

Analyse af energikrav til vinduer i energimærkningsordning og BR 2010, 2015 og 2020



Institut for Byggeri og Anlæg

Rapport 2008

Skrevet af Jacob Birck Laustsen og Svend Svendsen
DTU Byg-Rapport SR-08-06 (DK)
ISSN: 1601-8605
11 2008

Forord

Denne rapport beskriver og analyserer forskellige forslag til energimæssige krav til vinduer i energimærkningsordning og Bygningsreglementet 2010, 2015 og 2020. Arbejdet er udført for Energistyrelsen.

Kgs. Lyngby, november 2008.

Indholdsfortegnelse

INDHOLDSFORTEGNELSE.....	2
1 INDLEDNING	4
1.1 BAGGRUND	4
1.2 FORMÅL	4
2 INDLEDNING	5
2.1 ENERGITILSKUDET SOM REDSKAB TIL BESKRIVELSE AF RUDER OG VINDUERS ENERGIMÆSSIGE EGENSKABER.	5
3 FORSLAG 1, FRA VINDUESINDUSTRIEN BASERET PÅ U_{EFF}	6
3.1 ANALYSE AF U_{EFF} MHT. VINDUESSTØRRELSEN	7
3.1.1 Enkeltfløjet	7
3.1.2 Dannebrogsvindue	8
3.1.3 Småsprossede vinduer.....	10
3.2 FORDELE VED FORSLAGET	12
3.2.1 Kun én værdi, U_{eff}	12
3.2.2 Simpel lovregulering.....	12
3.2.3 Baseret på referencestørrelse	12
3.3 ULEMPER VED FORSLAGET	12
3.3.1 U_{eff} negativ	12
3.3.2 Komponenter	12
3.3.3 Faste vinduer.....	12
3.3.4 Vinduesstørrelse.....	13
3.3.5 Kondens	13
3.3.6 Grænseværdier i mærkningsordningen	13
4 FORSLAG 2, BASERET PÅ ENERGITILSKUDET FOR REFERENCEVINDUE	14
4.1 FORDELE OG ULEMPER	14
5 FORSLAG 3, BASERET PÅ ENERGITILSKUD FOR KOMPONENTER.....	16
5.1 METODE.....	16
5.1.1 Ramme/karm.....	16
5.1.2 Rude.....	16
5.1.3 Kondensmodstandsfaktor.....	16
5.2 FORDELE VED FORSLAG 3	19
5.2.1 Værdier på komponentniveau	19
5.2.2 Vinduesstørrelse.....	19
5.3 ULEMPER VED FORSLAG 3	20
5.3.1 Værdier på komponentniveau	20
6 KONDENSMODSTANDSFAKTOR.....	21
6.1 KRAV TIL INDVENDIG OVERFLADETEMPERATUR PÅ VINDUER FOR AT MODVIRKE KONDENSdannelse.....	21
6.2 FORSLAG TIL KRAV	23
7 SAMMENLIGNING AF FORSLAG.....	24
8 FORSATSVINDUER	28
9 OVENLYS OG TAGVINDUER	28
9.1 OVENLYS	28
9.2 TAGVINDUER	30

10	ERHVERVSBYGGERI	30
10.1	KRAV TIL SOLAFSKÆRMNING:.....	31
10.2	KRAV TIL SOLLYSTRANSMITTANS.....	31
10.3	METODE TIL KARAKTERISERING AF EGENSKABER FOR VINDUER MED SOLAFSKÆRMNING..	32

1 Indledning

1.1 Baggrund

Ifølge energiaftalen af 21. februar 2008 skal der udarbejdes en strategi for reduktion af energiforbruget i bygninger, herunder skærpede krav i bygningsreglementet og energimærkningsordning for vinduer. I den forbindelse er der behov for at indsamle viden om det energimæssige niveau for vinduer på det danske marked samt at opstille og analysere forskellige modeller for udformning af kravene til vinduer.

1.2 Formål

Formålet med projektet er at udarbejde og analysere forskellige forslag til opstilling af energimæssige krav til vinduer i eksisterende bygninger (udskiftning af vinduer, renovering af vinduer og vinduer til ombygning og tilbygninger). Vurdering af de forskellige forslag skal bl.a. ske på baggrund af indsamlede energimæssige data for typiske og forbedrede vinduer på det danske marked.

2 Indledning

I denne rapport gennemgås og analyseres tre forslag til opstilling af energimæssige krav til vinduer i en ny energimærkningsordning og i bygningsreglementet i 2010, 2015 og 2020. De tre forslag omhandler almindelige facadevinduer med forseglede ruder til vinduer i eksisterende bygninger (udskiftning af vinduer, renovering af vinduer og vinduer til ombygning og tilbygninger). Derudover gives kortfattede bud på modeller til opstilling af krav til forsatsvinduer og ovenlysvinduer, samt for vinduer som specielt anvendes i erhvervsbygninger.

I forbindelse med projektet er der indsamlet energimæssige data for en række typiske vinduer og mindre antal nye energimæssigt forbedrede vinduer på det danske marked.

2.1 Energitilskuddet som redskab til beskrivelse af ruder og vinduers energimæssige egenskaber.

De tre forslag som beskrives i denne rapport er alle baseret på anvendelse af Energitilskuddet, E_{ref} , i forskellige udformninger. Derfor gennemgås principperne for energitilskuddet kort i det følgende.

For at kunne vurdere ruder og vinduers samlede energimæssige egenskaber, er det nødvendigt, at se på deres energibalace, som afhænger af varmetabet, udtrykt ved U-værdien og solindfaldet udtrykt ved g-værdien. En simpel metode til at beskrive denne energibalace er anvendelse af Energitilskuddet, E , som er den tilførte solvarme gennem vinduet minus varmetabet fra vinduet regnet hen over fyringssæsonen.

Energitilskuddet er således en funktion af både vinduets U- og g-værdi:

$$E = I \cdot g - G \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2\text{K}]$$

hvor

g	Total solenergitransmittans for vinduet
U	Varmetransmissionskoefficient for vinduet
I	Solindfald korrigeret for g-værdiens afhængighed af indfaldsvinklen
G	Gradtimer i fyringssæsonen baseret på indetemperatur på 20 °C

Energitilskuddet er en størrelse, som kan indikere om vinduet yder et positivt eller negativt bidrag til bygningens varmebalance. Et positivt energitilskud betyder, at vinduet i fyringssæsonen netto giver en tilførsel af energi til bygningens opvarmning. De energimæssigt bedre løsninger opnås altså ved en kombination af en høj g-værdi og en lav U-værdi.

Solindfaldet, I , og antallet af gradtimer, G , i løbet af fyringssæsonen er bestemt i ud fra referenceåret DRY. Da solindfaldet gennem vinduer afhænger af vinduernes orientering anvendes et generelt udtryk for energitilskuddet for et referencehus med følgende vinduesfordeling:

Nord:	26 %
Syd:	41 %
Øst/vest:	33 %

Energitilskuddet for referencehuset udtrykkes som

$$E_{ref} = 196,4 \cdot g - 90,36 \cdot U \quad [\text{kWh/m}^2\text{K}]$$

Anvendelsen af referencehus energitilskuddet til evaluering og sammenligning af ruder og vinduers energimæssige egenskaber er tidligere analyseret i bl.a. Kompendium 7, hvor det blev konkluderet, at det er velegnet til formålet.

3 Forslag 1, fra Vinduesindustrien baseret på U_{eff}

Vinduesindustrien har udarbejdet forslag til krav til vinduer i BR og mærkningsordning som gennemgås i det følgende. Forslaget fra Vinduesindustrien er vist i bilag 1.

Forslaget omfatter krav til vinduer i hhv. nybyggeri og til renovering og tilbygninger.

Nybyggeri: Kravene i BR baseres på en kombination af energirammen og $U_{w,max}$, som er den maksimalt tilladte totale U-værdi for det aktuelle vindue.

Renoveringer/tilbygninger evt. udskiftning: Kravene i BR baseres på en kombination af energibalancen i form af U_{eff} og en $U_{w,max}$, som er den maksimalt tilladte totale U-værdi for det aktuelle vindue. Kravene i forslaget afspejler overordnet energibalancen for vinduet (U_{eff}) og ikke kun energitabet.

U_{eff} udtrykkes ved

$$U_{eff} = U_w - 2,2 \cdot g \cdot A_g / A_w \quad [W/m^2K]$$

U_{eff} er en omskrivning af energitilskuddet, E_{ref} , for referencehuset idet

$$U_{eff} = - E_{ref} / G \quad [W/m^2K]$$

hvor

$$E_{ref} = I \cdot g_w - G \cdot U_w = 196,4 \cdot g_w - 90,36 \cdot U_w \quad [kWh/m^2]$$

Dvs.

$$U_{eff} = U_w - \frac{196,4 kWh / m^2}{90,36 kWh} \cdot g_w \approx U_w - 2,2 \cdot g \cdot A_g / A_w \quad [W/m^2K]$$

U_{eff} skal angives for et referencevindue (enkeltfløjet oplukkeligt i 1230 x 1480 mm med standardrude). Vinduesindustriens forslag til krav til vinduer i fremtidige bygningsreglementer og energimærkningsordning er vist i Tabel 1 nedenfor.

Tabel 1. Vinduesindustriens forslag til energimæssige krav til vinduer i bygningsreglementet og energimærkningsordning.

Horisont	Energimærkning	Krav i Bygningsreglement				
	Energimærkning nyt logo Vinduessystem: NN www.energimark.dk	Nybyggeri		Renovering/ tilbyg.		
År		Energiramme (bolig/ erhverv) kWh/m2 pr. år	$U_{w,max}$. akt. Vinduer/ døre	U_{eff} effektiv ref. Vindue	$U_{w,max}$. akt. Vindue/ dør	
2025	● Nulenergi	12 (passiv huse)	$\leq 1,4$	≤ 0	$\leq 1,7$	
2020	● Lavenergi 0	17/23 + 550/A	$\leq 1,6$	$\leq 0,15$	$\leq 1,8$	
2015	● Lavenergi 1	35/50 + 1100/A	$\leq 1,8$	$\leq 0,30$	$\leq 1,9$	
2010	● Lavenergi 2	50/70 + 1600/A	$\leq 1,9$	$\leq 0,45$	$\leq 2,0$	
2008	● Energi	70/95 + 2200/A	$\leq 2,0$	$\leq 0,61$	$\leq 2,0$	
2005	● Classic		$\leq 2,3$	$\leq 0,67$	$\leq 2,3$	

Ordningen tager højde for poste og sprosser på følgende måde:

Fra 2010 skal sprosser i termoløsninger være energisprosser (kun i særlige tilfælde tillades gennemgående sprosser, f.eks. ved anvendelse af sikkerhedsglas i felter omkring en yderdør).
Poste skal være udført i samme systemudførelse som standardsystemet.

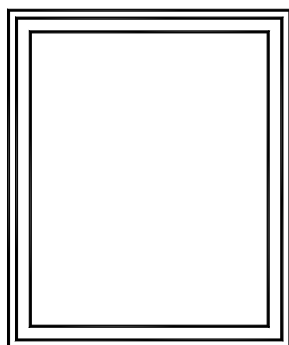
3.1 Analyse af U_{eff} mht. vinduesstørrelsen

Som nævnt skal U_{eff} altid angives for et enkeltfløjet vindue i standardstørrelsen 1230 x 1480 mm, uanset om det aktuelle vindue har andre dimensioner. Da den procentvise andel af ramme/karmareal og rudeareal afhænger af vinduesstørrelsen, vil de energimæssige egenskaber for vinduet også variere for forskellige vinduesstørrelser, selvom der anvendes samme komponenter. Det betyder for eksempel, at et lille vindue typisk har en højere U_{eff} end det samme vindue i standardstørrelsen, som anvendes som reference. I forbindelse med vinduesudskiftning i eksisterende bygninger har man dog sjældent mulighed for at ændre på vinduesstørrelsen, da vinduerne skal passe ind i de eksisterende vindueshuller i huset. Det mest afgørende er derfor, at den energimæssige rangorden mellem forskellige vinduestyper ikke ændres væsentligt ved forskellige vinduesstørrelser.

For at vurdere om forskellige vinduers indbyrdes rangorden af U_{eff} varierer for forskellige vinduesstørrelser er der foretaget beregninger for udvalgte vinduesløsninger i forskellige dimensioner.

3.1.1 Enkeltfløjet

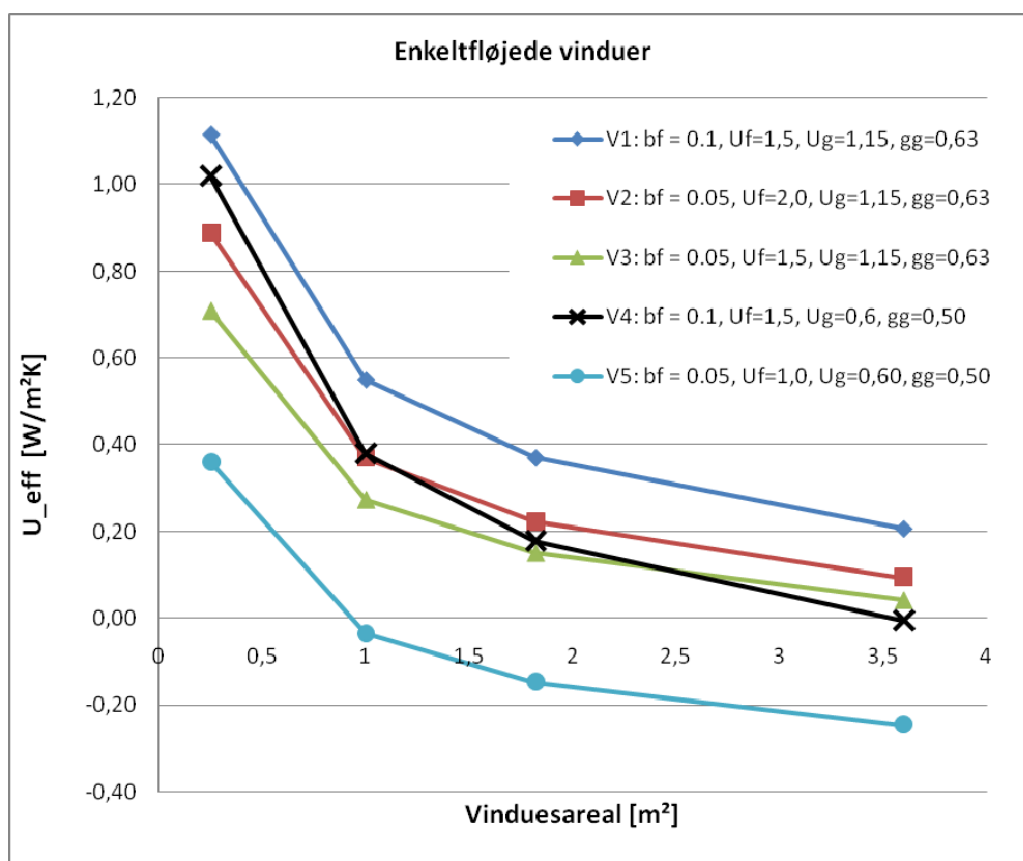
I Tabel 2 og på Figur 2 er U_{eff} vist for forskellige enkeltfløjede vinduer beregnet for fire forskellige vinduesstørrelser. Eksempel på enkeltfløjet vindue er vist i Figur 1



Figur 1. Eksempel på enkeltfløjet vindue.

Tabel 2. U_{eff} for forskellige enkeltfløjede vinduer beregnet for fire forskellige vinduesstørrelser: S1: 0,5 x 0,5m, S2: 1,0 x 1,0m, S3: 1,23 x 1,48m, S4: 1,8 x 2,0 m. b_f er ramme/karmprofilets bredde.

	V1			V2			V3			V4			V4		
	2-lags rude			2-lags rude			2-lags rude			3-lags rude			3-lags rude		
	$U_g = 1,15$			$U_g = 1,15$			$U_g = 1,15$			$U_g = 0,60$			$U_g = 0,60$		
	$g_g = 0,63$			$g_g = 0,63$			$g_g = 0,63$			$g_g = 0,50$			$g_g = 0,50$		
	$b_f = 0,1$			$b_f = 0,05$			$b_f = 0,05$			$b_f = 0,1$			$b_f = 0,05$		
Størrelse	$U_f = 1,5$			$U_f = 2,0$			$U_f = 1,5$			$U_f = 1,5$			$U_f = 1,0$		
A_w	U_w	g_w	U_{eff}	U_w	g_w	U_{eff}	U_w	g_w	U_{eff}	U_w	g_w	U_{eff}	U_w	g_w	U_{eff}
S1: 0,25 m ²	1,61	0,23	1,12	1,78	0,40	0,89	1,60	0,40	0,71	1,42	0,18	1,02	1,06	0,32	0,36
S2: 1,0 m ²	1,44	0,40	0,55	1,49	0,51	0,37	1,40	0,51	0,27	1,08	0,32	0,38	0,86	0,41	-0,04
S3: 1,82 m ²	1,37	0,46	0,37	1,41	0,54	0,22	1,34	0,54	0,15	0,98	0,36	0,18	0,80	0,43	-0,15
S4: 3,60 m ²	1,31	0,50	0,21	1,34	0,57	0,09	1,29	0,57	0,04	0,87	0,40	-0,01	0,74	0,45	-0,25



Figur 2. U_{eff} som funktion af vinduesstørrelsen for 5 forskellige enkeltfløjede vinduer.

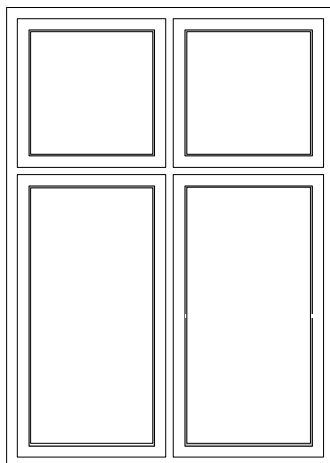
Det fremgår af Figur 2, at rangordenen for de viste vinduers U_{eff} er ens for varierende vinduesstørrelse for fire af vinduerne, V1, V2, V3 og V5. Disse fire vinduer følger samme mønster bare parallelt forskudt således at V5 hele tiden er bedre end V3, som er bedre end V2 og V1 osv. Dvs., at det energimæssigt bedste vindue i standardstørrelsen også er bedst både i lille og stor størrelse blandt disse.

Til gengæld ses det, at U_{eff} for V4 som har 3-lags rude varierer mere når størrelsen ændres. Dette vindue er altså mere følsomt overfor variation af vinduesstørrelsen. Det betyder, at kurven er mere stejl for V4 og den skærer kurverne for V2 og V3. Således har V4 den laveste (bedste) U_{eff} sammenlignet med V2 og V3 når vinduet er meget stort, mens det har den højeste (dårligste) U_{eff} når vinduet er meget lille. For standardstørrelsen ligger det midt i mellem og på højde med de andre. Det skyldes primært at effekten af ramme/karmprofilets store bredde og forholdsvis høje U-værdi i forhold til den meget lave U-værdi for ruden bliver forværret, når vinduesarealet reduceres, da ramme/karmarealet herved øges relativt i forhold til glasarealet.

Denne sammenhæng er uhensigtsmæssig da et lille vindue således i særlige tilfælde kan fremstå som energimæssigt godt, da data angives for referencestørrelsen, selvom det for den aktuelle størrelse ikke er den bedste løsning.

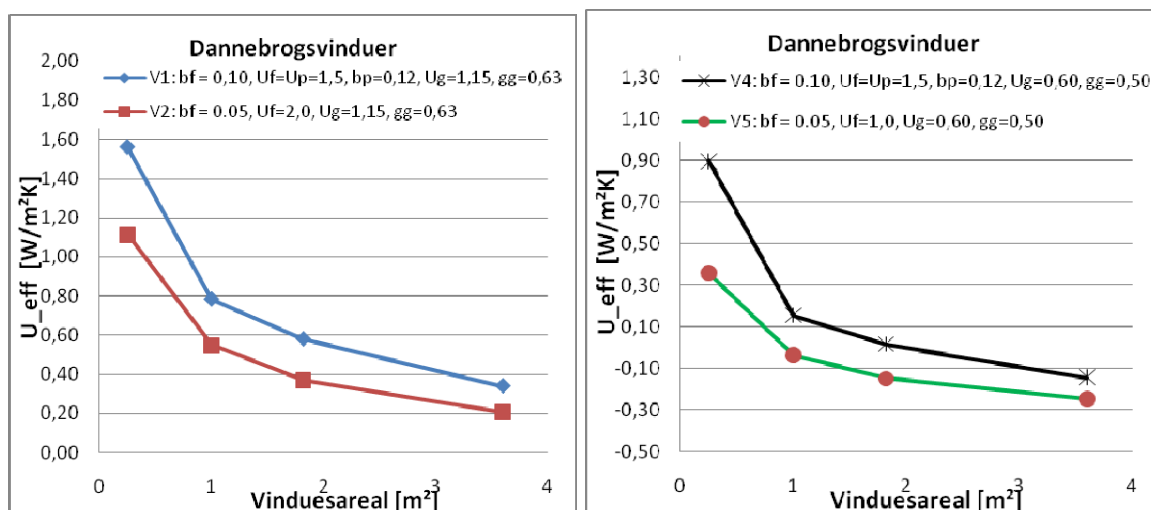
3.1.2 Dannebrogsvindue

Eksempel på dannebrogsvinduer er vist i Figur 3.



Figur 3. Eksempel på dannebrogsvindue.

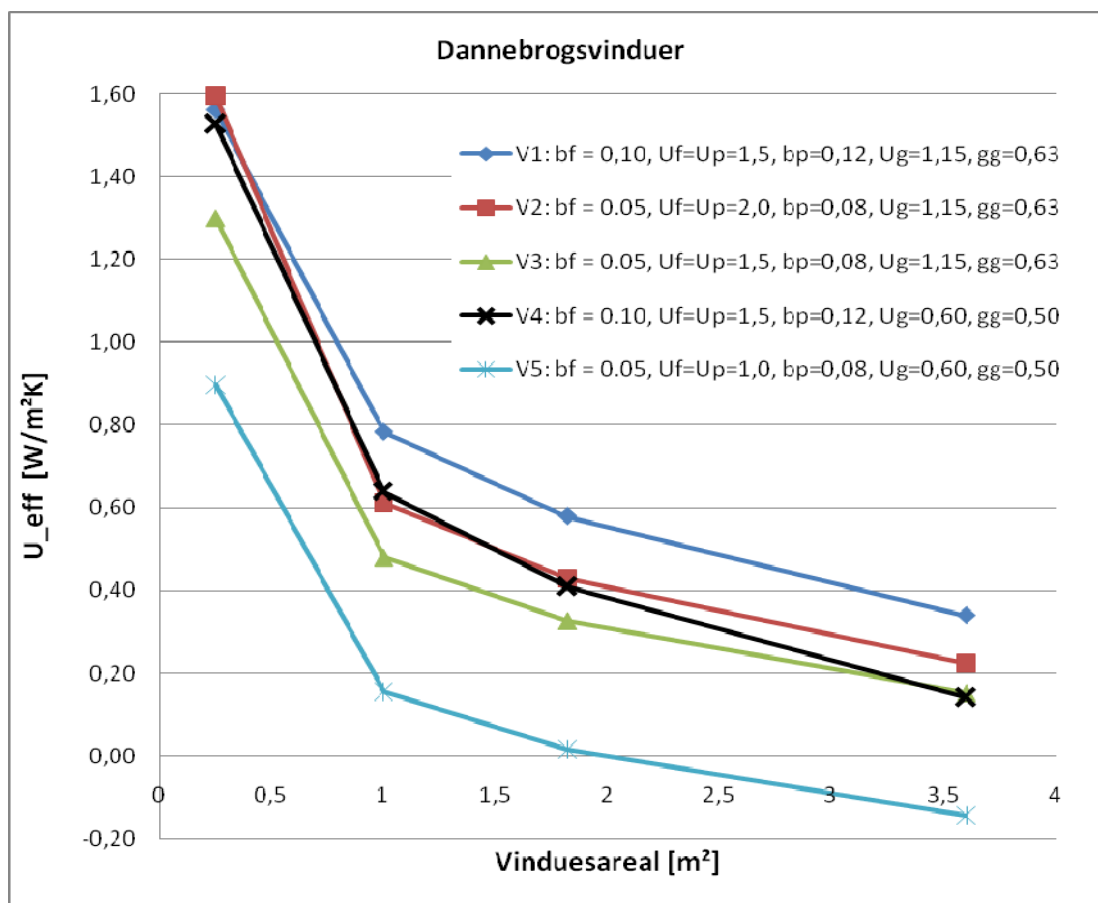
Ifølge forslaget skal U_{eff} angives for et enkeltfløjet referencevindue, hvor der ses bort fra poste. Ene- ste krav til poste er, at de ”skal være udført i samme systemudførelse som standardsystemet”. På Figur 4 er U_{eff} vist for to forskellige dannebrogsvinduer ved forskellige vinduesstørrelser. For at illu- strere betydningen af poste er U_{eff} beregnet for hvert vindue med poste (V1 og V4) og uden poste (V2 og V5).



Figur 4. U_{eff} for to dannebrogsvinduer vist med (V1 og V4) og uden (V2 og V5) poste.

Det fremgår af Figur 4, at U_{eff} er lavere for når poste ikke medregnes (V2 og V5) end for det aktuelle vindue. Figuren viser dog også, at betydningen af vinduesstørrelsen i grove træk er den samme med og uden poste. Således vil anvendelse af en enkeltfløjet reference normalt også resultere i den rigtige energimæssige rang for det aktuelle vindue med poste.

På Figur 5 er U_{eff} vist for forskellige dannebrogsvinduer beregnet for fire forskellige vinduesstørrelser. U_{eff} er angivet for de konkrete vinduer inklusiv poste. Der er anvendt samme profiler og ruder som for det enkeltfløjede vindue i foregående afsnit.

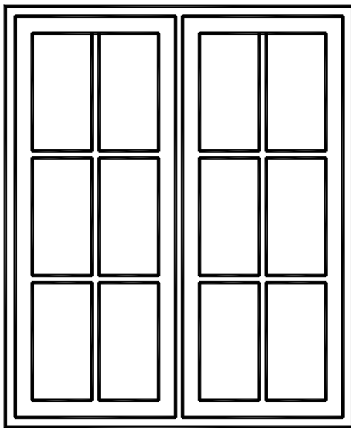


Figur 5. U_{eff} som funktion af vinduesstørrelsen for 5 forskellige dannebrogsvinduer angivet for de konkrete vinduer inkl. poster.

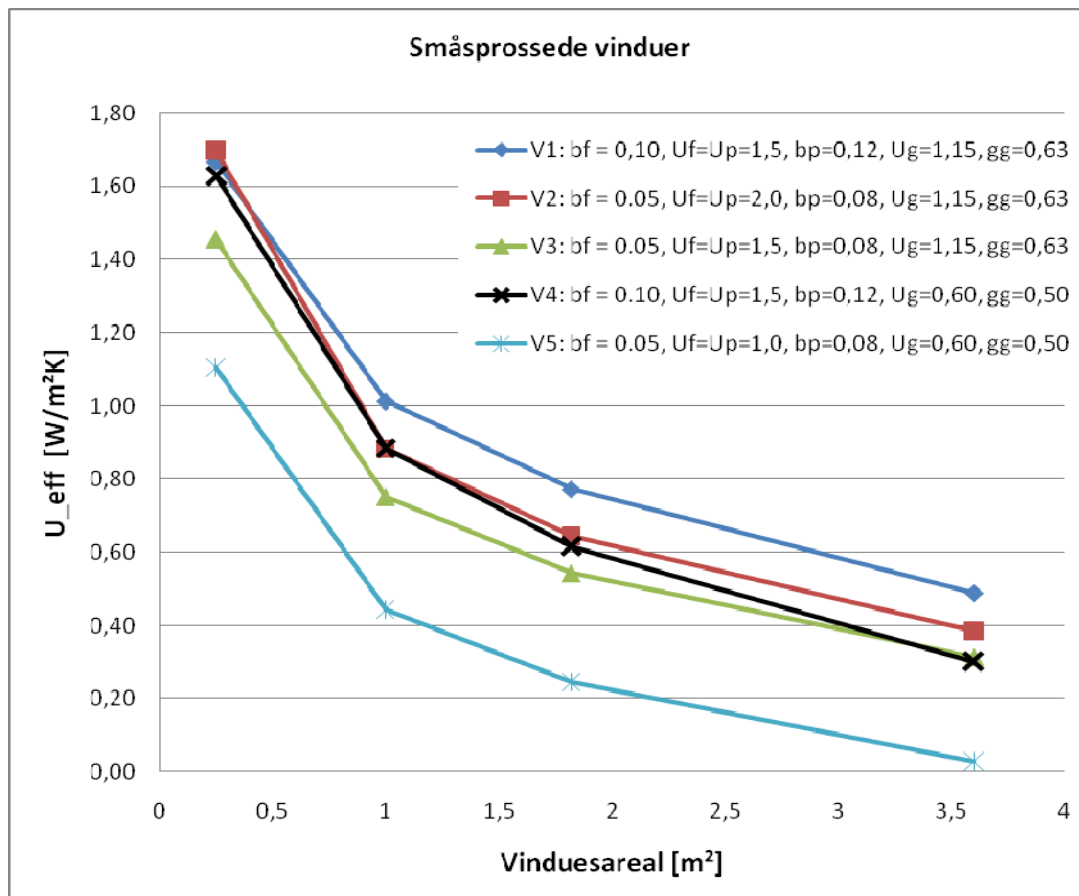
Det fremgår af Figur 5, at U_{eff} følger næsten samme mønster for de fem vinduer for varierende vinduesstørrelse. Rangordenen for de viste vinduers U_{eff} er dog ikke helt konstant for forskellige vinduesstørrelser. Således er V2 det "dårligste" for lille størrelse på 0,25 m² mens det kun er "næst dårligst" i den store størrelse på 3,6 m². Variationerne er dog ganske små.

3.1.3 Småsprossede vinduer

På Figur 7 er U_{eff} vist for forskellige småsprossede vinduer beregnet for fire forskellige vinduesstørrelser. Der er anvendt samme profiler og ruder som for det enkeltfløjede vindue i afsnit 3.1.2. Eksempel på småsprossede vinduer er vist på Figur 6



Figur 6. Eksempel på småsprosset vindue.



Figur 7. U_{eff} som funktion af vinduesstørrelsen for 5 forskellige småsprossede vinduer.

Figur 7 for de småsprossede vinduer viser næsten samme tendens, som der ses for dannebrogsvinduer. U_{eff} følger næsten samme mønster for de fem vinduer for varierende vinduesstørrelse. Rangordenen for de viste vinduers U_{eff} er dog ikke helt konstant for forskellige vinduesstørrelser. Således er V2 marginalt det "dårligste" for lille størrelse på $0,25 m^2$ mens det kun er "næst dårligst" i den store størrelse på $3,6 m^2$. V4 er "næst dårligst" ved størrelsen $1 m^2$, mens det er "næst bedst" i den store størrelse på $3,6 m^2$. Variationerne er dog ganske små.

Analysen tyder på at den energimæssige rangorden af U_{eff} for forskellige vinduesprodukter af samme konfiguration i de fleste tilfælde er uafhængig af vinduesstørrelsen. Dog er der ved markant forskellige produkter forskel på rangordenen når vinduesstørrelsen ændres. Dette gælder f.eks. når der sammenlignes vinduer mellem to og tre-lags ruder og hvor U-værdien for ramme/karm afviger meget fra rudens U-værdi.

3.2 Fordele ved forslaget

3.2.1 Kun én værdi, U_{eff}

Den simple opbygning af kravene, som kun baseres på U_{eff} gør forslaget umiddelbart overskueligt og nemt at gå til, idet man blot skal forholde sig til én størrelse, hvilket gør det nemmere hurtigt at sammenligne flere vinduer. Dette kan medvirke til på en simpel måde at synliggøre de aktuelle stramninger for omverden og dermed fremme anvendelsen af energirigtige vinduer.

3.2.2 Simpel lovregulering

Det simple princip baseret på U_{eff} kan give mere simpel lovregulering og færre omkostninger og administrative pligter for alle led i kæden.

3.2.3 Baseret på referencestørrelse

At mærkningen og kravene baseres på en referencestørrelse kan gøre det nemmere at sammenligne forskellige vinduers energimæssige egenskaber, selvom disse afhænger af den aktuelle vinduesstørrelse. Som vist i afsnit 3.1 bevares den energimæssige rangorden udtrykt ved U_{eff} af forskellige vinduer som hovedregel selv om vinduesstørrelsen ændres. Det vil i de fleste tilfælde sige, at det energimæssigt bedste vindue i standardstørrelsen også er bedst både i lille og stor størrelse blandt disse.

3.3 Ulemper ved forslaget

3.3.1 U_{eff} negativ

Størrelsen U_{eff} er uhensigtsmæssig, da den går fra positive værdier mod 0 for bedre produkter og for de bedste vinduer bliver U_{eff} negativ. Det kan virke ulogisk, at de allerbedste vinduesløsninger har en negativ værdi. Derfor anbefales det at anvende det reelle energitilskud, som er negativt for de dårligste produkter og bliver positivt for de bedste (se forslag afsnit 4). De overordnede principper, vil være de samme da U_{eff} blot er en omskrivning af energitilskuddet.

3.3.2 Komponenter

U_{eff} gælder for hele vinduet, hvilket betyder at der ikke skelnes mellem de enkelte komponenter i vinduet (rude, ramme/karm, samling). Dette kan medføre, at det fortsat er muligt at anvende energimæssigt dårlige ramme/karmprofiler, hvis der blot anvendes en meget god rude, og på den måde vil denne metode kun i begrænset omfang stimulere udvikling og anvendelse af bedre ramme/karmprofiler. Hvis man i stedet opdeler kravene på de indgående komponenter vil de enkelte komponenters bidrag til energibalancen synliggøres.

3.3.3 Faste vinduer

Den simple brug af U_{eff} for hele vinduet betyder endvidere, at kravene til faste vinduer er de samme som for oplukkelige vinduer, hvilket er uhensigtsmæssigt, da faste vinduesprofiler typisk, alt andet lige, har bedre energimæssige egenskaber, primært fordi de er smallere. For at stimulere en fortsat udvikling af energimæssig forbedrede faste ramme/karmprofiler, bør der således stilles specifikke (og strammere) krav til faste partier.

3.3.4 Vinduesstørrelse

U_{eff} gælder for et referencevindue i en standardstørrelse, hvilket er u hensigtsmæssigt, da der som før nævnt kan være stor forskel på energitilskuddet for vinduer med forskellige størrelser men med samme konfiguration, idet andelen af ramme/karmarealet er forholdsmæssigt større for små vinduer og glasarealet tilsvarende mindre. Det betyder at et lille vindue, som har dårlige energimæssige egenskaber pga. lille solindfald kan fremstå som godt da, det bedømmes i forhold til den forholdsvis store referencestørrelse. Se eksempel i Tabel 3

Tabel 3. Vinduesstørrelsens betydning for de energimæssige egenskaber. Rude: $U_g = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g_g = 0,63$.

Vinduesstørrelse		Ramme/karm		Vindue			
B	H	b	U_f	U_w	g_w	U_{eff}	E
1,23	1,48	0,12	1,4	1,36	0,42	0,43	-40
0,5	0,5	0,12	1,4	1,51	0,17	1,14	-103
2,0	2,0	0,12	1,4	1,32	0,49	0,24	-23

I forbindelse med vinduesstørrelsen er det vigtigste dog at den energimæssige rangorden mellem forskellige vinduesprodukter af samme udformning bevares for varierende vinduesstørrelse. Dette vil være tilfældet for de fleste produkter, men som vist i afsnit 3.1 er der visse produkter, som er mere afhængige af størrelsen end andre. Dette kan betyde, at de ved en sammenligning med et andet vindue har laveste U_{eff} i referencestørrelsen, mens det i en lille størrelse har den højeste U_{eff} .

3.3.5 Kondens

Forslaget indeholder ikke oplysninger kondensrisikoforhold. Forslaget bør udvides til at inkludere den såkaldte kondensmodstandsfaktor, som kan bruges til at vurdere risikoen for at der dannes kondens på indersiden af vinduet med risiko for problemer med skimmelsvamp til følge. Se afsnit 6.

3.3.6 Grænseværdier i mærkningsordningen

De valgte grænseværdier er ikke strenge nok. $U_{\text{eff}} = 0,45$ svarer til energitilskud på ca. 41 kWh/m^2 . Dette svarer ca. til energitilskuddet på eksisterende typiske vinduer i den ”gode ende”, som har været på markedet i op til 10 år. Der findes allerede i dag flere eksempler på vinduer med positivt energitilskud og dermed negativ U_{eff} .

Tabel 4. Sammenligning af U_{eff} og energitilskuddet for niveauerne anvendt i forslag 1 samt forslag til stramning af kravene.

År	Vinduesindustriens forslag		Forslag til stramning	
	U_{eff} [W/m ² K]	E_{ref} [kWh/m ²]	U_{eff} [W/m ² K]	E_{ref} [kWh/m ²]
2025	0	0		
2020	0,15	-14	-0,21	19
2015	0,30	-27	-0,11	10
2010	0,45	-41	0,27	-24
2008	0,61	-55	0,52	-47
2005	0,67	-60		

4 Forslag 2, baseret på energitilskuddet for referencevindue

I dette afsnit gennemgås forslag 2 til krav til vinduer i bygningsreglementet og energimærkningsordning. Forslaget er baseret på energitilskuddet og det er udviklet af DTU.

Kravene i BR og klassificeringen i energimærkningen baseres på energitilskuddet for referencevinduet i standardstørrelsen 1230 x 1480 med en standardrude, som kan variere for hver årgang. Dette forslag svarer meget til forslaget stillet af Vinduesindustrien, idet dette blot baseres selve energitilskuddet, som jo netop kan omformes direkte til U_{eff} og omvendt.

Der opstilles separate krav til oplukkelige vinduer og faste vinduer. Herved sikres, at kravene til faste vinduer bliver stramme nok, hvilket er vigtigt, da faste vinduespartier som regel har bedre energimæssige egenskaber end oplukkelige.

De foreslåede energimæssige krav til vinduer i fremtidige bygningsreglementer og energimærkningsordning er vist i Tabel 5. De viste krav er baseret på gennemgang af indsamlede data for typiske vinduer og energimæssigt forbedrede vinduer på markedet. Selve kravene og energiklasserne er fremhævet med grøn farve. Samtidig er der vist eksempler på komponentdata for rude, kantkonstruktion og ramme/karmprofiler, som vil resultere i de viste krav for hele vinduet.

Kravene for 2010 lægger op til overgangsordning, hvor kravene kan opfyldes enten med 2-lags energirude og en smal velisoleret ramme-karm eller med 3-lags energirude og "almindelige" ramme/karmprofiler som er noget bredere. På den måde vil producenter med de energimæssigt bedste profiler kunne nøjes med 2-lags ruder, mens dem som ikke kan levere de gode profiler må "klare sig" ved at anvende 3-lags ruder.

Tabel 5. Energimæssige krav til vinduer i energimærkningsordning og BR 2010, 2015 og 2020. Metode baseret på Energitilskuddet. Selve kravene i BR og energiklasserne fremhævet med grøn, mens de hvide felter er eksempler på komponentdata som vil opfylde kravene.

* Smalle ramme/karmprofiler i komposit udviklet på DTU (xx,2007). ** Tre-lags energirude med jernfrit glas, Planitherm, Max, Diamant (Saint gobain, 2008)

Jernkl. glas, Flammnorm, Kant, Diamant (Saint Gobain, 2000)										
				Faste vinduer			Oplukkelige vinduer			
År	Rude		Kant	Karmprofiler		Krav i BR	Ramme/karmprofiler		Krav i BR	Energimærkning
	U _g	g _g	Ψ	U _f	b _f	E _{ref}	U _f	b _f	E _{ref}	
	W/m²K		W/mK	W/m²K	m	kWh/m²	W/m²K	m	kWh/m²	
2020	0,6	0,6**	0,03	1.5	0,030	40	1,5	0,03*	40	Klasse Plus
2020	0,6	0,5	0,03	1,5	0,030	20	1,5	0,03*	20	Lavenergi kl. 0
2015	0,6	0,5	0,04	1,5	0,045	10	1,5	0,06	0	Lavenergi kl. 1
2010	0,6	0,5	0,06	1,7	0,05	0	1,6	0,10	-20	Lavenergi kl. 2
2010	1,15	0,63	0,04				1,6	0,06	-20	Lavenergi kl. 2

Som det fremgår af Tabel 5 er energimærkningen udvidet med en "Klasse Plus" med et energitilskud på 40 kWh/m^2 , som kan opnås med ultra smalle ramme/karmprofiler og en forbedret tre-lags energirude med jernfrit glas som forøger g-værdien for ruden til 0,6.

4.1 Fordele og ulemper

Den primære fordel ved dette forslag er at energitilskuddet er en mere logisk og pædagogisk størrelse til beskrivelse af og sammenligning af vinduer. Energitilskuddet er klart og tydeligt defineret som energibalancen for vinduet beskrevet ved solvarmen som transmitteres ind gennem vinduet minus

varmetabet ud igen, udtrykt i kWh/m². Det er således en størrelse man kan sætte i direkte forbindelse med energiforbruget til rumopvarmning i den aktuelle bygning. Et negativt energitilskud betyder, at der netto tabes energi gennem vinduet mens et positivt energitilskud betyder at vinduet netto tilfører varme til bygningen, som kan udnyttes til rumopvarmningen.

De øvrige fordele og ulemper ved dette forslag er enslydende med de tilsvarende for forslag 1 nævnt i afsnit 3.

5 Forslag 3, baseret på energitilskud for komponenter

I dette afsnit gennemgås forslag 3 til krav til vinduer i bygningsreglementet og energimærkningsordning. Forslaget er baseret på energitilskuddet for komponenterne i vinduer, og det er udviklet af DTU.

De energimæssige krav er baseret på energitilskuddet for referencehus dvs. energibalance mellem tilført solenergi ind gennem vinduet og varmetabet ud gennem vinduet.

For at fremhæve betydningen af de enkelte komponenter, som indgår i vinduer, er kravene baseret på energitilskuddet for de elementer der indgår i vinduet, dvs. rude, karm og ramme-karm samt kantkonstruktion. Formlen for energitilskuddet er vist på side 5.

5.1 Metode

I typiske vinduer på det danske marked er de energimæssige egenskaber for ruden bedre end for ramme-karmprofilerne, idet moderne energiruder udover en lav U-værdi bidrager med gratis solvarmetilskud modsat ramme/karmprofiler, som kun bidrager med et varmetab. Der er derfor taget udgangspunkt i den ideelle situation, hvor ruden dækker hele murhullet, hvilket for typiske ruder giver et positivt energitilskud. Når ramme/karmprofilerne tilføjes og erstatter en del af ruden, reduceres energitilskuddet, da profilerne i sig selv altid har et negativt energitilskud. De energimæssige krav som gennemgås i det følgende kan anvendes i både energimærkningsordningen og Bygningsreglementet. Således vil kravene for hhv. 2010, 2015 og 2020 svare til mærkningsordningens ”Energiklasse 2”, ”Energiklasse 1” og ”Energiklasse 0”.

5.1.1 Ramme/karm

De energimæssige krav til vinduesprofiler opstilles som energitilskuddet for ramme/karmprofilet, E_{RK} , pr løbende meter minus rudens energitilskud, E_g , af det areal som erstattes af ramme/karmprofilet. På den måde fremhæves det, at tilstedeværelsen af ramme/karm udover udelukkende at medføre et varmetab også reducerer en del af rudens gode energitilskud. Dvs.:

$$E_{RK} > \text{energitilskuddet for ramme/karm} \cdot b_f - \text{energitilskuddet for ruden} \cdot b_f \quad [\text{kWh/m}]$$

$$E_{RK} > (b_f \cdot U_f + \Psi) \cdot G - b_f \cdot E_g \quad [\text{kWh/m}]$$

hvor

$G =$ -90,34 kWh er antal gradtimer på en fyringssæson.

b_f : bredde af ramme/karmprofil [m]

U_f : Varmetabskoefficient for ramme/karmprofil [$\text{W/m}^2\text{K}$]

Ψ : linjetabskoefficient for samling rude og ramme/karm [W/mK]

E_g : Rudens energitilskud [kWh/m^2]

Der skelnes mellem fast karm og ramme/karm til hhv. faste og oplukkelige vinduer.

5.1.2 Rude

Kravene til ruden, som indgår i vinduet er opstillet som typiske rudetyper afhængig af forskellige vinduestyper, fx forsejlet energirude (med 2 eller 3 lag glas og ædelgas i hulrummet).

5.1.3 Kondensmodstandsfaktor

For at undgå problemer med kondens på indersiden af vinduet og dermed minimere problemer med dannelse af skimmelsvamp, skal kondensmodstandsfaktoren for de indgående profiler angives. Se afsnit 6.

2010:

Kravene i 2010 kan overordnet opdeles i to, idet der opstilles energimæssige krav til profilerne ved anvendelse af hhv. 2-lags energirude eller 3-lags energirude. Dette begrundes i, at der allerede i 2008 på markedet findes nogle få nye dansk producerede vinduer med smalle profiler og U-værdi på under 1,5 W/m²K. Disse vinduer har med en 2-lags rude et energitilskud på -13 kWh/m² og med en 3-lags rude opnås et positivt energitilskud.

Dette er væsentligt bedre end typiske standardvinduer på markedet, og det vurderes at være for tidligt at stille krav på det niveau allerede i 2010. Kravene opstilles derfor således, at hvis der anvendes 2-lags energirude stilles højere krav til profilerne end hvad der svarer til typiske profiler i dag, mens profilkravene er noget lavere hvis der anvendes 3-lags ruder. På den måde vil producenter med de energimæssigt bedste profiler kunne nøjes med 2-lags ruder, mens dem som ikke kan levere de gode profiler må "klare sig" ved at anvende 3-lags ruder, som er dyrere og tungere og i første omgang måske mindre attraktive at anvende. Niveauerne er valgt således, at et traditionelt/typisk ramme/karmprofil med en bredde på 100 mm og U-værdi på 1,6 W/m²K skal kunne klare kravet, når der anvendes en 3-lags rude. Denne vurdering er baseret på en gennemgang af indsamlede data for typiske vinduer i Danmark. Se oversigt i afsnit 7.

Krav til rude:

Forseglet rude: **E > 20 kWh/m²** (2-lags energirude, argon, U = 1,15, g = 0,63)

Forseglet rude: **E > 35 kWh/m²** (3-lags energirude, argon, U = 0,70, g = 0,50)

Kantkonstruktion: $\Psi < 0,04$ W/mK (varm kant, $\lambda_{eq} < 0,25$ W/mK)

For at leve op til kravene i BR2010 skal vinduet overholde kravene i Tabel 6 hvis der anvendes 2-lags rude eller Tabel 7 hvis der anvendes 3-lags rude. Kravene svarer til "Energiklasse 2" i forslag til energimærkningsordning. Kravene i tabellerne er vist sammen med eksempler på bredde, b_f, og varmetabskoefficient, U_f, for forskellige profiler.

Tabel 6. Krav i BR2010 når der anvendes 2-lags forseglet rude. "Energiklasse 2" i energimærkningsordningen. Der er vist eksempler på bredde, b_f, og varmetabskoefficient, U_f, for forskellige profiler.

Rude	U _g	g _g		E _g
	[W/m ² K]			[kWh/m ²]
2- lag	1,15	0,63		20
Profiler	b _f	U _f	Ψ	E _{R/K}
	[m]	[W/m ² K]	[W/mK]	[kWh/m]
Fast karm	0,05	1,9	0,04	-13
Ramme/karm	0,06	2,0	0,04	-16
Post	0,08	1,5	0,04	-16
Sprosse	0,025	1,0	0,03	-5

Tabel 7. Krav i BR2010 når der anvendes 3-lags forseget rude. ”Energiklasse 2” i energimærkningsordningen. Der er vist eksempler på bredde, b_f , og varmetabskoefficient, U_f , for forskellige profiler.

Rude		U_g	g_g		E_g
		[W/m ² K]			[kWh/m ²]
3-lag		0,7	0,5		35
Profiler		b_f	U_f	Ψ	$E_{R/K}$
		[m]	[W/m ² K]	[W/mK]	[kWh/m]
Fast karm		0,07	1,60	0,04	-16
Ramme/karm	bred	0,10	1,60	0,04	-22
Ramme/karm	smal	0,05	3,10	0,04	-21
Post	bred	0,10	1,30	0,04	-19
Post	smal	0,07	1,30	0,04	-14
Sprosse		0,025	1,00	0,03	-6

2015

Kravene for 2015 opstilles efter samme princip som for 2010, dog stilles der kun ét fast krav til ruden. DVS der skal altid anvendes rude med U_g på højest 0,6 W/m²K. Dette svarer til en 3-lags energirude med 16 mm glasafstand med argon. Kravene til ramme/karmprofiler skærpes svarende til at bredde skal være under 60 mm og $U=1,1$ W/m²K. For at leve op til kravene i BR2015 skal vinduet overholde kravene i Tabel 8, hvor kravene er vist sammen med eksempler på bredde, b_f , og varmetabskoefficient, U_f , for forskellige profiler. Kravene svarer til ”Energiklasse 1” i forslag til energimærkningsordning.

Tabel 8. Krav i BR2015. ”Energiklasse 1” i energimærkningsordningen. Der er vist eksempler på bredde, b_f , og varmetabskoefficient, U_f , for forskellige profiler.

Rude		U_g	g_g		E_g
		[W/m ² K]			[kWh/m ²]
3- lag		0,6	0,5		44
Profiler		b_f	U_f	Ψ	$E_{R/K}$
		[m]	[W/m ² K]	[W/mK]	[kWh/m]
Fast karm		0,045	1,1	0,04	-10
Ramme/karm		0,06	1,1	0,04	-12
Post		0,08	1,2	0,04	-16
Sprosse		0,025	1	0,03	-6

2020:

Kravene for 2020 opstilles efter samme princip som for 2010, dog stilles der kun et fast krav til ruden. DVS der skal altid anvendes en rude med U_g på højest 0,5 W/m²K og g-værdi på min 0,5 (tre-lags rude). Kravene til ramme/karmprofiler skærpes svarende til at bredde skal være under 60 mm og $U=0,8$

W/m^2K . For at leve op til kravene i BR2020 skal vinduet overholde kravene i Tabel 9, hvor kravene er vist sammen med eksempler på bredde, b_f , og varmetabskoefficient, U_f , for forskellige profiler. Kravene svarer til "Energiklasse 0" i forslag til energimærkningsordning.

Tabel 9. Krav i BR2020. "Energiklasse 0" i energimærkningsordningen. Der er vist eksempler på bredde, b_f , og varmetabskoefficient, U_f , for forskellige profiler.

Rude		U_g	g_g		E_g
		$[W/m^2K]$			$[kWh/m^2]$
3- lag		0,5	0,5		53,0
Profiler		b_f	U_f	Ψ	$E_{R/K}$
		$[m]$	$[W/m^2K]$	$[W/mK]$	$[kWh/m]$
Fast karm		0,045	0,8	0,04	-9
Ramme/karm		0,06	0,8	0,04	-11
Post		0,08	1	0,04	-15
Sprosse		0,025	1	0,03	-6

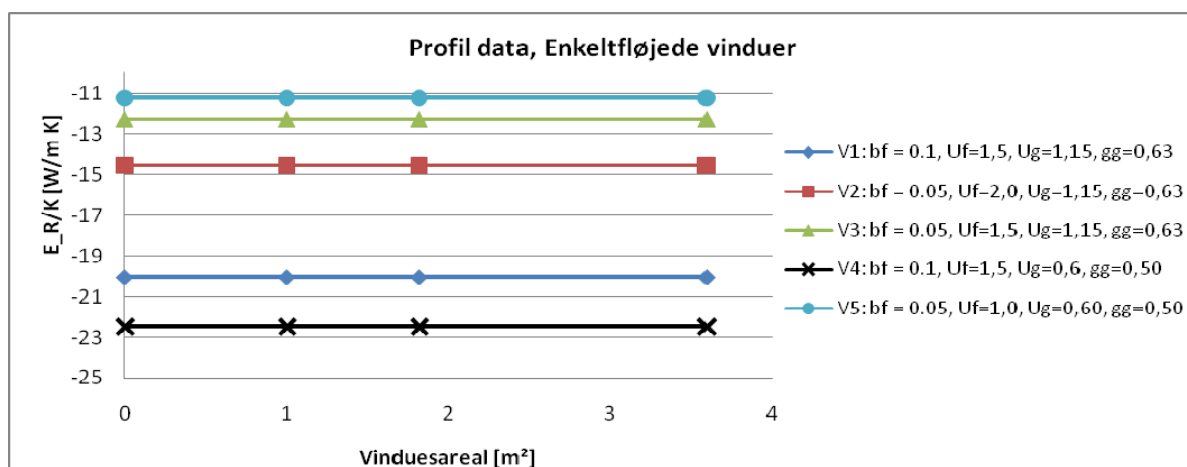
5.2 Fordele ved forslag 3

5.2.1 Værdier på komponentniveau

De energimæssige krav stilles for alle centrale komponenter, som indgår i vinduerne, dvs. profiler (ramme, karm, poster og sprosser), rude og kantkonstruktion, sidstnævnte i form af Ψ -værdien. Det betyder at, man ikke kan komme igennem med blot at anvende f.eks. en meget god rude og så slække på kravene til vinduesprofilerne. Denne detaljerede opdeling vil sikre, at der hele tiden er fokus på at udvikle alle de indgående komponenter og anvende dem med de bedste energimæssige egenskaber. Således vil metoden stimulere en udvikling af energimæssigt bedre ramme/karmprofiler, som pt. stadig er bagud i forhold til ruderne.

5.2.2 Vinduesstørrelse

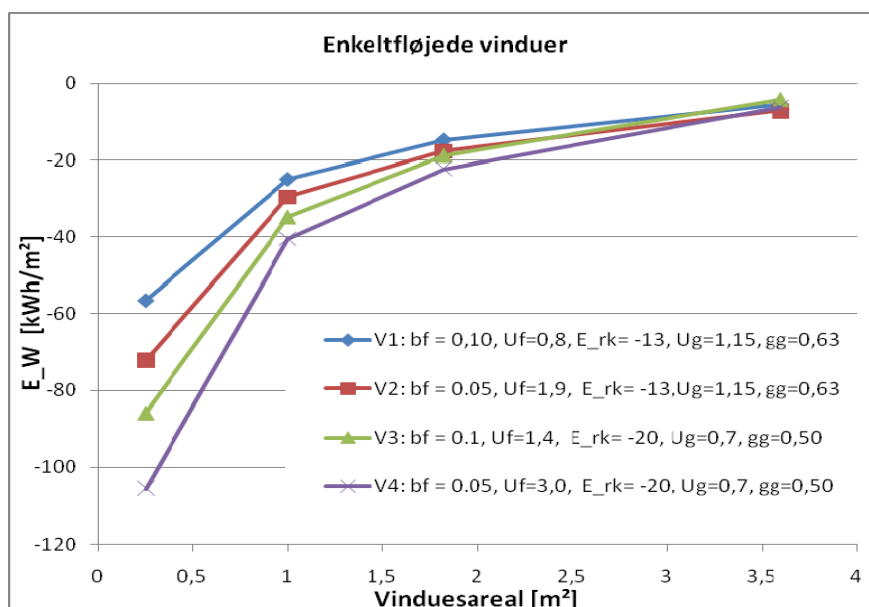
Da kravene stilles på komponentniveau for alle dele i vinduer er metoden uafhængig af vinduesstørrelsen. Se Figur 8 hvor energitilskuddet, $E_{R/K}$, for ramme/karmprofiler for forskellige enkeltfløjede vinduer er vist for forskellige størrelser.



Figur 8. Energitilskud for ramme/karmprofiler for enkeltfløjede vinduer i forskellige størrelser.

Det ses, at den energimæssige rangorden mellem E_{RK} for de fem vinduer er konstant, svarende til at profilerne i V1 er bedst uanset hvilken vinduesstørrelse der anvendes. Det skyldes naturligvis at E_{rk} er givet pr løbende m. Samme overordnede mønster sammenhæng er gældende for dannebrogsvinduer og småsprossede vinduer. Denne sammenhæng vil tydeliggøre, at det også er fordelagtigt at anvende energimæssigt bedste ramme/karmprofiler i store vinduer. Ved sammenligning af Figur 8 med Figur 2 som viser U_{eff} som fkt. af vinduesstørrelsen for forskellige vinduer, fremgår det at ramme/karmprofilet i V4 er det dårligste i denne metode, mens V4 lå ca. midt i mellem ved anvendelse af forslaget baseret på U_{eff} . Dette indikerer, at forslag 3 baseret på komponentniveau netop afslører de energimæssigt ”dårlige” profiler, som i forslag 1 og 2 kan fremstå bedre ved blot at anvende en bedre rude som kan forbedre U_{eff} eller E_{ref} .

Selvom energitilskuddet for de enkelte profiler er uafhængigt af vinduesstørrelsen, er det samlede vindues energitilskud for de valgte profiler stadig afhængig af vinduesstørrelsen. På Figur 9 er energitilskuddet, E_{ref} , vist for fire varianter af enkeltfags vinduer hvor profilerne overholder de foreslåede krav for 2010 for hhv. 2-lags rude og 3-lags rude.



Figur 9. Energitilskuddet, E_w , som funktion af vinduesarealet for fire forskellige enkeltfløjede vinduer som overholder krav til profilerne ved anvendelse af hhv 2-lags rude og 3-lags rude.

Det ses på Figur 9, at rangordnen af energitilskuddet mellem de fire vinduer stort set ikke ændres når vinduesstørrelsen ændres.

5.3 Ulemper ved forslag 3

5.3.1 Værdier på komponentniveau

Energitilskuddet for profilerne i vinduer afhænger som nævnt både af profilet selv men også af de energimæssige egenskaber for ruden, som de anvendes sammen med. Dette betyder, at værdierne for profiler kun giver mening, når de ses i sammenhæng med den givne rude. Dette kan være u hensigtsmæssigt da E_{RK} bliver større jo mindre rudens energitilskud er. Det betyder at et givent ramme/karmprofil kommer til at fremstå som energimæssigt bedre, når det anvendes sammen med en energimæssigt dårligere rude. Denne problemstilling er dog ikke afgørende for foreslåede fremtidige krav i BR, da de dikterer at der anvendes ruder med givne minimumskrav.

6 Kondensmodstandsfaktor

Udover at påvirke varmetabet fra vinduet har de varmetekniske egenskaber også indflydelse på overfladetemperaturen og dermed om der dannes kondens på ruden eller profilerne med risiko for problemer med skimmelsvamp til følge. Det anbefales derfor, at udvide mærkningsordningen med kondensmodstandsfaktoren, som kan bruges til at vurdere risikoen for at der dannes kondens på indersiden af vinduet

6.1 Krav til indvendig overfladetemperatur på vinduer for at modvirke kondensdannelse

Det anbefales at følge proceduren beskrevet i standarden:

EN ISO 13788 Hygrothermal performance of building components and building elements – Internal surface to avoid critical surface humidity and interstitial condensation – Calculation methods (ISO 13788:2001)

Standarden foreskriver i afsnit 5.4 en metode til at undgå kondensdannelse på lette bygningskonstruktioner. Metoden er at bestemme kravet til en klimaskærmskonstruktions kondensmodstandsfaktor, $f_{Rsi,min}$:

$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e}$$

hvor,

$\theta_{si,min}$ er laveste acceptable overfladetemperatur [°C]
 θ_e er udetemperaturer [°C]
 θ_i er indetemperaturen [°C]

Det skal bemærkes at metoden anvender daglig minimumstemperatur (Se standarden afsnit 4.2.2) og at udeluftens relative fugtighed sættes til 0,95.

Se desuden annex D: The assessment of the risk of condensation on window frames.

Anvendes fx. det danske vejrdatabaser DRY vil der med metoden kunne bestemmes en daglig kondensmodstandsfaktor, som funktion af udetemperaturen (daglig minimum).

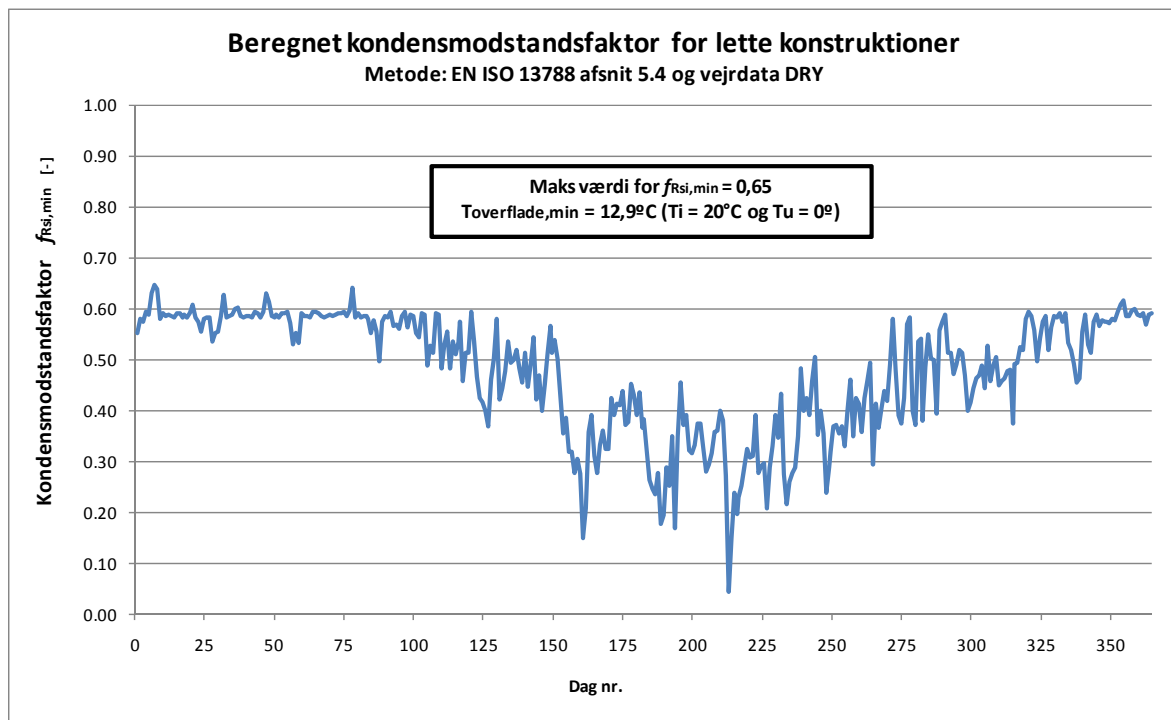
Kravet til kondensmodstandsfaktoren vil da kunne fastlægges ud fra disse værdier.

Kravet til vinduernes kondensmodstandsfaktor vil være at den skal være større end ovenstående fastlagte værdi. Vinduets kondensmodstandsfaktor bestemmes af:

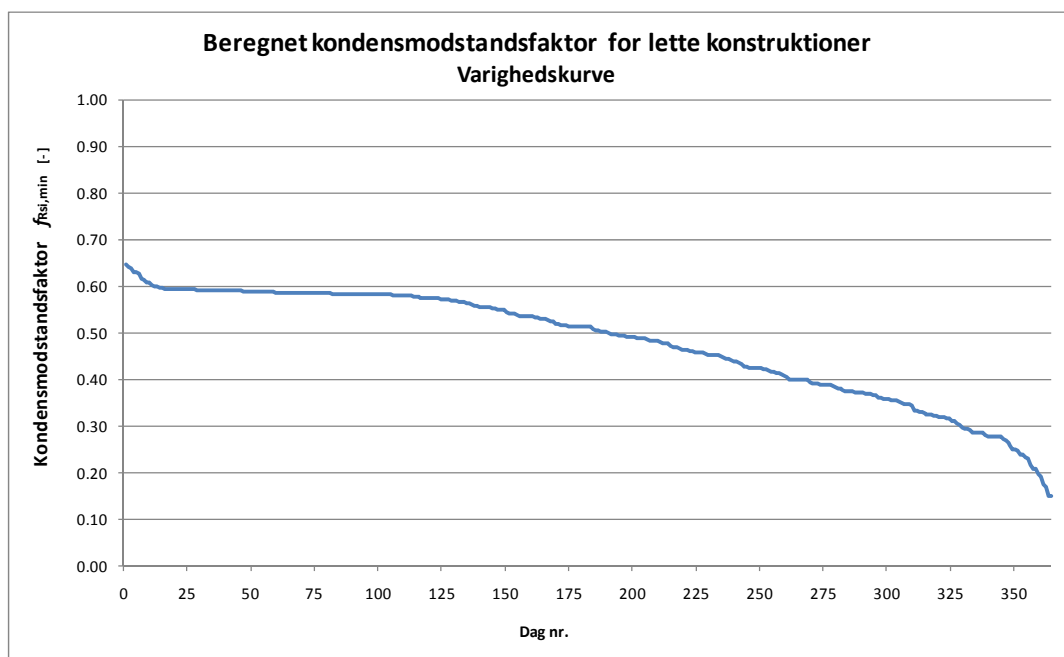
$$f_{Rsi,min} = \frac{\theta_{si,min} - 0^{\circ}C}{20^{\circ}C - 0^{\circ}C}$$

$\theta_{si,min}$ er vinduets laveste indvendige overfladetemperatur [°C].

Nedenfor er fortaget et eksempel på beregning af kondensmodstandsfaktoren jf. EN ISO 13788 og ved anvendelse af det danske vejrdatabår DRY.



Figur 10. Beregnet kondensmodstandsfaktor jf. EN ISO 13788



Figur 11. Beregnet kondensmodstandsfaktor jf. EN ISO 13788. Varighedskurve til fastlæggelse af krav.

Som vist på Figur 10 er den maksimale kondensmodstandsfaktor 0,65 ved anvendelse af det danske referenceår. Denne høje værdi svarer til en udetemperatur, θ_e , på $-21,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Omregnet til θ_e på $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ giver det en minimum overfladetemperatur, $\theta_{si,min}$, på $12,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Denne ekstreme situation forekommer dog kun en gang om året og er derfor urimelig som grænseværdi. Fastsettelse af en realistisk grænseværdi for kondensmodstandsfaktoren/minimum overfladetemperatur afhænger af hvor mange gange eller hvor længe man kan tillade at der forekommer kondens.

6.2 Forslag til krav

På baggrund af ovenstående analyse foreslås det, at der stilles følgende krav i det kommende bygningsreglement samt i energimærkningsordningen vedr. kondens:

Kondensmodstandsfaktoren, $f_{Rsi} \geq 0,6$

Indvendig overfladetemperatur $\theta_{si,min} \geq 12\text{ }^{\circ}\text{C}$, ved $\theta_e = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ og $\theta_i = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$

7 Sammenligning af forslag

Sammenligning af hvilke af de vinder der er indsamlet data for som kan leve op til hhv. Vinduesindustriens og DTUs forslag til krav. Data for vinduer er listet op i Tabel 10.

Tabel 10. Oversigt over typiske og forbedrede vinduer på det danske marked. De foreslåede krav til energimæssige egenskaber er vist i højre side. Grænserne er markeret med gul. De vinduer som overholder de enkelte krav er markeret med grå.

Ug g_g E_g												Energimærkning												
												Forslag 3				Forslag 2				Forslag 1				
												DTU				DTU				VINDUESINDUSTRIEN				
												2010		2015	2020	2010	2010	2015	2020	2010		2015	2020	
												2-lags	3-lags			2-lags	3-lags			2-lags	3-lags			
												1.15	0.70	0.60	0.50	1.15	0.70			1.15	0.7			
												0.63	0.50	0.50	0.50	0.63	0.50			0.63	0.5			
20	34.92	44	53																					
												U_eff = U_w - 2,2 *g*A_g/A_v												
												0.05	0.04	0.05	0.05									
nr.	Type	b	U	b	U	U_g	g_g	Ψ	U_W	g_W	E_w	E_RK	E_RK	E_RK	E_RK	E_ref	E_ref	E_ref	E_ref	U_eff	U_eff	U_eff	U_eff	
Typiske vinduer 2005												Krav	>-16	>-22	>-12	>-11	>-20	>-20	>0	>20	< 0,45	< 0,45	< 0,30	< 0,15
1	Træ-alu, varm kant	0.12	1.60			1.15	0.63	0.060	1.44	0.42	-47	-23	-25	-26	-28	-47	-37	-47	-47	0.51	0.40	0.51	0.51	
2	Træ-alu	0.12	1.60			1.15	0.63	0.090	1.52	0.42	-54	-23	-25	-26	-28	-54	-43	-54	-54	0.58	0.47	0.58	0.58	
3	Træ-alu	0.06	3.50			1.15	0.63	0.060	1.73	0.52	-55	-25	-26	-26	-28	-55	-43	-55	-55	0.59	0.46	0.59	0.59	
4	Træ-alu, varm kant	0.06	3.50			1.15	0.63	0.060	1.73	0.52	-55	-25	-26	-26	-28	-55	-43	-55	-55	0.59	0.46	0.59	0.59	
5	Træ-alu	0.06	3.20			1.15	0.63	0.050	1.64	0.52	-45	-22	-23	-24	-25	-45	-33	-45	-45	0.49	0.35	0.49	0.49	
6	Plast	0.06	1.60			1.15	0.63	0.050	1.36	0.52	-21	-13	-14	-15	-16	-21	-8	-21	-21	0.21	0.08	0.21	0.21	
7	Plast	0.06	1.60			1.15	0.63	0.060	1.39	0.52	-23	-13	-14	-15	-16	-23	-10	-23	-23	0.24	0.10	0.24	0.24	
8	Plast	0.06	1.60			1.15	0.63	0.030	1.31	0.52	-16	-13	-14	-15	-16	-16	-3	-16	-16	0.16	0.02	0.16	0.16	
9	Træ	0.10	1.70			1.15	0.63	0.090	1.53	0.46	-49	-21	-22	-23	-25	-49	-38	-49	-49	0.53	0.41	0.53	0.53	
10	Træ-alu	0.11	1.40			1.15	0.63	0.080	1.42	0.44	-42	-20	-21	-22	-24	-42	-32	-42	-42	0.46	0.34	0.46	0.46	
11	Plast	0.12	1.70			1.15	0.63	0.050	1.45	0.42	-48	-24	-26	-27	-29	-48	-38	-48	-48	0.52	0.41	0.52	0.52	
12	Metal	0.06	2.80			1.15	0.63	0.090	1.68	0.52	-49	-20	-21	-21	-23	-49	-36	-49	-49	0.53	0.39	0.53	0.53	
13	Træ-alu	0.06	2.80			1.15	0.63	0.050	1.57	0.52	-39	-20	-21	-21	-23	-39	-26	-39	-39	0.42	0.28	0.42	0.42	
14	Plast, varm kant	0.11	1.60			1.15	0.63	0.050	1.41	0.44	-41	-22	-23	-24	-26	-41	-30	-41	-41	0.44	0.33	0.44	0.44	
15	Plast, varm kant	0.11	1.30			1.15	0.63	0.050	1.32	0.44	-33	-19	-20	-21	-23	-33	-22	-33	-33	0.35	0.24	0.35	0.35	
16	Træ	0.09	1.70			1.15	0.63	0.050	1.42	0.47	-35	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	
17	Træ	0.09	1.70			1.15	0.63	0.050	1.42	0.47	-35	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	
18	2-fl. Træ-alu	0.06	3.20	0.11	3.30	1.15	0.63	0.050	2.07	0.43	-102	-22	-23	-24	-25	-45	-33	-45	-45	0.49	0.35	0.49	0.49	
19	2-fl. Træ	0.09	1.70	0.14	1.80	1.15	0.63	0.050	1.65	0.37	-77	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	
20	2-fl. Træ	0.09	1.70	0.14	1.80	1.15	0.63	0.050	1.65	0.37	-77	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	
21	DB, Træ	0.09	1.70	0.14	1.80	1.15	0.63	0.050	1.65	0.37	-77	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	

22	DB, Træ	0.09	1.70	0.14	1.80	1.15	0.63	0.050	1.65	0.37	-77	-19	-21	-21	-23	-35	-24	-35	-35	0.38	0.25	0.38	0.38	
23	DB,Træ-alu	0.06	3.50	0.14	3.50	1.15	0.63	0.060	2.30	0.41	-129	-25	-26	-26	-28	-55	-43	-55	-55	0.59	0.46	0.59	0.59	
24	DB, Træ-alu, varm k	0.06	3.50	0.14	3.50	1.15	0.63	0.050	2.25	0.41	-124	-25	-26	-26	-28	-52	-40	-52	-52	0.57	0.43	0.57	0.57	
25	DB, Træ	0.10	1.50	0.15	1.70	1.15	0.63	0.080	1.74	0.34	-89	-19	-21	-22	-23	-41	-30	-41	-41	0.45	0.33	0.45	0.45	
26	DB, Træ, varm kant	0.10	1.50	0.15	1.70	1.15	0.63	0.060	1.64	0.34	-81	-19	-21	-22	-23	-37	-26	-37	-37	0.39	0.28	0.39	0.39	
27	DB, Træ-alu, varm k	0.10	2.10	0.15	2.30	1.15	0.63	0.060	1.91	0.34	-105	-25	-26	-27	-29	-52	-41	-52	-52	0.56	0.44	0.56	0.56	
28	DB,Træ-alu	0.10	2.10	0.15	2.30	1.15	0.63	0.080	2.01	0.34	-114	-25	-26	-27	-29	-56	-45	-56	-56	0.61	0.49	0.61	0.61	
29	DB, Plast	0.09	1.90	0.16	2.00	1.15	0.63	0.070	1.85	0.35	-98	-21	-22	-23	-25	-44	-33	-44	-44	0.48	0.36	0.48	0.48	
30	DB, Plast, varm kan	0.09	1.90	0.16	2.00	1.15	0.63	0.040	1.70	0.35	-85	-21	-22	-23	-25	-37	-26	-37	-37	0.40	0.28	0.40	0.40	
31	DB,Træ-alu	0.06	3.20	0.11	3.30	1.15	0.63	0.050	2.07	0.43	-102	-22	-23	-24	-25	-45	-33	-45	-45	0.49	0.35	0.49	0.49	
32	DB+Træ-alu	0.06	3.20	0.11	3.30	1.15	0.63	0.050	2.07	0.43	-102	-22	-23	-24	-25	-45	-33	-45	-45	0.49	0.35	0.49	0.49	
33	DB, Plast, varm kan	0.11	1.90	0.15	1.90	1.15	0.63	0.050	1.75	0.33	-93	-25	-26	-27	-29	-49	-38	-49	-49	0.53	0.42	0.53	0.53	
34	DB, Plast	0.09	1.90	0.16	2.00	1.15	0.63	0.050	1.75	0.35	-89	-21	-22	-23	-25	-40	-28	-40	-40	0.43	0.30	0.43	0.43	
		Ramme/karm		Post		Rude			Vindue			2-lags	3-lags			2-lags	3-lags			2-lags	3-lags			
nr.	Type	b	U	b	U	U_g	g_g	Ψ	U_W	g_W	E_w	E_Kar m		E_Kar m	E_Kar m	E_ref	E_ref	E_ref	E_ref	U_eff u post		U_eff u post	U_eff u post	
Nye vinduer tilføjet 2008												Krav	>-16	>-22	>-12	>-11	>-20	>-20	>0	>20	< 0,45	< 0,45	< 0,30	< 0,15
N1	Komposit/træ, Rud	0.057	1.42			0.52	0.46	0.036	0.76	0.39	7	-12	-13	-13	-15	7	0	7	7	-0.09	-0.01	-0.09	-0.09	
N2	Komposit/træ, Rud	0.06	1.42			0.50	0.50	0.036	0.75	0.42	15	-12	-13	-13	-15	15	0	15	15	-0.17	-0.01	-0.17	-0.17	
N3	DB, Komposit/træ	0.06	1.42	0.09	1.53	0.52	0.46	0.036	0.97	0.33	-23	-12	-13	-13	-15	-3	0	-3	-3	-0.09	-0.01	-0.09	-0.09	
N4	Fast karm, komposi	0.05	1.35			0.52	0.46	0.036	0.72	0.40	13	-10	-11	-11	-12	13	6	13	13	-0.16	-0.07	-0.16	-0.16	
N5	opluk karm, kompo	0.08	1.62			0.52	0.46	0.036	0.87	0.35	-9	-17	-19	-19	-21	-9	-16	-9	-9	0.09	0.16	0.09	0.09	
N6	Træ (accoya)	0.09	0.95			0.50	0.50	0.038	0.71	0.38	11	-13	-14	-15	-17	11	-3	11	11	-0.13	0.02	-0.13	-0.13	
N7	PVC	0.07	1.25			0.50	0.50	0.039	0.75	0.40	10	-13	-14	-15	-16	10	-4	10	10	-0.13	0.03	-0.13	-0.13	
N8	PVC	0.07	1.37			1.20	0.63	0.038	1.34	0.50	-22	-14	-15	-16	-17	-22	-6	-22	-22	0.23	0.06	0.23	0.23	
N9	Træ/alu/PVC/Kompo	0.06	2.17			0.41	0.46	0.040	0.80	0.39	4	-16	-17	-17	-18	4	-12	4	4	-0.05	0.12	-0.05	-0.05	
N10	Træ/alu/PVC/Kompo	0.06	2.17			1.00	0.49	0.040	1.30	0.41	-36	-16	-17	-17	-18	-36	-12	-36	-36	0.39	0.12	0.39	0.39	
N11	Komposit/træ - 2-læ	0.06	1.42			1.15	0.63	0.036	1.29	0.53	-13	-12	-13	-13	-15	-13	0	-13	-13	0.13	-0.01	0.13	0.13	
N12	Komposit/træ	0.06	1.42			0.50	0.51	0.036	0.75	0.42	15	-12	-13	-13	-15	15	0	15	15	-0.18	-0.01	-0.18	-0.18	
N13	Plast, Dreje-kip, Tys	0.10	0.70			0.52	0.49	0.036	0.66	0.35	10	-12	-14	-14	-16	10	-1	10	10	-0.12	0.00	-0.12	-0.12	
N14	Plast	0.09	1.50			0.52	0.49	0.040	0.87	0.36	-7	-18	-19	-20	-22	-7	-18	-7	-7	0.07	0.19	0.07	0.07	
N15	Plast	0.11	1.60			0.52	0.49	0.040	0.95	0.34	-20	-22	-24	-25	-27	-20	-30	-20	-20	0.21	0.32	0.21	0.21	
N16	Træ/kork	0.10	0.81			0.61	0.49	0.034	0.75	0.35	2	-13	-14	-15	-17	2	-3	2	2	-0.03	0.02	-0.03	-0.03	

Det fremgår af Tabel 10, at kun tre af de typiske vinduer (fra nr. 1 til 34) som har 2-lags ruder overholder kravene (grå felter) i forslag 2 og 3 for 2010, mens ca. halvdelen af den overholder kravene i forslag 1. Hvis de samme vinduer anvender 3-lags ruder, er det ca. halvdelen af vinduerne som overholder kravene i forslag 3 for 2010, og næsten alle sammen i forslag 1, mens der kun er tre vinduer som overholder kravene i forslag 2.

For de nye energimæssigt bedre vinduer (fra nr N1 til N16) overholder næsten alle vinduer kravene for alle tre forslag 2010. For 2015 er der et vindue som overholder kravene i forslag 1, 9 i forslag 2 og alle vinduer i forslag 3. Endelig er der for 2020 kun et vindue som overholder kravene i forslag 3, 0 i forslag 2, men alle på nær tre i forslag 1.

Det indikerer, at kravene i forslag 2 og 3 er strammere end i for forslag 1. Det tyder dog på at det til dels er niveauerne på kravene som er årsag til forskellene. Hvis kravene til U_{eff} skærpes til 0,22 W/m²K i 2010, 0,0 W/m²K i 2015 og -0,22 W/m²K i 2020 vil de samme vinduer godkendes i forslag 1 og 2.

8 Forsatsvinduer

Metoden til at opstille energimæssige krav til forsatsvinduer er som udgangspunkt den samme som for facadevinduer (forslag 2 afsnit 4), dvs baseret på energitilskuddet for vinduer i referencestørrelsen. Dog er grænserne nogle andre bl.a. egenskaberne for de ikke forseglede ruder adskiller sig fra de forseglede ruder.

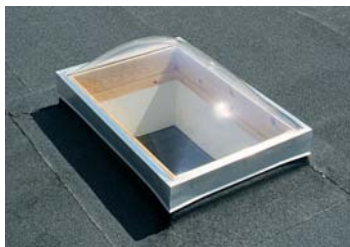
Tabel 11. Forslag til energimærkning og krav til forsatsvinduer i BR

År	Rude	Vindue		Krav i BR	Energimærkning
	U_g	U_w	g_w	E_{ref}	Klasse
	$W/m^2 K$	$W/m^2 K$		kWh/m^2	
2020	0,7	0,8	0,34	-7	Lavenergi kl. 0
2015	0,9	1,0	0,35	-22	Lavenergi kl. 1
2010	1,0	1,2	0,35	-39	Lavenergi kl. 2

9 Ovenlys og tagvinduer

9.1 Ovenlys

Ovenlys kan ifølge ”tekniske bestemmelser for energimærkning af ovenlys” defineres som vinduer med plastkuper beregnet for lysindfald gennem tagflader.



Figur 12. Eksempel på ovenlys.

Bygningsreglementet stiller pt. krav til ovenlysets samlede U-værdi og tilhørende transmissionsareal. Idet de energimæssige egenskaber for profilerne i ovenlyset beskrives ved en Ψ -værdi som afhænger af den anvendte kuppel og karm er det svært at opstille specifikke krav til profilerne i ovenlys. Der foreligger i øvrigt kun få data for ovenlys. Eksempler på U-værdier for typiske ovenlys på det danske marked er vist i Tabel 12.

Tabel 12. U-værdier for typiske ovenlys (indsamlet på www)

	Beskrivelse	U-værdi
Producent_x		W/m ² K
Acrylovenlys. Hvælvede, pyramide og rytterformede.	Massiv karm: 2-lags	2,8
2- eller 3-lags - på fast eller oplukkelig trækarm.	Massiv karm: 3-lags	2,3
	Isoleret karm: 3-lags	1,8
Glasovenlys Rytterformede 30°	Massiv karm: Float thermo	1,68
2-lags - på fast eller oplukkelig trækarm.	Massiv karm: Solrefl. glas	1,58
Acrylcoated polycarbonat.	3-lags	2,3
Hvælvede. 3- eller 5-lags på fast eller oplukkelig trækarm	5-lags	1,8
Glas/alu-planlys	Massiv karm: Float thermo	1,68
2-lags thermo.	Massiv karm: Solrefl. glas	1,58
Glas/alu-pultlys	Isoleret karm: Float thermo	1,3
2-lags thermo.	Isoleret karm: Solrefl. glas	1,2
Producent_x	2-lags acryl	2,3
	3-lags acryl	1,8
	3-lags PC, 16 mm	2,4
	5-lags PC, 32 mm	1,8
	3-lags acryl	1,6
Producent_x	2-lags: Acryl	2,9
	3-lags: Acryl	2,2
	Karm	1,1
	10 mm PC plade	2,2
	20 mm PC plade	1,5
Producent_x	Massiv karm	2,0
	Isoleret karm	1,8
ovenlys inkl. 20 cm massiv karm (W/m ² K), Acryl	2-lag	2,6
	3-lag	2
ovenlys inkl. 20 cm isoleret karm (W/m ² K), Acryl	2-lag	2,3
	3-lag	1,8
ovenlys inkl. 20 cm massiv karm (W/m ² K), PC-lys	2-lag	2,5
	3-lag	1,8

Det anbefales, de energimæssige krav til ovenlys fortsat er ovenlysets samlede U-værdi og tilhørende transmissionsareal. Der kan evt. stilles specifikke krav om at der skal anvendes isoleret karm. Forslag til krav i BR og energimærkningsordning er vist i Tabel 13.

Tabel 13. Forslag til energimærkning og krav til ovenlys i BR.

År	U _{tot}	Energimærkning
	W/m ² K	
2020	0,8	Lavenergi kl. 0
2015	1,1	Lavenergi kl. 1
2010	1,5	Lavenergi kl. 2
2008	1,8	Standard

9.2 Tagvinduer



Figur 13. Eksempel på tagvindue

Tagvinduer kan behandles stort set som facadevinduer (forslag 2 afsnit 4), dvs baseret på energitilskuddet for vinduer i referencestørrelsen. Dog er solindfaldet stærkt afhængigt af orienteringen og hældningen og det anbefales ikke at anvende en reference gennemsnitsorientering. Det anbefales at de energimæssige krav til tagvinduer baseres på energitilskuddet gennem et vandret vindue. Forslag til krav i BR og energimærkningsordning er vist i Tabel 14.

Tabel 14. Forslag til energimærkning og krav til tagvinduer i BR

År	Rude			Vindue		Krav i BR	Energimærkning
	U_g	U_f	b_f	U_w	g_w	E_{ref}	Klasse
	$W/m^2 K$	$W/m^2 K$	m	$W/m^2 K$		kWh/m^2	
2020	0,6	1,5	0,03	0,8	0,46	31	Lavenergi kl. 0
2015	0,6	1,6	0,06	0,9	0,41	11	Lavenergi kl. 1
2010	1,15	1,6	0,06	1,3	0,52	-8	Lavenergi kl. 2

10 Erhvervsbyggeri

Energiforbrug og indeklima i boliger stiller andre krav til vinduer end det er tilfældet for erhvervsbyggeri, hvor solindfaldet ikke altid kan udnyttes i samme grad. I erhvervsbygninger går en stor del af energiforbruget ofte til køling/ventilation og belysning, og vinduer/facade spiller en meget stor rolle for disse forbrug. Der er dog stadig et opvarmningsbehov i erhvervsbygninger hvorfor vinduerne bør have et stort energitilskud. Derfor er der behov for udvidede krav til vinduer/facadeløsninger i erhvervsbygninger, som også tager hensyn til vinduernes indflydelse på energibehovet til køling og belysning.

Den bedste måde at reducere det uønskede solindfald er som regel anvendelse af effektiv solafskærmning. Samtidig er det vigtigt, at solafskærmningen ikke reducerer dagslysindfaldet, når der er brug for det på mørkere dage. Derfor bør solafskærmningen være variabel, således at det er muligt at udnytte dagslyset optimalt samtidig med, at der kan afskærmes effektivt for solindfald.

Det anbefales at stille samme krav til selve vinduerne i erhvervsbygninger som for facadevinduer i boliger som beskrevet i afsnit 4. Til gengæld stilles også krav til de anvendte solafskærmninger. På den måde sikres, at et højt energitilskud i fyringssæsonen kan udnyttes til rumopvarmningen samtidig med at overtemperaturproblemer udgås om sommeren.

10.1 Krav til solafskærmning:

Det er vigtigt at udnytte dagslyset optimalt. Der skal derfor anvendes solafskærmning, som er variabel således at der sikres en høj lystransmittans gennem vinduet/facaden. Hvis afskærmningen ikke kan fjernes helt, når der er behov for lys kan der fx anvendes reflekterende drejelige glaslameller, som kan reflektere og dirigere dagslyset længere ind i bygningen i stedet for blot at blokere lyset.

Det anbefales at solafskærmningens afskærmningsfaktor i forhold til aktuel rude skal kunne varieres mellem 0.2 og 1.

10.2 Krav til sollystransmittans

For at tilgodese optimale dagslysforhold, som er særligt vigtige i erhvervsbygninger, foreslås det at stille specifikke krav til lystransmittansen for ruder. Kravforslag til lystransmittans er vist i Tabel 15. Grænseværdierne er valgt er valgt, så de svarer til de anbefalede ruder i det generelle forslag 2 beskrevet i afsnit 4.

Tabel 15. Krav til sollystransmittans for vinduer (markeret med lyserød)

	Rude			Vindue	
År		Varmetabs koefficient	Total solenergi transmittans	Lystrans- mittans	Energimærkning
	Type	U_g	g_g	τ	
		W/m^2K			
2020	3- lags energi m. argon, jernfrit	0,6	0,6**	0,68	Klasse Plus
2020	3- lags energi m. argon	0,6	0,5	0,65	Lavenergi kl. 0
2015	3- lags energi m. argon	0,6	0,5	0,58	Lavenergi kl. 1
2010	3- lags energi m. argon	0,6	0,5	0,52	Lavenergi kl. 2
2010	2 lags energi m. argon	1,15	0,63	0,65	Lavenergi kl. 2

Som eksempel på en god vindues- og afskærmningsløsning, som kan leve op til den foreslåede lavenergiklasse 1, kan nævnes et vindue med 1+2 rude og integreret solafskærmning. Vinduet består af et lag glas yderst med hård lavemissionsbelægning, et stort luftfyldt hulrum i midten og en forsejlet energirude inderst. I det store hulrum placeres en variabel solafskærmning, f.eks. en persienne. Placeringen af solafskærmningen i hulrummet betyder at den er beskyttet mod vind og vejr, hvilket gør at den kan anvendes hvor som helst, og den har stadig en god solafskærmende effekt, da der kun er et lag glas yderst. I Tabel 16 er energimæssige egenskaber vist for 1+2 vinduet.

Tabel 16. Data for 1+2 vindue med indbygget persienne som overholder foreslåede krav Lavenergi-klasse 1.

Rude		Vindue					Krav i BR	Energimærkning
U_g	g_g	U_f	b_f	U_w	g_w	τ	E_{ref}	Klasse
W/m^2K		W/m^2K	M	W/m^2K			kWh/ m ²	
0,8	0,52	2,0	0,05	1,0	0,45	0,58	0	Lavenergi kl. 1

10.3 Metode til karakterisering af egenskaber for vinduer med solafskærmning

Da egenskaberne for rude og solafskærmning har indvirkning på hinanden, bør de energimæssige egenskaber beskrives for det samlede system bestående af den aktuelle rude og solafskærmning. I forbindelse med projektet ”Udvikling af værktøjer til fremme af energirigtig anvendelse af solafskærmninger” støttet af ELFORSK er der netop udviklet en metode til karakterisering af solafskærmninger i kombination med ruder.

Det anbefales, at denne metode anvendes i forbindelse med bestemmelse af egenskaberne kombinationer af ruder og solafskærmninger ved vurdering af om de overholder krav i BR og mærkningsordning.

Rapporten analyserer forskellige metoder til opstilling af energimæssige krav til vinduer i energimærkningsordning og Bygningsreglementet 2010, 2015 og 2020.

Der fokuseres på tre forskellige metoder: forslag 1 som baseres på U-effektiv, U_{eff} , for referencvindue i standardstørrelse, forslag 2 som baseres på energitilskuddet, E_{ref} , for referencevindue i standardstørrelse og forslag 3 som baseres på energitilskuddet på komponentniveau dvs. rude, ramme/karm og poster for sig.

DTU Byg
Institut for Byggeri og Anlæg
Danmarks Tekniske Universitet

Brovej, Bygning 118
2800 Kgs. Lyngby
Tlf. 45 25 17 00

www.byg.dtu.dk