

## Beregningsprocedure for detaljerede beregninger af ovenlys med opdelt hulrum

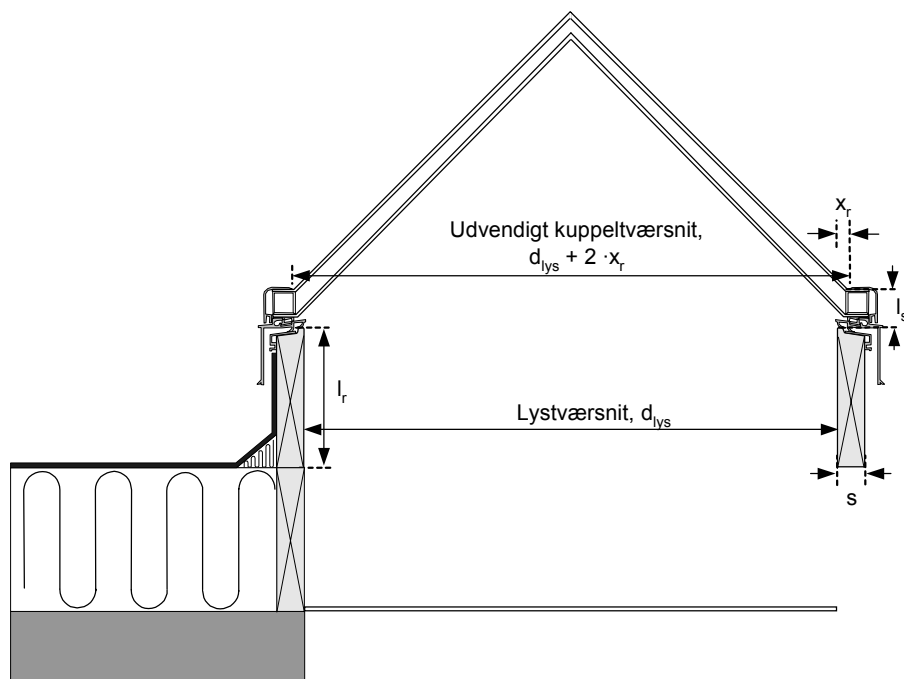
### Generelt

Nærværende dokument beskriver beregningsproceduren for ovenlys når der påsættes en forsatsløsning, hvorved kuppelhulrummet opdeles. Beregningsproceduren er forskellig fra den, som anvendes når der ikke er påsat forsatsrude med henhold til definitionen af transmissionskoefficienter. Der er dog lighed mellem de anvendte arealbetragtninger og beregnede længder tilhørende de lineære transmissionskoefficienter. For specificering af arealdefinitioner henvises til notatet "*Metode til beregning af varmetransmissionskoefficient (U-værdi) for ovenlys*".

Det skal noteres at denne konstruktionsløsning ikke er brandteknisk korrekt, og derfor ikke må anses som værende et godkendt koncept. Nærværende beregningsprocedure beskriver og beskæftiger sig udelukkende med de varmetekniske egenskaber og er derfor kun anvendelig hvis en videreudvikling af konceptet foretages

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

Følgende størrelser anvendes til fastsættelse af længder og arealer:



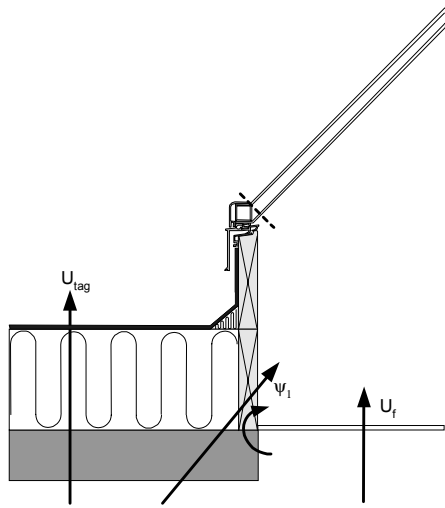
**Figur 1** Angivelse af regnetekniske størrelser. Anvendes til fastsættelse af arealer og perimetre

Der beregnes en U-værdi for ovenlys og en lineær transmissionskoefficient, men de beregnede størrelser er kun gældende for et specifikt ovenlys med de dimensioner som ligger til baggrund for

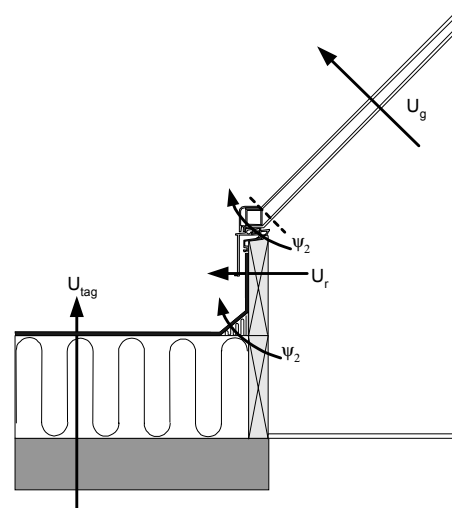
beregningen og derved én hulrumstemperatur. De dokumenterede værdier kan derved ikke anvendes til dokumentation af ovenlys af vilkårlige størrelser, som det kendes fra traditionelle vinduesberegninger.

Der udfærdiges dog korrelationer der kan anvendes til at bestemme energimærkningsdata for ovenlys af vilkårlige dimensioner, ved beregning af hulrumstemperaturen på baggrund af en varmebalancebetragtning.

Følgende beregningstekniske størrelser anvendes under beregningsproceduren:



Figur 2 Angivelse af symboler til identificering af varmestrømme. Indvendig side.



Figur 3 Angivelse af symboler til identificering af varmestrømme. Udvendig side.

hvor

- $U_f$  U-værdien af forsatsanordningen
- $\Psi_1$  den lineære transmissionskoefficient, som er varmestrømmen fra indeklime til kuppelhulrummet.
- $U_{tag}$  den én-dimensionelle varmetransmissionskoefficient gennem et typisk tagudsnit.
- $U_2$  U-værdien af kuplen
- $\Psi_2$  den lineære transmissionskoefficient, som er varmestrømmen fra kuppelhulrummet til udeklime. Værdien inkluderer varmetab gennem karm, ramme og tagsamling.
- $U_r$  U-værdien af homogent karmudsnit

### Beregningsprocedure og modellering.

Beregning af de varmetekniske egenskaber for ovenlys følger de generelle retningslinier beskrevet i DS 418/Til 1, 1.udg. 1997 ”Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre”, 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”, prEN ISO 10077-2 ”Thermal Performance of windows doors and shutters”. Til fastsættelse af randbetingelser for

kuppelhulrummet anvendes EN ISO 6946 ”Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance”, som beskriver behandling af store luftpulrum.

Beregningen af ovenlysets termiske egenskaber foretages vha. en varmebalancebetragtning, som skal sikre at der opnås en korrekt temperatur i hulrummet mellem kuppel og forsats.

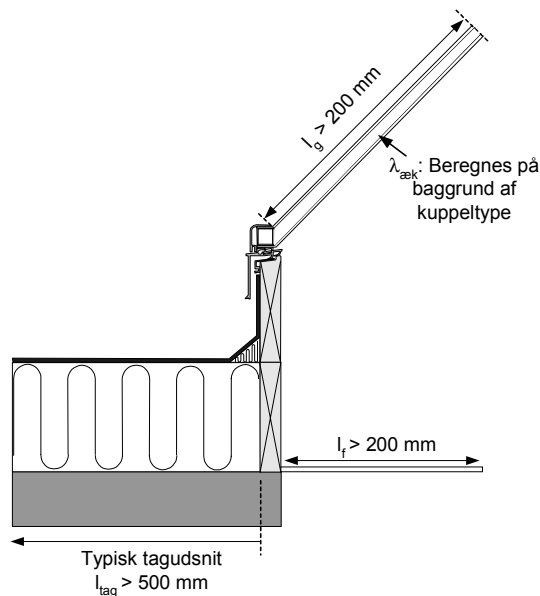
### Opbygning af model

Ovenlyset indbygges i en tagkonstruktion i henhold til DS 418/Til 4 og der medtages som minimum et 500 mm typisk tagudsnit.

Opbygningen af ovenlyset kan foretages i beregningsprogrammet ”Therm” hvor karm, ramme og samling opbygges efter det oprindelige design og indbygges i tagkonstruktionen.

Udsnittet af hhv. kuppel,  $l_g$ , og forsats,  $l_f$ , medtages i et omfang så der opnås én-dimensionelle varmestrømme. Det anbefales at længderne af  $l_g$  og  $l_f$  som minimum er 200 mm.

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



**Figur 4 Modelopbygning**

Hvis kuplen består af flere lag akrylplader, modelleres kuplen ved at indsætte en ækvivalent varmeledningsevne af hulrummet.

Den ækvivalente varmeledningsevne findes ud fra:

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

Ligning 1

hvor

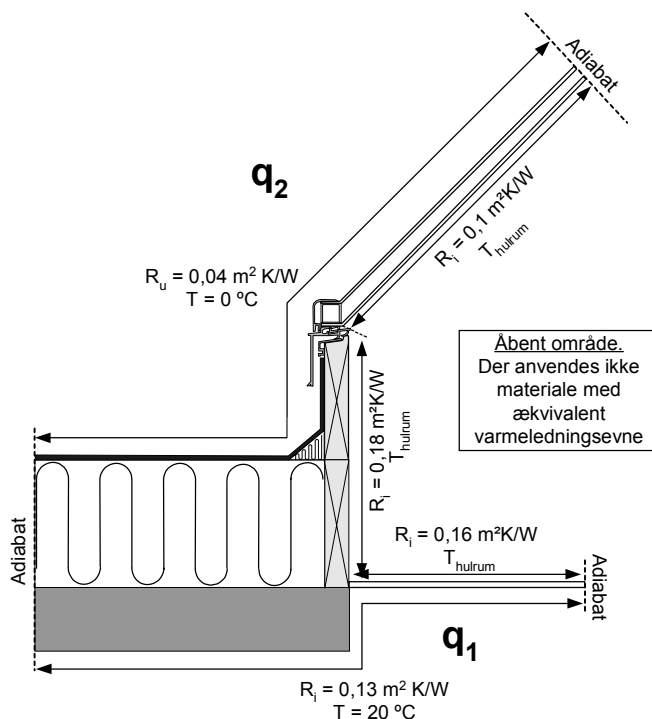
$d_g$	akryl/plade afstanden [m]
$U_g$	kuplens center U-værdi [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]
$R_{plade}$	isolansen af den anvendte akryl eller plade [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_i$	indvendige overgangsisolans [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]
$R_u$	udvendige overgangsisolans [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ]

### Beregningsforudsætninger

Randbetingelserne for modellen fastsættes for ind- og udvendig rand efter DS418/Til 1 og hulrummet mellem kuppel og forsats fastsættes efter EN ISO 6946. For hulrummet er randbetingelserne her angivet for hulrum større end 300 mm.

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. Afsnit 6.4.1 i prEN 10077-2 anvendes derfor ikke, i stedet benyttes reglerne for 6.4.2.

- Indetemperatur  $20\text{ }^\circ\text{C}$
- Udetemperatur  $0\text{ }^\circ\text{C}$
- Varmeoverføringskoefficient indvendigt  $h_i = 8\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \sim R_i = 0,13\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- Varmeoverføringskoefficient udvendigt  $h_u = 23\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \sim R_u = 0,04\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- Varmeoverføringskoefficient kuppel i hulrum  $h_i = 10\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \sim R_i = 0,10\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- Varmeoverføringskoefficient lodret karm i hulrum  $h_i = 5,56\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \sim R_i = 0,18\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- Varmeoverføringskoefficient forsats i hulrum  $h_i = 6,25\text{ W}/\text{m}^2\text{K} \sim R_i = 0,16\text{ m}^2\text{K}/\text{W}$



**Figur 5 Randbetingelser**

Iht. EN ISO 6946 skal der anvendes en indvendig overgangsisolans på  $R_i = 0,10 \text{ m}^2\text{K/W}$  når kuppens hældning fra vandret ikke overstiger  $60^\circ$ , ellers anvendes den traditionelle overgangsisolans for indvendige overflader.

Temperaturen i hulrummet,  $T_{\text{hulrum}}$ , findes på baggrund af en varmebalancebetragtning. Ligningerne der anvendes til denne betragtning angives senere.  $T_{\text{hulrum}}$  vil variere som funktion af ovenlysets størrelse, hvilket betyder varianser i de lineære transmissionskoefficienter og varmetransmissionskoefficienter.

## Procedure

Beregninger på ovenlys med opdelt hulrum kræver kendskab til hulrumstemperaturen for at eksakte energimærkningsdata kan udregnes. Beregningen af  $T_{\text{hulrum}}$  findes på baggrund af en varmebalance som indeholder led hvori  $T_{\text{hulrum}}$  indgår. De enkelte led opstilles derfor i første omgang, hvorved varmebalancen kan opstilles. Nærværende beregningsprocedure lægger derved ikke op til at den eksakte hulrumstemperatur kendes inden der foretages beregninger, hvorved der ikke regnes med en opfyldt varmebalance, under beregning af de enkelte størrelser. Der korrigeres senere og den korrekte ligevægtssituation findes.

Index 1 henviser i proceduren til indvendig overfladebetragtning, og index 2 til udvendig overfladeareal.

## Total varmestrøm

Ifølge figur 5 findes modellens samlede varmestrøm for indvendig side,  $q_1$  og for udvendig side,  $q_2$ , som:

$$q_1 = (U_{tot} \cdot l_{tot})_1 \quad \text{Ligning 2}$$

$$q_2 = (U_{tot} \cdot l_{tot})_2 \quad \text{Ligning 3}$$

hvor

$U_{tot}$  værdien fundet i "Therm" [W/m<sup>2</sup>K]. Respektivt fra ind- og udvendig overflade  
 $l_{tot}$  den totale længde, givet af beregningsprogrammet [m]

Den totale varmestrøm gennem modeludsnittet kan opdeles i følgende varmestrømme (se evt. figur 4 og figur 5):

$$(U_{tot} \cdot l_{tot})_1 = U_f \cdot l_f + U_{tag} \cdot l_{tag} + \psi_1 \cdot l_{\psi_1} \quad \text{Ligning 4}$$

$$(U_{tot} \cdot l_{tot})_2 = U_g \cdot l_g + U_{tag} \cdot l_{tag} + U_r \cdot l_r + \psi_2 \cdot l_{\psi_2} \quad \text{Ligning 5}$$

hvor

$U_{tot}$  værdien fundet i "Therm" [W/m<sup>2</sup>K]. Respektivt fra ind- og udvendig overflade  
 $l_{tot}$  den totale længde, givet af beregningsprogrammet [m]  
 $U_{tag}$  varmestrømmen gennem et homogent udsnit af en typisk tagkonstruktion  
 $l_{tag}$  længden af tagudsnittet fra modellen. Min. 500 mm  
 $U_r$  varmetransmissionskoefficient af karm [W/m<sup>2</sup>K]  
 $l_r$  længde/højde af karm [m]

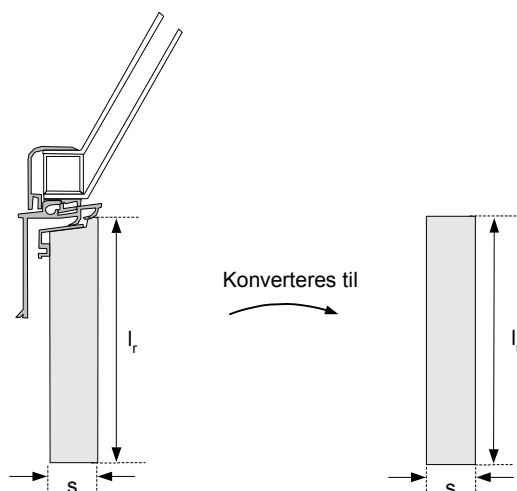
### Varmestrøm gennem typisk tagudsnit

Den én-dimensionelle varmestrøm gennem det homogene tag,  $U_{tag}$  findes ved en simpel beregning, eller udsnittet kan modelleres i "Therm". Den beregnede varmetransmissionskoefficient multipliceres med længden af det anvendte udsnit,  $l_{tag}$ , så varmestrømmen bliver i W/mK.

Længden,  $l_{tag}$ , skal i henhold til DS 418/Til 4 være min. 500 mm.

### 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 6.



**Figur 6 Definition af én-dimensional varmestrøm gennem karm**

Karmens transmissionskoefficient,  $U_r$ , beregnes herefter som:

$$U_r = (R_i + R_u + s/\lambda)^{-1} \quad \text{Ligning 6}$$

hvor

$R_i$	overgangsisolans af lodret karmflade i hulrum [W/m <sup>2</sup> K]
$R_u$	overgangsisolans udvendigt 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 :

$$A_r = 2 \cdot (L + B + 4 \cdot s) \cdot l_r \quad \text{Ligning 7}$$

hvor

$L$	indvendige længde af lysarealet [m]
$B$	indvendige bredde af lysarealet [m]
$l_r$	karmens længde/højde [m]
$s$	karmens bredde [m]

### Transmissionskoefficient for kuppel/forsats

Transmissionskoefficienten,  $U_g$ , for kuplen beregnes iht. DS 418/Til 1, 1.udg. 1997 ” *Beregning af bygningers varmetab. Tillæg omhandlende vinduer og yderdøre*”, hvor U-værdien korrigeres for

anvendelse af akryl i stedet for glas, dvs. isolansen af akrylpladerne erstatter isolansen for tilsvarende plader af glas.

Transmissionskoefficienten,  $U_f$ , for forsatsanordningen beregnes ud fra kendskab til varmeoverføringskoefficienter og det anvendte materiale.

$$U_f = \left( h_i^{-1} + \frac{s}{\lambda} + h_i^{-1} \right)^{-1} \quad \text{Ligning 8}$$

hvor

- $s$  er materialetykkelsen af forsatspladen [m]
- $\lambda$  er varmeledningsevnen af det anvendte materiale [W/mK]
- $h_i$  varmeoverføringskoefficient for indvendig flade og forsathulrum. Værdierne er angivet tidligere, og er ikke identiske selvom der anvendes samme indicer.

### Beregning af de lineære transmissionskoefficienter, $\Psi_1$ og $\Psi_2$

Den lineære transmissionskoefficient findes som den totale varmestrøm gennem hhv. den indvendige eller udvendige varmetransmitterende overflade, minus de én-dimensionelle bidrag fra tag, kuppel/forsats og karm.

De enkelte størrelser findes som tidligere beskrevet.

Den lineære transmissionskoefficient for indersiden findes som :

$$\psi_1(T_{hulrum}) = \frac{(U_{tot} \cdot l_{tot})_1 \cdot (T_i - T_u) - U_{tag} \cdot l_{tag} \cdot (T_i - T_u) - U_f \cdot l_f \cdot (T_i - T_{hulrum})}{(T_i - T_{hulrum})} \quad \text{Ligning 9}$$

Og for ydersiden:

$$\psi_2(T_{hulrum}) = \frac{(U_{tot} \cdot l_{tot})_2 \cdot (T_i - T_u) - U_{tag} \cdot l_{tag} \cdot (T_i - T_u) - U_r \cdot l_r \cdot (T_{hulrum} - T_u) - U_g \cdot l_g \cdot (T_{hulrum} - T_u)}{(T_{hulrum} - T_u)} \quad \text{Ligning 10}$$

$(U_{tot} \cdot l_{tot})$  er igen den samlede varmestrøm, der beregnes i "Therm" og som udskrives som separate  $U_{tot}$  - og  $l_{tot}$  - værdier.

Det én-dimensionelle bidrag fra karmen medtages kun ved udvendig overflade betragtning.

Den tilhørende længde,  $l_{\psi_1}$ , til den lineære transmissionskoefficient,  $\Psi_1$ , findes som perimeteren af lysarealet. L og B er her hhv. længde og bredde af ovenlysets indvendige karmsmål:

$$l_{\psi_1} = 2 \cdot (L + B) \quad \text{Ligning 11}$$



Som for vinduer bestemmes den udvendige længde,  $l_{\psi 2}$ , som perimeteren af kuplens grænse til samlingen med rammen. Praktisk beregnes  $l_{\psi 2}$  som perimeteren af det indvendige karm mål med et tillæg,  $x_r$ .

$l_{\psi 2}$  findes derfor som:

$$l_{\psi 2} = 2 \cdot (L + B + 4 \cdot x_r) \quad \text{Ligning 12}$$

hvor

$L$	indvendige længde af lysarealet [m]
$B$	indvendige bredde af lysarealet [m]
$x_r$	afstanden mellem den indvendige karm og den udvendige samling mellem ramme og kuppel [m]

### $\Psi_1$ og $\Psi_2$ som funktion af $T_{hulrum}$

Definitionen af de anvendte størrelser er nu foretaget, og det ønskes at finde de to lineære transmissionskoefficienter  $\Psi_1$  og  $\Psi_2$  som funktion af  $T_{hulrum}$ .

Den eftersøgte funktion er af formen:  $\Psi(T_{hulrum}) = a \cdot T_{hulrum} + b$

Hvor a og b er de eftersøgte konstanter.

Modellen anvendes som beskrevet, men uden hensyntagen til at den overordnede varmebalance er opfyldt. Dvs. der foretages en række beregninger hvor  $T_{hulrum}$  sættes til værdier mellem  $T_{inde}$  og  $T_{ude}$ . Der foretages så mange beregninger, at den lineære sammenhæng af den lineære transmissionskoefficient og hulrums temperaturen kan findes og udtrykkes.

For hver anvendt beregningstemperatur findes  $\Psi(T_{hulrum})$  som tidligere beskrevet, se ligning 9 og ligning 10

De to funktions udtryk skal anvendes i varmebalancen til at beregne ligevægtstemperaturen for vilkårlige størrelser af ovenlyset.

### Bestemmelse af $T_{hulrum}$

For at de detaljerede beregninger kan anvendes for vilkårlige størrelser af det beregnede ovenlys skal hulrumstemperaturen findes som funktion af ovenlysets specifikke arealer og størrelsesforhold. Til at bestemme  $T_{hulrum}$  løses følgende varmebalance med hensyn til  $T_{hulrum}$ :

$$U_f \cdot A_{lys} \cdot (T_i - T_{hulrum}) + (a \cdot T_{hulrum} + b)_{\psi 1} \cdot l_{\psi 1} \cdot (T_i - T_{hulrum}) = U_g \cdot A_g \cdot (T_{hulrum} - T_u) + U_r \cdot A_r \cdot (T_{hulrum} - T_u) + (a \cdot T_{hulrum} + b)_{\psi 2} \cdot l_{\psi 2} \cdot (T_{hulrum} - T_u) \quad \text{Ligning 13}$$

Varmebalancen er en andengradsligning af formen:  $A \cdot T_{hulrum}^2 + B \cdot T_{hulrum} + C = 0$ . Ved en omskrivning af ligning 13 findes konstanterne A, B og C til:

$$A : -(a_{\psi 1} l_{\psi 1} + a_{\psi 2} l_{\psi 2})$$

$$B : -U_f A_{lys} - b_{\psi 1} l_{\psi 1} + a_{\psi 1} l_{\psi 1} T_i - U_g A_g - b_{\psi 2} l_{\psi 2} + a_{\psi 2} l_{\psi 2} T_u - U_r A_r$$

$$C : T_i \cdot (b_{\psi 1} l_{\psi 1} + U_f A_{lys}) + T_u \cdot (b_{\psi 2} l_{\psi 2} + U_g A_g + U_r A_r)$$

Ligningssystemet løses med henblik på hulrumstemperaturen,  $T_{hulrum}$ .

Lysarealet,  $A_{lys}$ , beregnes som:

$$A_{lys} = L \cdot B \quad \text{Ligning 14}$$

$A_g$  er det udvendige areal af kuplen baseret på målene fra det indvendige lysareal plus rammetillægget,  $x_r$ . Der findes ikke en generel ligning til udregning af arealet, som afhænger af ovenlysets design.

### Beregning af den samlede varmestrøm, $Q_1$ og $Q_2$

Under anvendelse af hhv. højre og venstresiden i ligning 13 bestemmes den samlede varmestrøm gennem ovenlysets snit. Den samlede varmestrøm regnes, ved anvendelse af den beregnede ligevægtstemperatur, ved hjælp af:

$$Q_1 = U_f \cdot A_{lys} \cdot (T_i - T_{hulrum}) + (a \cdot T_{hulrum} + b)_{\psi 1} \cdot l_{\psi 1} \cdot (T_i - T_{hulrum}) \quad \text{Ligning 15}$$

og

$$Q_2 = U_g \cdot A_g \cdot (T_{hulrum} - T_u) + U_r \cdot A_r \cdot (T_{hulrum} - T_u) + (a \cdot T_{hulrum} + b)_{\psi 2} \cdot l_{\psi 2} \cdot (T_{hulrum} - T_u) \quad \text{Ligning 16}$$

### Beregning af varmetransmissionskoefficienten, $U$

Beregningen af ovenlysets totale varmetransmissionskoefficienten findes for en hhv. ind- og udvendig betragtning som.

Indvendigt

$$U = \frac{Q_1}{A_{lys} \cdot (T_i - T_u)} \quad \text{Ligning 17}$$

Udvendigt

$$U = \left( \frac{Q_2}{A \cdot (T_i - T_u)} \right) \quad \text{Ligning 18}$$

Hvor

$A'$  totale udvendige varmetransmitterende overfladeareal

$A'$  beregnes som  $A_g + A_r + A_s$ .

$A_r$  er arealet af karmen og findes som angivet tidligere under ligning 7:

$A_s$  er arealet af samlingen og findes som perimeteren af det udvendige karmmålt, ganget med længde/højden af samlingen,  $l_s$ :

$$A_s = 2 \cdot (L + B + 4 \cdot s) \cdot l_s \quad \text{Ligning 19}$$

hvor

$l_s$  samlingens længde/højde [m]

### 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.

$$\tau = \frac{A_g \cdot \tau_g}{A_{tot}} \quad \text{og} \quad g = \frac{A_g \cdot g_g}{A_{tot}} \quad \text{Ligning 20}$$

hvor

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

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

$$A_{tot} = (L + s) \cdot (B + s) \quad \text{Ligning 21}$$

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