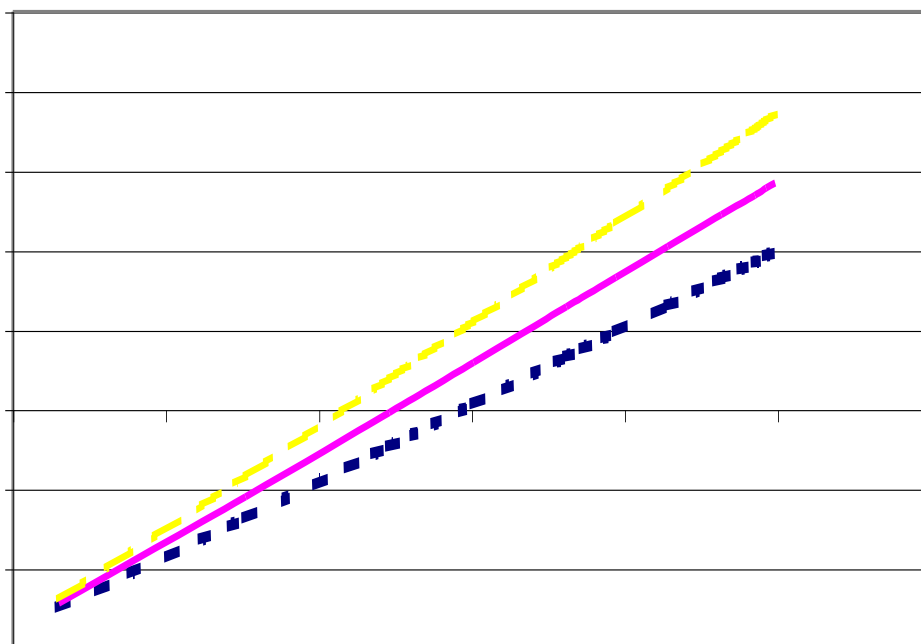




RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER

Kompendium 4:

UDVIKLING AF ENERGIRIGTIGE RUDER OG VINDUER



Indholdsfortegnelse

FORORD TIL KOMPENDIUM 4.....	5
1 RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER	6
1.1 ENERGIMÆRKNINGSDATA	6
1.2 RUDERS ENERGIKLASSE.....	7
2 BESKRIVELSE AF ENERGIMÆRKNINGSDATA	8
2.1 BAGGRUND.....	8
2.2 ENERGIMÆRKNINGSDATA FOR RUDER.....	8
2.3 ENERGIMÆRKNINGSDATA FOR VINDUER	10
3 MULIGHEDER FOR AT FORBEDRE RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆRKNINGSDATA	13
3.1 RUDER.....	13
3.1.1 <i>Glastype</i>	13
3.1.2 <i>Glasafstand og gasfyldninger</i>	17
3.1.3 <i>Glasantal</i>	19
3.1.4 <i>Afstandsprofil</i>	20
3.2 VINDUER	25
3.2.1 <i>Glasandel</i>	25
4 MULIGHEDER FOR AT ØGE RUDER OG VINDUERS ENERGITILSKUD.....	27
4.1 RUDE.....	28
4.1.1 <i>Jernfrit glas</i>	28
4.1.2 <i>Referencehusmetoden og klassifikation af ruder</i>	29
4.2 GLASANDEL	30
5 UDVIKLINGSBEHOV OG –MULIGHEDER FOR RUDER OG VINDUER.....	32
5.1 UDENLANDSKE IDEER TIL FORBEDRINGER	32
5.1.1 <i>Finland</i>	32
5.1.2 <i>Sverige</i>	33
5.1.3 <i>Tyskland</i>	34
5.1.4 <i>USA og Canada</i>	35
LITTERATUR	39
ADRESSER	41
APPENDIKS A. FREMGANGSMÅDE TIL BESTEMMELSE AF RISIKO FOR KONDENSDANNELSE.....	42
APPENDIKS B. SAMMENFATNING AF ENERGIMÆRKNINGSORDNINGEN FOR RUDER OG VINDUER.....	45
A.1 RUDER	45
A.1.1 PRODUKTBESKRIVELSE (ENERGIMÆRKNINGSDATA)	45
A.1.2 ENERGIKLASSIFIKATION (PERMANENT MÆRKNING)	45
A.1.3 SAMMENFATNING RUDER	46
A.2 VINDUER.....	46
A.2.1 PRODUKTBESKRIVELSE.....	46
A.2.2 PERMANENT MÆRKNING.....	46
A.2.3 SAMMENFATNING VINDUER.....	46
APPENDIKS C. DIAGRAMMER MED RUDER OG VINDUERS ENERGITILSKUD.....	47

Forord til kompendium 4

Målgruppen for kompendium 4 er hovedsageligt producenter af ruder og vinduer. Kompendiet indeholder en række analyser af forbedringsmuligheder, som kan virke som inspiration og hjælp til producenter, der ønsker at udvikle ruder og vinduer med bedre energimæssige egenskaber.

Ligeledes er der til inspiration indsamlet og medtaget oplysninger om udenlandske energivinduer.

I forbindelse med udarbejdelse af kompendiet har der været samarbejde mellem dette projekt og EFP projektet: *Helhedsvurdering af vinduer – mulige produktforbedringer indenfor en tidshorisont på 5 år* som udarbejdes af Jørgen M. Schultz. Projektet har ENS journalnr. 1213/99-0015. Dette samarbejde har medvirket til, at der i begge projekter er undersøgt og medtaget flere emner end der ellers ville være bevilling til. Til gengæld vil der forekomme enkelte overlap de to projekter imellem.

Følgende har medvirket til udarbejdelsen af kompendiet:

Morten Møller Mogensen, Toke Rammer Nielsen, Svend Svendsen, Karsten Duer og Jacob Birck Laustsen.

Før udgivelsen har udkast til første version af kompendiet været til høring hos følgende repræsentanter for brancherne på området og målgruppen i øvrigt:

Harald Brauer, Scanglas A/S
B. Howald Petersen, IABM, DTU

Ovenstående takkes for høringssvar.

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

Copyright

Copyright © DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet, 2009

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 4: Udvikling af energiritige ruder og vinduer”.

DTU Byg, Danmarks Tekniske Universitet, 2009

1 Ruder og vinduers energimæssige egenskaber

Udgangspunktet for kompendierne er "Energimærkningsordningen for vinduer og ruder", der sætter fokus på ruder og vinduers termiske og optiske egenskaber (bestemmelserne for energimærkningsordningen er beskrevet i ordningens vedtægter [1] samt tekniske bestemmelser for vinduer [3] og ruder [2]). Dette har medført et generelt informationsbehov på området. Kompendierne skal give læserne generel information om energimæssige egenskaber af ruder og vinduer. Herunder oplysning om forenklede og detaljerede metoder til bestemmelse af ruder og vinduers energimærkningsdata samt eventuelt ruders energiklasse. Desuden behandler kompendierne energirigtigt valg af ruder og vinduer samt udvikling af energirigtige ruder og vinduer. I appendiks B er retningslinierne for selve energimærkningsordningen sammenfattet.

I energimærkningsordningen opereres med følgende tre benævnelser:

1. **Energimæssige egenskaber:** Fællesbetegnelse for energimærkningsdata og energiklasse.
2. **Energimærkningsdata:** De grundlæggende energimæssige data for ruder/vinduer.
3. **Energiklasse:** Bogstavbenævnelse for ruder på basis af energitilskuddet.

1.1 Energimærkningsdata

En oversigt over ruder og vinduers energimærkningsdata er vist i Tabel 1.

Ruders energimærkningsdata omfatter:

- varmetransmissionskoefficienten (U_g -værdien) for rudens midte der angiver rudens evne til at begrænse varmetabet gennem ruden.
- sollystransmittansen (τ_v -værdien) for ruden der angiver rudens evne til at transmittere den synlige del af solstrålingen.

- den totale solenergitransmittans (g -værdien) for ruden der angiver rudens evne til at transmittere solstråling både direkte som solstråling og indirekte som varme.
- kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne (λ_k) der angiver kantkonstruktionens indflydelse på varmetabet i samlingen mellem ruden og ramme-karmkonstruktionen.

Vinduers energimærkningsdata - alle baseret på vinduets udvendige areal - omfatter:

- varmetransmissionskoefficienten (U -værdien) der angiver vinduets evne til at begrænse varmetabet gennem vinduet.
- sollystransmittansen (τ_v -værdien) der angiver vinduets evne til at transmittere den synlige del af solstrålingen
- den totale solenergitransmittans (g -værdien) der angiver vinduets evne til at transmittere solstråling både direkte som solstråling og indirekte som varme.

Ruder og vinduers U -værdi og g -værdi er tilsammen bestemmende for energitilskuddet til bygningen de sidder i. Sollystransmittansen har indflydelse på lysindfaldet. Den ækvivalente varmeledningsevne for rudernes kantkonstruktion karakteriserer kantkonstruktionen og benyttes til at bestemme størrelsen af kuldebroen i samlingen mellem rude og ramme-karm.

Tabel 1. Oversigt over energimærkningsdata for ruder og vinduer

Energimærkningsdata	
Ruder	<ul style="list-style-type: none"> - Varmetransmissionskoefficient - Sollystransmittans - Total solenergitransmittans - Ækvivalent varmeledningsevne af kantkonstruktionen
Vinduer	<ul style="list-style-type: none"> - Varmetransmissionskoefficient - Sollystransmittans - Total solenergitransmittans

1.2 Ruders energiklasse

Energtilskuddet gennem ruden til bygningen er den tilførte solenergi minus varmetabet ud gennem ruden i fyringssæsonen. Hvis der tilføres mere solenergi ind gennem ruden end der ledes ud som varmetab, er energitilskuddet positivt, og det resulterer i en opvarmning af bygningen. Energtilskuddet for en rude kan altså indikere, hvor ”god” ruden samlet er til at mindske varmetabet fra og tilføre solvarme til en bygning. Dette udnyttes i den energimæssige klassifikation af ruder, som baseres på rudernes energitilskud til et referencehus. Der opstilles tre energiklasser som vist i Tabel 2:

Tabel 2 Klassifikation af ruder på basis af deres energitilskud

Energiklasse	Grænseværdier
A	Energtilskud større end 20,0 kWh/m ²
B	Energtilskud større end 10,0 kWh/m ² til og med 20,0 kWh/m ²
C	Energtilskud større end 0,0 kWh/m ² til og med 10,0 kWh/m ²

Energiklassifikation af ruder bør kun anvendes i forbindelse med ruder i opvarmningsdominerede boliger, hvor et positivt energitilskud er ønsket. I f.eks. kontorbyggerier, hvor der ofte er stor intern varmeproduktion, kan ruder med stort energitilskud give anledning til overtemperaturer. I kontorbyggerier er det altså ikke nødvendigvis fordelagtigt at anvende ruder med stort energitilskud.

2 Beskrivelse af energimærkningsdata

2.1 Baggrund

Energimærkningsordningen er etableret af brancheorganisationerne med støtte fra Energistyrelsen. Bestemmelserne for energimærkningsordningen er beskrevet i ordningens vedtægter [1] samt tekniske bestemmelser for vinduer [3] og ruder [2].

Formålet med energimærkningsordningen er

- at give forbrugerne et dokumenteret retvisende grundlag for bedømmelse af de energimæssige egenskaber ved vinduer/yderdøre og ruder
- at tilskynde til øget anvendelse af komponenter med de bedste energi- og miljømæssige egenskaber

Endvidere er formålet med energimærkningsordningen at tilvejebringe et fælles grundlag for efterprøvning af de tilsluttede virksomheders aktiviteter til sikring af, at energimærkede vinduer og ruder opfylder de krav, der er angivet i de gældende tekniske bestemmelser.

2.2 Energimærkningsdata for ruder

Bestemmelserne i forbindelse med energimærkning af ruder er beskrevet i "Tekniske bestemmelser for ruder" [2].

I forbindelse med energimærkningen af ruder skal der foreligge en beskrivelse, der som minimum indeholder følgende størrelser

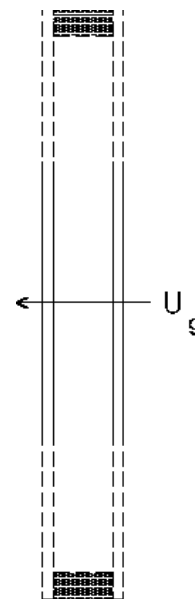
- varmetransmissionskoefficienten¹ U_g midt på ruden
- sollystransmittansen τ_t gældende for vinkelret indfald af sollys
- den totale solenergitransmittans g for vinkelret indfald af solstråling
- kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne λ_k

¹ Betegnelsen varmetransmissionskoefficient er identisk med betegnelsen transmissionskoefficient i DS 418.

De opgivne energimærkningsdata skal være angivet ved standardforhold for at oplysninger fra forskellige producenter er sammenlignelige. Standardforholdene for beregninger er defineret ved en udvendig og indvendig overgangsisolans på hhv. $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ og $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og en udvendig og indvendig lufttemperatur på hhv. $0 \text{ }^\circ\text{C}$ og $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Ved målinger tilstræbes samme forhold, idet der dog ikke skelnes mellem indvendig og udvendig overgangsisolans, men søges opnået en samlet overgangsmodstand på $0,17 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Varmetransmissionskoefficient

Rudens varmetransmissionskoefficient (U_g -værdi) kan bestemmes med beregningsprogrammer ud fra oplysninger om gassen eller gasblandingen ruden er fyldt med og glaslagenes eller belægningsers emissivitet. Desuden kan rudens varmetransmissionskoefficient bestemmes ved måling. Rudens U_g -værdi angives for rudens midte som vist i Figur 1.



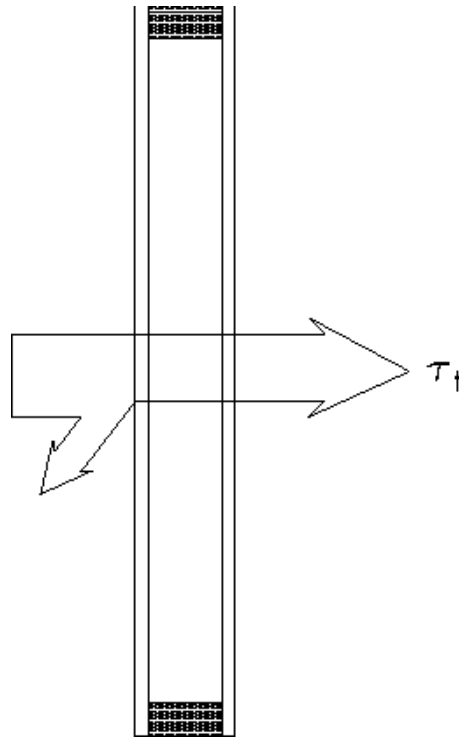
Figur 1. U -værdien for ruden bestemmes for rudens midte.

Sollystransmittans

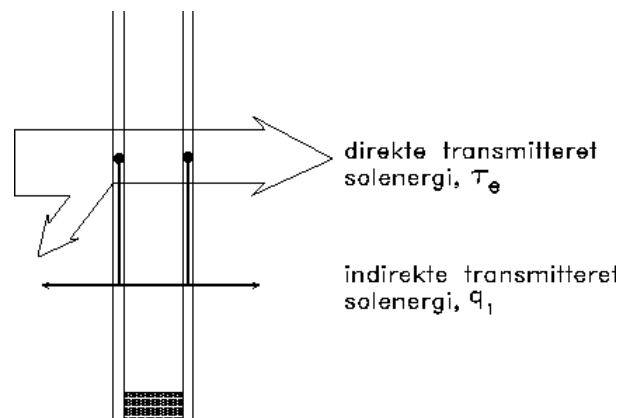
Sollystransmittansen angiver den del af den synlige solstråling på ruden, der transmitteres gennem ruden som skitseret i Figur 2. Sollystransmittansen bestemmes på grundlag af oplysninger om de enkelte glaslags transmittans, reflektans og absorptans for den synlige del af solstrålingen.

Total solenergitransmittans

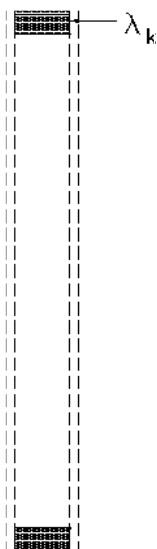
Den totale solenergitransmittans angiver den del af solstrålingen på ruden, der tilføres det bagvedliggende rum som skitseret i Figur 3. Den totale solenergitransmittans bestemmes på grundlag af oplysninger om de enkelte glaslags transmittans, reflektans og absorptans for solstråling samt rudens varmetransmissionsforhold. Rudens varmetransmissionsforhold har betydning for hvor stor en del af den solenergi, der absorberes i ruden, som tilføres det bagvedliggende rum.



Figur 2. Sollystransmittans for ruder.



Figur 3. Total solenergitransmittans for ruder.



Figur 4. Ækvivalent varmeledningsevne for kantkonstruktionen.

Ækvivalent varmeledningsevne

Den ækvivalente varmeledningsevne for kantkonstruktionen benyttes til at beskrive den resulterende effekt af de forskellige dele i rudens kantkonstruktion som skitseret i Figur 4. Størrelsen af den ækvivalente varmeledningsevne kan bestemmes med detaljerede beregningsprogrammer på basis af oplysninger om afstandsprofil, tørremiddel og forseglingsmasser. Størrelsen kan også bestemmes ved måling. Oplysning af den ækvivalente varmeledningsevne gør det nemmere for vinduesproducenterne at foretage detaljerede beregninger af den lineære varmetransmissionskoefficient for samlingen mellem rudme og ramme. Den lineære varmetransmissionskoefficient omtales i afsnit 2.3. Desuden gør oplysningen om den ækvivalente varmeledningsevne det nemmere for rudeproducenterne at angive sammenlignelige oplysninger om deres produkter.

2.3 Energimærkningsdata for vinduer

Bestemmelserne i forbindelse med energimærkning af vinduer er beskrevet i "Tekniske bestemmelser for vinduer" [3]. Bestemmelserne dækker alle sædvanlige vindueskonstruktioner – herunder vinduer med koblede rammer samt ovenlysvinduer. For yderdøre dækker bestemmelserne alle sædvanlige konstruktioner til terrasse- og hoveddøre. For døre uden ruder stilles kun krav om oplysning af varmetransmissionskoefficienten.

I forbindelse med energimærkningen af de enkelte produkter skal som et minimum følgende størrelser opgives

- varmetransmissionskoefficient² U
- sollystransmittansen τ_t gældende for vinkelret indfald af sollys
- den totale solenergitransmittans g for vinkelret indfald af solstråling

Alle størrelser opgives som totalværdier baseret på de udvendige mål af det aktuelle produkt.

² Betegnelsen varmetransmissionskoefficient er identisk med betegnelsen transmissionskoefficient i DS 418.

Der skal endvidere foreligge oplysninger om energimærkningsdata for ruder, der indgår i vinduet. Kun vinduer som indeholder ruder, der er mærket med energiklasse kan påføres permanent energimærkning. Se også appendiks B.

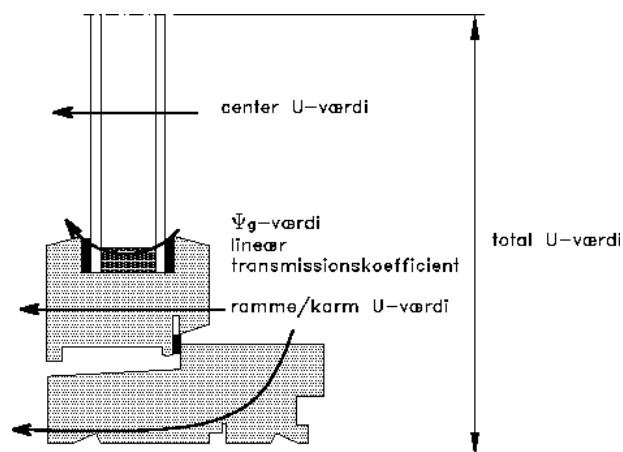
De opgivne energimærkningsdata skal være angivet ved standardforhold for at oplysninger fra forskellige producenter er sammenlignelige. Standardforholdene er defineret ved en udvendig og indvendig overgangs-isolans på hhv. $0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$ og $0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$ og en udvendig og indvendig lufttemperatur på hhv. $0 \text{ }^\circ\text{C}$ og $20 \text{ }^\circ\text{C}$.

Varmetransmissionskoefficient

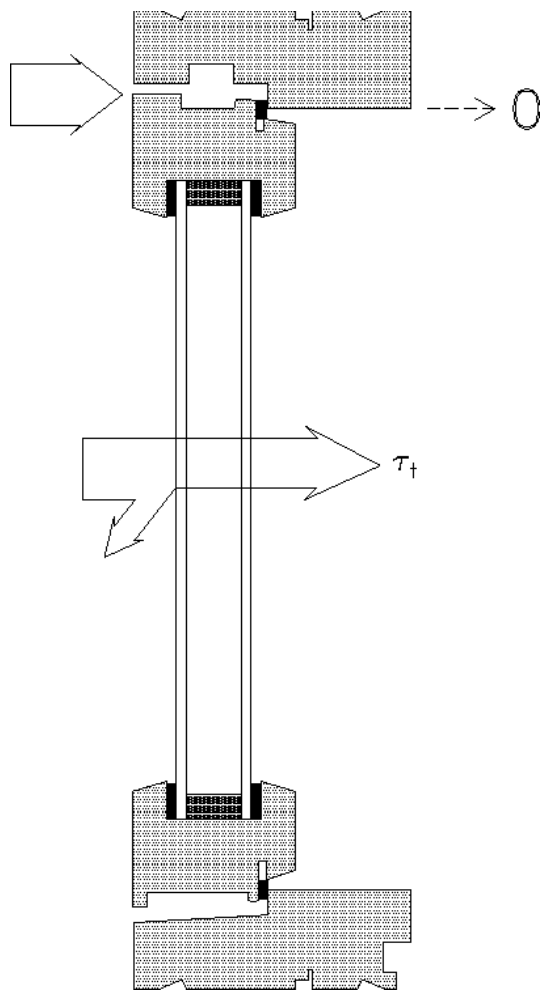
Varmetransmissionskoefficienten for vinduer bestemmes på baggrund af varmetransmissionskoefficienten for ruden og ramme-karmkonstruktionen samt den lineære transmissionskoefficient af samlingen mellem rude og ramme. Bidragene er vist i Figur 5. Størrelsen kan bestemmes ved hjælp af detaljerede beregningsprogrammer eller mere forenklede metoder omtalt i DS 418 tillæg 1 [4]. Desuden kan varmetransmissionskoefficienten måles.

Lineær transmissionskoefficient

Den lineære transmissionskoefficient står for det ekstra varmetab, der skyldes samlingen mellem rude og ramme. Det ekstra varmetab opstår på grund af kuldebrovirkningen i rudens kantkonstruktion og rammens geometri. Den lineære transmissionskoefficient er således resultatet af både rudekantens og rammens varmetekniske egenskaber. For en række typiske konstruktioner kan størrelsen af den lineære transmissionskoefficient bestemmes ud fra tabelværdier i DS 418 6. udgave [4]. For alle konstruktioner kan den lineære transmissionskoefficient også beregnes detaljeret eller måles.



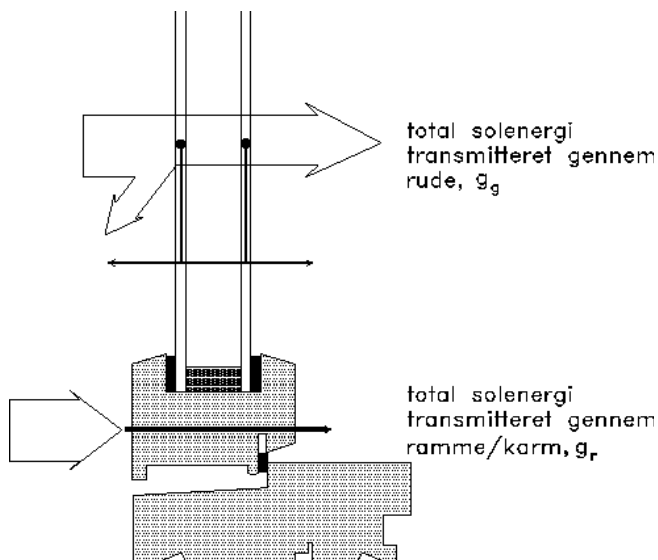
Figur 5 U-værdien for vinduer



Figur 6. Sollystransmittans for vinduer.

Sollystransmittans og den totale solenergitransmittans

Sollystransmittansen og den totale solenergitransmittans for vinduet er afhængig af glasarealet og vinduesarealet. Vinduetts værdier for sollystransmittans og den totale solenergitransmittans fremkommer som rudens sollystransmittans og totale solenergitransmittans multipliceret med forholdet mellem glasarealet og vinduesarealet. Med detaljerede beregningsprogrammer vil den totale solenergitransmittans for vinduet kunne bestemmes mere præcist, da disse ikke kun tager hensyn til hvilken rude der anvendes i vinduet, men også baserer resultatet på den solenergi, der absorberes i ramme-karmkonstruktionen. Sollystransmittansen og den totale solenergitransmittans er vist i Figur 6 og Figur 7.



Figur 7 Total solenergitransmittans for vinduer

3 Muligheder for at forbedre ruder og vinduers energimærkningsdata

I dette afsnit beskrives hvilke muligheder der er for at forbedre ruder og vinduers energimærkningsdata. Herunder vil der, så vidt det er muligt, blive foretaget en vurdering af de enkelte muligheds betydning for energimærkningsdata.

Afsnittet vil i udbredt grad beskæftige sig med hvorledes ruder og vinduers energimæssige egenskaber kan forbedres. Med bedre energimærkningsdata menes at opvarmningsbehovet og et eventuelt kølebehov for bygningen reduceres. Der lægges derfor vægt på en reduktion af U-værdien. For en reduktion i opvarmningsbehovet ved en bedre udnyttelse af solenergien, ønskes en større g-værdi, mens der ved en reduktion i kølebehovet lægges vægt på at der ikke tilføres det bagvedliggende rum så meget solenergi, dvs. der ønskes en mindre g-værdi.

Sammenhængen mellem energimærkningsdata og energitilskuddet for ruder og vinduer behandles i afsnit 4.

3.1 Ruder

En rudes energimærkningsdata (U-værdi, τ -værdi og g-værdi) er afhængige af mange forskellige parametre, herunder hvilken glasstype, glastykkelse, belægning, glasafstand, glasantal og gasfyldning der er benyttet ved opbygning af en rude. Desuden er kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne, λ_k , afhængig af hvilket afstandsprofil der er benyttet i ruden.

3.1.1 Glastype

Jernfattigt glas

Almindeligt glas indeholder jernoxid i meget små mængder, men nok til at det ser grønligt ud, hvis man kigger ind på kanten af glasset. Jernindholdet i glasset kan sænkes ved at anvende renere sand eller gennem kemisk rensning af det. Glas med lavt jernindhold vil i mindre grad end almindeligt glas påvir-

ke lysets farvesammensætning og samtidig absorbere en mindre del af solenergien. I et almindeligt 4 mm floatglas absorberes ca. 8 % af solenergien, mens i et jernfattigt glas vil kun ca. 2 % af solenergien absorberes. Denne reduktion af absorberingen øger således transmissionen af solenergien gennem glasset med en forbedring af g-værdien til følge. U-værdien for en rude med jernfattigt glas er uændret i forhold til en rude med almindeligt floatglas.

Eksempel 1

For en energirude bestående af 4 mm Pilkington Optifloat, 12 mm mellemrum med en 90/10 Argon/luft-blanding og 4 mm Pilkington Optitherm, beregnes U-værdien og g-værdien til henholdsvis 1,46 W/m²K og 0,66.

Ved at udskifte Pilkington Optifloat med Pilkington Optiwhite, som er et jernfattigt glas øges g-værdien fra 0,66 til 0,71. Dette har betydning for energitilskuddet, hvilket er illustreret i afsnit 4.

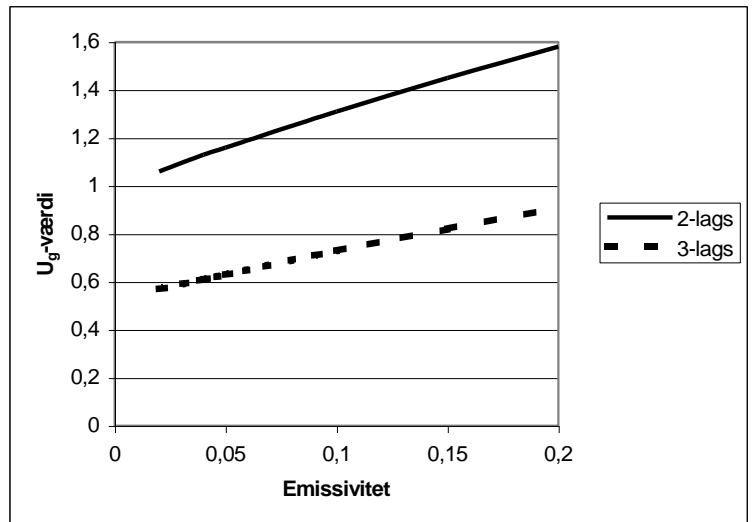
Antirefleksionsbehandlet glas

I et almindeligt glas reflekteres ca. 8 % af solstrålingen. Ved at ætse glassets overflade med en speciel syrebehandling, kan reflektansen reduceres til under det halve. Det bevirker, at soltransmittansen øges med en højere g-værdi til følge. Glasset fremtræder stadig som klart glas efter antirefleksionsbehandling. Undersøgelser har vist, at et antirefleksionsbehandlet glas har en soltransmittans der ligger ca. 5 %-point højere end et tilsvarende ubehandlet glas [9], hvilket resulterer i en forøgelse af glassets g-værdi. Der er således tale om en gevinst af samme størrelsesorden som kan opnås ved at benytte jernfattigt glas i stedet for almindeligt floatglas som det yderste glas i en rude. Effekten af det antirefleksions-behandlede glas afhænger til en vis grad af reflektansen af det bagvedliggende glaslag. Det skyldes, at de gentagne refleksioner mellem glaslagene reduceres. Hvis det inderste lag glas således udviser en relativ stor reflektans reduceres effekten af at anvende antirefleksionsbehandlet glas.

emissivitet. 3-lags ruden har to lavemissionsbelægningsplaceringer i position 2 og 5.

Området med emissiviteter under 0,2 er interessant i forbindelse med energiruder. Figur 10 viser området med emissiviteter fra 0 til 0,2.

Hvorledes g -værdien ændres ved en ændring af emissiviteten kan ikke forudsiges, da dette afhænger af belægningens optiske egenskaber. Således kan en belægning med lav emissivitet godt have en højere g -værdi end en belægning med en lavere emissivitet. Det skyldes at soltransmittansen godt kan stige selv om emissiviteten falder.



Figur 10. Center U_g -værdiens afhængighed af emissiviteten i området $\epsilon = 0,02 - 0,2$

Solafskærmende glas

Det er ikke i alle tilfælde ønskeligt, at der transmitteres så meget solenergi som overhovedet muligt. F.eks. i kontorbyggeri, hvor der er en stor intern varmebelastning fra personer, PC'er, printere, kopimaskiner, lys etc., vil opvarmningsbehovet ofte være dækket af varmeafgivelsen fra kontorudstyret, hvorfor tilførsel af solenergi vil betyde for høje indetemperaturer. I disse tilfælde ønskes solenergien lukket ude. Ofte ønskes der samtidigt en høj transmittans af dagslys. Til reduktion af solenergitransmittansen er der udviklet specielle solafskærmende glas, der benytter sig af forskellige principper samt kombinationer af disse.

Ved en gennemfarvning af glasset kan der ved en stor absorption af solenergi opnås en lille solenergitransmittans, men transmittansen af dagslys vil ligeledes blive reduceret, og der vil ske en farveændring af lyset, hvilket det menneskelige øje dog til en vis grad er i stand til at kompensere for. Den farvede rude placeres altid yderst i rudekonstruktionen således, at den absorberede solenergi hovedsageligt afgives til udeluften.

Et andet princip bygger på anvendelsen af belagte glas, der ligesom de gennemfarvede glas absorberer en stor del af solstrålingen.

Et tredje princip bygger på anvendelse af belægninger, der reflekterer den del af solenergien der stammer fra det nærinfrarøde bølgelængdeområde, dvs. den del af solstrålingen, der ligger udenfor bølgelængdeområdet for det synlige lys. Her opnås en delvis afskærmning af solenergien uden at det påvirker dagslysindfaldet i nævneværdig grad. De nyeste glas har således en højere lystransmittans end total solenergitransmittans og kan være helt klare.

Eksempler

Som vist under afsnittet om jernfattigt glas, er U-værdien og g-værdien for en energirude bestående af 4 mm Pilkington Optifloat, 12 mm mellemrum med en 90/10 Argon/luftblanding og 4 mm Optitherm, beregnet til henholdsvis 1,46 W/m²K og 0,66. Lystransmittansen er 0,77.

Ved at udskifte det yderste glas til et gennemfarvet glas: 4 mm Pilkington Optifloat Green, ændres U-værdien ikke, men g-

værdien falder fra 0,66 til 0,46. Dette medvirker således til en reduktion i den solenergi der kommer gennem ruden. Lystransmittansen bliver også lavere, da den falder fra 0,77 til 0,68. Man skal altså være opmærksom på, at lysindfaldet gennem ruden reduceres, til gengæld vil høje indetemperaturer forårsaget af solenergi kunne nedbringes.

Som eksempel på det andet princip erstattes det yderste glas med glasset: Pilkington Suncool Classic Silver 20. Dette glas reflekterer og absorberer en større del af solenergien end tilfældet er med det gennemfarvede glas. U-værdien ændres næsten ikke, da den er 1,44 W/m²K. g-værdien og lystransmittansen bliver derimod kraftigt reduceret til 0,17. Dette betyder, at der næsten ikke kommer nogen solenergi ind gennem ruden, men til gengæld vil ruden også udelukke næsten alt sollys.

Som eksempel på tredje princip erstattes det yderste glas med glasset: 6mm Pilkington Suncool HP Brillant 66. Dette glas reflekterer vha. belægningen den infrarøde stråling og afskærmer dermed noget af solenergien. Belægningen fungerer samtidig som lavemissionsbelægning og derfor erstattes det inderste glas med et Pilkington Optifloat Clear. Med denne kombination af glas falder U-værdien til 1,29 W/m²K pga. belægningens lave emissivitet. g-værdien falder fra 0,66 til 0,34, altså en betragtelig reduktion i den indkomne solenergi. Lystransmittansen falder fra 0,77 til 0,67 og lysindfaldet gennem ruden vil således være mindre end for den oprindelige rude.

3.1.2 Glasafstand og gasfyldninger

Der er en sammenhæng mellem center U_g -værdien og glasafstanden der gør, at der er en optimal glasafstand for forskellige gasfyldninger. Bliver glasafstanden større end denne optimale afstand vil U -værdien igen forøges, pga. øget konvektion i gassen.

g -værdien er ligeledes afhængig af glasafstand og gasfyldning, dog i så lille grad at der ikke skal tages hensyn til denne ved valg af glasafstand og gasfyldning.

Figur 11 viser denne sammenhæng for en 2-lags lavemissions rude med forskellige gasfyldninger. Graferne er beregnet ved programmet WIS, men ikke ved brug af EN673 [7] som beskrevet i kompendium 3, men derimod ved vælge metoden: *No restrictions*. Dette er en nødvendighed for at kunne ændre udetemperaturen.

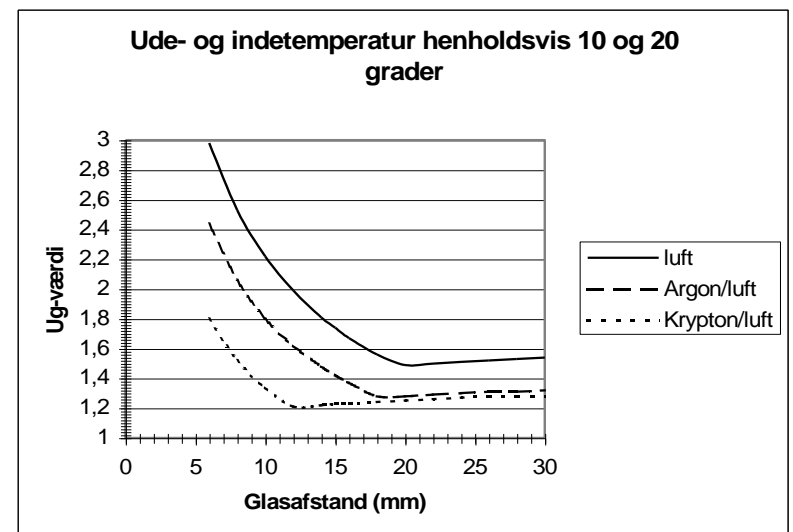
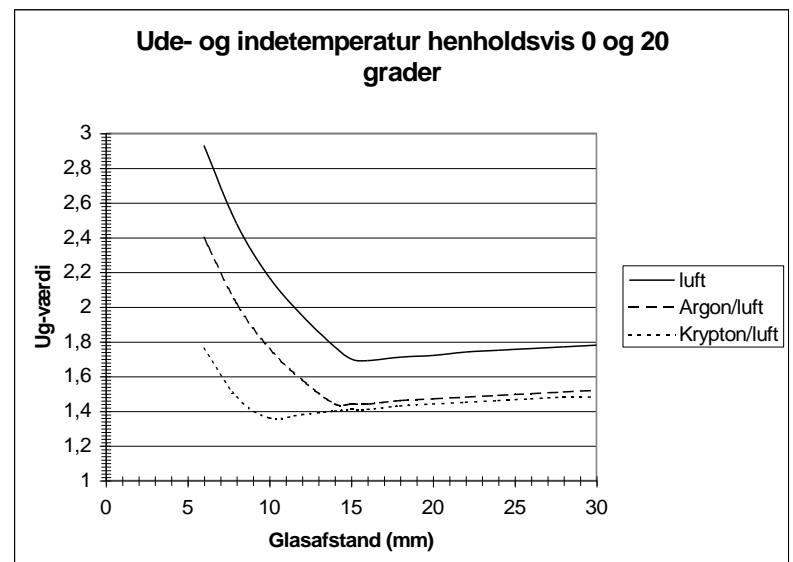
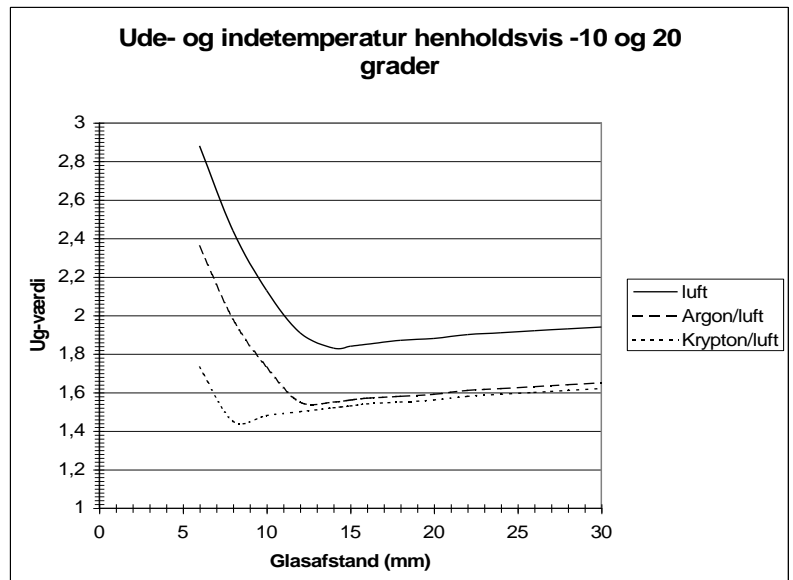
I praksis kan det ikke lade sig gøre at opretholde 100 % ren gas i mellemrummet. Der vil derfor altid opstå en blanding af gas og luft i mellemrummet. Ved beregninger antages denne gas/luft-blanding at have forholdet 90/10. I energiruder er det typisk Argon der anvendes som ædelgas.

Der findes gasser der kan nedbringe U -værdien yderligere, f.eks. Krypton og Xenon. Xenon er dog i praksis så dyr, at den ikke vil kunne bruges som gasfyldning og er derfor ikke medtaget i diagrammet.

Eksempel

For en energirude bestående af 4 mm Pilkington Klar float og 4 mm Kappa Energi Klar vil U -værdien således ændres med varierende glasafstand og gasfyldning. Ved brug af henholdsvis 12 mm og 14 mm Argon/luft beregnes U -værdien til $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, mens den ved brug af 10 mm Krypton/luft bliver $1,27 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Som vist på Figur 11 afhænger en rudes center U_g -værdi ikke kun af hvilken glasafstand og hvilken gas der fyldes i mellemrummet mellem glassene, men også af hvilken temperaturdifferens der er mellem ude- og indetemperaturen. Ved standardbetingelsen 0°C og 20°C , vil den optimale glasafstand for luft være 16 mm, mens for den for Argon/luft vil være 15 mm.



Figur 11. Rudens center U_g -værdi som funktion af glasafstanden og forskellige udetemperaturer for en 2-lags rude. Lavemissionsbelægningen har en emissionskoefficient $\epsilon = 0,1$. Gas/luft-fyldningsprocent: 90/10.

Tilsvarende vil den optimale glasafstand for Krypton/luft være 10 mm. Ved andre temperaturforhold vil disse afstande være anderledes, f.eks. vil den optimale glasafstand for Argon/luft ved temperaturerne $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ være 12 mm og ved $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ vil den være 18 mm.

Man skal derfor være opmærksom på hvilken temperaturdifferens ens rude vil blive udsat for.

Eksempel

Det antages at en rude udsættes for en ude- og indetemperatur på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ramme-karmkonstruktionen giver mulighed for at have glasafstande mellem 10 og 18 mm.

Med disse temperaturer vil en gasfyldning på 10 mm Krypton/luft give en bedre center U_g -værdi end med en gasfyldning af Argon/luft, uanset glasafstand.

Det viser sig senere, at ruden faktisk bliver udsat for temperaturerne $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ved disse temperaturer har en rude med 18 mm Argon/luft en bedre U -værdi end en rude med 10 mm Krypton/luft.

Da Argon er en væsentlig billigere gasart end Krypton, er der udover den bedre center U_g -værdi en økonomisk gevinst ved at benytte Argon.

Da U -værdien er afhængig af temperaturdifferensen mellem inde og ude er det interessant at undersøge hvilken temperaturdifferens der typisk er i fyringssæsonen. Eller sagt på en anden måde:

Giver det korrekte center U_g -værdier at benytte $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ som ude- og indetemperatur ved beregninger?

I Danmark har udeluften i fyringssæsonen en gennemsnitstemperatur på ca. $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Man kunne derfor tro, at denne temperatur er den rigtige, at benytte som udetemperatur ved beregninger. Men ved varmetabsberegning, er der forskel på at regne med en konstant temperaturdifferens på $16\text{ }^{\circ}\text{C}$ i hele perioden eller f.eks. at have en halv periode med ude- og indetemperaturen på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) og en halv periode med $8\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\Delta T = 12\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Hvis der skal gives et bud på hvilken temperatur udeluften og dermed hvilken temperaturdifferens der bør benyttes ved beregninger, for at få de mest korrekte U -værdier i forhold til fyringssæsonen, skal udetemperaturen derfor vægtes med hensyn til varmetabet, som er proportionalt med temperaturforskellen mellem inde og ude.

Ved at benytte et referenceår med udetemperaturen angivet time for time, kan den udetemperatur der skal benyttes ved beregning bestemmes ved:

$$t_{u,bereg} = \left(\frac{\sum t_u \cdot (20 - t_u)}{20 - t_{u,snit}} \right), \text{ hvor}$$

t_u er udetemperaturen

$t_{u,bereg}$ er den vægtede temperatur til brug i beregninger

$t_{u,snit}$ er gennemsnitstemperaturen i fyringssæsonen, $4\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Den vægtede udetemperatur i fyringssæsonen bliver ved hjælp af denne formel beregnet til $2\text{ }^{\circ}\text{C}$.

For at få beregnet den korrekte U -værdi i fyringssæsonen, bør udetemperaturen og indetemperaturen derfor være henholdsvis $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Men da forskellen på at regne med en udetemperatur på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ eller $2\text{ }^{\circ}\text{C}$ er meget lille, giver standardbetingelserne angivet i DS/EN673 [7] center U_g -værdier der stemmer godt overens med de virkelige forhold for Danmark.

3.1.3 Glasantal

Antallet af glaslag i en rude har naturligvis også indflydelse på rudens center U-, τ - og g-værdi. Jo flere lag glas der er i ruden jo mindre bliver værdierne. U-, τ - og g-værdien afhænger dog i højere grad af de øvrige parametre, specielt lavemissionsbelægninger.

For at se på indflydelsen fra antallet af glas og lavemissionsbelægninger er der i programmet WIS regnet på 4 eksempler. Rudernes U- og g-værdi kan ses i Tabel 3.

2-lags termorude + 1 enkelt glas

Ruden er opbygget med 1 lag glas og en 2-lags termorude i koblede rammer. Enkeltglasset vender mod udeluften og der er i position 2 placeret en hård belægning med $\varepsilon = 0,10$. I termoruden er der placeret en blød lavemissionsbelægning med $\varepsilon = 0,04$ i rudens position 5. Glasafstanden i termoruden er 15 mm der er fyldt med en 90/10 Argon/luft blanding. Hulrummet mellem glassene i rammerne er 30 mm og luftfyldt.

3-lags termorude med 1 belægning

Ruden er opbygget af 2 almindelige glas plus et glas med en blød lavemissionsbelægning med $\varepsilon = 0,04$. Belægningen er placeret i position 5. Glasafstanden er i begge mellemrum 15 mm der er fyldt med en 90/10 Argon/luft blanding.

3-lags termorude med 2 belægninger

Ruden er opbygget af glas med blød lavemissionsbelægning med $\varepsilon = 0,04$ i position 2 og 5 samt et almindeligt glas i rudens midte. Glasafstanden er i begge mellemrum 15 mm der er fyldt med en 90/10 Argon/luft blanding.

2-lag termorude med 1 plastfolie

I stedet for en 3-lags rude, kan det midterste glas erstattes af en plastfolie. Folien medvirker til reduktion i både konvektionen og strålingen, hvilket reducerer U-værdien. Folien er 0,2 mm tyk og har en belægning med $\varepsilon = 0,15$. I modsætning til 3-lagsruden, vil der ikke være belægninger på selve glassene, da denne sidder på folien. Mellemrummene mellem glas og folie er 15 mm, fyldt med en 90/10 Argon/luft blanding.

Tabel 3. U_g-, τ - og g-værdi for 4 forskellige rudetyper.

	Belægning i position	U-værdi (W/m ² K)	τ -værdi	g-værdi
1 enkelt glas + 2-lags termorude	2+5	0,68	0,59	0,46
3-lags termorude, 1 belægning	5	0,89	0,69	0,55
3-lags termorude, 2 belægninger	2+5	0,61	0,64	0,45
2-lag termorude + 1 plastfolie	3	1,09	0,71	0,58

3.1.4 Afstandsprofil

Afstandsprofiler er traditionelt fremstillet af aluminium eller galvaniseret stål, der har en relativ stor varmeledningsevne, hvilket giver anledning til et forøget varmetab. Dette har medført, at en række nye typer afstandsprofiler med reduceret kuldebroeffekt er kommet på markedet og stadig flere er under udvikling.

En nærliggende forbedring af et vindues U-værdi er at skifte til et afstandsprofil af tyndt rustfrit stål.

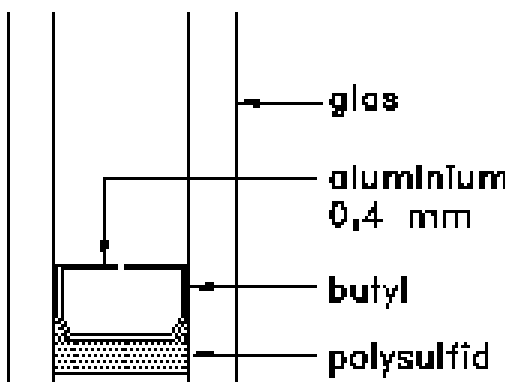
Ved at benytte rustfrit stål, eller et andet materiale med en lavere varmeledningsevne end aluminium, reduceres kuldebroeffekt og der opnås en forbedring af kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne, λ_k . Dette medfører at den lineære varmetabskoefficient, ψ_g , bliver mindre med en bedre U-værdi af vinduet til følge. Hvor meget U-værdien kan reduceres afhænger derfor bl.a. af størrelsen og udformningen af vinduet. g-værdien vil med en ændring af den ækvivalente varmeledningsevne ikke ændres nævneværdigt.

En forbedring af afstandsprofilet nedsætter yderligere risikoen for kondensdannelse på rudens randzone, grundet den højere overfladetemperatur der fremkommer lige over glaslisten. Kondens er hovedsagelig skyld i misfarvning af ramme-karmkonstruktionen, men vedvarende kondens kan være skyld i råd og svamp. Det skal derfor tilstræbes, at der så vidt muligt ingen risiko er for kondens.

I det følgende er den ækvivalente varmeledningsevne for forskellige kantkonstruktioner beregnet.

Traditionel kantkonstruktion med afstandsprofil af aluminium.

En traditionel kantkonstruktion består typisk af et afstandsprofil med en godstykkelse på 0,4 mm aluminium samt af 0,25 mm butyl på siderne og 3 mm polysulfid i bunden. Inde i en del af afstandsprofilet er der et tørstof. Opbygningen af en traditionel kantkonstruktion kan ses på Figur 12.

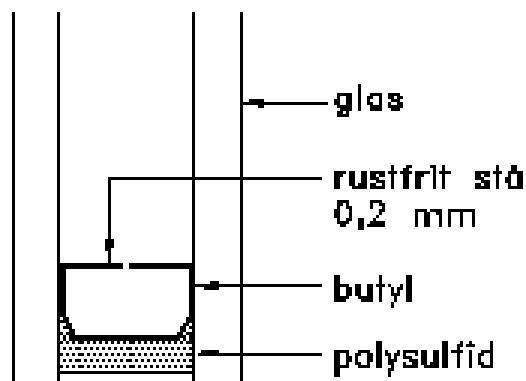


Figur 12. Traditionel kantkonstruktion med afstandsprofil af aluminium.

Den ækvivalente varmeledningsevne af sådanne kantkonstruktioner afhænger af glasafstanden i ruden. F.eks. er den beregnet til 1,4 W/mK for en kantkonstruktion med tykkelsen 6 mm, 2,6 W/mK ved 15 mm tykkelse og 4,0 W/mK for 24 mm tykkelse.

Traditionel kantkonstruktion med afstandsprofil af rustfrit stål.

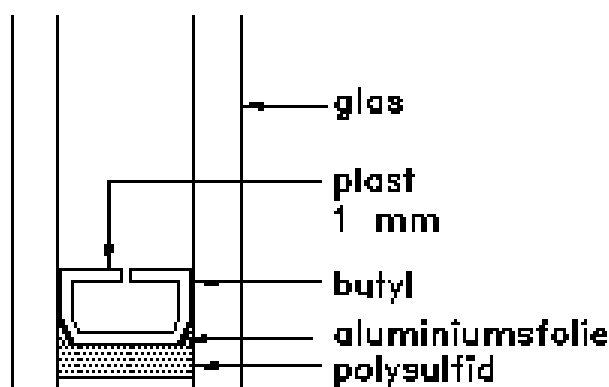
Hvis der i stedet for et afstandsprofil af aluminium benyttes et afstandsprofil af rustfrit stål, se Figur 13, kan den ækvivalente varmeledningsevne forbedres væsentligt. Den ækvivalente varmeledningsevne for kantkonstruktioner med et afstandsprofil af rustfrit stål er beregnet til 0,7 W/mK ved en samlet tykkelse på 15 mm.



Figur 13. Traditionel kantkonstruktion med afstandsprofil af rustfrit stål.

Kantkonstruktion med afstandsprofil af plast.

Alternativt kan der f.eks. benyttes en kantkonstruktion bestående af et afstandsprofil af plast med butyl, polysulfid og en aluminiumsfolie omkring. En sådan kantkonstruktion kan ses i Figur 14. Den ækvivalente varmeledningsevne af denne kantkonstruktion er beregnet til ca. 0,5 W/mK.

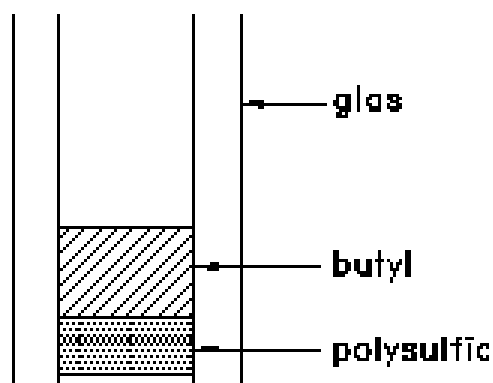


Figur 14. Kantkonstruktion med afstandsprofil af plast.

Kantkonstruktion af polysulfid og butyl.

En kantkonstruktion udelukkende bestående af polysulfid og butyl, er vist på Figur 15. Den ækvivalente varmeledningsevne af en sådan kantkonstruktion kan blive så lav som 0,3 W/mK.

De 3 sidstnævnte kantkonstruktioner er dog ikke godkendt i DS-mærkede ruder og kan derfor endnu ikke anvendes.



Figur 15. Kantkonstruktion af butyl og polysulfid.

Eksempel

Ved at foretage beregninger med forskellige kantkonstruktioner i et vindue med standardmålet 1230 · 1480 mm, kan forbedringen i vinduets U-værdi optegnes som funktion af kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne. Tykkelsen af kantkonstruktionen er 15 mm svarende til glasafstanden i ruden.

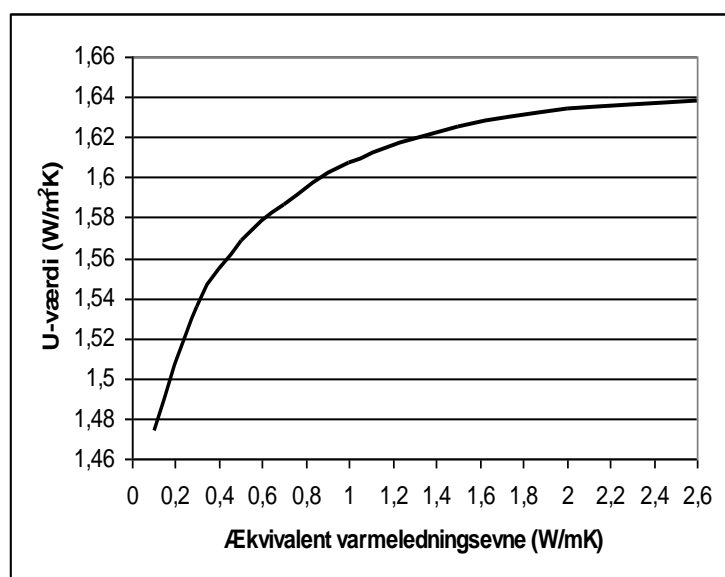
Som det ses af Figur 16 bliver vinduets U-værdi mindre jo lavere den ækvivalente varmeledningsevne bliver. Ændringen i U-værdi afhænger af kantkonstruktionens samlede længde i forhold til vinduets størrelse. For små vinduer og for vinduer med opdeltede ruder (dannebrogsvinduer, sprossede vinduer) er ændringen i U-værdi større end for den i eksemplet anvendte geometri.

For vinduet er der en tydelig gevinst ved at forbedre kantkonstruktionen. Der vil således opnås en reduktion af U-værdien på ca. 6 % ved at erstatte den nuværende kantkonstruktion med et afstandsprofil af aluminium (ækvivalent varmeledningsevne på 2,6 W/mK) med en kantkonstruktion med en ækvivalent varmeledningsevne på 0,3 W/mK.

I teorien vil man kunne fremstille kantkonstruktioner med en lavere ækvivalent varmeledningsevne end 0,3 W/mK. For at undersøge betydningen af en ideel kantkonstruktion er der medtaget en beregning for vinduet med en kantkonstruktion med en varmeledningsevne på 0,1 W/mK. Herved opnås en total reduktion i U-værdien på ca. 10 %.

I eksemplet er anvendt et konkret vindue. Hvor meget andre vinduers U-værdi kan reduceres ved en forbedring af deres kantkonstruktion afhænger af vinduets konkrete udformning. Forbedringen af U-værdien fremkommer ved at den lineære varmetabskoefficient, ψ_g , bliver mindre. Hvor meget afhænger af hvilken ramme-karmkonstruktion, rude og kantkonstruktion vinduet oprindeligt er sammensat af.

Udover en reduktion i U-værdien vil en kantkonstruktion med en lav ækvivalent varmeledningsevne medføre, at der vil være nedsat risiko for kondensdannelse på rudens randzone indvendigt.



Figur 16. Eksempel på hvorledes den ækvivalente varmeledningsevne har betydning for U-værdien af et vindue.

Kondensrisiko

Ved at beregne overfladetemperaturen på rudens inderside, nede ved glaslisten, kan man få en værdi for hvor stor risiko der er for kondens. Dette gøres ved hjælp af følgende udtryk angivet i EN ISO 10211-1 [6]:

$$f_{\text{Rsi}} = \frac{T_{\text{oi}} - T_{\text{u}}}{T_{\text{i}} - T_{\text{u}}}, \text{ hvor}$$

f_{Rsi} er kondensmodstandsfaktoren
 T_{oi} er overfladetemperaturen ved glaslisten
 T_{i} er lufttemperaturen indvendig
 T_{u} er lufttemperaturen udvendig

Som for energimærkningsdata defineres kondensmodstandsfaktoren ved ude- og indelufttemperaturerne 0 °C og 20 °C.

En højere overfladetemperatur giver således en større kondensmodstandsfaktor og altså mindre risiko for kondensdannelse.

Det kan antages, at kondensmodstandsfaktoren er konstant for inde- og ude-temperaturer i intervallet -10 °C – 20 °C, hvorfor overfladetemperaturen kan beskrives som funktion af kondensmodstandsfaktoren og udetemperaturen:

$$T_{\text{oi}} = f_{\text{Rsi}} \cdot T_{\text{oi}} + (1 - f_{\text{Rsi}}) \cdot T_{\text{u}}$$

Dette betyder, at det er muligt at beregne T_{oi} for hver time hele året rundt ved at benytte et referenceår for udetemperaturen. Et sådant referenceår findes bl.a. i tsbi3.

Ved hjælp af tsbi3 kan man ligeledes beregne den relative fugtighed og indetemperaturen på timebasis for en given bygning. På grundlag af disse to værdier er det muligt at beregne dugpunktstemperaturen, T_{d} , for hver time hele året rundt.

I de timer hvor T_{d} er større end T_{oi} vil der forekomme kondens.

Med grundlag i bygningen fra beregnings-eksemplet i DS 418 tillæg 4 [5], beregnes disse to temperaturer ved hjælp af beregnede værdier for inde- og udetemperaturen samt luftfugtigheden fra tsbi3.

Dugpunktstemperaturen er afhængig af fugttilførslen, luftskiftet og indetemperaturen i bygningen. Til denne beregninger er der

antaget at fugtavgivelsen for en gennemsnitsfamilie på 4 personer ligger mellem 5 og 10 kg i døgnet. Ved at påtrykke DS 418 huset 0,30 kg fugt i timen fås en fugttilførsel på 7,2 kg. Luftskiftet er valgt til 0,5 gange i timen. Indetemperaturen er 20 °C.

Ved at sammenligne de to temperaturer time for time for et referenceår, f.eks. i et regneark, kan man beregne hvor mange timer der vil være med kondens for forskellige kondensmodstandsfaktorer.

I appendiks A er fremgangsmåden yderligere beskrevet.

Figur 17 viser en kurve med antallet af timer i fyringssæsonen med kondensrisiko som funktion af kondensmodstandsfaktoren.

Kurven er kun vejledende, da der indgår mange parametre i beregningen. Hvis der f.eks. afgives mere fugt til huset eller hvis luftskiftet øges, vil antallet af timer med kondensrisiko ændres.

Eksempel

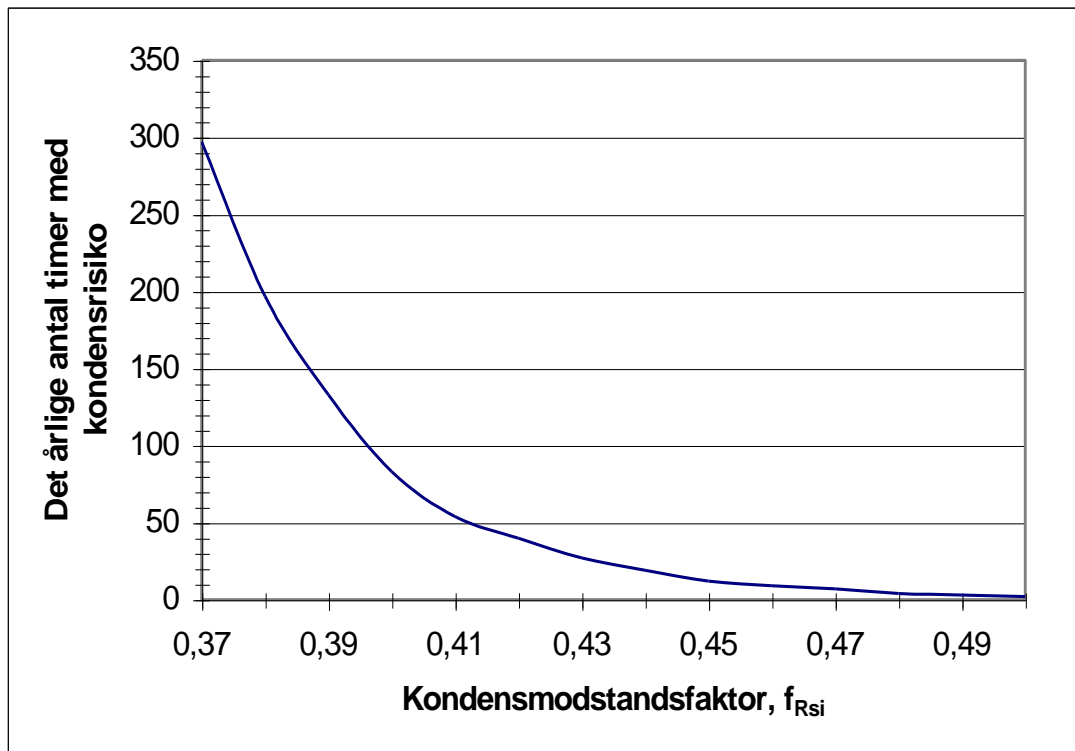
For et vindue med en rude med et afstandsprofil af aluminium, beregnes en overfladetemperatur, T_{oi} på 8,2°C. Denne overfladetemperatur giver en kondensmodstandsfaktor på:

$$f_{Rsi} = \frac{8,2^{\circ}\text{C}}{20^{\circ}\text{C}} = 0,41$$

På Figur 17 kan det årlige antal timer med kondensrisiko aflæses til ca. 50 timer.

Da kondensen er ansvarlig for misfarvning af vinduet, pga. svamp, er det målet at sørge for at der ingen risiko er for kondensdannelse, dvs. ved at øge T_{oi} . Dette kan f.eks. gøres ved at anvende bedre afstandsprofiler.

Ved at udskifte afstandsprofilet af aluminium med et af rustfrit stål, vil f_{Rsi} øges til 0,46 og dermed vil det årlige antal timer med kondensrisiko blive kraftigt formindsket.



Figur 17. Det årlige antal timer med kondensrisiko for vinduer.

3.2 Vinduer

Et vindues energimærkningsdata, U-værdi, τ -værdi og g-værdi er afhængig af forskellige parametre, herunder U_g -værdi, τ -værdi og g-værdi for den rude og U-værdien for den ramme-karmkonstruktion der er benyttet ved opbygningen, samt deres dimensioner. Ligeledes har glasandelen, det vil sige forholdet mellem arealet af den gennemsigtige del af vinduet og hele vinduets areal, en afgørende betydning for vinduets U-værdi, g-værdi og τ -værdi.

Dette ses direkte af de formler der benyttes til beregning af et vindues energimærkningsdata.

3.2.1 Glasandel

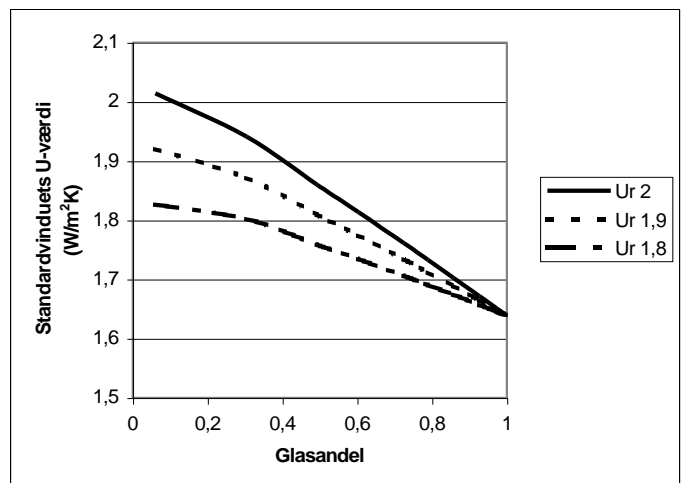
Ramme-karmkonstruktionen er typisk den del af et moderne vindue der har den dårligste U-værdi og dermed det største varmetab. Derfor er det en fordel at have så lille et ramme-karmareal som muligt. Hvis ramme-karmkonstruktionens og rudens U-værdi fastholdes fås det direkte ud fra ligningen til beregning af vinduets U-værdi, at jo mindre ramme-karmareal jo bedre U-værdi vil man kunne opnå. Reduktionen af vinduets samlede U-værdi er selvfølgelig afhængig af ramme-karmkonstruktionens U-værdi. I det følgende illustreres hvor stor betydning det har på vinduets samlede U-værdi når, der foretages en ændring i U-værdien på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ på henholdsvis ramme-karmkonstruktionen og ruden.

Eksempel

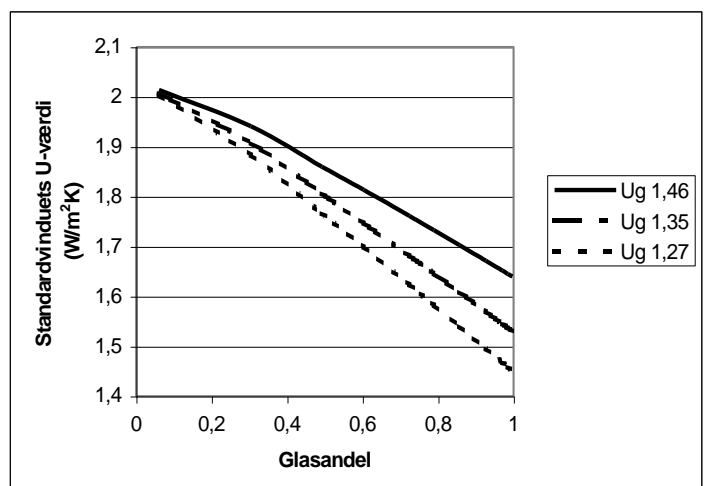
For at undersøge de forskellige parametres indflydelse på vinduets U-værdi tages der udgangspunkt i et standardvindue, med målene $1230 \text{ mm} \cdot 1480 \text{ mm}$. Standardvinduet rude er den tidligere beskrevne energirude, med en U-værdi på $1,46 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en g-værdi på $0,66$, mens U-værdien for ramme-karmkonstruktionen er $2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Den lineære transmissionskoefficient er $0,06 \text{ W/mK}$.

På Figur 18 ses ændringen i U-værdien for standardvinduet ved varierende glasandel for forskellige ramme-karm U-værdier.

Ligeledes vil en reduktion af rudens U-værdi medføre en reduktion i vinduets samlede U-værdi. Hvor stor denne reduktion er, afhænger som i tilfældet med ramme-karmkonstruktionen af rudens U-værdi. På Figur 19 ses reduktionen i vinduets U-værdi ved varierende glasandel og U_g .



Figur 18. Ramme-karmkonstruktionens U-værdi samt glasandelens betydning for vinduets samlede U-værdi.



Figur 19. Rudens U-værdi samt glasandelens betydning for vinduets samlede U-værdi.

For g - og τ -værdien gælder samme princip. Her kan ramme-karmkonstruktionens værdier dog ikke ændres, da disse er 0, men ved at øge rudens g - eller τ -værdi og/eller øge glasandelen, kan vinduets g - og τ -værdi øges.

Eksempel

Standardvinduet fra foregående eksempel har en ramme-karmbredde på 100 mm hvilket giver en glasandel på 72,4 %. Ruden har en U -værdi på 1,46 W/m^2K og en g -værdi på 0,66, mens U -værdien for ramme-karmkonstruktionen er 2,0 W/m^2K . Den lineære transmissionskoefficient er 0,06 W/mK .

Ved at foretage forskellige ændringer af rudens U -værdi og g -værdi samt af ramme-karmkonstruktionens bredde, og dermed vinduets glasandel, undersøges ændringerne i vinduets samlede U - og g -værdi. Der foretages 6 ændringer af standardvinduet.

Tiltagene og de deraf følgende værdier af vinduets U - og g -værdi kan ses i Tabel 4.

En formindskelse af ramme-karmkonstruktionens bredde kan ikke altid foretages uden at konstruktionen skal gøres stærkere, hvilket kan bevirke at U -værdien bliver større på grund af eventuelle metalforstærkninger. Varmetabet gennem ramme-karmkonstruktionen bliver således tilsvarende større og det medvirker til at vinduets U -værdi bliver større.

Men en dårligere U -værdi af ramme-karmkonstruktionen med en dårligere U -

værdi af vinduet til følge er ikke ensbetydende med, at det er en dårlig ide at minimere ramme-karmarealet, for jo mindre ramme-karmareal, jo større bliver glasarealet og dermed g -værdien og solindfaldet. Vinduets varmebalance kan således godt blive forbedret også selvom ramme-karmkonstruktionens U -værdi skulle blive så dårlig at hele vinduets U -værdi bliver dårligere end ved brug af et større ramme-karmareal med en mindre U -værdi. Dette vil blive nærmere undersøgt i afsnit 4.

Tabel 4. U - og g -værdien for standardvinduet ved forskellige ændringer af rudens U -værdi og g -værdi samt ændring af ramme-karmens bredde (vinduets glasandel).

Ændring	Rude		Glasandel (%)	Vindue	
	U_g (W/m^2K)	g		U (W/m^2K)	g
Standard	1,46	0,66	72,4	1,76	0,48
Rudens g -værdi	1,46	0,71	72,4	1,76	0,51
Rudens g -værdi	1,46	0,76	72,4	1,76	0,55
Rudens U -værdi	1,35	0,66	72,4	1,68	0,48
Rudens U -værdi	1,27	0,66	72,4	1,62	0,48
Ramme-karmbredde fra 100 til 75 mm	1,46	0,66	78,9	1,73	0,52
Ramme-karmbredde fra 100 til 50 mm	1,46	0,66	85,7	1,70	0,56

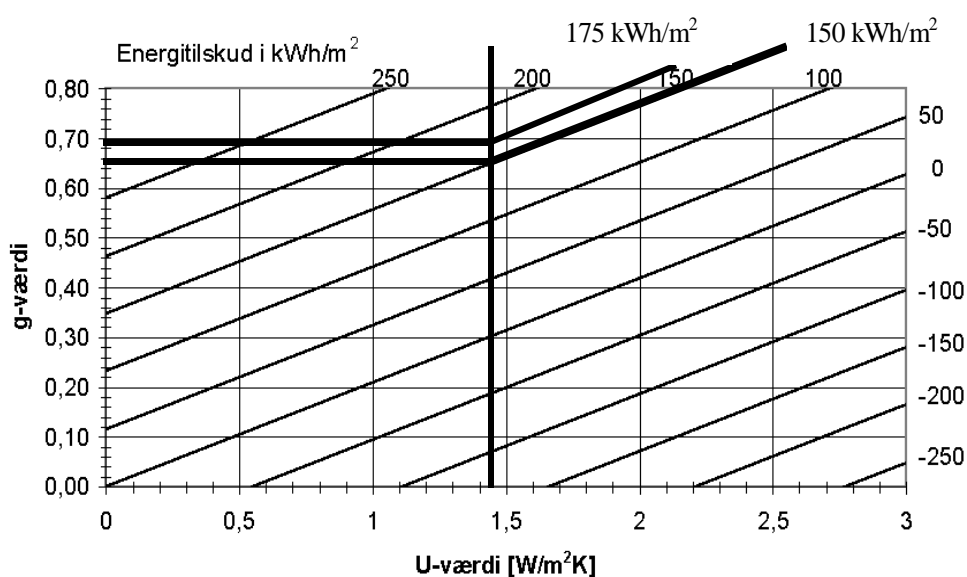
4 Muligheder for at øge ruder og vinduers energitilskud

I kompendium 1: Grundlæggende energimæssige egenskaber, er en simpel diagrammetode til at vurdere ruder og vinduers energitilskud beskrevet.

Metoden bygger på at man ud fra kendskab til den tilførte solenergi, dvs. den solenergi der transmitteres gennem ruden/vinduet til det bagvedliggende rum, samt varmetabet gennem ruden/vinduet, kan vurdere om ruden eller vinduet giver et positivt eller negativt energitilskud til bygningen. Energitilskuddet til bygningen er således den tilførte solenergi minus varmetabet gennem vinduet.

Ud fra kendskab til ruden eller vinduets U- og g-værdi samt orientering kan energitilskuddet bestemmes ved hjælp af diagrammer. Energitilskuddet i fyringssæsonen for en sydvendt rude eller vindue kan aflæses af diagrammet i Figur 20.

I appendiks C findes diagrammer for lodrette og skrå (45° hældning) ruder og vinduer orienteret mod hhv. nord, syd og øst/vest, samt et diagram for vandrette ruder og vinduer.



Figur 20. Energitilskud for lodrette, sydvendte ruder og vinduer i fyringssæsonen.

I diagrammerne Figur 20 og Figur 37 – 43 er der ikke taget hensyn til nære eller fjerne skygger og udnyttelsesgraden for den transmitterede solstråling. En simpel korrektion for skygge og udhæng kan foretages ved at gange vinduets g-værdi med en skyggekorrektionsfaktor F_s . Skyggefaktoren kan vurderes vha. SBI-anvisning 184.

I de følgende afsnit tages udgangspunkt i ovennævnte metode og de i afsnit 3 beskrevne ruder og vinduer.

Tabel 5. Energitilskud for 7 forskellige lodrette sydvendte ruder.

Rude Nr.	Rudetype	U-værdi [W/m ² K]	g-værdi	Energitilskud [kWh/m ²]
1	Standardrude	1,46	0,66	150
2	Standardrude, yderste glas jernfattigt	1,46	0,71	175
3	Standardrude, yderste glas AR-behandlet jernfattigt	1,46	0,75	190
4	1 enkelt glas + 2-lags termorude	0,68	0,46	137
5	3-lags termorude + 1 belægning	0,89	0,55	157
6	3-lags termorude + 2 belægninger	0,61	0,45	139
7	2-lag termorude + 1 plastfolie	1,09	0,58	152

4.1 Rude

4.1.1 Jernfrit glas

Eksempel

For standardvinduet's rude, med en U_g - og g -værdi på henholdsvis 1,46 W/m²K og 0,66, kan man ved at udskifte det yderste glas med et jernfattigt glas ændre g -værdien fra 0,66 til 0,71. U -værdien ændres ikke ved denne udskiftning.

Ifølge Figur 20 giver dette en stigning i standardrudens energitilskud fra ca. 150 kWh/m² til ca. 175 kWh/m².

Hvis det yderste glas samtidig var antirefleksbehandlet, ville g -værdien stige til 0,75 og energitilskuddet yderligere stige til ca. 190 kWh/m².

I afsnit 3.1.3 er der beregnet U_g - og g -værdier for 4 rudetyper. For disse rudetyper er energitilskuddet fundet ved hjælp af Figur 20 og angivet i Tabel 5 (rude nr. 4 – 7).

Af eksemplet ses, at energitilskuddet fra ruder afhænger af både U - og g -værdien og ruden med den laveste U -værdi giver ikke nødvendigvis det største energitilskud.

4.1.2 Referencehusmetoden og klassifikation af ruder

I ovenstående eksempel er der kun regnet for sydvendte ruder uden hensyntagen til skyggeforhold mm. I forbindelse med udvikling af energirigtige ruder vil det ofte være relevant, at kunne vurdere rudens energimæssige egenskaber i forhold til et helt hus, hvor ruderne ikke kun er sydvendte, men fordelt på flere orienteringer. Endvidere kan der tages hensyn til skyggeforhold, som har indflydelse på energitilskuddet. Ved at anvende referencehusmetoden som er beskrevet i kompendium 1: Grundlæggende energimæssige egenskaber, kan det samlede energitilskud til et referencehus bestemmes for en given rude.

En rudes energitilskud til referencehuset beregnes ved hjælp af udtrykket:

$$E_{\text{reference}} = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U$$

Hvor

U er rudens varmetransmissionskoefficient og g er den totale solenergitransmittans. I referencehusmetoden regnes med en skyggekorrektionsfaktor på 0,7. Ruders energitilskud til referencehuset kan ligeledes findes ved hjælp af diagrammet i Figur 44.

Ud fra energitilskuddet til referencehuset klassificeres ruden i en af klasserne A, B eller C, som angivet i Tabel 2.

Eksempel

I dette eksempel anvendes referencehusmetoden til at bestemme det samlede energitilskud for de syv ruder fra foregående eksempel placeret i referencehuset.

Beregnet energitilskud til referencehuset i fyringssæsonen for de syv ruder i Tabel 5 samt deres tilhørende energiklasser ses i Tabel 6.

Tabel 6. Energitilskud og energiklasse bestemt vha. referencehusmetoden. Ruder fra Tabel 5.

Rude nr.	Energitilskud [kWh/m ²]	Energiklasse
1	-2	-
2	8	C
3	15	B
4	29	A
5	28	A
6	33	A
7	15	B

Det ses af Tabel 6 at det samlede energitilskud til referencehuset for alle de syv ruder er væsentligt mindre end energitilskuddet beregnet i Tabel 5 for de samme ruder orienteret mod syd. Det skyldes dels korrektionen for skygger og dels at energitilskuddet er mindre for ruder orienteret mod nord, øst og vest. Endvidere fremgår det, at U-værdien har større indflydelse, når der regnes for vinduesfordeling i et helt hus, end når der kun regnes for sydvendte ruder, selv om en lavere U-værdi ofte medfører en lavere g-værdi. Rude nr. 4 og 6 som i foregående eksempel gav de mindste energitilskud giver med referencehusmetoden de største energitilskud.

Standardruden (rude nr. 1) er den eneste som giver et negativt energitilskud, hvorfor den også er den eneste, som ikke kan klassificeres. De øvrige kan alle klassificeres og fordeler sig på de tre klasser med rude 4, 5 og 6 som de bedste.

Ved udvikling af ruder kan man på denne måde bruge ruders energiklasse til på en simpel måde at vurdere ruders energimæssige egenskaber i forhold til referencehuset.

Klassifikationen bør kun anvendes i forbindelse med udvikling af ruder til opvarmingsdominerede bygninger. I f.eks. kontorbyggerier, hvor der ofte er stor intern varmeproduktion, kan ruder med stort energitilskud give anledning til overtemperaturer. En rude i energiklasse A er derfor ikke at foretrække her. Klassifikationen er således ikke egnet til valg af ruder i kontorbyggeri.

Referencehusmetoden og klassifikationen bør endvidere kun anvendes i forbindelse med udvikling af ruder til huse, hvor vinduesfordeling, orientering og skyggeforhold ikke afviger væsentligt fra referencehuset.

4.2 Glasandel

Eksempel

Som tidligere beskrevet har standardvinduet en glasandel på 72,4 %, hvilket giver vinduet en U-værdi på 1,76 W/m²K og en g-værdi på 0,48. Ved hjælp af diagrammet i Figur 20 fås et energitilskud i fyringssæsonen for et sydvendt vindue på ca. 48 kWh/m².

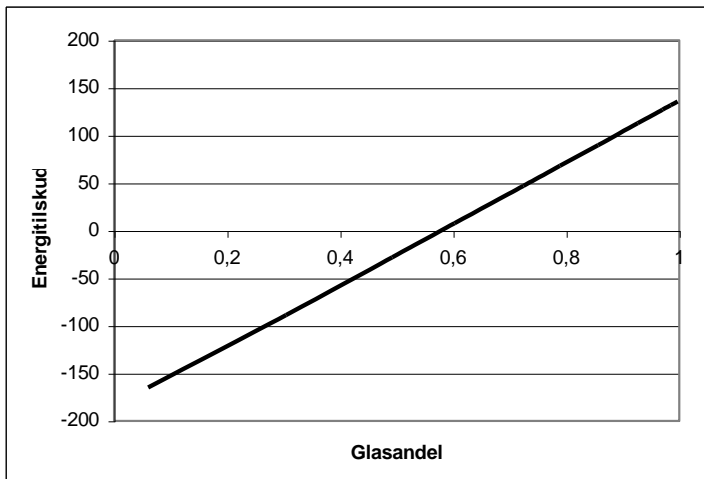
Ved at foretage 6 forskellige ændringer på standardvinduet vil U- og g-værdien og dermed energitilskuddet ændre sig.

Energитilskuddet ved de 6 forskellige tiltag kan ses i Tabel 7.

Af Tabel 7 ses det bl.a. at energitilskuddet bliver ca. 20 % større ved at gøre rudens g-værdi 0,05 større. Ligeledes fremgår det, at energitilskuddet øges med ca. 12 % ved at gøre rudens U-værdi 0,11 W/m²K mindre. Endvidere viser det sig, at ved at ændre ramme-karmbredden fra 100 mm til 75 mm øges energitilskuddet med næsten 42 %.

Der vil således kunne opnås den største ændring ved at minimere ramme-karmbredden.

Figur 21 viser standardvinduet's energitilskud som funktion af glasandelen, når det er sydvendt. Det ses, at ved en glasandel på ca. 58 % bliver energitilskuddet 0. Kurvens hældningen viser, at en 5 % større glasandel forøger energitilskuddet med ca. 16 kWh/m².



Figur 21. Energитilskud som funktion af glasandelen for det sydvendte standardvindue.

Tabel 7. Energитilskuddet for standardvinduet (sydvendt) ved forskellige ændringer af rudens U-værdi og g-værdi samt ændring af ramme-karmens bredde (vinduet's glasandel).

Ændring	Rude		Glasandel (%)	Vindue		Energитilskud
	U _g (W/m ² K)	g		U (W/m ² K)	g	
Standard	1,46	0,66	72,4	1,76	0,48	48
Rudens g-værdi	1,46	0,71	72,4	1,76	0,51	61
Rudens g-værdi	1,46	0,76	72,4	1,76	0,55	78
Rudens U-værdi	1,35	0,66	72,4	1,68	0,48	55
Rudens U-værdi	1,27	0,66	72,4	1,62	0,48	61
Ramme-karmbredde fra 100 til 75 mm	1,46	0,66	78,9	1,73	0,52	68
Ramme-karmbredde fra 100 til 50 mm	1,46	0,66	85,7	1,70	0,56	88

At energitilskuddet øges når U-værdien bliver mindre og g-værdien større er ikke overraskende og fremgår direkte af Figur 20.

Men hvad vil der ske hvis både U-værdien og g-værdien bliver større?

For kurverne i Figur 20 gælder det generelt, at et fald i vinduers eller ruders U-værdi på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ vil opvejes af et fald i g-værdien på $0,021$. Det vil omvendt sige, at der vil kunne opnås øget energitilskud hvis der ved en stigning i vinduets U-værdi på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ opnås en stigning i g-værdien større end $0,021$.

For nordvendte vinduer og ruder, hvor der ikke kommer så meget solenergi gennem vinduet, skal der en stigning i g-værdien på $0,087$ for at opveje en stigning i U-værdien på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.

For øst/vest-vendte vinduer og ruder, skal g-værdien øges med $0,039$ for at opveje en stigning på $0,1 \text{ W/m}^2\text{K}$ i U-værdien.

Eksempel

Som illustration af, at det ikke kun er U-værdien, men i høj grad også g-værdien, der er afgørende for et vindues energitilskud, ses igen på standardvinduet, men denne gang med 2 forskellige ramme-karm-konstruktioner.

Standardvinduet U- og g-værdi er tidligere beregnet til henholdsvis $1,76 \text{ W/m}^2\text{K}$ og $0,48$. Vinduet har med en ramme-karmbredde på 100 mm en glasandel på $72,4 \%$

Hvis ramme-karmbredden halveres til 50 mm samtidig med at U-værdien fordobles til $4,0 \text{ W/m}^2\text{K}$, fås en U-værdi for vinduet på $1,99 \text{ W/m}^2\text{K}$. Med 50 mm ramme-karmbredde haves en glasandel på $85,6 \%$ hvilket giver en g-værdi på $0,56$.

Der er altså tale om en stigning i U-værdien på $0,23 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hvis vinduet er sydvendt skal der således ske en stigning i g-værdien på ca. $0,048$ ($2,3 \cdot 0,021$) for at energitilskuddet bliver større. Da g-værdien stiger med $0,08$ burde energitilskuddet derfor blive større.

Standardvinduet energitilskud er fastlagt til 48 kWh/m^2 i Tabel 7. Det andet vindues

energitilskud kan aflæses til ca. 62 kWh/m^2 . Energitilskuddet fra det andet vindue bliver som forventet større.

Selv om vinduets U-værdi bliver større ved at benytte en ramme-karmkonstruktion med en væsentlig højere U-værdi, gør den større glasandel og dermed større g-værdi, at det samlede energitilskud fra vinduet bliver større.

Hvis vinduet var nordvendt ville stigningen i g-værdien på $0,08$ ikke være nok til at få et øget energitilskud. I dette tilfælde vil det således være nødvendigt at øge g-værdien yderligere.

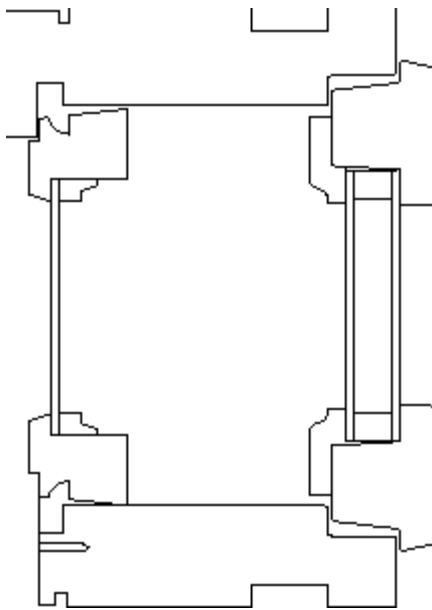
Det skal bemærkes, at der ikke er korrigeret for eventuelle skygger forårsaget af vinduets udformning eller placering. Korrektion for skygger vil medføre at gevinsten ikke bliver så stor som i eksemplet, da g-værdierne vil blive mindre og ligge tættere på hinanden.

En simpel korrektion for skygger kan foretages ved at gange vinduets g-værdi med en skyggekorrektionsfaktor F_s , hvorved der fremkommer en korrigeret g-værdi. Energitilskuddet findes så ved at benytte den korrigerede g-værdi ved aflæsning i diagrammerne. Den korrigerede g-værdi for et vindue mht. skygger kan bestemmes af udtrykket

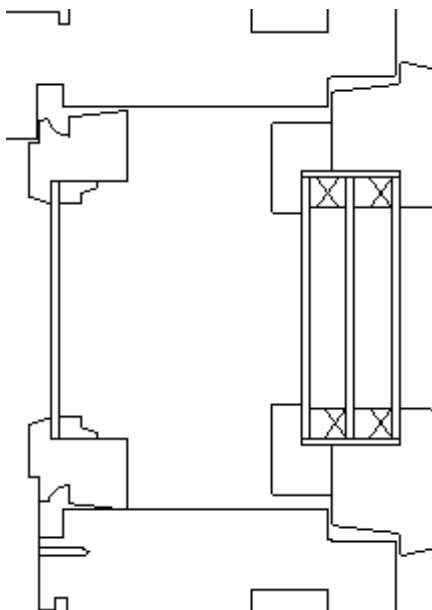
$$g_{\text{korrigeret}} = g \cdot F_s$$

Hvor g er g-værdien for vinkelret solindfald. Skyggefaktoren F_s kan vurderes vha. SBI-anvisning 184.

Hvis der f.eks. regnes med en korrektionsfaktor for skygger på $0,8$ vil stigningen i g-værdien kun blive $0,064$ ($0,8 \cdot 0,08$). I dette tilfælde har den mindre stigning i g-værdien ingen betydning, da denne stigning i g-værdien er nok til at give et større energitilskud (stadig med undtagelse for nordvendt vindue). Men der vil være andre tilfælde hvor den mindre stigning i g-værdien vil ændre resultatet.



Figur 22. Finsk 2-lags termorude med koblet ramme. Venstre side vender udad.



Figur 23. Finsk 3-lags termorude med koblet ramme. Venstre side vender udad.

5 Udviklingsbehov og – muligheder for ruder og vinduer

Dette afsnit tager udgangspunkt i hvilke udviklings- og forbedringsmuligheder der er for danske vinduer inden for en 5-årig periode. Til det formål undersøges hvordan udenlandske vinduer er opbygget, samt hvilke ideer der ligger til grund for disse vinduer. Da der er tale om en tidshorizont på 5 år, er emner som effektive vakuumruder og andre mere forskningsorienterede områder ikke medtaget.

5.1 Udenlandske ideer til forbedringer

I forbindelse med at undersøge hvilke ideer andre lande har omkring udviklingen af energirigtige vinduer, er der set på vindueskonstruktioner fra Finland, Sverige, Tyskland, USA og Canada. Dette afsnit beskriver disse forskellige landes ideer og skal medvirke til inspiration hos danske producenter.

5.1.1 Finland

I Finland er de mest benyttede vinduer til nybyggeri konstrueret af en ramme-karmkonstruktion af træ med koblede rammer, med en enkeltrude og en 2-lags eller 3-lags termorude med 1 eller 2 lavemissionsbelægninger.

På Figur 22 og Figur 23 er konstruktionerne vist. Bredden af ramme-karmkonstruktionerne er mellem 170 – 200 mm. De to konstruktioner kan fås i forskellige kombinationer med hensyn til belægninger og gasfyldninger, hvilket betyder at U-værdien for vinduer med disse ramme-karmkonstruktioner ligger mellem 0,7 og 1,7 W/m^2K .

Konstruktionen vist i Figur 23 fås også en udgave, hvor det midterste glas er udskiftet med en folie med en lavemissionsbelægning.

For yderligere information henvises til VTT Building Technology som kan kontaktes fra internetadressen www.vtt.fi.

5.1.2 Sverige

I 1991 udskrev NUTEK en konkurrence som havde til formål at fremme udviklingen af mere energieffektive vinduer. Konkurrencen gik ud på at producere et vindue der kunne præstere en U-værdi på max. $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ og en τ -værdi på min. 0,6. Endvidere skulle vinduerne bl.a. opfylde krav m.h.t. styrke, luft- og regntæthed.

Der blev kåret to vindere af konkurrencen: Johs. Rasmussen a.s. (Nor-Dan Vinduer-Dører) og AB Överums Fönsterfabrik.

De to vindervinduer overholdt kravene om U-værdien og sollystransmittansen, men hos begge var der emner, der skulle undersøges og forbedres, bl.a. skulle vægten reduceres.

Forbedringerne blev foretaget i samarbejde med NUTEK og udformningen af vinduerne efter disse forbedringer kan ses i Figur 24 og Figur 26.

Vinduet fra Johs. Rasmussen kan fås i to versioner med forskellige ruder. Med ønsket om at reducere vægten, samt øge sollystransmittansen blev muligheden for at erstatte 3-lags ruden med en 2-lags rude derfor undersøgt. Målet var at holde U-værdien under $1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$. Figur 25 viser udformningen af dette vindue.

Størrelsen af vinduerne er $1000 \cdot 1200 \text{ mm}$.

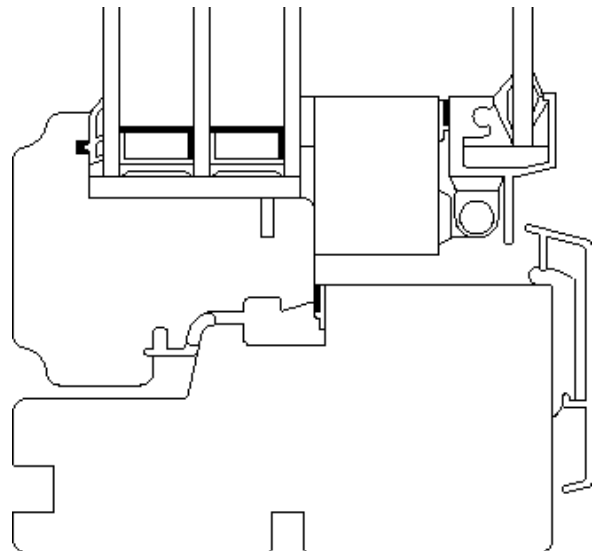
U-værdierne og sollystransmittansen for de tre vinduer kan ses af Tabel 8.

Yderligere oplysninger om konkurrencen og de deltagende vinduer kan fås af [8].

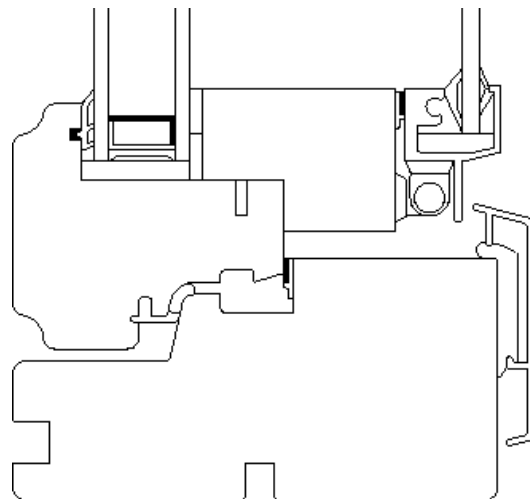
Endvidere kan NUTEK besøges på internet-adressen www.nutek.se, hvor yderligere publikationer om emnet kan findes.

Tabel 8. U- og τ -værdier for vinduer fremstillet af Johs Rasmussen og AB Överum.

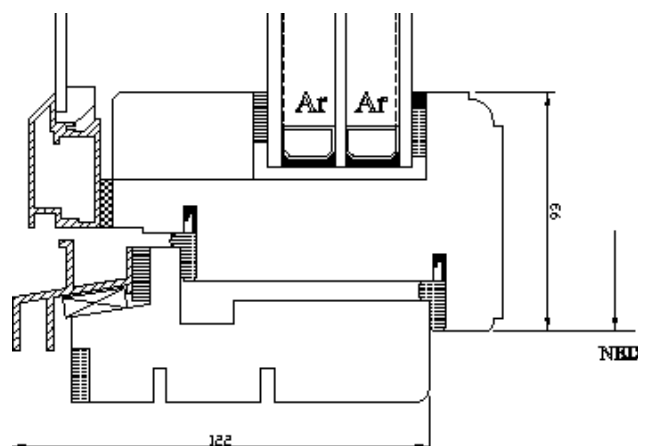
Producent	U-værdi ($\text{W/m}^2\text{K}$)	τ -værdi	Vægt (kg)
Överum	0,88	0,6	62
Johs R.	0,86	0,63	54
Johs R.	0,98	0,65	52



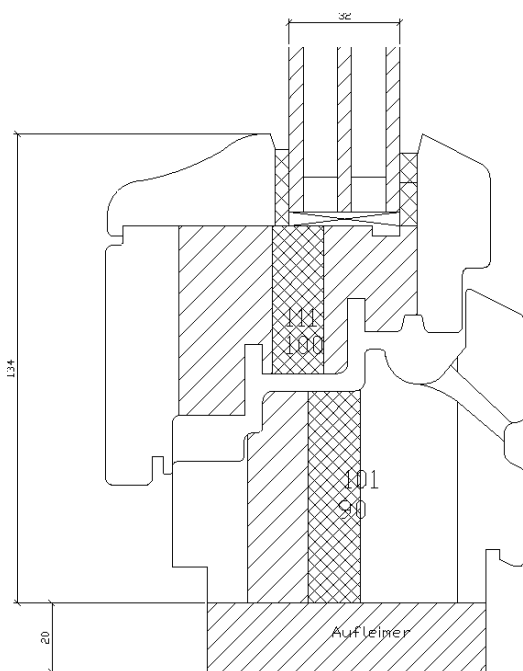
Figur 24. Vindue fra Johs. Rasmussen. Højre side er udad.



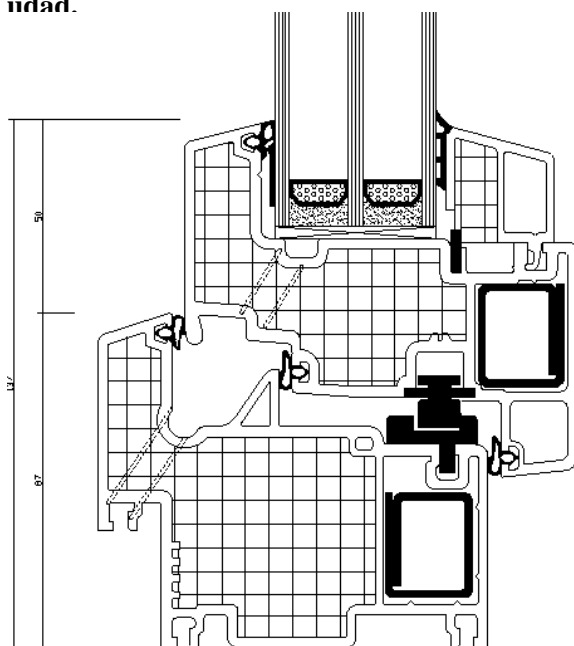
Figur 25. Vindue fra Johs. Rasmussen. Højre side er udad.



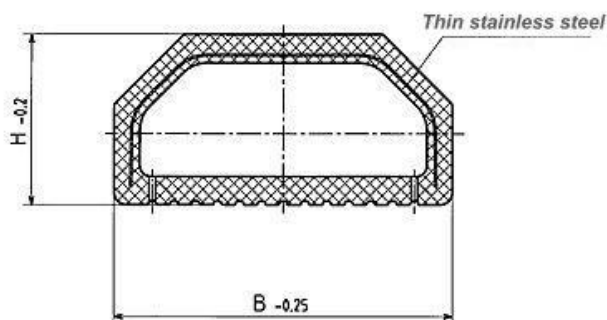
Figur 26. Vindue fra AB Överum. Venstre side er udad.



Figur 27. Vindue fra Striegel GmbH. Højre side udsnit.



Figur 28. Eurotec's eCO₂ vindue. Venstre side udsnit.



Figur 29. Afstandsprofil fra Thermix.

5.1.3 Tyskland

I Tyskland er flere virksomheder begyndt at udvikle ramme-karmkonstruktioner af træ med purenit og polyuretan inde i konstruktionen. Vinduer med disse ramme-karmkonstruktioner kan opnå U-værdier helt ned til $0,7 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Firmaet Striegel GmbH er et af de firmaer der producerer ovennævnte typer ramme-karmkonstruktioner, og på Figur 27 kan et eksempel på en sådan konstruktion ses.

Firmaet Puren er en anden af de virksomheder der beskæftiger sig med udviklingen af bedre vinduer. Dette gør de ikke kun ved at udvikle nye ramme-karmkonstruktioner, men også ved at udvikle nye kuldebroafbrydelser o.l. For yderligere oplysninger om deres produkter og ideer henvises til www.puren.com.

Virksomheden Eurotec har udviklet en ramme-karmkonstruktion af PVC med isolering i hulrummene. Et vindue med denne konstruktion kan opnå en U-værdi ned til $0,8 \text{ W/m}^2\text{K}$. På Figur 28 kan udformningen af denne ramme-karmkonstruktion ses.

For yderligere oplysninger, henvises til www.eco2.de hvor der også kan bestilles brochurer på dette og andre produkter.

De nye ramme-karmkonstruktioner har bevirket at ψ -værdien har fået større betydning for vinduets samlede U-værdi, og virksomhederne har derfor været tvunget til at udvikle nye afstandsprofiler der kan reducere ψ -værdien. En af disse virksomheder er Thermix, som har udviklet det på Figur 29 viste afstandsprofil udført af plast med en godstykkelser på $1,3 \text{ mm}$, hvor der inde i plasten er en meget tynd dampspærre af rustfrit stål. Den ækvivalente varmeledningsevne for afstandsprofilet er beregnet til ca. $0,3 \text{ W/mK}$.

For yderligere oplysninger henvises til www.thermix.de, hvor der kan bestilles brochurer og rapporter vedrørende dette og andre af firmaets produkter.

5.1.4 USA og Canada

I USA og Canada arbejdes der med ramme-karmprofiler af glasfiberarmeret polyester, da disse materialer har en lav varmeledningsevne. Udover den lave varmeledningsevne har denne type ramme-karmkonstruktioner mange hulrum, som giver mulighed for at reducere U-værdien yderligere. Dette kan gøres ved at reducere den ækvivalente varmeledningsevne af disse hulrum.

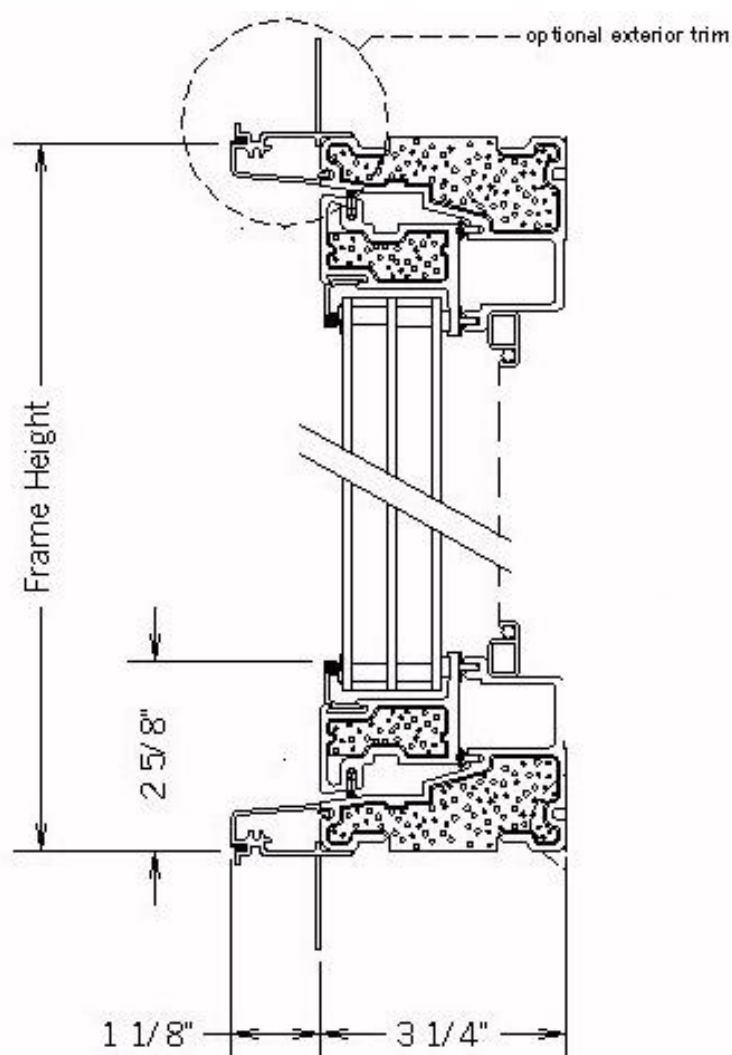
Glasfiberarmeret polyester er et meget velegnet materiale til brug i ramme-karmkonstruktioner grundet materialets fysiske og mekaniske egenskaber, som f.eks. lav varmeledningsevne, stor styrke og god modstandsdygtighed over for fugt og korrosion. Ofte benyttes materialet i kombination med andre materialer som træ, PVC og aluminium. På den måde udnyttes egenskaberne fra hvert materiale bedst muligt.

Glasfiberarmeret polyester udmærker sig ved at have en lav, men samme styrke som metal. Sammenlignet med ramme-karmkonstruktioner af PVC, kan metalafstivere i konstruktioner af glasfiberarmeret polyester derfor helt undgås. Endvidere gør den store styrke det muligt at producere ramme-karmkonstruktioner med mindre godstykkelse end ved konstruktioner af PVC, og derved reducere varmestrømmen gennem konstruktionen.

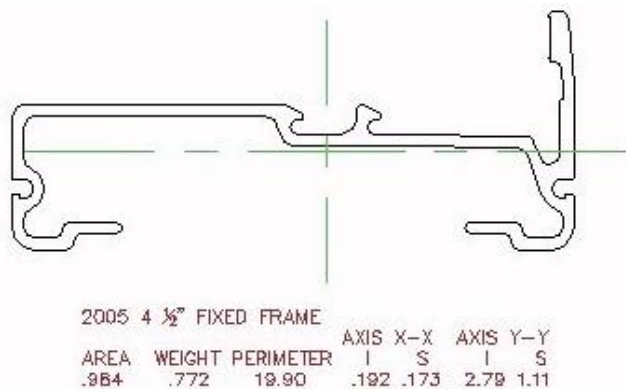
Udover den store styrke, er materialet meget modstandsdygtig over for fugt og korrosion, hvilket gør materialet velegnet til at benytte som beklædning udenpå f.eks. træ i stedet for de almindelige aluminiumsbeklædninger.

Firmaet Omniglass Ltd. er en af de virksomheder, der har specialiseret sig i at fremstille ramme-karmkonstruktioner af glasfiberarmeret polyester. De har fremstillet forskellige vinduer og døre af glasfiberarmeret polyester i en serie kaldet Fibertherm™. På Figur 30 ses et eksempel på et vindue i serien Fibertherm™.

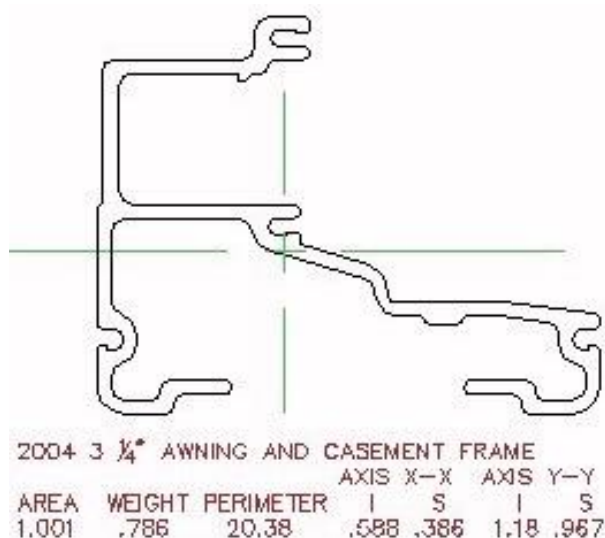
Det kan være vanskeligt ud fra Figur 30 at se hvorledes ramme-karmkonstruktionen er sammensat af 3 forskellige dele. Derfor er enkeltdele vist på Figur 32 - Figur 33.



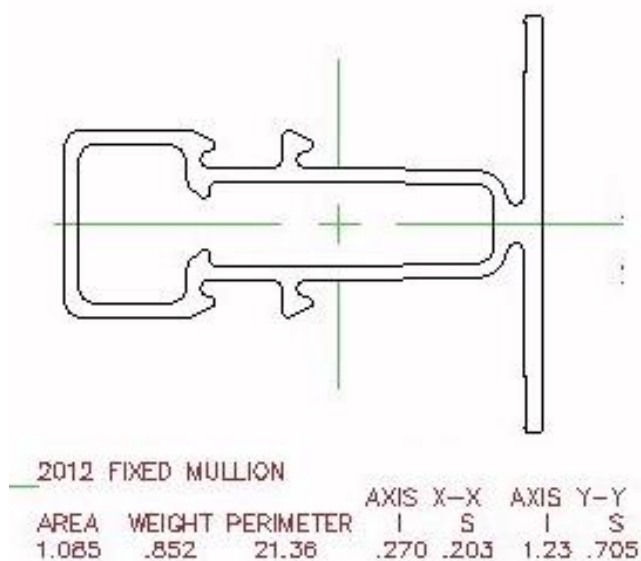
Figur 30. Omniglass Ltd. vindue af glasfiberarmeret polyester.



Figur 32. Del der indgår i Omniglass´ramme-karmkonstruktion af glasfiberarmeret polyester.



Figur 31. Del der indgår i Omniglass´ramme-karmkonstruktion af glasfiberarmeret polyester.



Figur 33. Del der indgår i Omniglass´ramme-karmkonstruktion af glasfiberarmeret polyester.

For yderligere informationer omkring glasfiberarmeret polyester og eksempler på ramme-karmkonstruktioner henvises til Omniglass´ internetside: www.omniglass.com. Her findes også links til andre virksomheder der benytter sig af glasfiberarmeret polyester til fremstilling af ramme-karmkonstruktioner.

Som nævnt er der gode muligheder for at reducere U-værdien i ramme-karmprofiler af plast/PVC. Der arbejdes med 3 metoder at gøre dette på:

1. Metoden bygger på at formindske hulrummenes størrelse, da flere små hulrum isolerer bedre end få store. Et hulrums størrelse kan f.eks. formindskes ved indsættelse af tynde skillevægge af plastmaterialet inde i hulrummet. Skillevæggene er ikke en bærende eller afstivende del af ramme-karmkonstruktionen og kan derfor være meget tynde. Skillevæggene kan fremstilles som en del af ekstruderingsprocessen. For at opnå optimal udnyttelse af skillevægsmetoden, skal skillevæggene placeres vinkelret på varmestrømmen gennem ramme-karmkonstruktionen.
2. Metoden bygger på at reducere strålingsudvekslingen i hulrummet og på den måde reducere den ækvivalente varmeledningsevne. Et hulrums ækvivalente varmeledningsevne afhænger af både konvektion og stråling. Ved at reducere emissiviten af hulrummets overflader, kan strålingsbidraget og dermed den ækvivalente varmeledningsevne for hulrummet reduceres.

3. Metoden bygger på at fylde hulrummene med isoleringsmateriale. Selv om stillestående luft har en god isoleringsevne, vil kun meget små hulrum have en varmeledningsevne svarende til den for polyuretanskum ($\lambda = 0,026 \text{ W/mK}$). Ramme-karmkonstruktionernes U-værdi kan derfor i langt de fleste tilfælde reduceres ved at fylde hulrummene med skum.

En fordel ved metode 3 er, at den ikke kun kan bruges til nye ramme-karmkonstruktioner, men også ved renovering af ældre vinduer.

Eksempel

En ramme-karmkonstruktion af plast, som vist i Figur 34 har mange hulrum, hvorfor konstruktionen er velegnet til at undersøge ovenstående metoder. Ved hjælp af beregningsprogrammet Therm er de tre metoders muligheder for at reducere U-værdien undersøgt.

For at kunne sammenligne reduktionsmulighederne og for at kunne udføre metode 2 er det nødvendigt at regne detaljeret på hulrummene i konstruktionen, bl.a. med strålingsudveksling mellem fladerne. Dette afviger fra den almindelige behandling af hulrum i Therm.

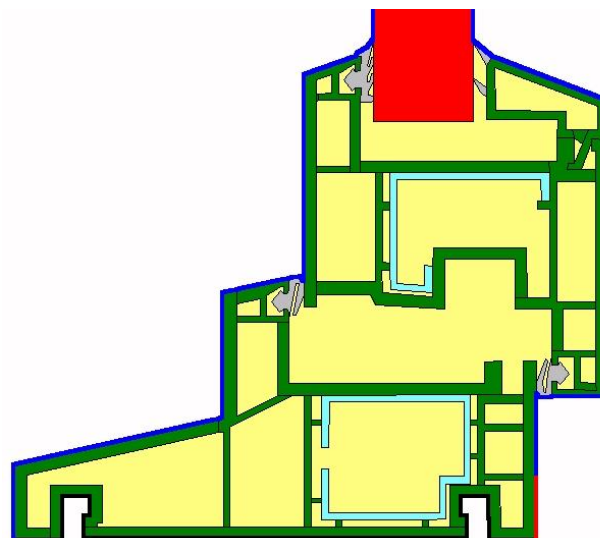
U-værdien for ramme-karmkonstruktionen i Figur 34 er beregnet til $1,71 \text{ W/m}^2\text{K}$ ved simpel beregning af hulrummene. Denne U-værdi fås også ved brug af den detaljerede beregning.

Metode 1: Mindre hulrum

Hulrummene i konstruktionen er delt op, således at der fås mange små hulrum i stedet for få store, se Figur 35.

U-værdien for konstruktionen er beregnet til $1,58 \text{ W/m}^2\text{K}$, hvilket er en reduktion på ca. 8 %.

I modellen er der foretaget mange opdelinger af hulrummene. I praksis er en sådan opdeling af hulrummene nok ikke være mulig på grund af produktionsmetoderne og besparelsen vil ikke derfor ikke blive helt så stor som de 8 % antyder.



Figur 34. Oprindelig model af vindue



Figur 35. Vindue med hulrum opdelt.



Figur 36. Vindue med isolering i hulrum.

Metode 2: Reduceret stråling i hulrum

Der er muligt at nedsætte varmeledningsevnen i hulrummene ved at reducere strålingsudvekslingen mellem overfladerne. Dette kan gøres ved at påføre overfladerne en belægning med en lavere emissivitet. I dette eksempel er et tænkt materiale med en emissivitet på 0,2 påført overfladerne.

U-værdien for konstruktionen er beregnet til $1,35 \text{ W/m}^2\text{K}$, hvilket er en reduktion på ca. 20 %

Metode 3: Fylde hulrum med isolering

Ved at fylde hulrummene med isolering, undgås der stråling og varmeledningsevnen af hulrummene kan dermed nedsættes. U-værdien for konstruktionen bliver $1,45 \text{ W/m}^2\text{K}$, hvilket er en reduktion på ca. 15 %. Konstruktionen med fyldte hulrum kan ses i Figur 36.

Litteratur

- [1] *Vedtægt for mærkningsordningen Energimærkning af vinduer og ruder. Marts 2005*
- [2] *Energimærkning. Tekniske Bestemmelser for ruder. Januar 2008*
- [3] *Energimærkning. Tekniske Bestemmelser for vinduer. Marts 2008*
- [4] *DS 418 – 6. Udgave - Beregning af bygningers varmetab. Dansk Standard*
- [5] *Tillæg 4 til DS 418 Beregning af bygningers varmetab. Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og –vægge samt samlinger omkring vinduer og døre.*
- [6] EN ISO 10211-1. Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Part 1: General calculation rules.
- [7] DS/EN 673. Glass in building – Determination of thermal transmittance (U value) – Calculation method.
- [8] Technology Procurement of Energy-efficient Windows. Department of Energy Efficiency National Board for Industrial and Technical Development, NUTEK. Februar 1994.
- [9] *Design Reference Year, DRY - et nyt dansk referenceår*
Jerry Møller Jensen og Hans Lund
Institut for Bygninger og Energi, Danmarks Tekniske Universitet, 1995
- [10] *Bygningers energibehov. SBI-anvisning 184.*
Statens byggeforskningsinstitut, 1995
- [11] *Energi 21, Regeringens energihandlingsplan 1996, Miljø- og Energiministeriet 1996.*
- [12] *KLIMA 2012, Status og perspektiver for dansk klimapolitik, Miljø- og Energiministeriet, marts 2000.*

Adresser

Adresse:	Kontaktpersoner:
BYG•DTU Danmarks Tekniske Universitet Bygning 118, Brovej 2800 Kgs. Lyngby Tlf. 45 25 18 55 http://www.byg.dtu.dk/	Svend Svendsen (45 25 18 54) Toke Rammer Nielsen (45 25 18 60)
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/	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/	

Appendiks A. Fremgangsmåde til bestemmelse af risiko for kondensdannelse.

For at bestemme antallet af timer med risiko for indvendig kondensdannelse ud fra kondensmodstandsfaktoren, skal der benyttes et beregningsprogram til beregning af U-værdien for en rude, et beregningsprogram til beregning af overfladetemperaturen for et vindue og et beregningsprogram til beregning af lufttemperaturen og den relative luftfugtighed inde i en bygning, samt en registrering af udetemperaturen time for time i fyringssæsonen.

Fremgangsmåden er først at beregne U-værdien for den ønskede rude ved fastholdt indetemperatur på 20 °C og varierende udetemperatur. Her anvendes beregningsprogrammet WIS som beskrevet i kompendium 3. Herved opnås kendskab til sammenhængen mellem udetemperaturen, temperaturforskellen og U-værdien.

Dernæst benyttes et beregningsprogram til beregning af overfladetemperaturen i det kritiske punkt (lige over glaslisten) som funktion af udetemperaturen ved at indsætte ruden i en ramme-karmkonstruktion. Beregningerne foretages, som ved beregningsprogrammet for ruden, med fast indetemperatur på 20 °C og varierende udetemperatur, samt med indvendig overgangsisolans svarende til EN ISO 10211-1 [6]. Her anvendes beregningsprogrammet Therm som beskrevet i kompendium 3. Derved opnås kendskab til overfladetemperaturens afhængighed af udetemperaturen.

Det viser sig, at kondensmodstandsfaktoren er konstant uanset inde- og temperaturerne, hvorfor overfladetemperaturen kan beskrives som funktion af kondensmodstandsfaktoren og udetemperaturen.

Ved hjælp af indetemperaturen og den relative fugtighed for en bygning, bestemmes dugpunktstemperaturen, T_{dp} , i bygningen time for time i fyringssæsonen.

Ved at benytte udetemperaturen i fyringssæsonen i formlen for overfladetemperaturen kan denne ligeledes beregnes time for time. Dette kan f.eks. gøres med beregningsprogrammet tsbi3, som har den fordel,

at der kan påtrykkes bygningen en bestemt fugttilførsel og luftskifte pr. time. Fugttilførslen og luftskiftet har betydning for den relative fugtighed og dermed dugpunktstemperaturen.

Det antages, at der ikke kan forekomme kondens udenfor fyringssæsonen.

I de timer hvor rudens overfladetemperatur er lavere end dugpunktstemperaturen, vil der forekomme kondens.

På den måde kan der knyttes et årligt antal timer med kondensrisiko til en bestemt kondensmodstandsfaktor.

Eksempel på fremgangsmetoden

Ved at benytte beregningsprogrammet WIS beregnes U -værdien for en 2-lagsrude med glasafstand på 15 mm ved fastholdt inde-temperatur på 20 °C og varierende ude-temperatur fra -10 °C til 15 °C med spring af 5 °C.

Derved fremkommer sammenhæng mellem temperaturerne og U_g -værdien, se Tabel 9.

Den ækvivalente varmeledningsevne λ_m er beregnet ud fra U_g -værdien, overgangs-isolanserne og glasafstanden 15 mm. Denne ækvivalente varmeledningsevne skal benyttes når ruden indsættes i en ramme-karmkonstruktion i Therm, se endvidere kompendium 3.

I dette tilfælde er λ_m tæt på at være konstant, men ved lave U_g -værdier for ruden vil λ_m variere mere.

Herefter indsættes ruden i ramme-karmkonstruktionen og der foretages beregninger af overfladetemperaturen på indersiden lige over glaslisten, ved samme varierende temperaturer som ovenfor beskrevet, og tilhørende λ_m . Herved opnås en sammenhæng mellem udetemperaturen, T_u og overfladetemperaturen, T_{oi} . Sammenhængen fremgår af Tabel 10.

Som det ses af Tabel 10 er kondensmodstandsfaktoren konstant uanset temperatur-differens. Dette er vigtigt, idet man så i forbindelse med de detaljerede beregninger kan bestemme kondensmodstandsfaktoren for sit vindue ved at beregne rudens T_{oi} .

Ved omformning af formlen for kondensmodstandsfaktoren, fås et udtryk for T_{oi} som funktion af T_u . Formlen bliver:

$$T_{oi} = f_{Rsi} \cdot T_{oi} + (1 - f_{ris}) \cdot T_u$$

Tabel 9. U_g -værdiens som funktion af ude- og inde-temperaturer.

Temperaturer	U -værdi (W/m ² K)	λ_m (W/mK)
-10/20	1,53	0,032
-5/20	1,49	0,031
0/20	1,46	0,031
5/20	1,47	0,029
10/20	1,49	0,030
15/20	1,51	0,031

Tabel 10. Overfladetemperaturens afhængighed af udetemperaturen.

Temperaturer	λ_m	T_{oi}	f_{ris}
-10/20	0,032	2,3	0,410
-5/20	0,031	5,3	0,412
0/20	0,031	8,2	0,410
5/20	0,029	11,2	0,413
10/20	0,030	14,1	0,410
15/20	0,031	17,1	0,420

Med dette formeludtryk beregnes T_{oi} ved at indsætte T_u fra et referenceår registreret ved programmet tsbi3 time for time. Ligeledes beregnes dugpunktstemperaturen ud fra indetemperatur og den relative fugtighed. Dette gøres nemmest ved i et regneark som f.eks. Excel at importere resultaterne, T_w , T_i og RF fra tsbi3 og derefter foretage beregningerne.

Som tidligere nævnt er den relative fugtighed afhængig af fugttilførslen og luftskiftet i bygningen. Til disse beregninger er bygningen fra DS 418 valgt. Fugtafgivelsen for en gennemsnitsfamilie på 4 personer ligger mellem 5 og 10 kg i døgnet. Ved at påtrykke DS 418 huset 0,30 kg fugt i timen fås en fugttilførsel på 7,2 kg. Luftskiftet er valgt til 0,5 gange i timen.

Efter beregning af T_w , T_i og RF i tsbi3, importeres disse til Excel og T_{oi} og T_{dp} beregnes. Disse sammenlignes og antal timer hvor $T_{dp} > T_{oi}$ bestemmes.

Med en kondensmodstandsfaktor på 0,41 fås T_{oi} til: $T_{oi} = 8,20 + 0,59 \cdot T_w$.

Indsættes denne formel i regnearket, bliver resultatet, at der forekommer 58 timer med kondensrisiko.

Ved at beregne antallet af timer med kondensrisiko ved forskellige kondensmodstandsfaktorer, fås et sæt værdier med kondensmodstandsfaktorer og et årligt antal timer med kondensrisiko.

Appendiks B. Sammenfatning af energimærkningsordningen for ruder og vinduer

Energimærkningsordningen er etableret af brancheorganisationerne med støtte fra Energistyrelsen. Formålet med energimærkningsordningen er

- at give forbrugerne et dokumenteret retvisende grundlag for bedømmelse af de energimæssige egenskaber ved vinduer/yderdøre og ruder
- at tilskynde til øget anvendelse af komponenter med de bedste energi- og miljømæssige egenskaber

Endvidere er formålet med energimærkningsordningen at tilvejebringe et fælles grundlag for og efterprøvning af de tilsluttede virksomheders produktionskontrol, der skal sikre, at energimærkede vinduer og ruder opfylder de krav, der er angivet i ordningens gældende tekniske bestemmelser.

I energimærkningsordningen opereres med følgende tre benævnelser:

1. **Energimærkningsdata:** De grundlæggende energimæssige data for ruder/vinduer.
2. **Energiklasse:** Bøgstavbenævnelse for ruder på basis af energitilskuddet.
3. **Energimæssige egenskaber:** Fællesbetegnelse for energimærkningsdata og energiklasse.

Tabel 11. Energimærkningsdata for ruder

Symbol	Beskrivelse
U_g	Varmetransmissionskoefficient midt på ruden
τ_t	Sollystransmittans for vinkelret indfald af sollys gældende for rudens midte
g	Total solenergitransmittans for vinkelret indfald af solstråling gældende for rudens midte
λ_k	Kantkonstruktionens ækvivalente varmeledningsevne

Tabel 12. Energiklasser for ruder

Energiklasse	Grænseværdier
A	Energitilskud større end 20,0 kWh/m ²
B	Energitilskud større end 10,0 til og med 20,0 kWh/m ²
C	Energitilskud større end 0,0 til og med 10,0 kWh/m ²

A.1 Ruder

Energimærkningsproceduren for ruder er opdelt i to dele:

A.1.1 Produktbeskrivelse (energimærkningsdata)

For alle ruder, som er underlagt energimærkningsordningen, skal der foreligge en beskrivelse, der som minimum indeholder følgende størrelser (energimærkningsdata) angivet i Tabel 11

Produktbeskrivelsen kan foreligge i form af et dokument eller i elektronisk form.

A.1.2 Energiklassifikation (permanent mærkning)

Energiklassifikation af ruder foretages på grundlag af rudens energitilskud til et referencehus. Energitilskuddet bestemmes ved hjælp af følgende udtryk:

$$E_{\text{reference}} = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U_g$$

Beregninger for ruders energitilskud baseres på en 4 – 15 – 4 mm rudeopbygning. Rudens energiklasse (A, B eller C) bestemmes ud fra energitilskuddet som vist i Tabel 12.

Ruder med energitilskud mindre end eller lig med nul kan *ikke* klassificeres og mærkes.

Ruder som kan klassificeres og mærkes påføres en permanent mærkning, som skal indeholde følgende:

- Energimærkningsordningens logo i farven blå eller sort
- Rudens energiklasse (A, B eller C)
- Producentens identitetsnr. i relation til en anerkendt kontrol/certificeringsordning
- Produktionsår og -måned

Den permanente mærkning anføres på rudens afstandsprofil.

A.1.3 Sammenfatning ruder

Energimærkningsordningen for ruder betyder således, at der for alle ruder, der er med i ordningen, vil foreligge oplysninger om deres energimærkningsdata. For de ruder, der har et positivt energitilskud, vil der desuden være oplysninger om energiklasse.

Oplysninger om energimærkningsdata vil kunne fås ved henvendelse til producenten og vil så vidt muligt blive påført tilbud, ordrebekræftelse samt følgeseddel. Energimærkningsdata vil eventuelt blive påført produktet på en mærkeseddel. Permanent mærkning af ruder med ordningens logo samt oplysninger om energiklasse sker kun for ruder med positivt energitilskud.

A.2 Vinduer

Energimærkningsproceduren for vinduer er ligeledes opdelt i to dele:

A.2.1 Produktbeskrivelse

For alle vinduer, som er underlagt energimærkningsordningen, skal der foreligge en beskrivelse, der som minimum indeholder de størrelser (energimærkningsdata) der er angivet i Tabel 13

Produktbeskrivelsen kan foreligge i form af et dokument eller i elektronisk form.

A.2.2 Permanent mærkning

Permanent mærkning af vinduer kan kun ske for elementer, hvor der anvendes energiklassificerede ruder samt for elementer uden rudeareal. Den permanente mærkning skal som minimum indeholde følgende:

- Ordningens logo i farven blå eller sort
- Producentens navn
- Produktionsår og -måned

Endvidere kan vinduer, som er underlagt energimærkningsordningen, forsynes med en mærkat med oplysninger om vinduets og rudens energimæssige egenskaber som vist i Tabel 13 samt eventuelt rudens energiklasse.

A.2.3 Sammenfatning vinduer

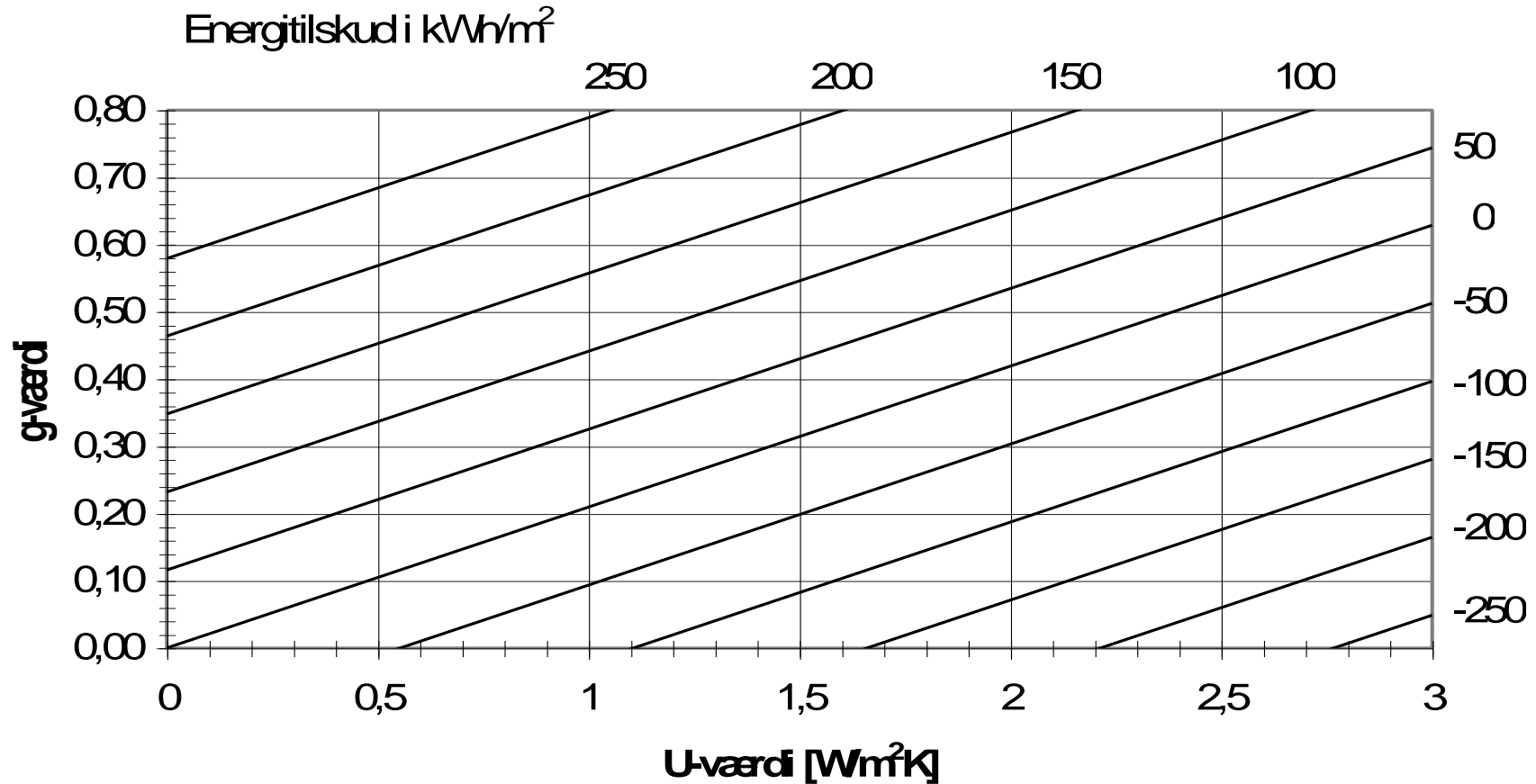
Energimærkningsordningen for vinduer betyder således, at der for alle vinduer, der er med i ordningen, vil foreligge oplysninger om deres energimærkningsdata og eventuelt rudens energiklasse.

Oplysninger om energimærkningsdata vil kunne fås ved henvendelse til producenten og vil så vidt muligt blive påført tilbud, ordrebekræftelse samt følgeseddel. Energimærkningsdata vil eventuelt blive påført produktet på en mærkeseddel. Permanent mærkning af vinduer sker kun når der anvendes ruder med positivt energitilskud. Den permanente mærkning omfatter logo samt oplysninger om producenten.

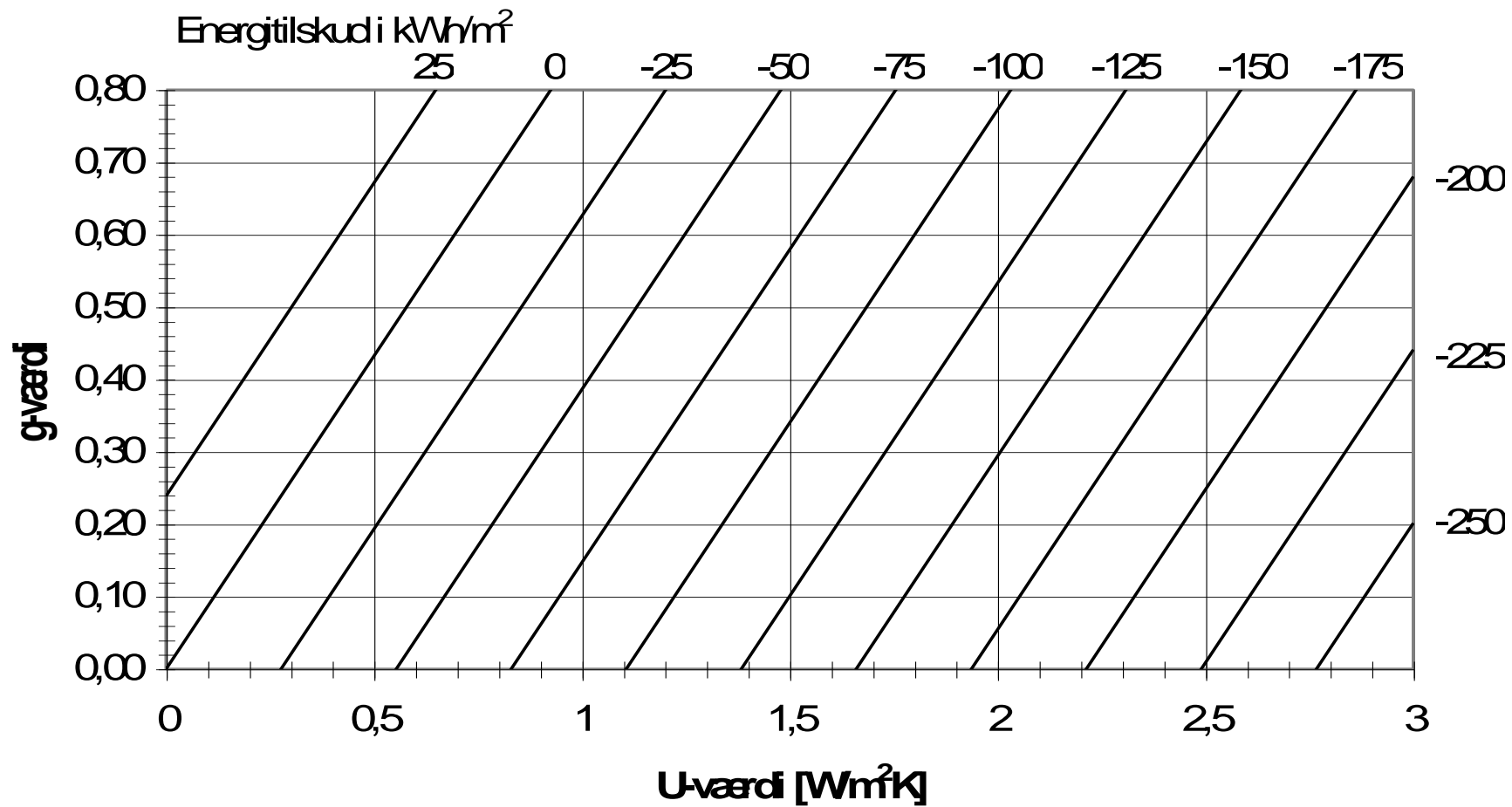
Tabel 13. Energimærkningsdata for vinduer

	<i>Symbol</i>	<i>Beskrivelse</i>
Vindue	U	Varmetransmissionskoefficient for den samlede konstruktion
	τ_t	Sollystransmittans for vinkelret indfald af sollys for den samlede konstruktion
	g	Total solenergitransmittans for vinkelret indfald af solstråling for den samlede konstruktion
Rude	U_g	Varmetransmissionskoefficient midt på ruden
	τ_t	Sollystransmittans for vinkelret indfald af sollys gældende for rudens midte
	g	Total solenergitransmittans for vinkelret indfald af solstråling gældende for rudens midte

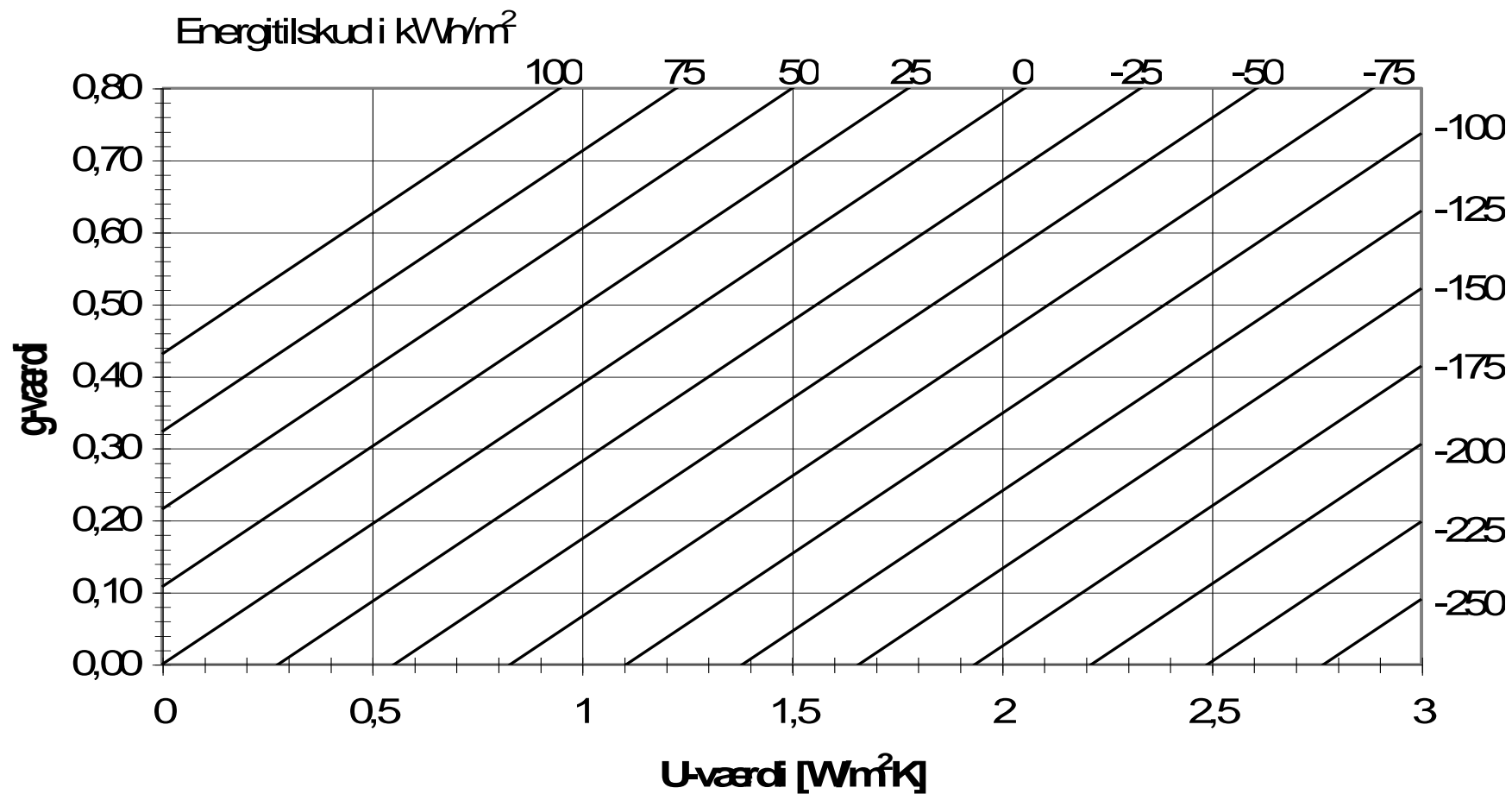
Appendiks C. Diagrammer med ruder og vinduers energitilskud.



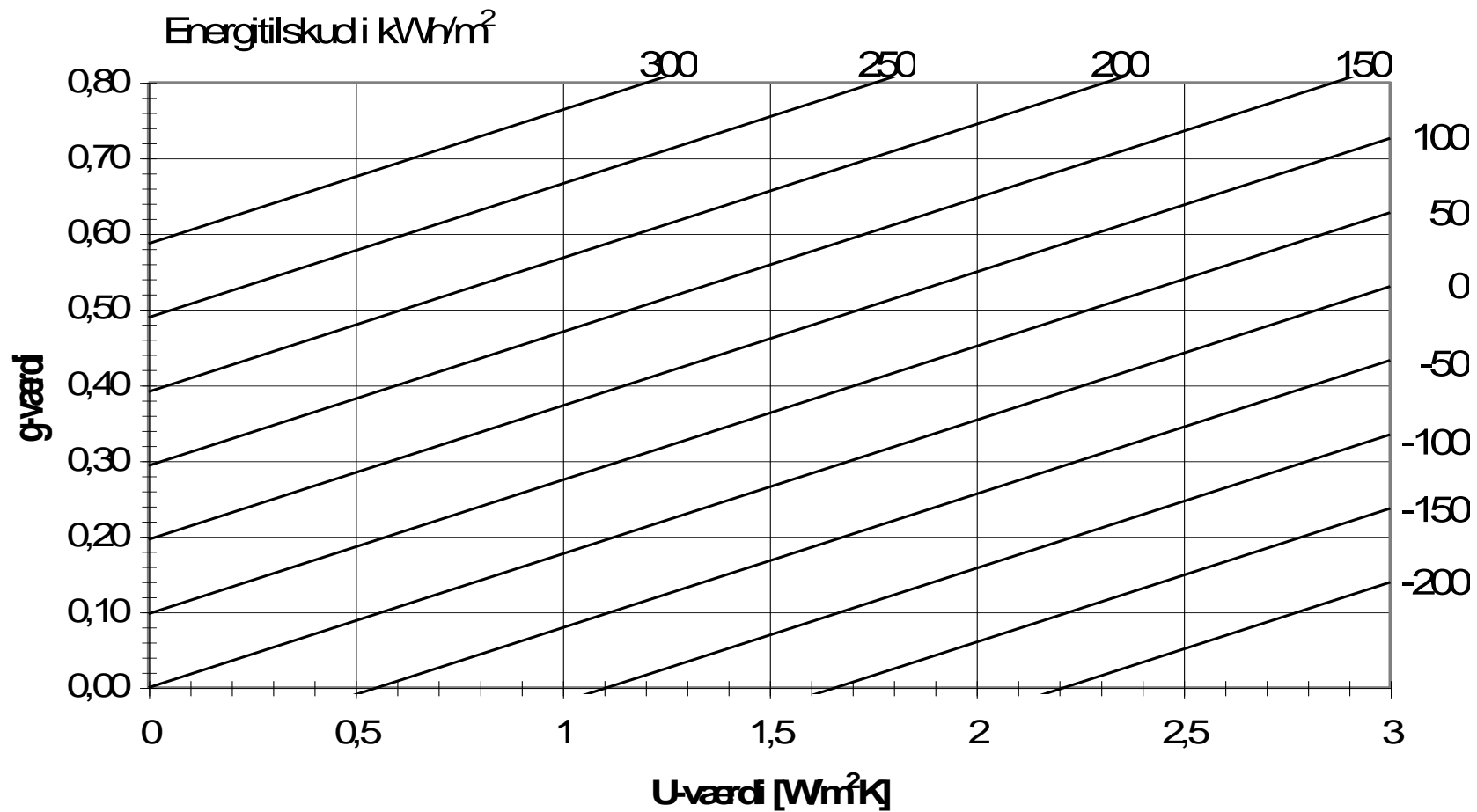
Figur 37. Energitilskud for lodrette, sydvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



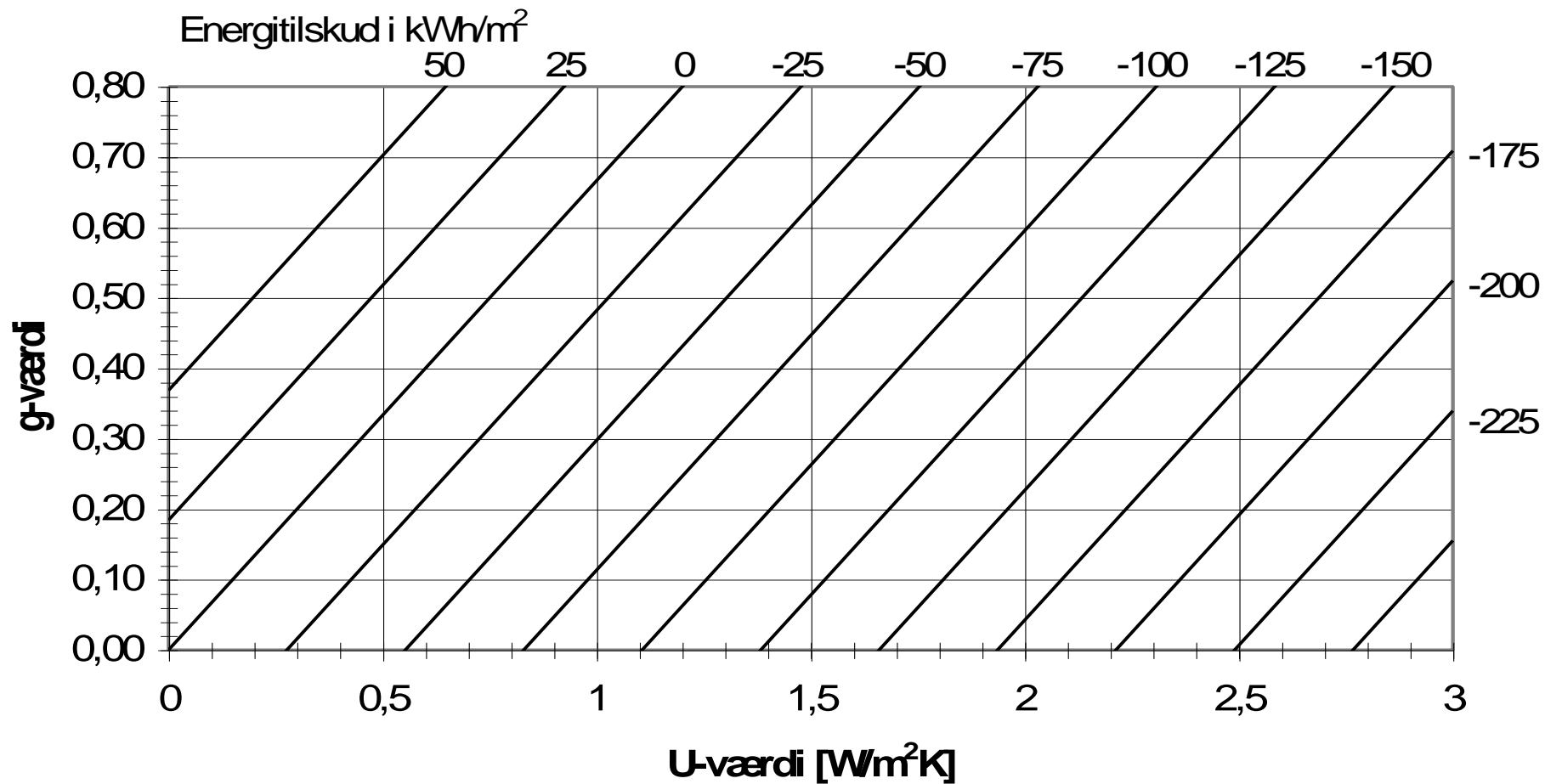
Figur 38. Energitilskud for lodrette, nordvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



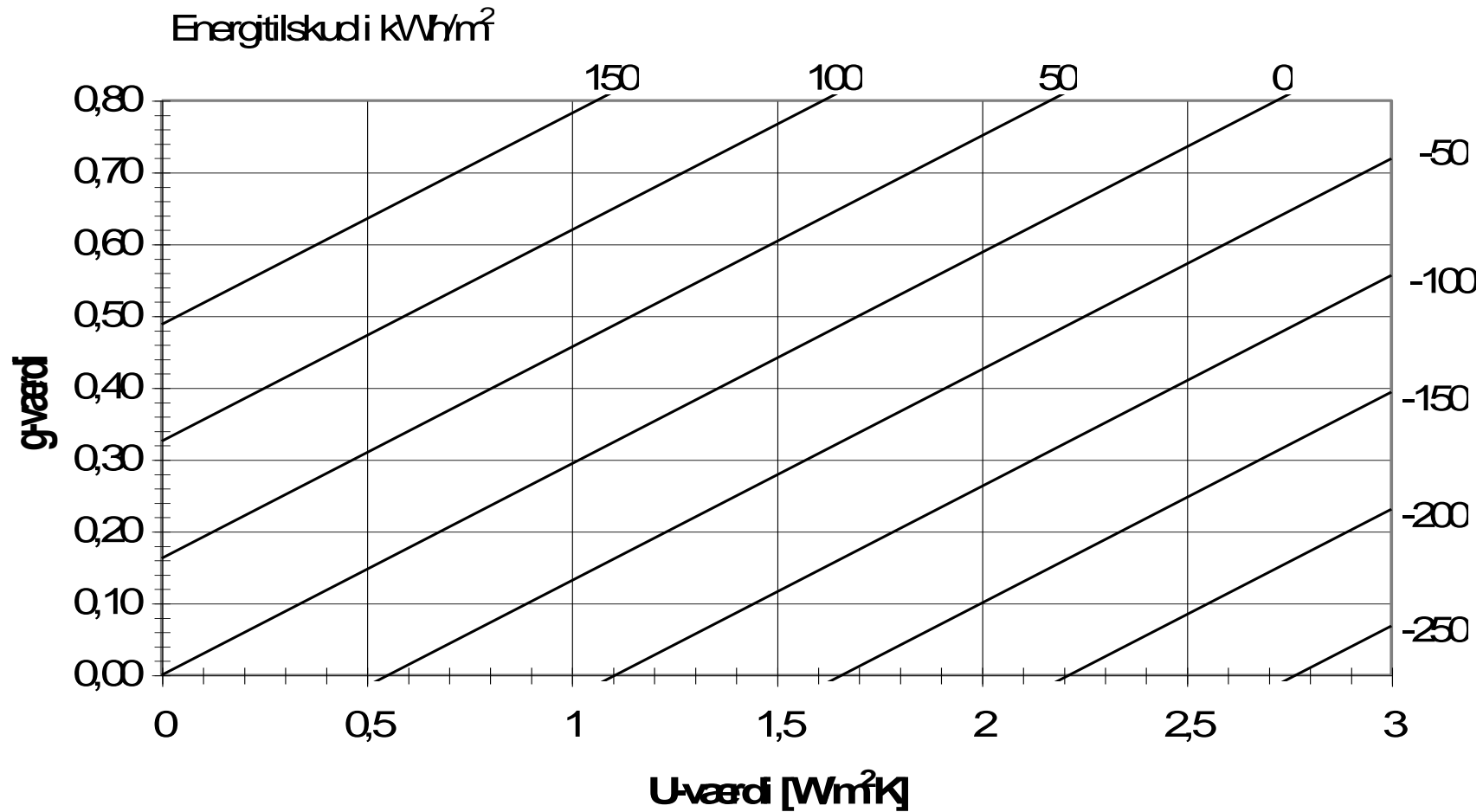
Figur 39. Energitilskud for lodrette, øst/vestvendte ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



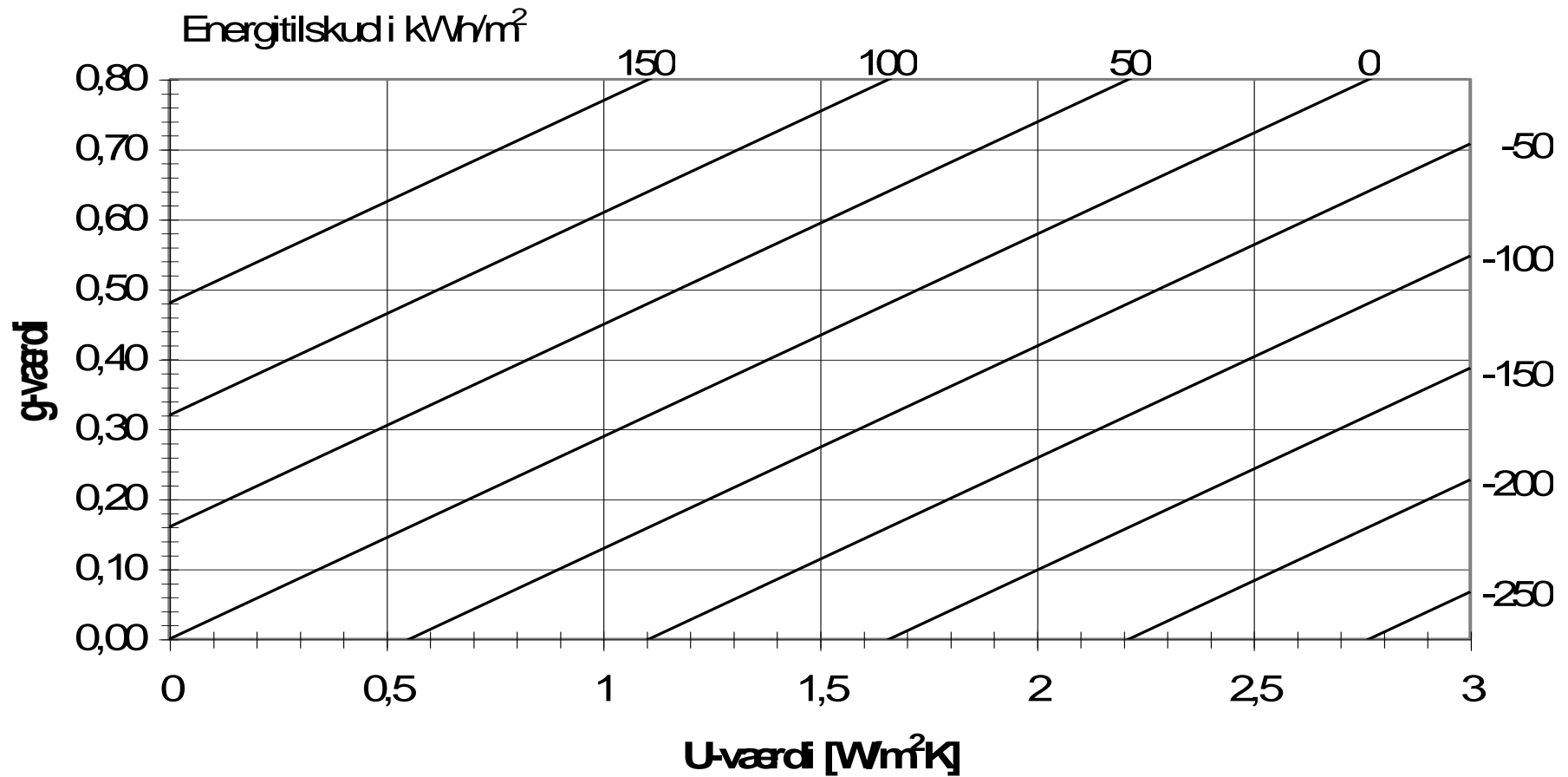
Figur 40. Energitilskud for sydvendte ruder og vinduer med hældning 45° over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



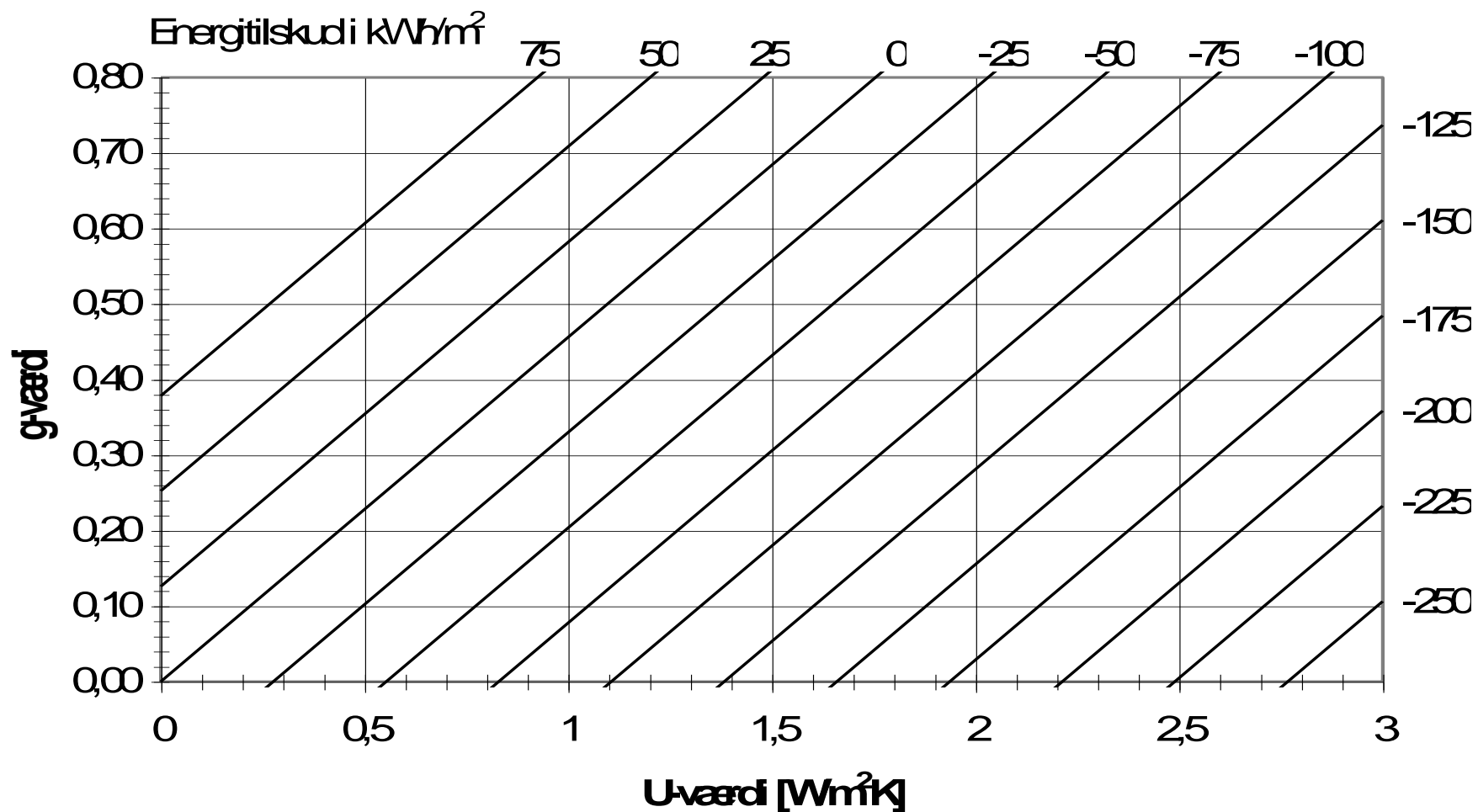
Figur 41. Energitilskud for nordvendte ruder og vinduer med hældning 45° over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



Figur 42. Energitilskud for øst/vestvendte ruder og vinduer med hældning 45° over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



Figur 43. Energitilskud for vandrette ruder og vinduer over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen).



Figur 44 Energitilskud for vinduer i huset beskrevet i DS 418 tillæg 4 [15] over perioden 24/9-13/5 (fyringssæsonen). Energitilskuddet er midlet mht. vinduernes glas- og vinduesareal. Ved aflæsning i diagrammet skal derfor benyttes en middelværdi af U-værdien og g-værdien for vinduerne i boligen svarende til vinduesarealerne.