfyldning og 0,96 W/m²K ved Argon fyldning.

Glassets betydning for den samlede U værdi er vist i ovenstående beregning og de forskellige glas opbygninger er illustreret her i en producentoversigt med det omtalte glas markeret med gult:

Tabel 15

Tykkelse Glas 1	Glas 1	Profilafstand	Tykkelse Glas 2	Profilafstand	Tykkelse Glas 3	Glas 3	U-værdi m/ luft	U-værdi m/ 90% argon	U-værdi m/ 90% krypton	Lysttransmittans i %	g-værdi	Lysreflektans i %	RA-indeks (jo højre tal, jo mindre farverørængning)	Emissivitetstallet
CLIMATOP ULTRA N														
4	Ultra N	6	4	6	4	Ultra N	1,56	1,22	0,83	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	9	4	9	4	Ultra N	1,17	0,90	0,61	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	10	4	10	4	Ultra N	1,08	0,83	0,56	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	12	4	12	4	Ultra N	0,94	0,72	0,49	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	14	4	14	4	Ultra N	0,84	0,64	0,49	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	15	4	15	4	Ultra N	0,79	0,61	0,49	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	16	4	16	4	Ultra N	0,75	0,58	0,50	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	18	4	18	4	Ultra N	0,69	0,53	0,50	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	20	4	20	4	Ultra N	0,65	0,52	0,51	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	22	4	22	4	Ultra N	0,65	0,53	0,51	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	24	4	24	4	Ultra N	0,66	0,53	0,52	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03
4	Ultra N	27	4	27	4	Ultra N	0,67	0,54	0,52	72,1	0,50	14,5	94,2	0,03

Udvalgte glasopbygninger relevante for en konkret foldedør med trækarm.



Figur 78 Grafik fra en solanalyse af et renoveringsprojekt for etageboliger.

De overordnede analyser for vind, sol og skyggepåvirkninger peger på, at en delvis åbning af facaden nogle steder kan ske uden væsentlige vind eller skyggepåvirkninger. Designet og realiseringen af komponenten, der tillader et fuldt potentiel parti, som giver boligen en altan funktion stiller helt nye krav på komponent niveau. De enkelte delelementer, der indgår i den samlede vindues konstruktion skal hver især vælges med omhu for den samlede energi effektivitet.

Etableres der en ekstra klimazone foran boligen vil der opstå problemer med en entydig defination af ude og inde for beboeren. Derfor arbejdes, der ved renoveringsdesign af facaden med en entydig fremtidig funktion som klimaskærm, og der stilles derfor også komfort krav til de integrerede komponenter.

Nye former for åbninger i og af facaden har betydning for den måde vi opfatter kontakten mellem uderummet og boligen. Åbninger, der gør det muligt at opnå visuel kontakt mellem bolig og det umiddelbare uderum giver en individuel dimension til de meget store ensformige bebyggelser fra 60´ og 70´erne. Altaner der før kunne benyttes i sommerperioder kan nu befolkes hele året åben eller lukket. Visionen er at gøre vinduet til mere en blot udsigt og lysindtag. Visionen

er også at gøre vinduet til boligens og beboerens kontaktflade med det sted man bor. Design visioner for 60' + og 70'erne har muligvis været at skabe kontakt mellem bolig og landskab. Oplevelsen af landskabet kan måske sammenlignes med den måde omgivelserne opleves fra et passagerskib – lidt på distance og uden en umiddelbar visuel kontakt til de nære omgivelser. Når komfortdesign kriterier opfyldes for glasflader opgraderes bolig arealet ved glasset med nye og højere værdier for dagslys, sollys, synlighed, udsyn, kontakt til det grønne bl.a. Det er værdier som vi forsøger at opgradere i boligen generelt – men som specifikke målbare værdier er højest ved vinduet.

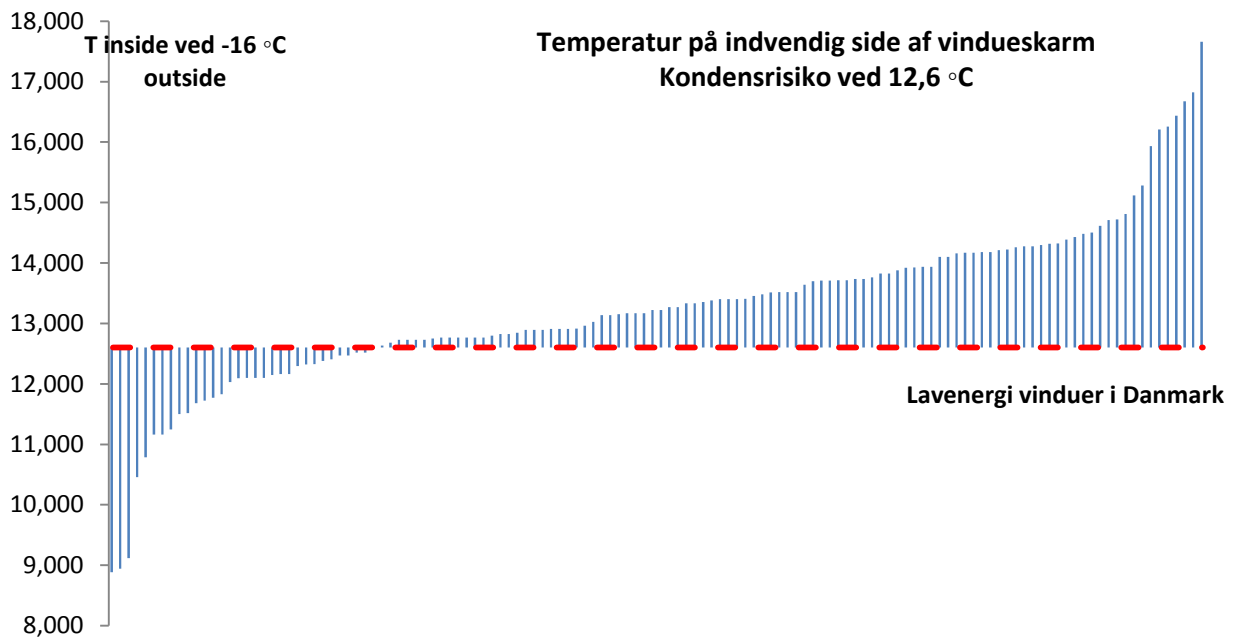


Figur 79

Vindues design og minimums overfladetemperaturer

Som tidligere beskrevet er der opstillet et hygiejne kriterium hvor min. overfladetemperaturen for den klimatiske zone som Danmark ligger i er 12,6 C. Ved højere temperatur sikres det, at der ikke opstår kondensdannelse med de randbetingelser for normal fugtighedsforhold der sikres ved mekanisk ventilering.

I dette afsnit skal det undersøges hvordan de danske vinduer der markedsføres som lavenergi vinduer med positive Eref vinduer performer i forhold til komfort kriteriet opstillet som et certificeringskriterie for passivhus vinduer. Pointen er som tidligere nævnt at klimatisering af bygninger ikke længere nødvendigvis sker via varmekilder placeret ved vinduet. Vinduet skal derfor som bygningskomponent og bygningsdel dvs. inkl. indbygningsløsning – kunne sikre klimatiske komfort temperaturer.



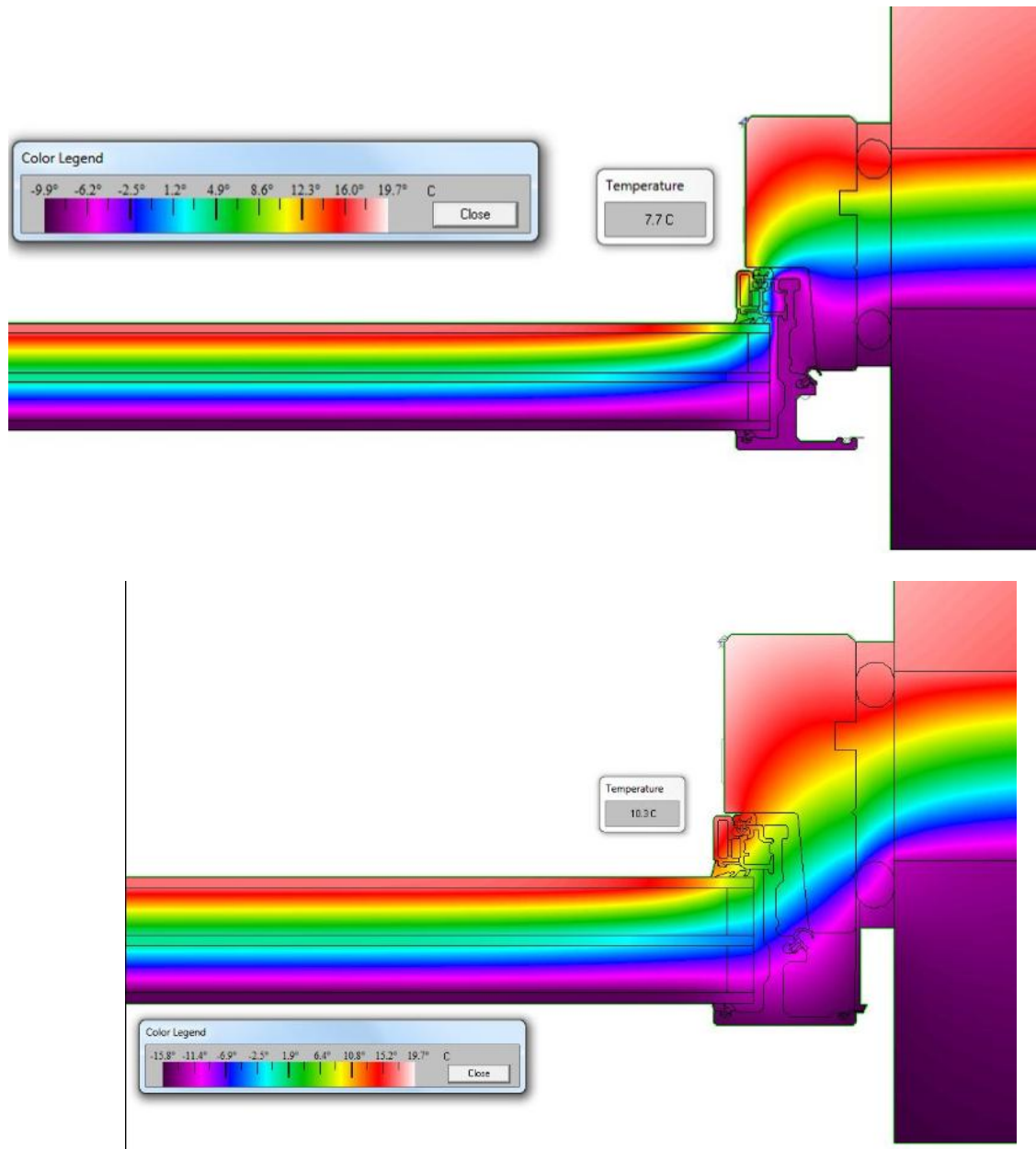
Figur 80

Diagrammet er et resultat af beregninger baseret på data fra de lavenergi vinduer der er oplistet som energi vinduer under ordningen "Energivinduer" [24].

Der beregnes en Karm U værdi som grundlag for beregning af de minimale indvendige temperaturer her ved den kritiske temperatur på -16 C udvendigt. En 173 del af producenternes Karm U værdi lever ikke op til komfort hygiejne kriteriet. Ca $\frac{1}{2}$ delen ligger så tæt på kriteriet at der ved valg af standard glas spacer også må antages temperaturer der afleder kondensdannelse. Ved indbygning med kuldebroer tilskrives et tillæg på U værdien med $0,1\text{ W/m}^2\text{K}$. Dette tillæg er der taget højde for i beregningen. Indbygges vinduet ikke optimalt i det varme isolerede lag af klimaskærmen men delvist i umiddelbar forbindelse med de bærende konstruktioner eller med utilstrækkelig varmeafbrydende indbygningsløsninger vil ligeledes ca $\frac{1}{2}$ af vinduerne falde under hygiejne kriteriet. Tillæg for kuldebro ved indbygning er $0,05\text{ W/m}^2\text{K}$.

Et paradoks er at der generelt i Danmark designs meget smalle vindues profiler som giver en stor relativ glasandel. Dette design fokus medfører i nogle tilfælde, at de indvendige overflade temperaturer bliver meget lave og fører til kondens også ved gennemsnitlige lave vintertemperaturer.

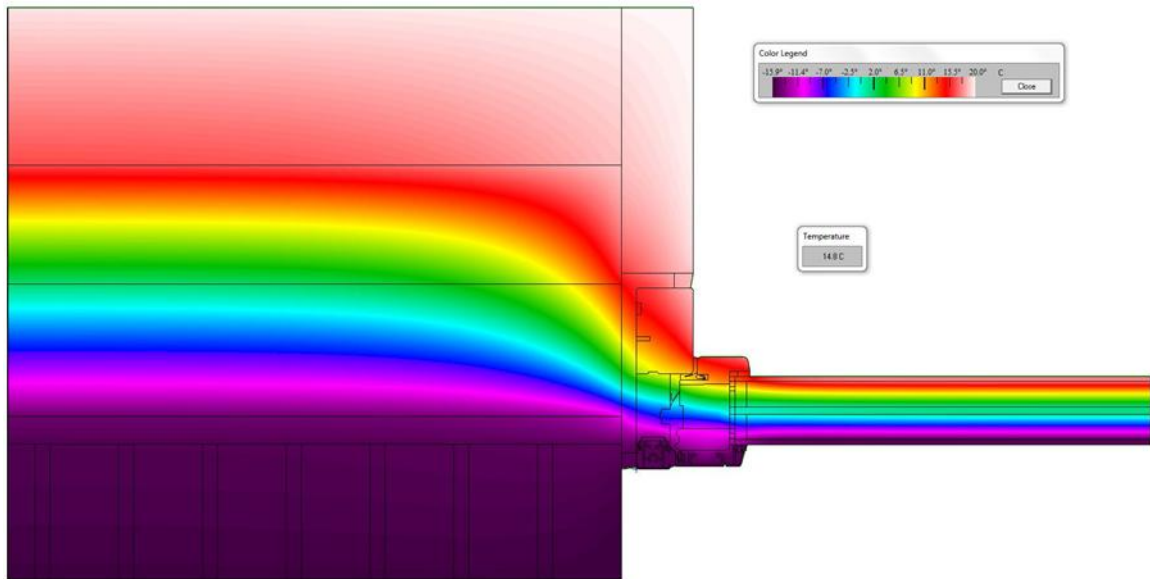
Nedenstående simuleringer af minimumstemperaturer ved et udvalgt vinduesprofil der udvendigt tegner det smalle profil ved at indføre en skyggeprofil mellem karm og væg medfører lave indvendige overflade temperaturer. Ved at afdække profilet i nogen grad etableres en luftzone der hæver temperaturen også på indvendig side. Alligevel er dette ikke tilstrækkeligt til at opfylde hygiejne kriteriet i super lavenergi huse defineret som min. $12,6$ grader.



Figur 81

Design af Vindues karme bør have fokus på maximering af glasandelen. Energi effektivitets kriteriet for passivhus standarden beregnes ud fra formelen $U_g - S \cdot g < 0$. Ved klimazone 3 som Danmark ligger i er solfaktoren $S = 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$. U glas angives efter EN 673 normen og g værdien efter EN 410. Typiske optimerede værdier er henholdsvis for U glas $0,51 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ og for g værdien 52%. Dette giver en negativ energi effektivitet på $-0,33 < 0$ som betyder at der netto tilføres sol varme ved glas orienteret mod syd.

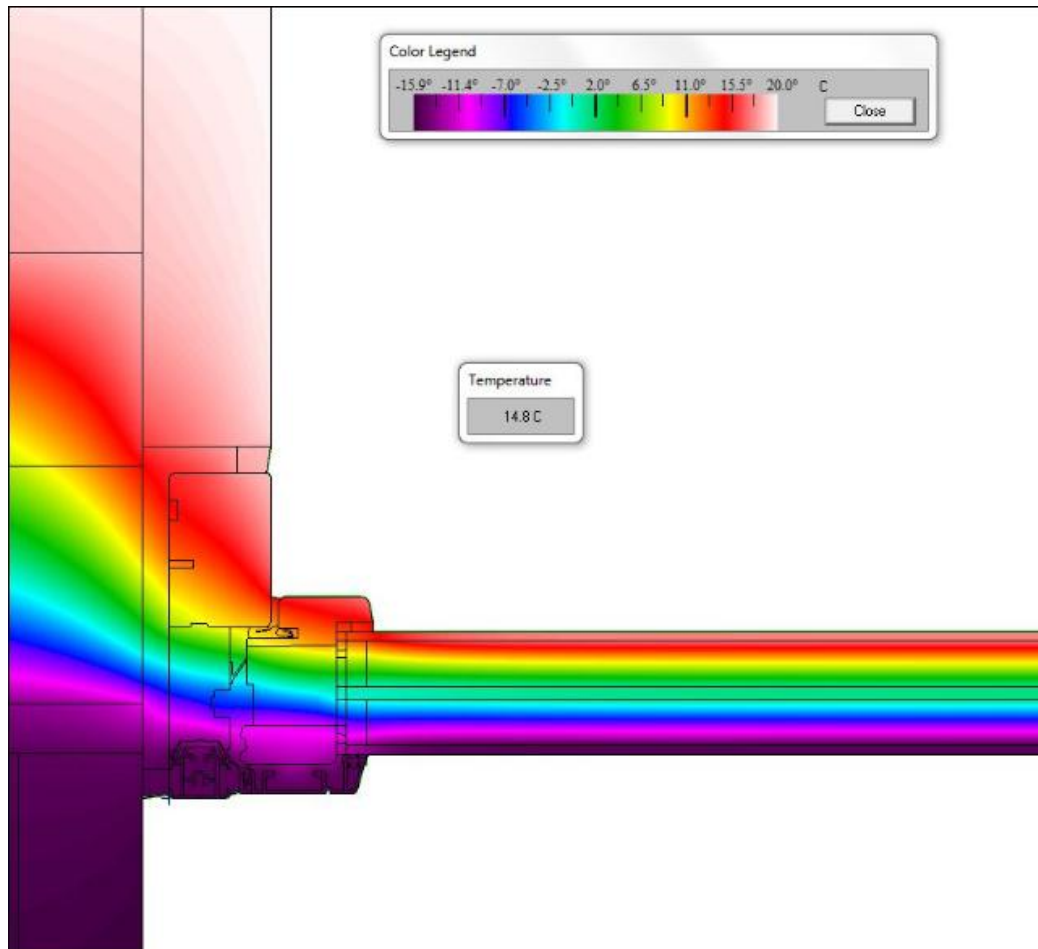
G værdien – det vinkelrette varmestrålingsbidrag fra solbestrålingen er naturligvis større jo større glasandelen af vinduet er. Vigtigt er det dog her ikke at overse eller at gå på kompromis med de komforttemperaturer der er nødvendige er i klimatiserede superlavenergi huse.



Figur 82

Eksemplet her er et passivhus design fra DPC til varm indbygningsløsning af et passivhus designet vindues profil fra producenten Krone Vinduer, optimeret af DPC. De indvendige overfladetemperaturer ligger over de 17 grader som er minimum for behageligheds kriteriet.

Ved tilstrækkelig afbrydelse af varmemstrømmen ved karmprofilet kan der også med smalle karm profiler opnås tilstrækkeligt høje indvendige overfladetemperaturer, i dette tilfælde + 14,8 C min. temperatur på indvendig overflade ved udvendig – 16 C.



Figur 83

Bilag 6 Målinger på kompaktanlæg

Søren Riis Dietz Bjerg Arkitektur

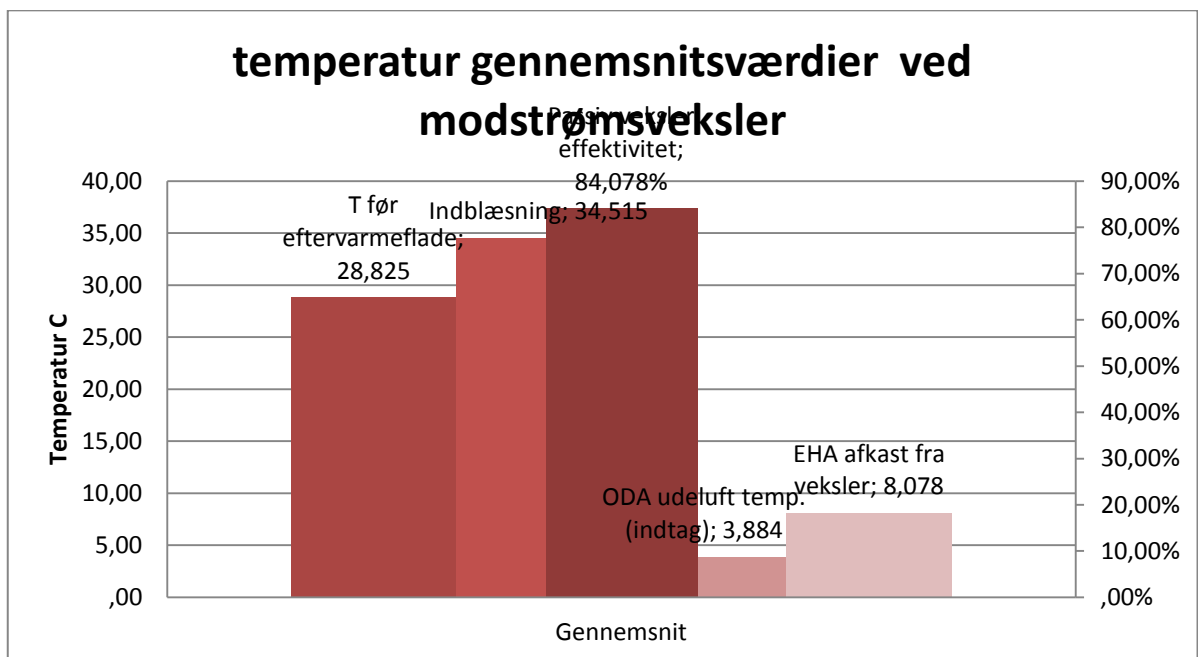
LOGdata og relationer til det solare varmebidrag - notat

For perioden Marts-April 2013 er der logget data fra et kompakt ventilations anlæg placeret i en rækkehusbolig gavlttype. Logningsdata for målt udetemp., målt rum temp. og temp. ved passiv modstrømsveksler og varmepumpe aggregat i kompaktanlægget er vist sammen med et beregnet effektivitets tal for den passive veksler.

Den passive vekslers effektivitet beregnes efter formlen

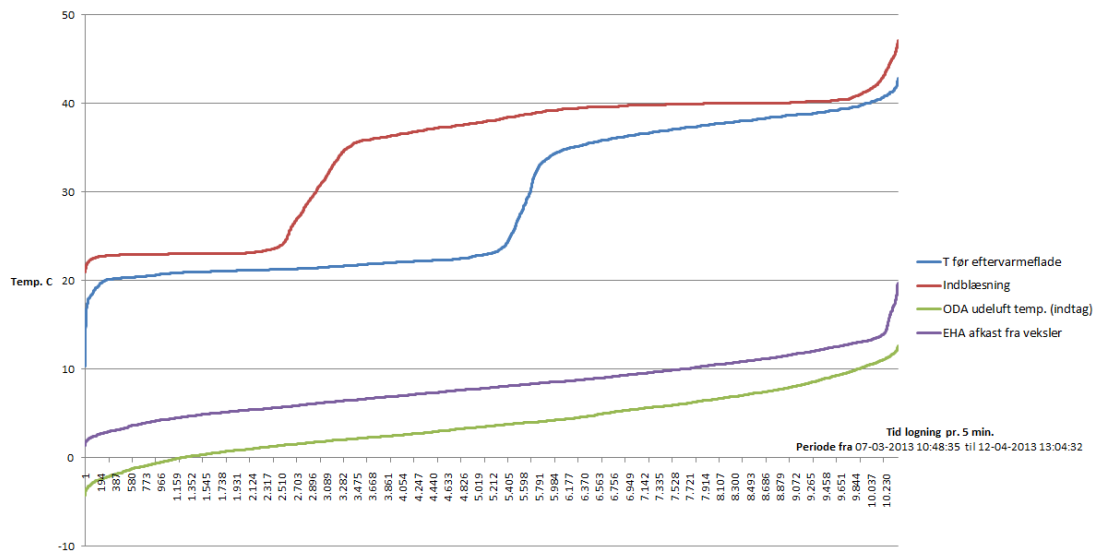
$$\eta_{HR} = \frac{Q_{ETA} - Q_{EHA} + P_{el} / (\dot{m}c_p)}{Q_{ETA} - Q_{ODA}}$$

For kompakte kryds og modstrøms krydsvekslere bør genvindingsgraden > 75% . I den periode hvor data er logget er den gennemsnitlige effektivitet af modstrømsveksleren beregnet til 84,1 % ved en antaget strømeffektivitet på 40W/m³h. I diagrammet nedenunder er der her en opstilling af de gennemsnitlig temperaturværdier og den gennemsnitlige effektivitet af modstrømsveksleren.



Figur 84

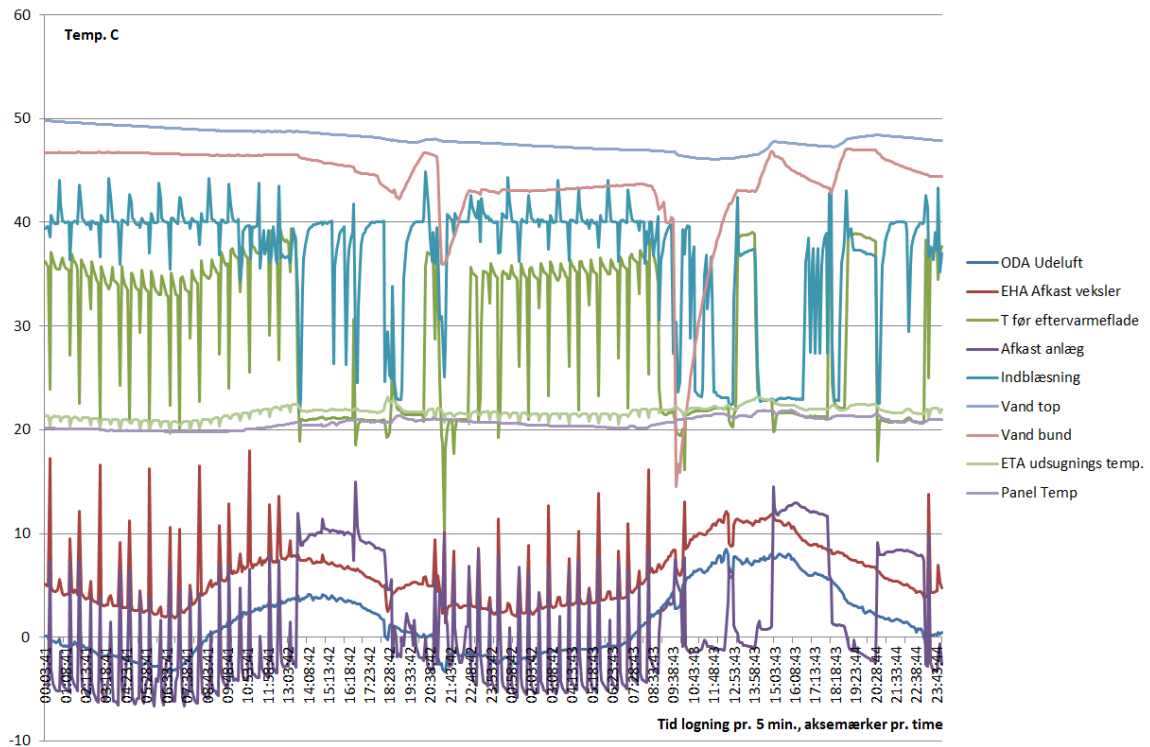
For en vurdering af temperaturfordelingen er de registrerede temperaturer sorteret. De enkelte kurver kan derfor ikke sammenstilles. Temperaturen før eftervarmeffladen er den indblæsningstemperatur man kan forvente uden en aktiv eftervarme tilførsel. Denne temperatur bør ikke komme under 17 grader ved en operativ temperatur på 20-21 grader således at der ikke opstår højere delta T end 4 grader. Der er gennemgående ingen kritiske perioder for temperaturniveauet efter den passive veksler.



Figur 85

Ved en kontinuerlig logning af forbrugsrelaterede data som forbrug af varmt vand og luft temperatur data, der er direkte klima relaterede kan der observeres sammenfald mellem særligt lave temperatur i varmtvandsbeholderen (vand bund) og temperaturen før eftervarmeffladen. Temperaturfald i varmtvandsbeholderens bund sker om aftenen og tidligt om morgen, hvor varmtvandsforbruget er koncentreret. Temperaturforløbet i toppen udjævnes kontinuerligt da kompakt aggregatets første prioritet er produktion af varmt brugsvand. 2 prioritet er sikring af tilstrækkeligt høje indblæsningstemperaturer så Panel temperaturen (den ønskede temperatur) kommer så tæt på de indstillede 22 C som muligt. Udsugningstemperaturen viser en kontinuerlig temp. lidt over 22 grader. Forskel mellem temp. føler i panel og udsugning kan skyldes asymmetrisk rumtemperatur fordeling da udsugningen forløber over gipsloftet i rumhøjde 2,6 m mens panelhøjde er ca 1,2 m.

Ved frostperioder går anlægget i en frostbeskyttelses modus. I disse perioder falder temperaturen fra veksleren – men eftervarmeffladen sørger for at indblæsningstemperaturen holdes på et konstant niveau. Omkring middags tid falder indblæsningstemperaturen drastisk og dette sker igen kortvarigt ved spisetid omkring kl. 18. Udetemperaturen er her på sit maksimum, men har ikke samme store udsving. Her kan kun de solare varmebidrag og de interne person relaterede varmebidrag fra belysning og apparater medføre den mindre temp. forskel mellem veksler og indblæsning. De solare bidrag udnyttes til at opbygge varmtvandstemperaturen. Afkast temperaturen fra anlægget målt efter varmepumpen stiger når der ikke længere er brug for at overføre energi til indblæsningen eller varmtvandsbeholderen. En større fordeling af varmtvandsforbruget navnlig i perioder hvor det solare bidrag ikke udnyttes og afkast temperaturerne derved er høje kan forbedre energi effektivitet, herunder minimere elforbruget. De solare bidrag kan tilsyneladende udnyttes bedre i tidsrummet 13 til 18 og frem til 23 når der ikke er frost om natten. Dette kan evt. ske med en større varmt vands beholder der tillader en større buffer eller et andet forbrugs mønster der fordeler forbruget at det varme vand ud over døgnet.



Figur 86

Effektiviteten skal sikre at der ved ren passiv veksling med kold frisk luft ODA, overføres energi fra opvarmet bolig luft ETA, tilstrækkeligt til at hæve temperaturen til ca 17 °C så der ikke opstår kuldenedfald ved indblæsningen (komfort kriterium). Eftervarmning af luften kan evt. ske med varmetilførsel fra integreret varmepumpe eller via indbygget i dette tilfælde elbaseret-eftervarmeplade. Ekstra ordinært kan der kaldes på opkoblede små elradiatorer eller gulvarmezoner i de enkelte rum, der er risikozoner – dvs har et højere varmeeffektbehov end boligen generelt. Her har også rum med store glas andele en risiko for at skulle have tilført ekstra varme ved lange kølige frostdøgn og overskyede perioder da det solare varmetilskud her ikke giver et netto varmetilskud. Til gengæld er der stadig et relativt stort varmetab fra glasfladen der har et varmetab der er næsten 10 x større pr. gradsforskel mellem ude og indetemperatur end ydervæggen generelt.

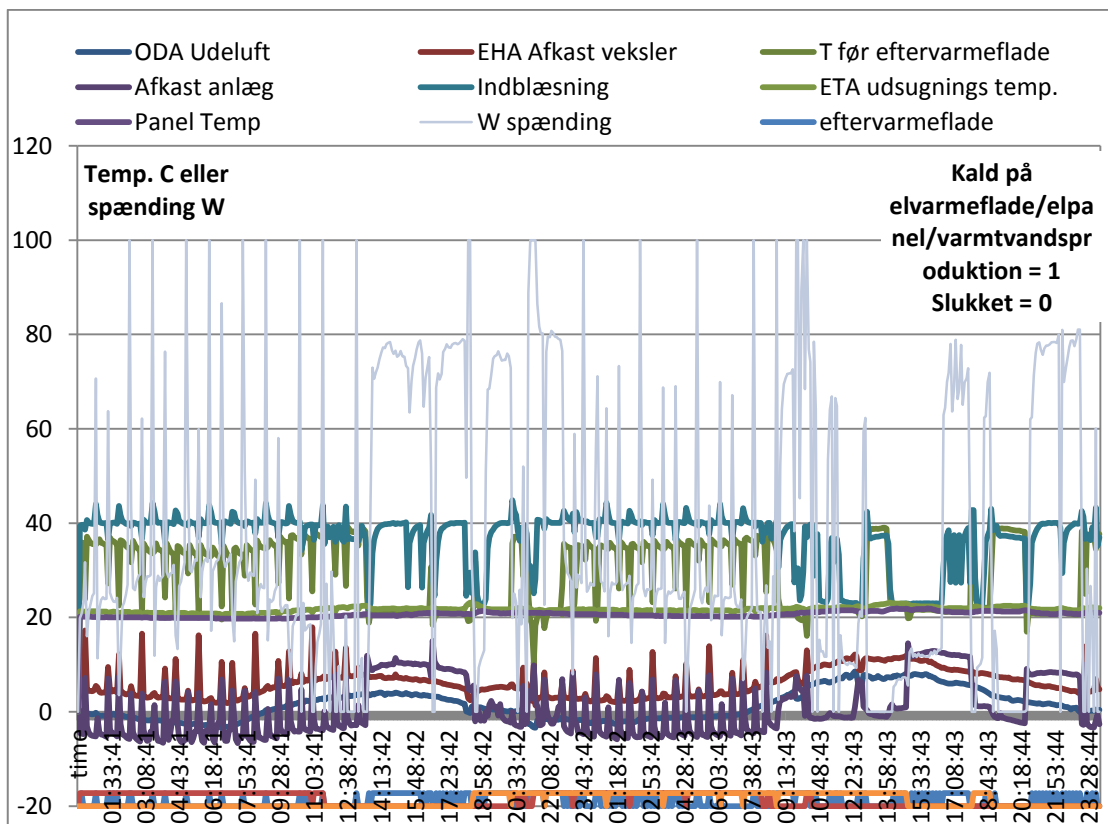
En sammenhæng mellem solare varmebidrag og stigende afkasttemperaturer er ikke entydig. Ved at analysere spænding på elvarmefalder og kald på eksterne el paneler samt varmtbrugsvandsproduktion ses det at et fald i indblæsningstemperaturene over middagstid også kan skyldes at der kaldes på eksterne varmeplader. Den tilkobling af eksterne varmeplader bidrager sandsynligvis til en højere afkast temperatur. Den højere afkasttemperatur betyder i sig selv at også varmepumpen tilføres energi fra udsugningsluften – men denne kan ikke umiddelbart udnyttes til opvarmning af det varmebrugsvand hvor set temp. for det varme brugs vand er indstillet til 43 grader. Først da dette set nås begynder varmepumpen at udnytte de relative høje afkast temperaturer til opvarmning af varmt vand.

Produktion af varmt brugs vand startes op ved 18 tiden og foregår natten igennem. Varmeplade og elpaneler tilfører rumvarme. Frosttemperaturer giver tydelige afbrud i den passive veksling. Ved at tilkoble jord energirør kan disse afledte kald på direkte varmeplader henover natten med frost temperaturerminimeres. Først når temperaturen i indtagsluften stiger til 3-4 grader ses der ikke længere de store udsving i afkasttemperatur og temperatur fra den passive veksler. En passiv frostsikring med jord brineanlæg eller jord energi luftrør kan sikre dette temperatur niveau og derved minimere tilkobling af elpaneler.

Er beboeren ikke hjemme på det tidspunkt, hvor der kaldes på eksterne elvarmekilder vil en sænkning af ønsket rumtemperatur kun medføre et fald i tilkobling af eksterne elpaneler. Udsugningstemperaturen forløber stabilt, men måler kun på den samlede lufttemperatur. Ved nordvendte rum kan der være sat højere ønskede rumtemperaturer på elpaneler end den målte. Dette ser dog ikke ud til at være tilfældet da styring og spænding på varmeplade falder sammen. Den centrale styring ser ud til at være effektivt på både den integrerede eftervarmeplade og 2 eksterne varmeplader.

Dag 2 ser det ud til at kald på varmtvandsproduktion gennemgående i løbet af natten og helt frem til om eftermiddagen medføre et stigende behov for kald på eftervarmepladen hvor spændingen også stiger frem mod tidspunktet kl: 18. Dette medfører stigende afkast temperaturer fra anlægget. Eftervarmepladen suppleres af elpaneler i den periode af døgnet hvor udsugningstemperaturen kun lige er omkring den ønskede rumtemperatur og der ikke tilføres varme fra interne varmekilder. Der tilføres varme fra elpanel pladseret i 2 nord/vest/øst vendte værelser. Samtidig går kompakt anlægget i en frostbeskyttelses modus. Ved at tilføre udeluften via et jord- energirør kan denne frostbeskyttelse minimeres og behovet for kald på eksterne varmekilder ligeledes minimeres.

Den samlede styring af energi fra rummet til det varmebrugsvand og/eller via eftervarmepladen giver max indblæsningstemperaturer som ligger omkring 40 grader med fald ned til den ønskede rumtemperatur. Den gennemgående temperatur på udsugningsluften må siges at ligge så tæt på den ønskede lufttemperatur som det kan ønskes. Den oplevede temperatur består dog også de omgivende overfladers temperaturer. Derfor er både overfladetemperaturer og minimale temperaturer i rummet vigtigt for at kunne sænke lufttemperaturen og energieffektivisere i større helheder.



Figur 87

Bilag 7 Luftkvalitet

Bidrag Tine Steen Larsen, UCN act2learn

Den oplevede luftkvalitet er ikke direkte målbar, og relateres derfor ofte til måling af CO₂, da begge parametre afhænger af boligens personbelastning. Det samme gælder den relative luftfugtighed, som dog i større grad også afhænger af andre parametre. Dette beskrives yderligere i det følgende.

Ved vurdering af luftkvaliteten i en bolig vurderes derfor både CO₂-niveau og relativ luftfugtighed (RF) vel vidende at bidrag fra for eksempel menneskelige bioeffluenter samt afgasning af materialer (for eksempel formaldehyd) også er noget der spiller ind på vores vurdering af luftkvaliteten i et rum. Dette er som sagt ikke målbart på samme måde, men vurderes i stedet bl.a. via vores lugtesans. Fælles for alle påvirkningerne af det atmosfæriske indeklima er, at antallet af utilfredse reduceres, når ventilationsmængden forøges, men en forøget ventilationsmængde resulterer samtidig i et forøget energiforbrug og i vinterperioden også i en tør luft indendørs, så det er her vigtigt at finde en balance. I bygningsreglementet er der ikke stillet nogle direkte krav til atmosfærisk komfort, men der stilles dog krav til en minimums ventilationsmængde i boliger [8]. Det er i dag tilladt at benytte behovsstyret ventilation i boliger, men luftskiftet må ikke komme under det lovmæssige minimumskrav.

CO₂

Der findes i dag ikke danske anbefalinger for CO₂ niveau i boliger på samme måde som det for eksempel er tilfældet for skoler. Det kan derfor være svært at fastlægge et passende CO₂-niveau for for eksempel styring af boligens ventilationsanlæg. Skeles der til anbefalingerne for kontor (DS/EN 15251), er der her beskrevet fire forskellige klasser, hvor klasse III vil være at anbefale set ud fra et energimæssigt synspunkt og klasse II kan vælges ud fra en vægtning af et godt indeklima.

Tabel 16

Kategori	CO ₂ værdi over udekonzentration
I	350
II	500
III	800
IV	>800

Problemer med høje CO₂-koncentrationer vil typisk forekomme i vinterhalvåret, hvor huset er mere lukket (døre og vinduer åbnes sjældnere i denne periode), og luftskiftet dermed også er mindre end i sommerperioden. I sommerperioden, hvor naturlig ventilation supplerer eller evt. erstatter den mekaniske ventilation, vil der sjældent forekomme problemer med CO₂.

Der er i boliger ikke tradition for at bruge CO₂ som reguleringsparameter i forbindelse med mekanisk ventilation [45], [46]. Et af argumenterne er prisen på CO₂-følere i forhold til fugtfølere, da en CO₂-føler er væsentligt dyrere end en fugtføler. Et andet argument er, at

CO₂-niveauet i en bolig med normal intern belastning ikke vil kunne give problemer så længe luftskiftet holdes på de anbefalede 0,3 l/s pr m², men nedjusteres dette tal vil det være relevant også at måle på luftens CO₂-niveau.

Et væsentligt fokuspunkt i forbindelse med CO₂-niveau er rum med lille volumen, som samtidig har høj intern belastning fra personer. Dette kan for eksempel være sove- og børneværelser, som ofte har et forholdsvist lille volumen samtidig med, at der er høj belastning hele natten. Børneværelserne er tilmed også ofte brugt i dagstimerne, samtidig med, at der på hylderne i værelset står legetøj af plastic eller lignende materialer, som ofte har en betragtelig afgasning. Børneværelserne kan derfor konkluderes at være særligt kritiske.

Relativ luftfugtighed (RF)

Kilder til fugt i en bolig er typisk beboerne selv, madlavning, fugtige planter, tørring af tøj indendørs samt badning. Også den relative luftfugtighed varierer med årstiderne, da RF indendørs påvirkes af vandindholdet i udeluften. Da vandindholdet i vinterperioden med kolde temperaturer er meget lavt, vil kold udeluft der opvarmes via for eksempel ventilationsanlægget, resultere et lavt vandindhold i den opvarmede luft, og dermed også en lav RF. Dette kan i perioder resultere i gener i form af for eksempel tørre øjne eller generede slimhinder.

På samme måde som for evaluering af CO₂-niveauet kan DS/EN 15251 benyttes til vurdering af den relative luftfugtighed. I dette tilfælde anbefales det at holde RF indenfor 25-60%, svarende til kategori II.

Tabel 17

Kategori	Relativ luftfugtighedsværdier
I	30-50 %
II	25-60 %
III	20-70 %
IV	<20 og >70 %

Udover dette kan det anbefales at RF<45% opnås i minimum en måned om året, da støvmider dør, når den relative luftfugtighed kommer under 45%. [47]

Nogle boligejere foretrækker en åben forbindelse mellem bad og soveværelse. I denne forbindelse er det væsentligt at pointere, at tilstrækkelig udsugning i badeværelse skal kontrolleres, da disse soveværelser i flere tilfælde har en generelt højere RF end soveværelser der ikke ligger i forbindelse med badeværelser [1].

Bilag 8 Anvendelse af ventilationsvarmepumpe og luftbåren opvarmning i Danmark

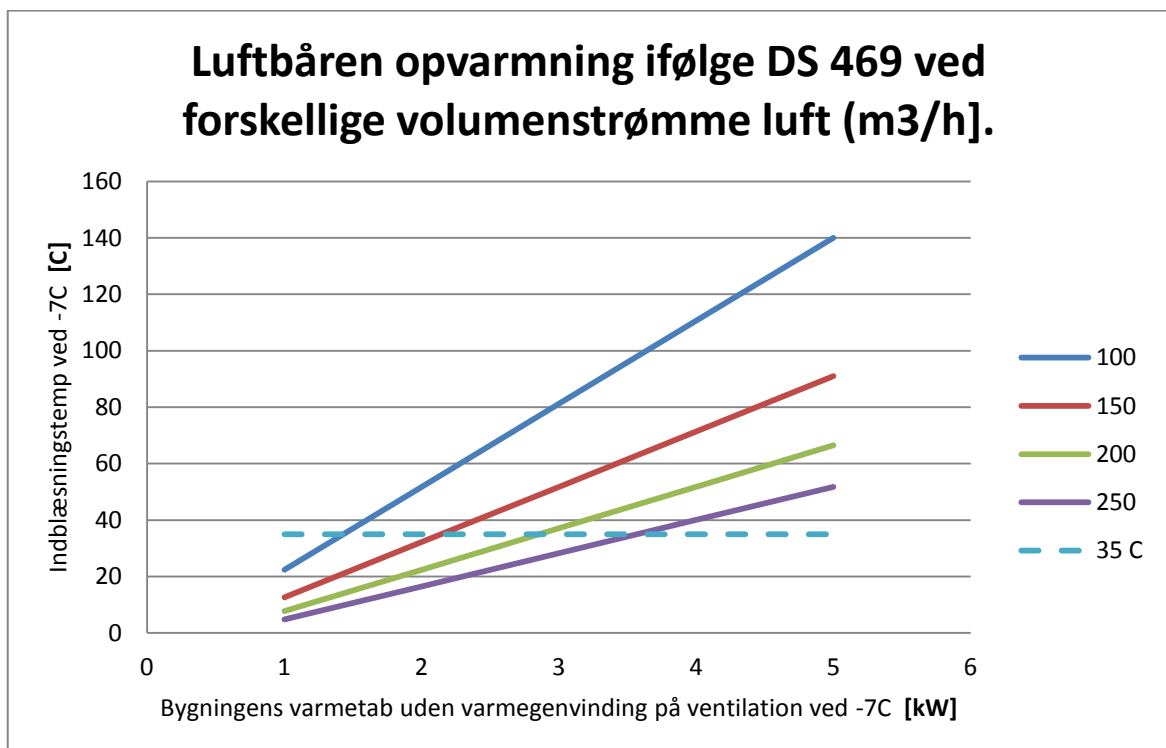
Bidrag Henry Yndgaard Sørensen, Nilan

Kommentar DS 469

Ifølge afs. 6.8.2 i DS 469 skal varmepumper med el supplement dimensioneres så varmepumpen kan dække bygningens samlede varmebehov ned til en udetemperatur på min. -7C.

Ifølge afs. 6.5 må den dimensionerende indblæsningstemperatur ikke overstige 35C.

Et BR2020 byggeri må ifølge BR10 7.2.5.1 stk. 12 ikke udføres med luftvarme som eneste varmekilde.



Figur 88

Ifølge ovenstående beregning bliver det kun lavenergibygninger som kan forsynes med luftbåren opvarmning. Et hus med f.eks. et ventilationsbehov på 216 m³/h (dvs. op til 300 m² med køkken, 2 bad og bryggers) må max have et varmetab u. varmegenvinding på ca. 3 kW ved en udetemperatur på -7C. Er ventilationsvarmepumpen forsynet med en varmegenvinder, vil varmegenvindingen ved en volumenstrøm på 216 m³/h og en temperaturvirkningsgrad på indblæsningen på 85 % (ifølge EN 308 og BR2020 kravet) er 1248 W, dvs. ovenstående bygning må have et varmetab inkl. ventilation på 1752 W ved en udetemperatur på -7C.

Kravet til luftskiftet ved ventilation er baseret på enten størrelsen af huset eller antallet af rum med fugtgenerering (vådrum og køkken), luftskiftet er derfor relateret til reduktion af luftfugtighed. Kravet til max. indblæsningstemperatur kan tilgodeses ved at øge luftskiftet. Ved lave udetemperaturer vil den relative luftfugtighed af den indblæste friske luft blive meget lav hvilket vil medføre gener i form af udtørring. Jo højere luftskifte desto større udtørring. Dette problem kan reduceres ved anvendelse af recirkulation af ikke kontamineret luft, dvs. luft direkte fra indblæsningszonen i opholdsrum. Ved at opblende kold udeluft med recirkuleret luft fra opholdszonen kan der opnås en højere relativ luftfugtighed i indblæsningsluften samtidig med at indblæsningsluften beriges med varme fra varmepumpen. For ventilationsvarmepumper med rekuperativ varmegenvinder, kan opblandingsandelen med fordel tilpasse således at frisklufttemperaturen ind til ventilationsvarmepumpen er over vands frysepunkt, hvilket forebygger behovet for afrimning af modstrømsveksler.

Luftbåren varmforsyning i form af ventilationsvarmepumper har tidligere været meget anvendt til klimatisering af lavenergihuse, denne teknologi skal derfor i fremtiden understøttes af et supplerende varmeanlæg samtidig med at varmepumpen kun kan anvendes i lavenergibyggeri.

Opsummering:

- Et BR2020 byggeri må ifølge BR10 7.2.5.1 stk. 12 ikke udføres med luftvarme som eneste varmekilde.
- Ifølge afs. 6.5 må den dimensionerende indblæsningstemperatur ikke overstige 35°C.
- Varmepumpen skal dække bygningens samlede varmebehov ned til en udetemperatur på min. -7 °C.
- En ventilations varmepumpe kan kun levere supplerende/genvunden luftvarme, og skal som sådan ikke betragtes som en primær varmekilde, og den undtages dermed for kravet om at dække varmebehovet ned til en udetemperatur på min. -7 °C.
- Luftskiftet og dermed udtørringen kan reduceres i kolde perioder ved en delvis recirkulering. Der ventileres med en passende mængde frisk luft så et godt indeklima bevares, udtørring undgås og varmetabet reduceres til et minimum.

Bilag 9 Kommunikation mellem installationer, energivisualisering og brugerbetjening

Bidrag Poul Møller Eriksen, Develco

Problemer med at enheder i nye huse taler forskellige sprog:

Et af de væsentligste problemer i udbredelsen af det intelligente hjem er sprogbarrierer. Med sprog forstås i denne sammenhæng den måde enhederne kommunikerer med omverdenen på. Flere og flere apparater leveres nu med en form for interface til kommunikation med styre enheder. Problemet er at de enten ikke følger en standard eller de følger forskellige standarder.

Eksempler på kommunikations sprog i et hjem:

- Danfoss Radiator termostater: Z-Wave (Wireless - Standard)
- Velux vindues åbner: io-Homecontrol (Wireless – Semi standard)
- Nilan varmepumpe: ModBus (RS485 – delvis proprietær)
- LK kontakter: IHC (Wired/Wireless - proprietær)
- Danfoss Inverter: ComLynx (RS485 - Proprietær)
- Grundfos cirkulations pumpe: GeniBus (Wired – proprietær)
- Kamstrup vand måler: Wireless M-Bus (Wired – åben standard)
- Indesit komfur: ZigBee (Wireless – Åben Standard)

For at styre hele huset, skal der en gateway til hvert eneste produkt. Dette er ikke realistisk, på grund af pris, strømforbrug, kompleksitet og ikke mindst plads.

Løsninger:

Develco Products arbejder meget målrettet på at løse disse problemer. Løsningen skal findes ved en kombination af tre ting:

- Standardisering af produkter. Flere og flere leverandører får øjnene op for de åbne standarder – især ZigBee. F.eks. er både Electrolux og Indesit på vej med hårde hvidevarer der følger standarden. Andre brancher som måler branchen anvender i høj grad standarden Wireless M-Bus, men er i den senere tid også begyndt at understøtte ZigBee.
- Interface mellem proprietære løsninger og standarder. Develco Products leverer en række ZigBee interfaces til forskellige apparater. Som eksempler kan nævnes: ZigBee modul til standard brand alarm, ZigBee interface til aflæsning af eksisterende el-målere og ZigBee modul til indbygning i Echelon El-måler (installaret i 1 mill DK hjem). Som eksemplerne viser kan standard interfacet indbygges i produktet eller sidde ved siden af produktet of "snakket produktets sprog". Develco er i øjeblikket ved at designe et ZigBee interface til Nilans ModBus protokol.
- Gateways der understøtter flere standarder. Develco Products er i gang med udviklingen af en ny Gateway der understøtter op til 3 samtidige standarder. Det vil således være muligt at tilslutte f.eks. Danfoss radiator termostater via Z-Wave, Develco produkter via ZigBee og Kamstrup vand målere via Wireless M-Bus til den samme gateway. Dette sparer omkostninger, plads og energi.

Fremtiden:

Det er Develco Products klare indtryk at flere og flere produkter kommer til at understøtte de åbne standarder, her især ZigBee. Det vil om få år være muligt at finde produkter indenfor de fleste kategorier, der kommunikerer efter en standard – ikke fra alle leverandører, men fra nogle/mange.

Vi ser gatewayen lidt som mobiltelefonen. Den betragter vi som et system, men den understøtter op mod 10-15 standarder (2G, 2.5G, 2.75G, 3G, 4G, WiFi, Bluetooth, BLE, NFC, ...)

Saseco eButler – Energi visualisering, styring og overvågning

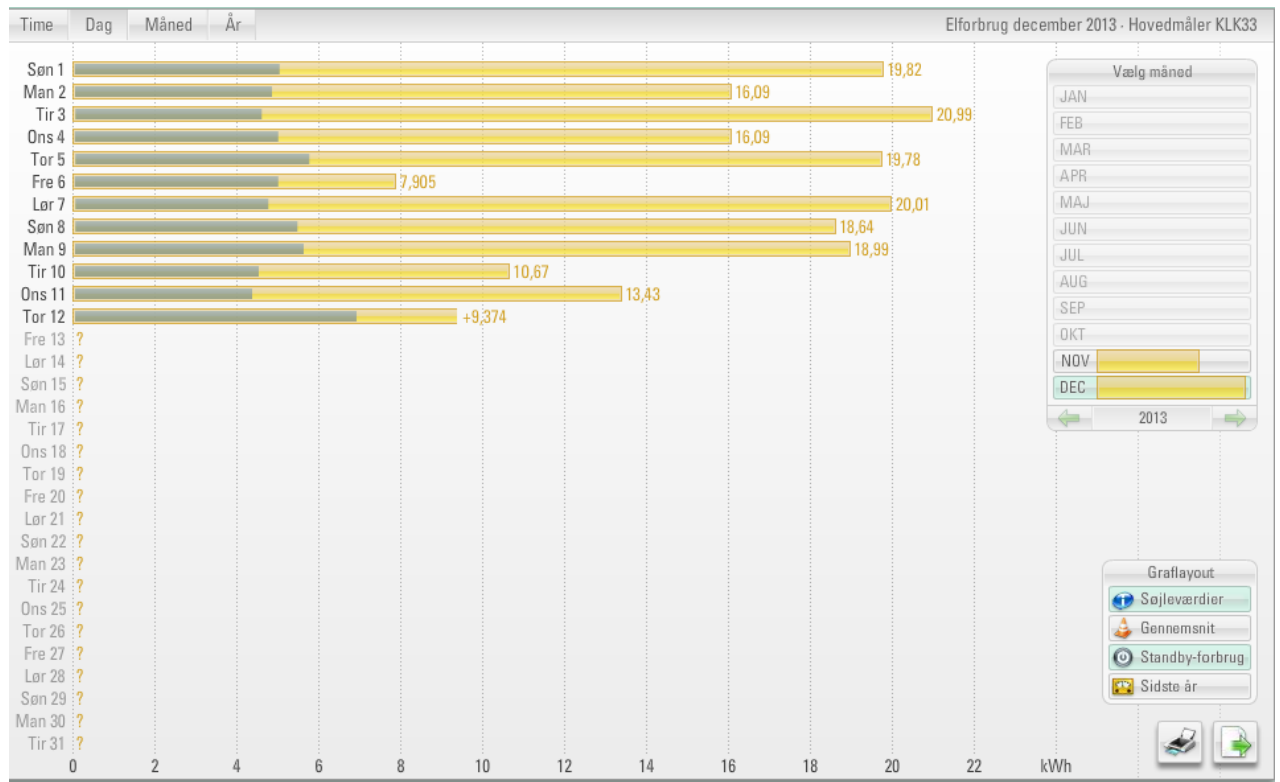
Saseco tilbyder en web løsning der kommunikerer med Develco Products enheder i hjemmet. Systemet aflæser dels hovedmålerens forbrug, dels forbruget på udvalgte enheder eller grupper. Der udover kan det styre om enheder skal være tændt eller slukket.

Det er ved hjælp af systemet muligt at opnå besparelser på flere måder:

- Stand-by forbrug: Visualiseringen viser husets stand-by forbrug. Herved gøres forbrugeren opmærksom på et abnormt forbrug og kan starte jagten på synderne. Der er desuden en alarmfunktion, der sender en sms hvis stand-by forbruget vokser (f.eks. hvis der køber en Playstation eller hvis der går et leje i ventilationen)
- Overordnet forbrug. Ved at oplyse om husstanden og huset, sammenlignes husstandens forbrug med lignende forbrugere. Man tildeles herefter en energimærkning fra A til H. Man gøres tilsvarende opmærksom på om ens forbrug er stigende eller fladende. Sidst får man klar besked om hvad det koster at bruge energien. Dette taler til folks samvittighed (og pengepung) og viser sig oftest at ændre folks vaner – samt får udskiftet delvist defekte apparater.
- Individuel måling af apparater: eButler understøtter bi-målere, fke.s indbygget i DP SmartPlugs. Herved kan de enkelte apparaters forbrug analyseres over tid. Installationen kan være permanent eller flyttes fra apparat til apparat. Hermed kan syndere udskiftes, slukkes eller afskaffes.
- Styring: eButler kan i dag styre apparater tilsluttet Develco Products SmartPlugs (Samt DIN relæer). Herved kan der slukkes for unødigt forbrug f.eks. når man ikke er hjemme. Enhederne kan desuden

Fremtid:

Det er muligt at udbygge systemet med styring af andre apparater direkte. Det te bliver muligt i takt med at produkterne følger standarder og kan styres via en gateway.



Brugeradfærd

Hvad skal der til for at få forbrugeren til at benytte de mange muligheder for energibesparelser og udnyttelse af Smart Grid?

Der er i hovedsagen tre motiverende faktorer:

- Økonomi: Kan forbrugeren spare noget. Svaret er i dag – lidt! I fremtiden er det dog vores klare tro at der vil blive meget mere at spare, begrundet i:
- Vi vil få fleksible elpriser, dvs. beskatningen vil blive en procent del af prisen, muligvis kombineret med mængden af forurening, i stedet for et fast beløb pr. kWh. Transmissions og Distributions afgifterne vil tillige være variable.
- El prisen vil generelt stige
- Miljø: Mange familier tager miljøet meget alvorligt. Disse motiveres primært ved at deres ændrede opførsel resulterer i mindre forurening. Både energibesparelser og fleksibilitet mindsker belastningen af miljøet.
- Status: Det skal ikke undervurderes hvad folk vil gøre for at opnå en højere status. Folk vil gerne signalere at de gør noget godt for samfundet, miljøet mm. Kan du fremvise en status som "A" energimærket, vil det straks blive vist frem på Facebook og lign.

Besparelse og fleksibilitet kan opnås på to grundlæggende måder:

- Adfærdsændring: Sluk lyset, når du går, Vask om natten....
- Automatisering: Relæer der automatisk slukker lyset, regulerer varmepumpen mm.

Adfærdsændring – væsentligste faktorer: Det er kun muligt at ændre folks adfærd begrænset. Der skal være værktøjer der hjælper dig in i nye rutiner. En sms hver gang du glemmer at slukke noget vil f.eks. ændre din adfærd over tid. Det er dog vigtigt at det aldrig bliver et irritationsmoment, for så bliver ændringen aldrig til en vane.

Automatisering – væsentlige faktorer: De tre hoved faktorer i succesfuld indførelse af automatisering er: 1. investering (skal som minimum kunne tjenes hjem ved besparelsen), 2. brugervenlighed (skal være nem at konfigurere) og 3. gener (Der må ikke være betydelige gener ved anvendelsen)

Fremtid:

Som udviklingen og kravene går, tror vi at der i fremtiden vil blive stor efterspørgsel efter automatiske styringer. Med stigende energipriser og en el-produktion der går mod 50% fra vind energi, vil det simpelthen være et krav at det findes i ethvert hjem.

Troen på at markedet bliver enormt, har medført at vi i dag designer produkter der er beregnet på produktion i meget stor scala. Der er derfor lagt mange udviklingstimer i at udvikle en platform der på samme tid er fleksibel og redt favnende men samtidig kan produceres til en meget lav pris.

Samlet prøver vi at få flyttet regnestykket fra nutidens:

- Dyr investering tilbagebetalt af lav besparelse

Til:

- Lav investering hurtigt tilbagebetalt af store besparelser – og derefter penge i lommen.

Alt sammen på samme tid som vi gør noget for miljøet og samfundet som helhed.