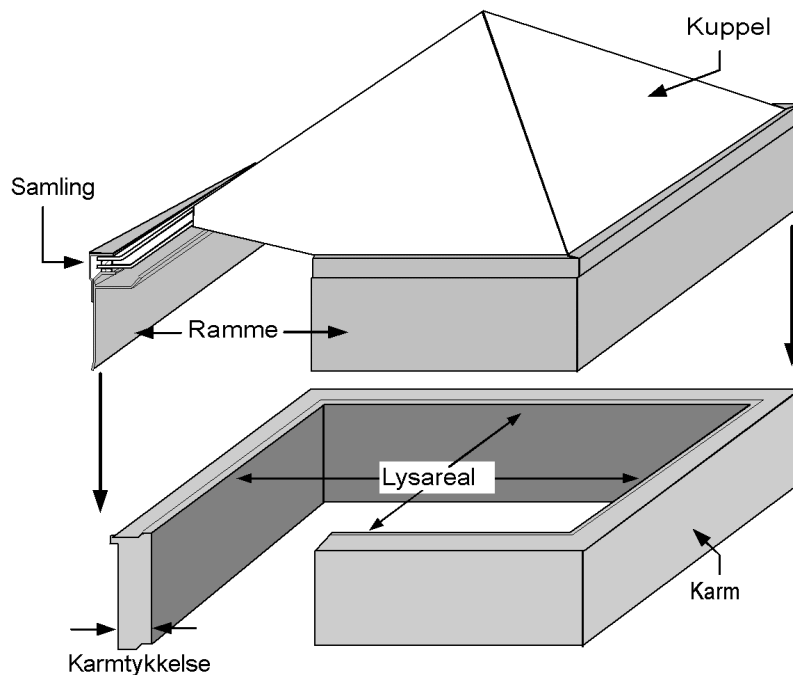


## Metode til beregning af varmetransmissionskoefficient (U-værdi) for ovenlys

Nærværende notat beskriver en metode til beregning af varmetransmissionskoefficienten for ovenlys. Princippet i beregningsproceduren tager udgangspunkt i beregningsmetoden for almindelige vinduer, som beskrevet i DS 418/Til 1, 1.udg. 1997 ”Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre”, prEN ISO 10077-2 ”Thermal Performance of windows doors and shutters” samt Kompendium 3 ”Detaljerede metoder til bestemmelse af energimærkningsdata”.

Følgende betegnelser anvendes på de enkelte delkomponenter af ovenlyset.



Figur 1 Illustration af anvendte betegnelser for ovenlys

Der er i bilag 1 vist et eksempel på beregning af U-værdi for ovenlys, som anvender følgende beregningsmetode.

### Beregningsforudsætninger

Til bestemmelse af ovenlysets U-værdi skal der bestemmes en transmissionskoefficient for kuplen,  $U_g$ , og for karmen,  $U_r$ , samt en lineær transmissionskoefficient,  $\Psi$ , for samlingen mellem disse. Den lineære transmissionskoefficient inkluderer de varmetab, der ikke sker som et én-dimensionelt varmetab gennem hhv. rude eller karm.

Der anvendes randbetingelser som for beregninger af vinduer med den forenkling, at der ikke anvendes reduceret stråling i hjørnerne. Dette skyldes manglende behandling af emnet i den nuværende version af prEN 10077-2.

Standarden prEN 10077-2 gælder egentlig for lodrette facade vinduesprofiler. Med tilnærmelse benyttes standarden for ovenlys til fastsættelse af varmeoverføringsforhold i ovenlys. Det vurderes dog, at ventilerede lufthulrum med under 10 mm åbning skal regnes efter reglerne for spalter over 10 mm. Af-snit 6.4.1 i prEN 10077-2 anvendes derfor ikke, i stedet benyttes reglerne for 6.4.2.

Følgende randbetingelser anvendes:

- Indetemperatur 20 °C
- Udetemperatur 0 °C
- Varmeoverføringskoefficient indvendigt  $h_i = 8 \text{ W/m}^2\text{K} \sim R_i = 0,13 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmeoverføringskoefficient indvendig kuppel  $h_i = 10 \text{ W/m}^2\text{K} \sim R_i = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$
- Varmeoverføringskoefficient udvendigt  $h_u = 23 \text{ W/m}^2\text{K} \sim R_u = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$

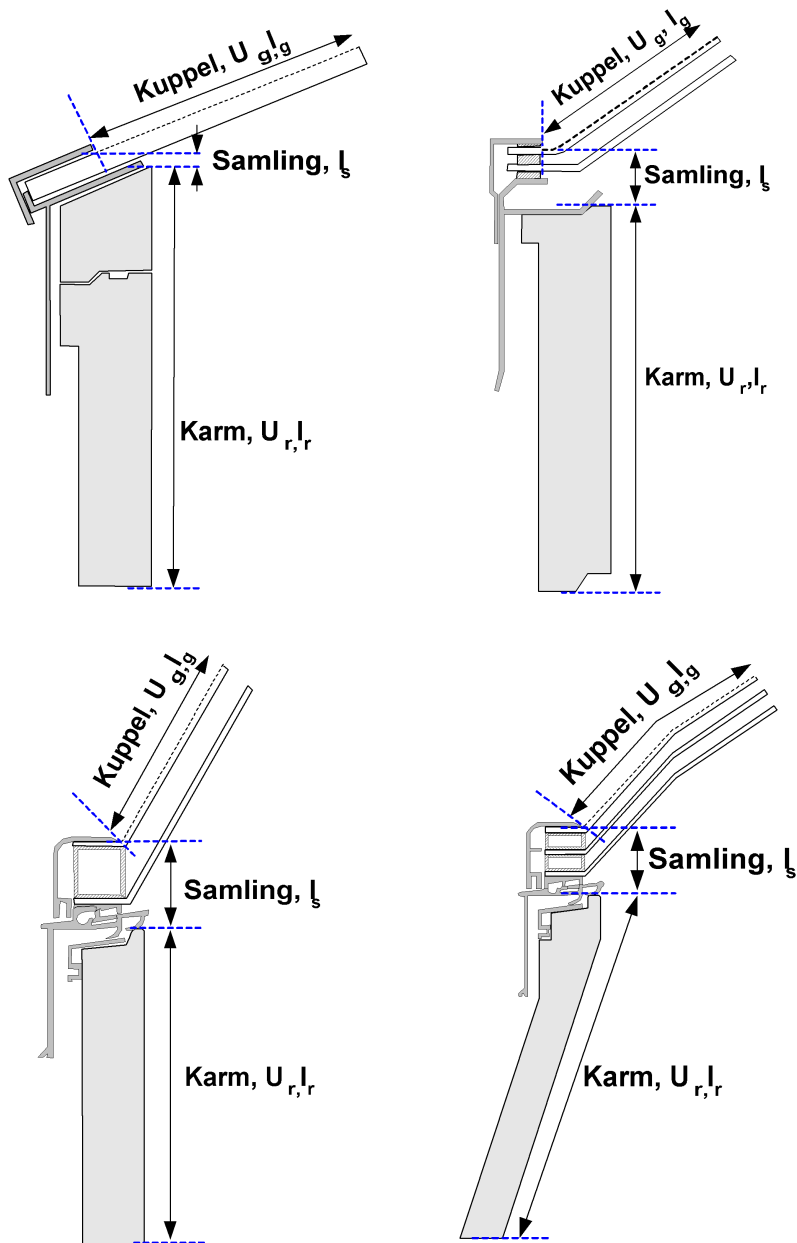
Iht. DS/EN 6946 ” *Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance* ” skal der anvendes en indvendig overgangsisolans på  $R_i = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  når kuplens hældning fra vandret ikke overstiger 60°. Randbetingelsen forventes også indført i den kommende version af DS 418 i løbet af år 2001.

Alle anvendte arealer og længder skal hidrøre fra det udvendige areal af ovenlyset.

## **Modellen**

Der udføres en regneteknisk opdeling af modellen således, at der kan foretages en individuel betragtning af hhv. karmen, kuplen og rammen inkl. samlingen. Alle design- og samlingsmæssige bidrag inkluderes som en lineær transmissionskoefficient.

Opdelingen af ovenlysprofilet kan ses på nedenstående figur 2, hvor fire forskellige typer af profiler er illustreret.



**Figur 2 Regneteknisk opdeling af profil**

Som det ses af figur 2 foretages følgende definition af tre længder, der indgår i beregningerne.

- Karmens længde,  $l_r$ , defineres som afstanden målt langs en ret linie parallelt med karmen fra et vandret plan under karmen til et vandret plan over karmen. Det vandrette plan under karmen defineres i det niveau der ligger i plan med oversiden af tagets tagpap
- Kuppelens længde,  $l_g$ , defineres som afstanden langs den udvendige overflade af kuplen fra det øverste snit til det sted hvor kuplen møder rammeprofilet.

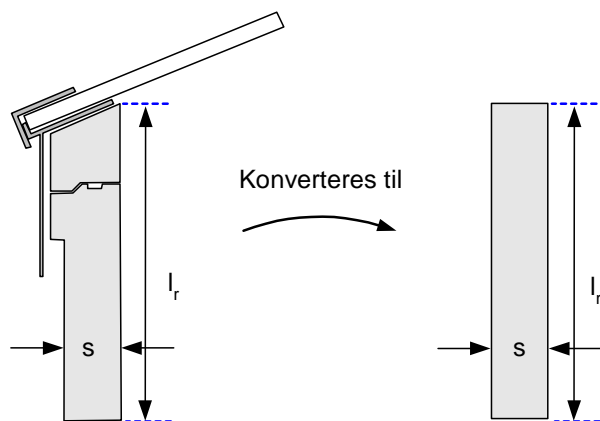
Længden,  $l_g$ , er på tegningerne illustreret som den stiplede del af kuplen og findes vha. beregningsprogrammet, eksempelvis "Therm". Kuppelsnittet foretages altid vinkelret på den udvendige flade.

Modellen skal inkludere så meget kuppel at der vil opstå én-dimensional varmetransport gennem kuplen. Det anbefales at  $l_g$  er minimum 190 mm

- Samlingens længde,  $l_s$ , defineres som afstanden mellem det vandrette plan over karmen til det vandrette plan, hvor kuplen møder rammeprofilet. Varmetabet inkluderes her i den lineære transmissionskoefficient.  $\frac{1}{2}$

### Beregning af transmissionskoefficienten, $U_r$ , for karm

Beregning af karmens transmissionskoefficient foretages ved at opbygge en simpel model af karmen for et homogent udsnit, som vist på figur 3.  $l_g$  defineres fra oversiden af tagets tagpap.



Figur 3 Definition af én-dimensional varmestrøm gennem karm

Karmens transmissionskoefficient,  $U_r$ , beregnes herefter som:

$$U_r = (R_i + R_u + s/\lambda)^{-1} \quad \text{Ligning 1}$$

hvor

$R_i$	indvendige isolans [m <sup>2</sup> K/W]
$R_u$	udvendige isolans [m <sup>2</sup> K/W]
$s$	tykkelsen af det homogene udsnit [m]
$\lambda$	varmeledningsevnen af karmmaterialet [W/mK]

Arealet af karmen,  $A_r$ , findes som perimeteren af det udvendige karmmå, ganget med højden/længden ( $l_r$ ) af karmen. Det udvendige karmmå defineres som lysarelets dimension ( $d_{lys}$ ) + 2 karmtykkelser ( $s$ ). Her angivet for karm med et lodret profil, med kvadratisk lysareal:

$$A_r = 4 \cdot ((d_{lys} + 2s) \cdot l_r) \quad \text{Ligning 2}$$

Er karmen skrå, som vist på figur 4, udregnes arealet for én side som :

$$A_{side} = \frac{1}{2} \cdot l_r \cdot \left( (d_{lys} + 2 \cdot d_r) + (d_{lys} + 2 \cdot d_{\text{åbning}} + 2 \cdot d_r) \right) \quad \text{Ligning 3}$$

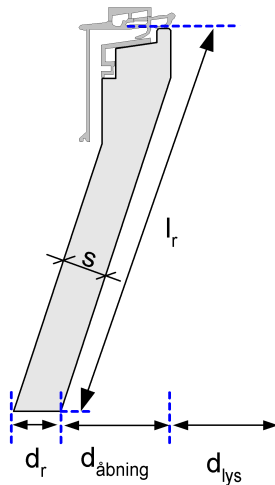
og for hele karmen af ovenlyset

$$A_r = 4 \cdot l_r \cdot (d_{lys} + 2 \cdot d_r + d_{\text{åbning}}) \quad \text{Ligning 4}$$

Igen er formlen kun gældende ved kvadratisk lysareal, men kan enkelt ændres til rektangulære ovenlys.

hvor

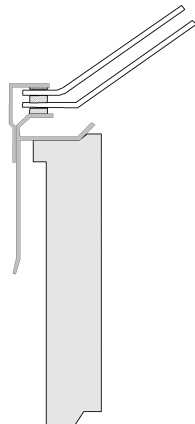
- $s$  tykkelsen af det homogene karmudsnit [m], som angivet på figur 3 og figur 4. For skrå karme er  $s$  karmens tykkelse vinkelret på overfladen
- $d_{lys}$  tværsnittet af lysarealet [m]
- $d_r$  den vandrette afstand mellem den indvendige og udvendige overflade af den regulære del af karmen [m]
- $d_{\text{åbning}}$  den projicerede længde mellem lysarealet og taghullet [m], se figur 4



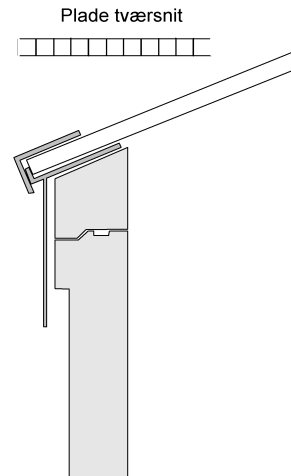
**Figur 4 Definition af regnetekniske størrelser for skrå karm**

### **Transmissionskoefficienten, $U_g$ , for kuplen**

Center U-værdien for den anvendte kuppel,  $U_g$ , kan afhængig af typen findes på to måder. Hvis ovenlyskuplen består af akrylplader med et hulrum, som vist på figur 5, beregnes  $U_g$  iht. DS 418/Til 1, 1.udg. 1997 ”Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre” med akryl i stedet for glas, dvs. isolansen af akrylpladerne erstatter isolansen for tilsvarende plader af glas. Anvendes der en kuppel med hulkammerplade, som vist på figur 6, baseres  $U_g$  på målinger.



**Figur 5 Oventilskulptur med 2 akrylplader**



**Figur 6 Oventilskulptur med hulkammerplade**

$A_g$  bestemmes som kuppelens udvendige overfladeareal.

Kuplen implementeres i beregningsprogrammet ”Therm” ved anvendelse af en ækvivalent varmeledningsevne i luftmellemrummet, på samme vis som når der foretages beregninger af traditionelle vinduesprofiler.

$$\lambda_{\text{æk}} = \frac{d_g}{U_g^{-1} - R_i - R_u - 2R_{\text{plade}}} \quad \text{Ligning 5}$$

hvor

$d_g$  akryl/plade afstanden [m]  
 $R_{\text{plade}}$  isolansen af den anvendte akryl eller plade [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

### Beregning af den lineære transmissionskoefficient, $\Psi$

Den lineære transmissionskoefficient findes ved at foretage en beregning af  $U_{\text{tot}}$  for et profil af typen vist tidligere (se figur 2). Beregningen kan fx foretages i ”Therm”.

Den lineære transmissionskoefficient findes som :

$$\psi = (U_{\text{tot}} \cdot l_{\text{tot}}) - U_r \cdot l_r - U_g \cdot l_g \quad \text{Ligning 6}$$

$(U_{tot} \cdot l_{tot})$  er den samlede varmestrøm, der beregnes i "Therm" og som udskrives som separate  $U_{tot}$ - og  $l_{tot}$ - værdier. Typisk anvendes den samlede indvendige overflade for  $l_{tot}$  og kontrolleres i forhold til varmestrømmen gennem den udvendige overflade.

hvor

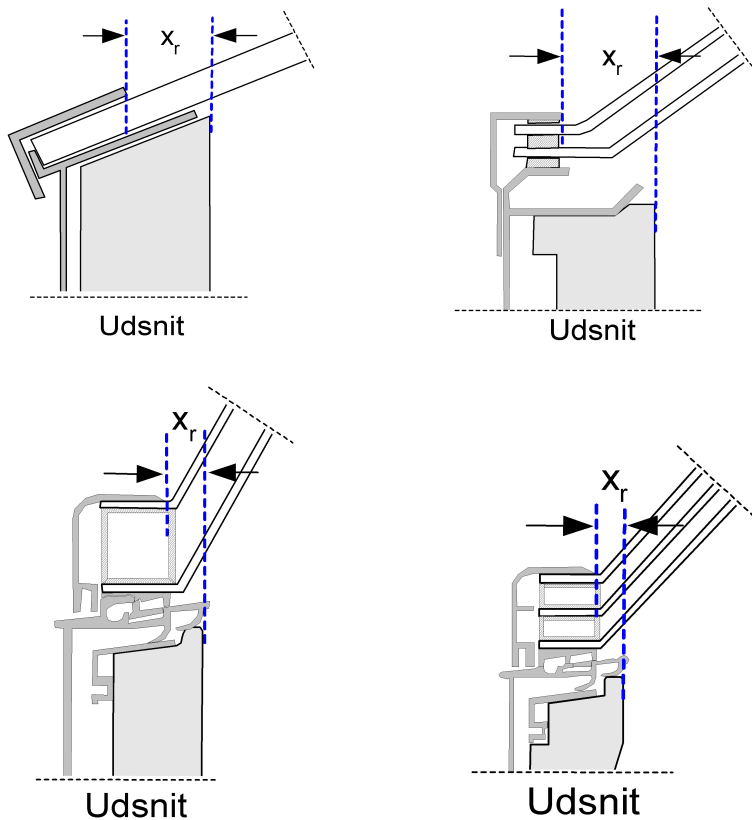
$U_{tot}$  værdien fundet i "Therm" [ $W/m^2K$ ]  
 $l_{tot}$  den totale længde, givet af beregningsprogrammet [m] (typisk samlet indvendig overfladelængde)

Som for vinduer bestemmes værdien af,  $l_{\psi}$ , som perimeteren af kuppelns grænse til samlingen med rammen. Praktisk beregnes  $l_{\psi}$  som perimeteren af det indvendige karmmålt med et tillæg,  $x_r$ . Se figur 7.  $l_{\psi}$  findes derfor som:

$$l_{\psi} = 4 \cdot (d_{lys} + 2 \cdot x_r) \tag{Ligning 7}$$

hvor

$d_{lys}$  tværsnittet af lysarealet [m]  
 $x_r$  afstanden mellem det indvendige karm og den udvendige samling mellem ramme og kuppel [m] (se figur 7)



### Figur 7 Definition af rammetillæg, $x_r$

Arealet af samlingen,  $A_s$ , findes som perimeteren af det udvendige karmsmål, ganget med længden/højden ( $l_s$ ) af samlingen.

$$A_s = 4 \cdot ((d_{lys} + 2 \cdot s) \cdot l_s) \quad \text{Ligning 8}$$

### Beregning af den totale U-værdi

Alle de nødvendige størrelser er nu fundet, og ovenlyskuplens totale U-værdi kan findes efter samme metode, som anvendes i DS 418/Til 4, 1.udg. 2000 ” *Beregning af bygningers varmetab. Tillæg om kuldebroer, fundamenter, terrændæk, kældergulve og –vægge samt samlinger omkring vinduer og døre*”, og prEN ISO 10077-2 ” *Thermal Performance of windows doors and shutters*”.

$$U = \frac{A_g \cdot U_g + A_r \cdot U_r + \psi \cdot l_\psi}{A'} \quad \text{Ligning 9}$$

$$A' = A_g + A_r + A_s \quad \text{Ligning 10}$$

Det samlede areal  $A'$  beregnes som summen af  $A_g$ ,  $A_r$  og  $A_s$ , svarende til at samlingsprofillets overfladeareal udgør en del af det egentlige transmissionsareal.

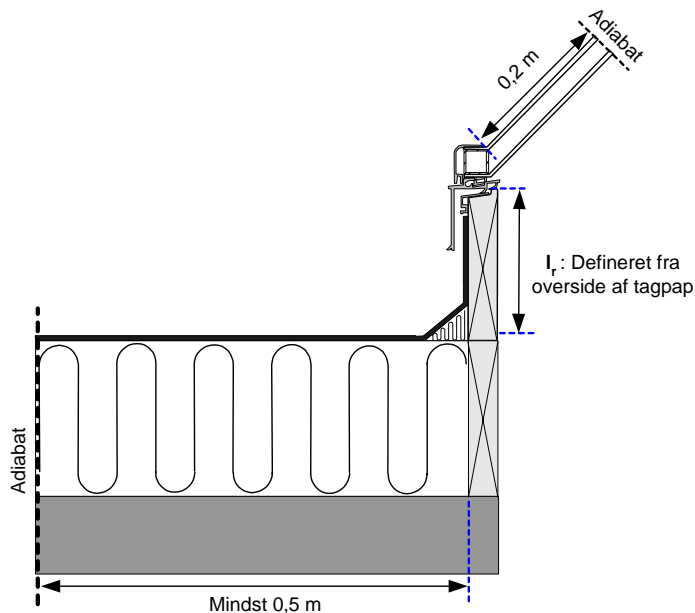
### Beregning af lineær varmetransmissionskoefficient, $\Psi_s$ , mellem tagkonstruktion og ovenlys

Den lineære varmetransmissionskoefficient kan bestemmes ved tabelopslag fra DS418/Til. 4 og for detaljeret bestemmelse beregnes i henhold til proceduren ligeledes angivet i DS418/Til. 4.

Beregningsproceduren til detaljeret bestemmelse af den lineære varmetransmissionskoefficient er derfor citeret direkte fra DS418.

Linietabet  $\Psi_s$  [W/mK] bestemmes for en samling ved at:

1. beregne den samlede to-dimensionelle varmestrøm gennem samlingen samt 0,2m af kuplen og mindst 0,5 m af tagkonstruktionen op til samlingen, se figur 8,
2. beregne den én-dimensionelle varmestrøm gennem tagkonstruktionen for et typisk snit i konstruktionen mellem eventuelle spær ved at indlægge yderligere en adiabatisk grænseflade i tagkonstruktionen i den ovenfor opstillede model,
3. beregne varmestrømmen gennem eventuelle spær i tagkonstruktionen inklusive både én- og to-dimensionelle varmestrømme beregnet ovenfor,
4. beregne varmestrømmen gennem ovenlyset ud fra nærværende notatets detaljerede beregningsprocedure,
5. trække de beregnede varmestrømme gennem tagkonstruktionen, gennem et eventuelt spær og gennem ovenlyset fra den samlede to-dimensionelle varmestrøm
6. dividere med differencen mellem rum- og udetemperatur



Figur 8 Beregningsmodel ved bestemmelse af den samlede to-dimensionelle varmestrøm gennem samling, tagkonstruktion og ovenlys

**Sollystransmittans,  $\tau$  og total solenergitransmittans,  $g$ ,**

Værdier for sollystransmittans,  $\tau$ , og total solenergitransmittans,  $g$ , findes på baggrund af det mindste lysareal. Værdierne regnes som var det en plan konstruktion.

$$\tau = \frac{A_g \cdot \tau_g}{A_{tot}} \quad \text{og} \quad g = \frac{A_g \cdot g_g}{A_{tot}} \quad \text{Ligning 11}$$

hvor

- $A_g$  stemmer overens med det mindste lysareal, og beregnes på baggrund af  $d_{lys}$ , hvilket for et kvadratisk ovenlys er  $(d_{lys})^2$
- $A_{tot}$  det totale ovenlys areal, svarende til udvendigt karmsmål.

$A_{tot}$  beregnes, for et kvadratisk hul, som:

$$A_{tot} = (d_{lys} + 2 \cdot s)^2 \quad \text{Ligning 12}$$

Er karmen skrå beregnes  $A_{tot}$  som:

$$A_{tot} = (d_{lys} + 2 \cdot d_{\text{åbning}} + 2 \cdot d_r)^2 \quad \text{Ligning 13}$$

Værdierne af sollystransmittans,  $\tau_g$ , og solenergitransmittans,  $g_g$ , skal stamme fra dokumentation fra kuppelfabrikanten, svarende til en plan kuppel.