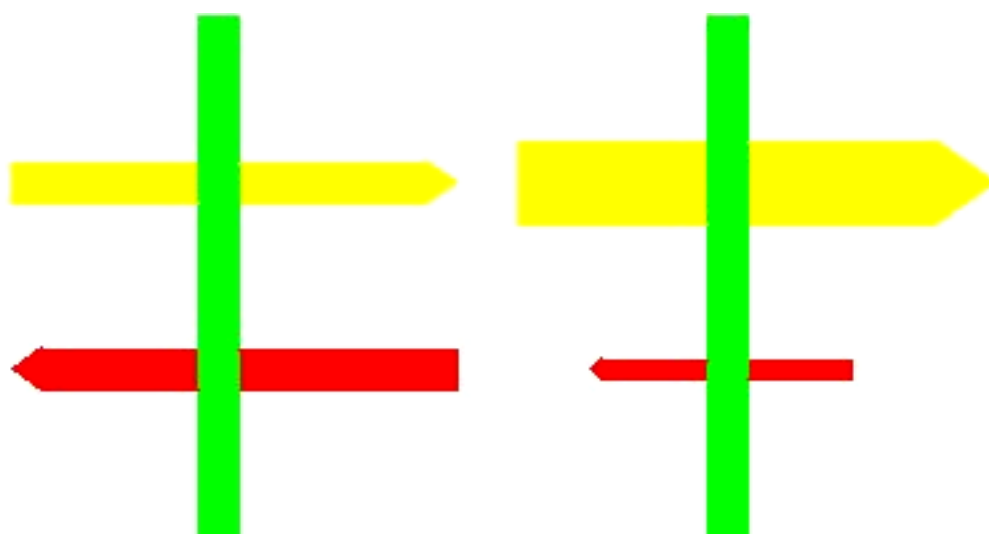


RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

Kompendium 10:

RUDER MED STØRRE ENERGITILSKUD



Indholdsfortegnelse

FORORD TIL KOMPENDIERNE GENERELT	4
FORORD TIL KOMPENDIUM 10.....	6
1 MULIGHEDER FOR AT ØGE DEN TOTALE SOLENERGITRANSMITTANS FOR RUDEN	8
1.1 JERNFATTIGT/JERNFRIT GLAS	8
1.2 ANTIREFLEKSBEHANDLET GLAS	9
2 MULIGHEDER FOR AT MINDSKE VARMETABSKOEFFICIENTEN FOR RUDEN.....	10
2.1 LAVEMISSIONSBELÆGNINGER	10
2.2 GASFYLDNING.....	10
2.3 TRE-LAGS-RUDER.....	11
2.4 NATISOLERINGSSYSTEMER	11
3 METODER TIL BEREGNING AF RUDERS ENERGITILSKUD.....	12
3.1 DIAGRAMMETODEN	12
3.2 TSBI3	13
4 BEREGNINGSRESULTATER	14
4.1 RUDETYPER.....	14
4.2 RESULTATER AF DIAGRAMMETODEN	16
4.2 RESULTATER AF DIAGRAMMETODEN	16
4.3 RESULTATER BEREGNET MED TSBI3	18
I TSBI3 SKAL VINDUETS TOTALE U-VÆRDI SOM FØR OMTALT BENYTTES. DENNE UDREGNES VED HJÆLP AF UDTRYKKET I AFSNIT 3.	18
5 KONKLUSION PÅ RESULTATER.....	19
5.1 SAMMENLIGNING AF METODER.....	19
5.2 SAMMENLIGNING AF FORBEDRINGER	19
6 MULIGHEDER FOR REALISERING	21
6.1 JERNFATTIGT/JERNFRIT GLAS	21
6.2 TRE-LAGS-RUDE.....	21
6.3 NATISOLERINGSSYSTEMER	22
7 LITTERATUR	23
8 ADRESSELISTE.....	24
APPENDIKS A.....	26
OPBYGNING AF PARCELHUS I TSBI3	26
APPENDIKS B	28
OPBYGNING AF KONTOR I TSBI3.....	28
APPENDIKS C.....	30
U-VÆRDI OG G-VÆRDI.....	30
DIAGRAMMETODEN	30
BILAG 1 ÆNDRINGER	31

Forord til kompendierne generelt

En af målsætningerne i regeringens energihandlingsplan Energi 21 [1] er at reducere energiforbruget i boliger ved gennemførelse af energibesparende foranstaltninger. Her spiller udvikling og anvendelse af energimæssigt bedre ruder og vinduer en vigtig rolle, idet en stor del af varmetabet fra boliger traditionelt set sker gennem vinduerne.

Ifølge Klima 2012 [2] skal der ske en intensivering af den produktrettede besparelsesindsats for vinduer mm.

Kompendiet indgår i en række kompendier, der skal være medvirkende til gennemførelsen af den produktrettede besparelsesindsats ved at informere om:

- Grundlæggende energimæssige egenskaber for ruder og vinduer
- Energimærkning af ruder og vinduer
- Muligheder for udvikling af energimæssigt bedre ruder og vinduer
- Projektering og anvendelse af energimæssigt bedre ruder og vinduer

Kompendierne behandler muligheder for at bestemme og forbedre ruder og vinduers termiske og optiske egenskaber. Ligeledes behandles ruder og vinduers indflydelse på bygningers totale energiforbrug og indeklima. En hovedmålsætning er at udvikle vinduer, som giver et positivt energitilskud i opvarmningsdominerede boliger.

Serien af kompendier omfatter foreløbig 5 færdige og 8 foreløbige kompendier, der er omtalt i det følgende.

Kompendium 1: "Grundlæggende energimæssige egenskaber"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælaster, leverandører.

Kompendiet omtaler ruder og vinduer m.h.t.:

- Materialer og opbygning
- Energimæssige egenskaber
- Energitilskud til bygningen

Kompendium 2: "Forenklede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata" og kompendium 3: "Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata"

Målgruppen er hovedsageligt producenter af ruder og vinduer.

Kompendierne giver producenterne vejledning i, hvordan de på en enkel eller en mere detaljeret måde kan bestemme energimærkningsdata og eventuelt energiklassifikation for deres produkter.

Kompendium 4: "Udvikling af energirigtige ruder og vinduer"

Målgruppen er hovedsageligt producenter af ruder og vinduer.

Kompendiet indeholder en række analyser af forbedringsmuligheder, som vil kunne virke som inspiration og hjælp til producenter, der ønsker at udvikle ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

Kompendium 5: "Energirigtigt valg af ruder og vinduer"

Målgruppen er rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer og tekniske forvaltninger.

Kompendiet behandler enkle og detaljerede programmer samt diagrammer til bestemmelse af opvarmningsbehov og indeklimaforhold i bygninger som funktion af de energimæssige egenskaber for ruder og vinduer.

Følgende kompendier findes kun i foreløbig version:

Kompendium 6: "Data for energimærkede ruder og vinduer"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælaster, leverandører.

Kompendiet giver en oversigt over energimærkede ruder og vinduer på det danske marked. Der gives oplysninger om ruder- og vinduesproducenter og energimærkningsdata for de enkelte produkter.

Kompendium 7: "Ruder og vinduers energitilskud"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, rådgivere indenfor byggeriet, professionelle bygherrer, entreprenører, glarmestre, trælastere, leverandører. I kompendiet foretages en følsomhedsanalyse af metoden til at klassificere ruder på basis af energitilskuddet til et referencehus.

Der gives en vejledning i brugen af et program, som kan beregne energitilskuddet for ruder og vinduer i konkrete situationer.

Kompendium 8: Solafskærmning

Under udarbejdelse

Kompendium 9: "Oversigt over muligheder for udvikling af bedre ruder og vinduer"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, samt arkitekter og rådgivere indenfor byggeriet.

I dette kompendium gøres status over typiske vinduer på markedet med vægt på de energimæssige egenskaber. Forskellige muligheder for at udvikle ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber gennemgås. Denne gennemgang er en sammenfatning af de efterfølgende kompendier 10 – 14, hvor mulighederne for udvikling af ruder og vinduer gennemgås i detaljer.

Kompendium 10: "Ruder med større energitilskud"

Målgruppen er rude- og vinduesproducenter.

I dette kompendium undersøges ruders energitilskud beregnet på to forskellige måder. Ved en simpel diagrammetode og gennem et detaljeret beregningsprogram. Der gives eksempler på mulighederne for at forbedre ruderne, enten ved at nedsætte rudens U-værdi eller ved at øge rudens g-værdi.

Kompendium 11: "Kantkonstruktioner med reduceret kuldebro"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer.

Kompendiet giver en oversigt over forskellige kantkonstruktioner og deres egenskaber mht. varmetab og kondens i forskellige vinduestyper. Der gives ligeledes oplysninger om bedre afstandsprofiler.

Kompendium 12: "Vinduer med isolerede ramme-karmprofiler"

Målgruppen er hovedsageligt vinduesproducenter.

I kompendiet vises det, hvordan der kan opnås markante energimæssige forbedringer af ramme-karmprofiler ved at isolere dem, anvende andre materialer eller foretage ændringer i konstruktionen.

Kompendium 13: "Vinduer med smalle ramme-karmprofiler"

Målgruppen er rude- og vinduesproducenter.

I kompendiet undersøges effekten af, at gøre ramme-karmprofilet smallere. Ligeledes beregnes effekten af indsættelse af ramme-karmprofil i forskudt fals.

Kompendium 14: "Vinduer med mindre linjetab i samlingen mellem vindue og mur"

Målgruppen er producenter af ruder og vinduer, arkitekter og rådgivere indenfor byggeriet.

Kompendiet indeholder en gennemgang af forskellige vindueskonstruktioner samt forskellige murløsninger. Disse forskellige konstruktioner kombineres og fordele og ulemper mht. størrelsen af samlingslinjetabet belyses. Der angives metoder til beregning af mur- og vindueskonstruktionens samlede ekstra linjetab, og linjetabet i samlingen mellem vindue og mur.

Kompendiernes udgivelse

Kompendierne findes i elektronisk version i formatet PDF, der kan læses med Acrobat Reader. De elektroniske versioner af kompendierne samt programmet Acrobat Reader findes på internetadressen <http://www.ibe.dtu.dk/vinduer>.

Kompendierne er udført med bevilling fra energistyrelsen i henhold til lov om stats-tilskud til produktrettede energibesparelser.

Forord til kompendium 10

Energiltillskuddet gennem en rude i en bygning er defineret som den tilførte solenergi minus varmetabet ud gennem ruden i fyringssæsonen. Tilføres der mere solenergi gennem ruden end der fjernes ved varmetab, bliver energiltillskuddet positivt, hvilket betyder en opvarmning af bygningen.

Da en stor del af en bygnings varmetab sker gennem ruderne, er det vigtigt, for opvarmningsdominerede bygninger, at rudernes energimæssige egenskaber forbedres, så opvarmningsbehovet kan reduceres. Dette kan gøres ved at nedsætte rudens U-værdi, for herigennem at mindske varmetabet ud gennem ruden. En anden mulighed kan være, at øge den totale solenergitransmittans (g-værdien) for herved at opnå en bedre udnyttelse af solenergien.

Det er i kompendiet valgt at se på to forskellige bygningstyper, et én-families parcelhus og et kontorhus, da forudsætningerne i disse er forskellige for valg af ruder. I et parcelhus er der ofte mulighed for at udnytte en stor del af solindfaldet i fyringssæsonen. Det ønskes derfor, at ruden har et højt energiltillskud.

I kontorbygninger er der ofte så stor intern varmelast, at ruder med et højt energiltillskud kan give anledning til overtemperaturer og valget af ruder skal derfor foretages med andre forudsætninger.

I dette kompendium undersøges ruders energiltillskud beregnet på to forskellige måder. Ved en diagrammetode og ved hjælp af et detaljeret beregningsprogram.

Derudover omhandler kompendiet produkt- og producentrelevante spørgsmål såsom leveringsmuligheder, priser, montageforhold, levetid o.lign.

Målgruppen for kompendium 10 er primært rude- og vinduesproducenter samt rådgivere indenfor byggeriet.

Kompendiet er udført med bevilling fra energistyrelsen i henhold til lov om statstilskud til produktrettede energibesparelser i projekt: GENEREL UNDERSTØTTELSE AF VIRKSOMHEDERS PRODUKTUDVIKLING, fase 1. Jnr. 75661/00-0008

Følgende har medvirket til udarbejdelsen af kompendiet:

Stine Ørbæk Møgelberg, Peter Noyé, Svend Svendsen og Jacob Birck Laustsen.

Konstruktiv kritik og forslag til forbedringer modtages gerne og kan sendes til:

Professor Svend Svendsen
Danmarks Tekniske Universitet
Institut for Bygninger og Energi
Bygning 118, Brovej
DK-2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45251854
Fax. 45934430
E-mail: ss@byg.dtu.dk

Kompendiets indhold er senest revideret 26. marts 2001. En liste over hvilke ændringer der er foretaget i kompendiet siden første version findes i Bilag 1 Ændringer.

Denne version af kompendiet med nr. U-009 erstatter den tidligere version med nr. U-053.

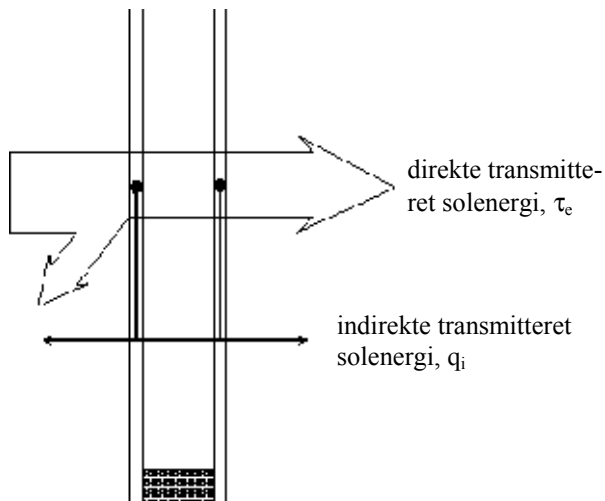
Copyright

Copyright © BYG•DTU, Danmarks Tekniske Universitet, august 2000

Materialet må i sin helhed frit kopieres og distribueres uden vederlag.

Eftertryk i uddrag er tilladt, men kun med kildeangivelsen:

Ruder og vinduers energimæssige egenskaber. Kompendium 10: Ruder med større energiltillskud. Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, august 2000



Figur 1. Den totale solenergitransmittans gennem en rude.

1 Muligheder for at øge den totale solenergitransmittans for ruden

Den totale solenergitransmittans angiver rudens evne til at transmittere solstråling både direkte som solstråling og indirekte som varme.

Der er forskellige måder hvorpå det er muligt at øge den totale solenergitransmittans for herved at udnytte solenergien bedre.

1.1 Jernfattigt/jernfrit glas

Almindeligt floatglas indeholder jernoxid i små mængder. Indholdet af jernoxid er medvirkende til at en del af solenergien absorberes i glasset. Et almindeligt floatglas absorberer således ca. 8 % af solenergien, mens jernfattigt/jernfrit glas kun absorberer ca. 2 %.

Det betyder, at transmissionen af solenergien øges ved anvendelse af jernfattigt/jernfrit glas og derved opnås en forbedring af rudens g-værdi. Rudens U-værdi ændres ikke i forhold til en rude med almindeligt floatglas.

Nærmere oplysninger om jernfattigt/jernfrit glas kan fås hos følgende firmaer, hvis adresser findes i adresselisten bagerst i kompendiet.

Pilkington Danmark A/S
www.pilkington.com

Glasset har betegnelsen ”Optiwhite”

Scanglas A/S
www.scanglas.dk

Glasset har betegnelsen ”_{SGG}DIAMANT”.

AFG Industries, Inc. - Corporate Office
www.afg.com

Glasset har betegnelsen ”KRYSTAL KLEAR”.

1.2 Antirefleksbehandlet glas

Antirefleksbehandlet glas laves ved at ætse glassets overflade med en speciel syrebehandling. Glasset fremstår dog stadig som klart glas efter behandlingen.

Et lag almindeligt floatglas reflekterer ca. 8 % af solstrålingen, svarende til ca. 4 % I hver overflade. Ved at antirefleksbehandle glasset kan reflektansen reduceres til under det halve. Dette betyder, at soltransmittansen øges og derved også g-værdien. Effekten ved antirefleksbehandlet glas svarer nogenlunde til det, der kan opnås ved at bruge jernfattigt/jernfrit glas.

Antirefleksbehandling af glas udføres i Danmark af **Sunarc Technology A/S**, hvis adresse findes i adresselisten bagerst i kompendiet.

2 Muligheder for at mindske varmetabskoefficienten for ruden

Der er forskellige måder hvorpå det er muligt at mindske varmetabskoefficienten for herved at nedsætte varmetabet gennem ruden

2.1 Lavemissionsbelægninger

Ved at belægge glasset med en lavemissionsbelægning kan varmetransporten ved varmestråling, som udgør $\frac{2}{3}$ af den samlede varmetransport, nedsættes.

Der skelnes mellem hårde og bløde lavemissionsbelægninger.

De hårde belægninger har en emissivitet på mellem 0,12 og 0,20.

De bløde belægninger har en emissivitet på mellem 0,03 og 0,10.

Fordelen ved de bløde belægninger er, at varmetransporten nedsættes mere end ved en hård belægning.

De bløde belægninger kan dog kun anvendes i forseglede ruder, med belægningen ind mod hulrummet, da belægningen ikke er stabil, ikke tåler berøring. Det vil sige, at der i forbindelse med forsatsruder, kun kan anvendes hårde belægninger, af hensyn til rengøring mm.

2.2 Gasfyldning

I dag benyttes mest argon som gasfyldning i energiruder. Der findes også andre gasser, som eksempelvis krypton, der kan nedbringe U-værdien yderligere.

Da det i praksis ikke er muligt at bevare en 100 % ren gas mellem glaslagene, er der i beregningerne taget hensyn til dette ved at antage et blandingsforhold mellem gas og luft på 90/10.

Af andre gasser kan nævnes xenon, men den er så dyr, at den i praksis ikke vil være rentabel at benytte som gasfyldning.

Det er kun muligt, at anvende gas i ruder, der er forseglede.

2.3 Tre-lags-ruder

Jo flere lag glas en rude indeholder, jo mindre bliver U-værdien, hvilket medfører, at varmetabet ud gennem ruden mindskes. Dog afhænger U-værdien også af andre parametre, hvoraf lavemissionsbelægningen har stor betydning, samt om der anvendes luft eller gas i hulrummet og i sidstnævnte tilfælde, hvilken gasfyldning, der anvendes.

Som eksempel på valg af belægning og luft eller gasfyldning, kan der i det ventilerede hulrum i ruden imellem enkeltglasset og 2-lags ruden, som ses på Figur 2, kun benyttes hårde lavemissionsbelægninger og luft.

Figur 2 og Figur 3 viser forskellige opbygninger af en tre-lags-rude

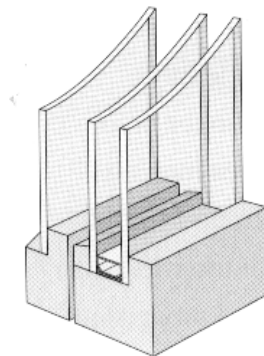
2.4 Natisoleringsystemer

Da varmetabet ud gennem ruden udgør en stor del af en bygnings samlede varmetab, kan der spares energi, ved at anbringe en ekstra isolering i forbindelse med ruderne i de perioder, hvor der ingen solvarme kommer ind.

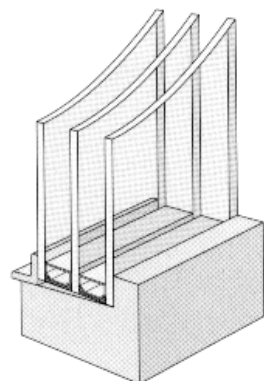
Ved at installere en indbygget regulerbar persienne i ruden, kan varmetabet gennem ruden mindskes ved at lukke persiennen på tidspunkter, hvor der ikke er nogen sol, der kan udnyttes. Idet persiennen lukkes indsættes en form for ekstra lag i ruden, som kan være med til at mindske U-værdien. Det er dog vigtigt, at persiennen er udført i et materiale med lav emissivitet på den side, der vender mod glas uden belægning. Samtidig er det vigtigt, at persiennen kan lukke tæt, så luftgennemstrømning gennem den stoppes i lukket tilstand.

Figur 4 viser en rude med indvendig persienne.

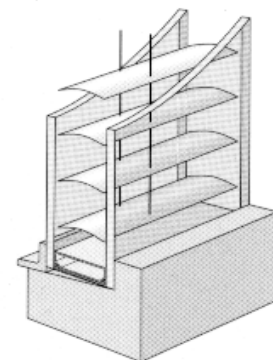
En anden metode er at opsætte udvendige skodder på bygningen. Herved vil det være muligt at reducere varmetabet om natten, når skodderne er lukkede, idet rudens samlede U-værdi mindskes.



Figur 2. Opbygningen af en tre-lagsrude med 1 enkelt glas + en 2-lags termorude



Figur 3. Opbygningen af en 3-lags termorude.



Figur 4. Opbygning af en 2-lags termorude med indbygget persienne.

Figureerne er taget fra firmaet Pilkingtons produktkatalog "Glasfakta 2000".

3 Metoder til beregning af ruders energitilskud

Energitilskuddet for en rude eller et vindue defineres som tidligere nævnt, som den tilførte solenergi minus varmetabet gennem ruden i fyringssæsonen.

Ruders energitilskud beskrives som før omtalt ud fra både varmetransmissionskoefficienten (U-værdien) og den totale solenergitransmittans (g-værdien), hvilket vanskeliggør hvilken rude, der umiddelbart er energimæssigt optimal i en given situation.

I dette kompendium er benyttet to forskellige metoder til at beregne ruders energitilskud til en bygning. Diagrammetoden og programmet tsbi3. For yderligere beskrivelse af metoderne henvises til Kompendium 1.

3.1 Diagrammetoden

En måde hvorpå det er muligt at sammenligne forskellige ruder er ved at bruge diagrammer, der ud fra rudens orientering, hældning, U-værdi og g-værdi angiver energitilskuddet.

Ud af akserne i diagrammerne er afsat U-værdien og g-værdien og i selve diagramområdet er kurver, der viser energitilskuddet, indtegnet. Energitilskuddet er bestemt for fyringssæsonen og er uden hensynstagen til skygger og udnyttelsesfaktoren af den tilførte solenergi.

En korrektion for skygger kan foretages ved at gange g-værdien med en skyggekorrektionsfaktor, F_s . Den korrigerede g-værdi findes som:

$$g_{\text{korrigeret}} = g \cdot F_s$$

Hvor g er den totale solenergitransmittans for vinkelret solindfald og F_s kan vurderes vha. SBI-anvisning 184.

Energitilskuddet kan herefter findes ved at benytte den korrigerede g-værdi ved aflæsning i diagrammerne.

For også at tage hensyn til udnyttelsesgraden af den transmitterede solstråling kan denne medregnes ved også at gange med udnyttelsesfaktoren η . Den korrigerede g-værdi under hensyn til skygger og udnyttelsesfaktor kan bestemmes som:

$$g_{\text{korrigeret}} = g \cdot F_s \cdot \eta$$

Udnyttelsesfaktoren beskriver hvor stor en del af det interne varmetilskud samt solindfald, der kan erstatte opvarmning. Den bestemmes ud fra bygningens varmekapacitet, varmetab, intern varmetilskud og solindfald.

Udnyttelsesfaktoren har forskellig betydning afhængig af hvilken type bygning, de valgte ruder skal indsættes i.

Udnyttelsesfaktoren kan vurderes vha. SBI-anvisning 184.

Energitilskuddet, der aflæses i diagrammerne, kan også beregnes ved hjælp af de formuler diagrammet er baseret på.

For lodrette ruder fås følgende energitilskud E i fyringssæsonen fordelt på de forskellige orienteringer:

$$\text{Nord:} \quad E = 105 \cdot g - 90 \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2]$$

$$\text{Syd:} \quad E = 431 \cdot g - 90 \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2]$$

$$\text{Øst/Vest:} \quad E = 232 \cdot g - 90 \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2]$$

3.2 tsbi3

Ud fra en detaljeret model af bygningen kan opvarmningsbehovet vurderes for forskellige ruder. Appendiks A viser opbygningen af et én-families hus, fra DS418, tillæg 4 og Appendiks B viser opbygningen af en administrationsbygning, fra SBI-anvisning 184. Rudens betydning for opvarmningsbehovet er undersøgt ved at indsætte de forskellige rudetyper fra afsnit 4.1 i tsbi3-modellen uden at ændre på ramme-karmtypen eller arealet af ruden.

I tsbi3 benyttes vinduets samlede U-værdi. Til beregning af denne er benyttet følgende udtryk fra DS418, tillæg 1:

$$U = \frac{A_g U_g + l_g \Psi_g + A_f U_f + A_r U_r}{A'}$$

hvor

- A_g er glasarealet i m^2
 U_g er transmissionskoefficienten midt på ruden i W/m^2K
 l_g er omkredsen af glasarealet i m
 Ψ_g er den lineære transmissionskoefficient for rudens afstandsprofil i W/mK .¹
 A_f er fyldningens areal i m^2
 U_f er transmissionskoefficienten for fyldningen i W/m^2K
 A_r er ramme-karmarealet i m^2
 U_r er transmissionskoefficienten for ramme-karmarealet i W/m^2K
 A' er hele vinduets eller dørens areal

tsbi3-modellen kræver meget detaljeret data om både konstruktionerne i bygningen, personer og systemer.

¹ I henhold til tillæg 1 til DS418 er $\Psi_g = 0,06$ for ruder med lavemissionsbelægning og $0,04$ for ruder uden, gældende for ramme-karm af træ.

4 Beregningsresultater

Der er foretaget beregninger for ruder med de forskellige forbedringsforslag beskrevet nedenfor.

4.1 Rudetyper

Rude nr. 0

Som referencerude benyttes en standard energirude bestående af:
4 mm alm. floatglas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med en blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,10$.

Rude nr. 1

Som eksempel på en rude med jernfrit glas er benyttet en rude bestående af:
4 mm jernfrit glas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med en lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,10$.

Rude nr. 2

Som eksempel på en rude med antirefleksbehandlet glas er benyttet en rude bestående af:
4 mm antirefleksbehandlet jernfattigt glas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med en lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,10$.

Rude nr. 3

Som eksempel på en rude med lav emissivitet, er benyttet en rude bestående af:
4 mm alm. float glas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med en blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$.

Rude nr. 4

Som eksempel på en kombination af forskellige forbedringer, er benyttet en rude med øget g-værdi og lav emissivitet bestående af:
4 mm jernfrit glas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med en blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$.

Rude nr. 5

Som eksempel på en rude med anden gasfyldning er benyttet en rude bestående af:
4 mm jernfrit glas, 10 mm² 90/10 krypton/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$.

Rude nr. 6

Som et eksempel på en rude med natisolering er benyttet en rude bestående af:
4 mm alm. floatglas, 27 mm luftfyldt hulrum hvori persiennen er placeret, 4 mm alm. floatglas med en lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,16$.

Som eksempel på tre-lags-ruder er benyttet tre forskellige opbygninger:

Rude nr. 7

1 enkelt glas + 2-lags termorude.
4 mm alm. floatglas med $\epsilon = 0,16$ (hård belægning), 30 mm luftfyldning, 4 mm alm. float glas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med $\epsilon = 0,04$ (blød belægning).

Rude nr. 8

3-lags termorude med 1 belægning:
4 mm alm. floatglas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas

Rude nr. 9

3-lags termorude med 2 belægninger:
4 mm alm. floatglas med blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas, 15 mm 90/10 argon/luft-blanding, 4 mm alm. floatglas med blød lavemissionsbelægning med $\epsilon = 0,04$.

² Mellemmrummets størrelse er bestemt ud fra kompendium 4, afsnit 3.1.2 om optimal glasafstand og er derfor ikke det samme som for argonfyldning.

U- og g-værdien for de ruder, der vil blive undersøgt er angivet i Tabel 1.

U- og g-værdierne i dette kompendium er beregnet ved hjælp af programmet Glas98 fra firmaet Pilkington.

I praksis er Glas98 ikke godkendt til beregning af U- og g-værdier, da det ikke opfylder EN410. I dette kompendium har det dog ikke den store betydning, da der ikke skal dokumenteres produktdata, men blot vises generelle data til sammenligning.

Appendiks C viser beregningerne for værdierne til Rude nr. 6.

I afsnit 0 undersøges rudernes energitilskud til henholdsvis et parcelhus og en kontorbygning ved brug af diagrammetoden.

I afsnit 4.3 undersøges rudernes betydning i forbindelse med opvarmningsbehovet i parcelhuset og kontorbygningen ved brug af beregningsprogrammet tsbi3.

Tabel 1. U- og g-værdi for 10 forskellige rudetyper.

	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi [-]
Rude 0. reference	1,32	0,66
Rude 1. jernfrit	1,32	0,72
Rude 2. antirefleksbehandlet	1,32	0,75
Rude 3. lav emissivitet	1,13	0,59
Rude 4. lav emissivitet + jernfrit glas	1,13	0,64
Rude 5. anden gasfyldning	1,08	0,64
Rude 6. natisolering	Åben	1,75
	Lukket	1,01
Rude 7. enkelt glas + termorude	0,72	0,47
Rude 8. 3-lags rude, 1 belægning	0,90	0,52
Rude 9. 3-lags rude, 2 belægnings	0,61	0,40

Tabel 2. Energitilskud for de forskellige ruder uden hensynstagen til skygger og udnyttelsesgrad. Værdierne er beregnet ved hjælp af udtrykket side 9.

Rude nr.	Energitilskud [kWh/m ²]		
	Nord	Syd	Øst/Vest
0	-50	166	34
1	-43	192	48
2	-40	205	55
3	-40	153	35
4	-35	174	47
5	-30	179	51
6	-50	182	41
7	-16	138	44
8	-26	143	40
9	-13	118	38

Tabel 3. Energitilskud vægtet efter ruderne fordeling efter orientering uden hensynstagen til skygger og udnyttelsesgrad. Gældende for parcelhuset

Rude nr.	Vægtet energitilskud [kWh/m ²]
0	70
1	87
2	96
3	67
4	81
5	86
6	79
7	70
8	68
9	59

Tabel 4. Energitilskud vægtet efter ruderne fordeling efter orientering uden hensynstagen til skygger og udnyttelsesgrad. Gældende for kontorhuset

Rude nr.	Vægtet energitilskud [kWh/m ²]
0	56
1	71
2	79
3	54
4	67
5	72
6	63
7	59
8	56
9	51

4.2 Resultater af diagrammetoden

Som det ses ud fra Tabel 2 er det ikke altid, den samme rude, der er bedst i de forskellige orienteringer. For nordvendte ruder har U-værdien størst betydning, mens det for sydvendte ruder er g-værdien.

For at kunne foretage en samlet vurdering af ruderne energitilskud til bygningen, er det derfor nødvendigt, at tage hensyn til fordelingen af ruderne på bygningens forskellige orienteringer.

Det samlede energitilskud fra samtlige af husets ruder beregnes ved at vægte energitilskuddet fra de tre orienteringer, N, S og Ø/V:

$$E = E_{\text{nord}} + E_{\text{syd}} + E_{\text{øst/vest}}$$

Rudfordelingen er som følgende:

Parcelhus:

Øst/Vest: 9,37 % + 24,50 % = 32 %

Nord: 25 %

Syd: 43 %

Kontorhus:

Øst/Vest: 8,34 % + 9,96 % = 18 %

Nord: 40 %

Syd: 42 %

Appendiks C viser hvorledes værdierne for Rude nr. 6 er fremkommet.

Tabel 3 og Tabel 4 viser de vægtede energitilskud for de forskellige rudetyper uden hensynstagen til skygger og udnyttelsesgrad.

Tages der derimod også hensyn til både skygger og udnyttelsefaktor, som nævnt i afsnit 3.1, ses det af Tabel 6 og Tabel 7, at energitilskuddet bliver væsentligt mindre. Enkelte steder i kontorbygningen skifter det fra et positivt energitilskud, når der ikke tages hensyn til skygger og udnyttelsefaktor til et negativt energitilskud, hvis skygger og udnyttelsefaktor medtages. Der regnes med en skyggefaktor $F_s = 0,8$ for øst-, vest- og sydvendte vinduer, hvilket i SBI184 svarer til 10° højdevinkel. For nordvendte vinduer bliver skyggefaktoren $F_s = 0,9$ ud fra samme forudsætning som ovennævnte.

Udnyttelsefaktoren for henholdsvis parcelhuset og kontorbygningen er angivet i Tabel 5.

I parcelhuset er det antaget, at udnyttelsefaktoren og effektiviteten af opvarmnings-systemet er ens.

For kontorhuset er udnyttelsefaktoren beregnet ud fra SBI184.

Tabel 6 og Tabel 7 viser energitilskuddet under hensynstagen til skygger og udnyttelsefaktor, samt ændringen i forhold til referenceruden. Det totale energitilskud er beregnet ud fra rudernes samlede areal.

Appendiks C viser hvorledes værdierne for Rude nr. 6 er fremkommet.

Tabel 5. Udnyttelsefaktoren af den tilførte solenergi.

	Parcelhus	Kontorbygning
Udnyttelsefaktor	90 %	87 %

Tabel 6. Vægtet energitilskud under hensynstagen til skygger og udnyttelsefaktor. Parcelhus

Rude nr.	Vægtet energitilskud [kWh/m ²]	Energitilskud Total [kWh]	Forskel i forhold til referencerude [kWh]
0	19	225	-
1	31	376	151
2	37	452	227
3	21	256	31
4	32	382	157
5	36	433	208
6	24	286	61
7	33	400	175
8	27	330	105
9	28	343	118

Tabel 7. Vægtet energitilskud under hensynstagen til skygger og udnyttelsefaktor. Kontorbygning

Rude nr.	Vægtet energitilskud [kWh/m ²]	Energitilskud Total [kWh]	Forskel i forhold til referencerude [kWh]
0	5	1257	-
1	16	4117	2860
2	22	5547	4290
3	9	2268	1011
4	18	4651	3394
5	23	5727	4469
6	9	2268	1011
7	23	5929	4672
8	17	4194	2937
9	20	5109	3852

4.3 Resultater beregnet med tsbi3

I tsbi3 skal vinduets totale U-værdi som før omtalt benyttes. Denne udregnes ved hjælp af udtrykket i afsnit 3.

Da kontorbygningen har en høj intern varmelast, er det værd også at kigge på overtemperaturer, når der skal vælges rude, idet høje indetemperaturer kan medføre, at bygningen får et kølebehov. Dette betyder, at ideen med at spare energi i form af bedre ruder forsvinder, da der i stedet skal bruges energi til køling.

Opvarmningsbehovet og antallet af timer med overtemperaturer for parcelhuset ses i Tabel 8.

Opvarmningsbehovet og antallet af timer med overtemperaturer for kontorhuset ses i Tabel 9.

Det har ikke været muligt at beregne effekten ved brug af natisolering i tsbi3, da dette ville kræve, at det var muligt at regulere U-værdien og g-værdien for ruden, afhængig af tidspunktet på døgnet.

Tabel 8. Årligt opvarmningsbehov for parcelhus med de forskellige ruder indsat.

Rude nr.	Energi tilført ved solindfald [kWh]	Transmissionstab [kWh]	Energiforbrug til opvarmning [kWh]	Forskel i forhold til referencerude [kWh]	Antal timer over 26 °C [-]
0	1931	-7131	7585	-	11
1	2107	-7144	7475	110	10
2	2195	-7151	7423	162	10
3	1727	-6892	7506	79	2
4	1873	-6905	7407	178	6
5	1872	-6854	7359	226	6
6	-*	-*	-*	-*	-*
7	1375	-6410	7319	260	1
8	1522	-6622	7406	179	2
9	1170	-6267	7356	229	0

Tabel 9. Årligt opvarmningsbehov for kontorhus med de forskellige ruder indsat.

Rude nr.	Energi tilført ved solindfald [kWh]	Transmissionstab [kWh]	Energiforbrug til opvarmning [kWh]	Forskel i forhold til referencerude [kWh]	Antal timer over 26 °C [-]
0	32914	-52122	42722	-	169
1	35906	-52207	40640	2082	256
2	37403	-52627	40202	2520	287
3	29423	-48159	40952	1770	183
4	31917	-48804	40144	2578	216
5	31917	-48109	39575	3147	222
6	-*	-*	-*	-*	-*
7	23439	-41250	38568	4154	149
8	25932	-44189	39745	2977	160
9	19948	-39017	38806	3916	121

*Det har, som før omtalt, ikke været muligt, at beregne effekten ved brug af natisolering, rude nr. 6, i tsbi3.

5 Konklusion på resultater

5.1 Sammenligning af metoder

I Tabel 10 og Tabel 11 er sammenholdt energiforbruget til opvarmning fundet ved hjælp af tsbi3 og energitilskuddet fundet ved hjælp af diagrammetoden for henholdsvis parcelhuset og kontorbygningen.

Selvom værdierne udregnet ved hjælp af de to forskellige metoder, i Tabel 10 og Tabel 11, ikke stemmer lige godt overens, er tendensen den samme. Diagrammetoden kan derfor godt benyttes til at vurdere en rude i forhold til en anden.

Til vurdering af effekten af natisolering er kun benyttet den simple beregningsmetode, diagrammetoden, idet det i tsbi3 ikke er muligt, at regulere U-værdien og g-værdien som funktion af tidspunktet.

5.2 Sammenligning af forbedringer

Tabel 10 og Tabel 11 viser, at alle ruderne har et større energitilskud end referenceruden og at der kan opnås en væsentlig besparelse på opvarmningsbehovet ved udskiftning af ruderne.

Ses der på det sparede opvarmningsbehov udregnet ved hjælp af tsbi3, er rude 4 og 5 de ruder, hvor der spares mest energi til opvarmning, af de to-lags-ruder, der findes på markedet.

Rude 6's energitilskud viser, at en indvendig persienne har en, om end ikke så stor, betydning for energitilskuddet. Den forholdsvis lille energitilskudsforskel kan skyldes, at persiennen er meget tynd. Hvis natisoleringen skal give en forskel af betydning, er det nødvendigt med ydre skodder, der kan slås for. Dette skyldes, at det her er muligt at anvende materialer, der er bedre isolerende.

Tabel 10. Forskel i forhold til referenceruden for hver af beregningsmetoderne. Gældende for parcelhuset

	tsbi3	Diagrammetoden
Rude nr.	Sparet energiforbrug til opvarmning [kWh]	Udnyttet energitilskud [kWh]
0	-	-
1	110	151
2	162	227
3	79	31
4	178	157
5	226	208
6	-	61
7	260	175
8	179	105
9	229	118

Tabel 11. Forskel i forhold til referenceruden for hver af beregningsmetoderne. Gældende for kontorbygningen

	tsbi3	Diagrammetoden
Rude nr.	Sparet energiforbrug til opvarmning [kWh]	Udnyttet energitilskud [kWh]
0	-	-
1	2082	2860
2	2520	4290
3	1770	1011
4	2578	3394
5	3147	4469
6	-	1011
7	4154	4672
8	2977	2937
9	3916	3852

Tre-lags-ruderne er alle bedre end de eksisterende to-lags-ruder, men besparelsen i energiforbrug til opvarmning, skal sættes i forhold til de mulige vanskeligheder, der nævnes i det efterfølgende afsnit 6.

Der skal til sammenligning af ruderne, tages hensyn til en mulig realisering, med henblik på de problemer, som omtales i afsnit 6, der kunne tænkes at opstå. Dette vil blive behandlet senere i projektet, hvorefter en mere endegyldig konklusion vil være mulig.

6 Muligheder for realisering

6.1 Jernfattigt/jernfrit glas

På nuværende tidspunkt produceres langt størstedelen af ruder af almindeligt jernholdigt floatglas.

Et problem med realiseringen af anvendelse af jernfattigt glas kan være begrænsede leveringsforhold. Ofte er produktet kun tilgængeligt, når glasfabrikanten har overskud af det jernfattige glas, der normalt benyttes til lamineret glas. Det vil dog ofte være de økonomiske forhold, som er afgørende for om det kan betale sig, at producere og levere jernfattigt glas.

For at vurdere mulighederne for at realisere anvendelsen af jernfattigt glas i vinduer, er der gennemført en mindre spørgeundersøgelse hos nogle få større glasleverandører i Danmark om produktion og levering af jernfattigt glas.

Undersøgelsen viser, at flere af glasleverandørerne kan levere jernfattigt glas til ruder, og at nogle allerede gør det i mindre omfang. Hovedparten af ruder af klart jernfattigt glas anvendes på steder hvor der ønskes særlig god lystransmittans som i f.eks. udstillingsmontrer og i udstillingsvinduer i eksklusive tøjbutikker.

Prisen for jernfattigt glas er dog noget højere end for almindeligt glas. Dette skyldes at ved produktion af jernfattigt glas kræves en renere glassmelte med lavere jernindhold. Dette kan opnås ved at anvende sand med lavere jernindhold eller ved at rense sandet for jern. Begge dele medfører en meromkostning. Hertil kommer at fjernelse af jernindholdet vil betyde, at der skal tilføres mere energi ved smelteprocessen, da jernoxiden i alm. klar float hjælper med til at absorbere energien i smeltmassen. Desuden medvirker produktion af jernfrit glas større slitage af ovnen, hvilket også medfører meromkostninger.

Ifølge undersøgelsen er der ingen problemer i forbindelse med at anvende lavemissionsbelægninger på jernfattigt glas. Der er heller ikke nogen produktionsmæssige problemer forbundet med at lave termoru-

der af jernfattigt glas, udover ovenstående, som medfører højere priser. Samlet vurderes det, at prisen for termoruder med jernfattigt glas vil være ca. 45 % højere end for almindelige termoruder.

På trods af at det for selve ruden er en forholdsvis stor stigning, vil ekstraudgiften for et færdigt vindue med jernfattigt glas være begrænset, idet selve ruden kun udgør en mindre del af den samlede pris.

Økonomien for jernfattigt glas afhænger selvfølgelig også af udbud og efterspørgsel, og det må forventes, at priserne kan reduceres ved en større produktion.

Med indførelsen af energimærkningsordningen for ruder og vinduer må det forventes, at interessen for at producere ruder med større g-værdi øges hos glasproducenterne. I takt med at forbrugere, rådgivere og bygherrer i højere grad ønsker vinduer med jernfattigt glas, vil glasleverandørerne kunne opnå fordele ved at satse mere på jernfattigt glas. De vil ved en øget produktion formentlig kunne reducere priserne for jernfattigt glas.

Udover de økonomiske forhold bør det overvejes, hvor stor den samlede energibesparelse over rudens levetid er i forhold til det ekstra energiforbrug i forbindelse med produktionen af det jernfattige glas. Således skal meromkostningerne holdes op imod nettoenergibesparelsen over rudens samlede livscyklus.

6.2 Tre-lags-rude

Et problem med tre-lags-ruder er, at den med det ekstra lag glas, bliver tungere end en to-lags-rude. Dette kan skabe nogle problemer vedrørende, de større krav det vil stille til ramme-karm konstruktionens styrke og samtidig kan der opstå montageproblemer.

Da et af montageproblemerne er, at ruden bliver tungere, kunne det være en mulighed, at fremstille et vindue, hvor rammen nemt kunne tages ud, så rammen med ruden kunne monteres selvstændigt.

En anden mulighed kunne være at lave det midterste glas i ruden tyndere, for herved at nedsætte den samlede vægt.

6.3 Natisoleringsystemer

Et problem med eksempelvis de udvendige skodder er, at der i Danmark ikke er tradition for brug af skodder på samme måde, som man ser det i f.eks. Sydeuropa. Umiddelbart vil ideen med skodder, der skal åbnes og lukkes nok have svært ved at fange folks interesse, da det er tidskrævende.

I stedet for manuel betjening af skodderne kan der i stedet indføres et automatisk styresystem, hvor det er muligt at regulere alle skodder på en gang, eksempelvis for hver side af bygningen.

En anden mulighed kunne være et styresystem med følere, der automatisk åbner og lukker skodderne afhængig af dagslyset. Herved opnås en optimal udnyttelse af solenergien, da skodderne, når de er lukkede, vil medføre en lavere U-værdi. Metoden er selvfølgelig mest anvendelig i opvarmningsdominerede bygninger, men selve princippet kunne udvikles til også at gælde for andre typer bygninger, idet skodderne også kan have en solafskærmende effekt.

7 Litteratur

- [1] Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Miljø- og Energiministeriet 1996.
- [2] KLIMA 2012, Status og perspektiver for dansk klimapolitik, Miljø- og Energiministeriet, marts 2000.
- [3] Kompendium 1-5
- [4] DS418
- [5] Tillæg 1 og 4 til DS418
- [6] SBI184
- [7] Glasfakta 2000, Pilkington

8 Adresseliste

Adresse:	Kontaktpersoner:	
Institut for Bygninger og Energi Danmarks Tekniske Universitet Bygning 118, Brovej 2800 Kgs. Lyngby Tlf. 45 25 18 55 http://www.ibe.dtu.dk/	Svend Svendsen (45 25 18 54) Karsten Duer (45 25 18 67) Jørgen M. Schultz (45 25 19 02) Toke Rammer Nielsen (45 25 18 60) Jacob Birck Laustsen (45 25 19 39)	
Energimærkningsordningens sekretariat TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 22	Hans Nielsen Peter Vestergaard	
Vinduesproducenternes Samarbejdsorganisation TI Byggeri Teknologiparken 8000 Århus C Tlf. 72 20 11 19		
Glasbranche Foreningen Gothersgade 160 1123 København K Tlf. 33 32 23 11 http://www.glasnet.dk/		
Glasindustriens Samarbejdsorganisation Naverland 2 2600 Glostrup Tlf. 43 46 63 23 http://www.glasindustrien.dk/gs		
Dansk Standard Kollegievej 6 2920 Charlottenlund Tlf. 39 96 61 02 http://www.ds.dk/		
Statens Byggeforsknings Institut Postboks 119 2970 Hørsholm Tlf. 45 86 55 33 http://www.sbi.dk/		
Teknologisk Institut Teknologiparken Kongsvangs Alle 29 8000 Århus C Tlf. 72 20 10 00 http://www.teknologisk.dk/	Gregersensvej Postboks 141 2630 Taastrup Tlf. 72 20 20 00 Århus: Robert Knudsen, komponentcentret Taastrup: Lars Olsen Tommy Nielsen	
Institut for Bygningsteknik Aalborg Universitet Sohngårdsholmsvej 57 9000 Aalborg Tlf. 96 35 85 39 http://www.civil.auc.dk/i6/	Henrik Brohus	
Energistyrelsen Amaliegade 44 1256 København K Tlf. 33 92 67 00 http://www.ens.dk/	Energioplysningen Tlf. 70 21 80 10 http://www.energioplysningen.dk /	Energistyrelsen: Sergio Fox

Pilkington Danmark A/S

Oslo Plads 14
Postboks 853
2100 København Ø
Tlf. 35 42 66 00
Fax. 35 42 45 01
<http://www.pilkington.com/>

Scanglas A/S

Glasvej 2
4220 Korsør
Tlf: 58 37 27 00
Fax: 58 37 37 00
<http://www.scanglas.dk/>

AFG Industries

Inc. - Corporate Office
1400 Lincoln Street
Kingsport, TN 37660
eller
P. O. Box 929
Kingsport, TN 37662
Tel: (423) 229-7200
USA (800) 251-0441
Canada (800) 463-3885
Fax: General: (423) 229-7459
International/Marketing:
(423) 229-7319
<http://www.afg.com/>

Sunarc Technology A/S

Grøndlandsvej 14
DK-4681 Herfølge
Denmark
Tlf: 56 21 30 00
Fax: 56 21 33 00

Appendiks A

Opbygning af parcelhus i tsbi3

Tabel 12. Modellerede systemer

System	Omfang	Regulering	Tidsangivelse
Personlast	0,1 kW	Altid: 100 %	Altid
Udstyr (inkl. belysning)	0,148 kW (til luft: 70 %; til flader 30 %)	Altid: 100 %	Altid
Ventilation (mekanisk udsugning)	0,045 m ³ /s = 0.8 h ⁻¹	Infiltrationen tilpasses udsuget luftmængde	Altid
Udluftning	Grundluftskifte: 2 h ⁻¹ , max: 6 h ⁻¹ Temp. Faktor: 0.5 Vindfaktor: 0.3 Middel vindhastighed, dk: 4 m/s	Setpunkt: 24 °C	Altid
Opvarmning	Max. effekt: 5 kW Ikke regulerbar effekt: 0 % (til luft: 50 %; til flader: 50 %)	Setpunkt: 20 °C T _{umin, effekt} = 18 °C Min. effekt: 5,0 kW	Altid

Personlast.

Det antages, at huset beboes af 2 voksne og 2 børn og at varmeafgivelsen foregår i 14 timer pr. døgn gennem hele året.

Det forudsættes, at en voksen afgiver 100 W og et barn 75 W.

En jævn varmeafgivelse over hele døgnet bliver derfor:

$$(2 \cdot 100 + 2 \cdot 75) \cdot 14/24 = 204 \text{ W}$$

Da begge zoner er næsten lige store, fordeles denne effekt ligeligt mellem dem, hvilket svarer til ca. 100 W pr. zone.

Udstyr

SBI-anvisning 184 anviser at et gennemsnitligt internt varmetilskud i boliger fra personer, belysning og el-udstyr kan sættes til 5 W pr. m² opvarmet etageareal i middel for hele den opvarmede del af boligen og hele døgnet i opvarmningsperioden.

Fratrækkes dette tal varmelasten fra personer, fås varmetilskuddet fra udstyr og belysning til:

$$(5 \text{ W/m}^2 \cdot 100 \text{ m}^2) - 204 \text{ W} = 296 \text{ W}$$

Fordelt ligeligt på begge zoner bliver dette 148 W pr. zone.

Ventilation

Ifølge bygningsreglementet, BR95, skal boligenheder ventileres med enten mekanisk udsugning kombineret med udeluftventiler eller et indblæsnings- og udblæsningsanlæg. Det er valgt at ventilere ved hjælp af mekanisk udsugning. Udeluftventilerne modelleres i tsbi3, så infiltrationen bliver tilpasset den udsugede luftmængde. Udelufttilførslen skal mindst svare til den største af nedenstående ydelser:

1. Et luftskifte på 0.5 h⁻¹
2. Luftmængden angivet i afsnit 11.2.2, stk. 3:
Køkken, 20 l/s + bad, 15 l/s + bryggers, 10 l/s = 45 l/s. Dette svarer til et luftskifte på 0.8 h⁻¹, hvilket er større end de 0.5 h⁻¹, og derfor vælges de 45 l/s i henhold til BR95.
Det forudsættes, at luften i bryggerset tilføres via adgangsrum.

I henhold til DS418 fordeles den udsugede luftmængde på de to zoner efter volumen. Dette svarer til en udsuget luftmængde på 0,023 m³/s for sydzone og 0,022 m³/s for nordzone.

Udluftning

Der udluftes når temperaturen er over 24 °C for herved at undgå overtemperaturer. Udgangspunktet er et grundluftskifte på 2 h⁻¹, svarende til åbne vinduer. Max.luftskiftet er 6 h⁻¹, der udluftes afhængig af temperaturdifferensen mellem inde og ude.

Opvarmning

Der simuleres i modellen med en termostatreguleret radiator. Termostatens føler påvirkes dels af indelufttemperaturen, dels af overfladetemperaturerne, med en indflydelse af indeluften på 50 %.

Setpunktet for hvornår opvarmningen skal træde i kraft, er sat til 20 °C. Reguleringen består af en maksimal til rådiggørende effekt på 5,0 kW pr. zone ved en udetemperatur på -12 °C og en minimumseffekt på 5,0 kW pr. zone, når temperaturen er 18 °C. Radiatorens til rådighed værende effekt varierer lineært fra maksimalydelse til mindsteydelse.

Tablet 13. Mål for de forskellige vindueskonstruktioner.

Konstruktion	Areal, A' [m ²]	A _g [m ²]	A _r [m ²]	l _g [m]
Lille vindue	1,09	0,71	0,38	3,38
Stort vindue	1,694	1,21	0,48	4,42
Havedør	4,431	2,74	1,69	10,24
Vindfangsdør	2,289	0,87	1,10	3,78

De små vinduer findes i bryggers, køkken og bad. De store i soveværelse, kammer 2 og kammer 4.

Appendiks B

Opbygning af kontor i tsbi3

Der ses bort fra de indvendige skillevægge, der ikke opdeler bygningen i forskellige zoner. Indvendige døre regnes med til skillevægge.

Brugstiden sættes til 45 timer pr. uge

Tabel 14. Modellerede systemer

System	Omfang	Regulering	Tidsangivelse
Intern varmelast	3,483 kW (til luft: 70 %; til flader 30 %)	Altid: 100%	Altid
Ventilation, møderum (mekanisk udsugning)	0,20 m ³ /s	Infiltrationen tilpasses udsuget luftmængde	Driftstid: 45 timer/uge
Ventilation, kantine (mekanisk udsugning)	0,25 m ³ /s	Infiltrationen tilpasses udsuget luftmængde	Driftstid: 20 timer/uge
Infiltration	Grundluftskifte: 1 h ⁻¹	18-07: 20% 8-17: 100%	Altid
Udluftning	Grundluftskifte: 2 h ⁻¹ , max 6 h ⁻¹ Temp. faktor: 0,5 Vindfaktor: 0,3	Setpunkt: 20 °C	Hverdage 8-17
Opvarmning	Max. effekt: 50 kW Ikke regulerbar effekt: 0 % (til luft: 50 %; til flader: 50 %)	Setpunkt: 22°C T _{u,min} = 18 °C Min. effekt: 50,0 kW	Fyringssæson, uge 40-14 Hverdage 8-17

Intern varmelast

Det antages, at bygningens normale brugstid er 45 timer/uge. Den interne varmelast er opgivet til 20 W/m², hvori er medregnet varmetilskud fra personer, belysning og eludstyr. Som middel over hele det opvarmede etageareal over hele døgnet fås:

$$650,2 \text{ m}^2 \cdot 20 \text{ W/m}^2 \cdot (45 \text{ timer/uge})/168 \text{ timer/uge} = 3483 \text{ W}$$

Fordelt på de tre zoner fås:

$$\text{Møderum: } 0,13 \cdot 3483 \text{ W} = 452,79 \text{ W}$$

$$\text{Kantine: } 0,11 \cdot 3483 \text{ W} = 383,13 \text{ W}$$

$$\text{Kontor, gang mm.: } 0,76 \cdot 3483 \text{ W} = 2647,08 \text{ W}$$

Ventilation

Der er mekanisk udsugning fra møderum og kantine, luften tilføres gennem udeluftventiler, åbning af vinduer samt utætheder i klimaskærmen. Infiltrationen er i tsbi3 tilpasset den udsugete luftmængde.

Udluftning

Der udluftes når temperaturen er over 20 °C for at undgå overtemperaturer. Udgangspunktet er et grundluftskifte på 2 h⁻¹, svarende til at åbne vinduerne. Max. luftskiftet er 6 h⁻¹, og der udluftes afhængig af differensen mellem ude- og indetemperaturen.

Opvarmning

Der bruges en termostatreguleret radiator.

Setpunktet for hvornår opvarmningen skal træde i kraft, er sat til 20 °C. Reguleringen består af en maksimal til rådiggværende effekt på 50,0 kW pr. zone ved en udetemperatur på -12 °C og en minimumseffekt på 50,0 kW pr. zone, når temperaturen er 18 °C. Radiatorens til rådighed værende effekt varierer lineært fra maksimalydelse til mindsteydelse.

Tabel 15. Mål for de forskellige vindueskonstruktioner.

Konstruktion	Hulmål		Glasmål		Arealer			Omkreds
	B [m]	h [m]	b [m]	h [m]	Areal, A' [m ²]	A _g [m ²]	A _r [m ²]	
Vindue, øst/vest	2,538	2,09	2,338	1,89	5,304	4,419	0,885	8,456
Vindue, nord/syd	2,624	2,09	2,424	1,89	5,484	4,581	0,903	8,628
Døre, øst/vest	2,538	2,90	2,338	2,70	7,360	6,313	1,047	10,076
Døre, nord/syd	2,624	2,90	2,424	2,70	7,610	6,545	1,065	10,248

Appendiks C

U-værdi og g-værdi

Der er taget udgangspunkt i en tre-lags-rude med persienne fra firmaet Pilkingtons produktkatalog Glasfakta2000. Udfra denne er beregnet forskellen i isolansen når persiennen er åben og når den er lukket. Værdierne ses i Tabel 16.

Tabel 16. Tre-lags-rude med indvendig persienne fra Pilkington

	U	R	Forskel i isolans mellem åben og lukket
Åben	0,8	1,25	0,417
Lukket	0,6	1,67	

Denne forskel benyttes til at finde U-værdien for to-lags-ruden, når persiennen er lukket til. U-værdien for to-lags-ruden er fundet ved hjælp af Glas98. Værdierne for ruden med åben og lukket persienne ses i Tabel 17.

Tabel 17. Værdier for den i dette kompendium benyttede to-lags-rude med indvendig persienne.

	U	R
Åben	1,751	0,571
Lukket	1,012	0,988

Det antages at g-værdien og τ -værdien begge er lig nul, når persiennen er lukket.

Diagrammetoden

I diagrammetoden er det forudsat, at persiennen er lukket i et tidsrum svarende til halvdelen af fyringssæsonens gradtimer, det vil sige 45 gradtimer.

Formlerne for beregning af energitilskud kommer derved til at se således ud:

$$\text{Nord: } E = 105 \cdot g - 45 \cdot U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Syd: } E = 431 \cdot g - 45 \cdot U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

$$\text{Øst/Vest: } E = 232 \cdot g - 45 \cdot U \text{ [kWh/m}^2\text{]}$$

Det samlede energitilskud findes ved beregning for henholdsvis åben og lukket persienne. Det samlede tilskud over hele døgnet findes ved at addere de to totale energitilskud, der hver især er vægtet efter orientering.

Bilag 1 Ændringer

Herunder er angivet de ændringer, der er foretaget i kompendium 10 siden den første version forelå:

Version 2 (26. marts 2001):

- Kompendiet har fået ny forside.
- U-053 er ændret til U-009
- Det generelle forord til kompendierne side 4 er revideret og udbygget