

## Bijlage 8 – Rekenregels voor de bepaling van lineaire en puntwarmtedoorgangscoefficienten van bouwknoepen

Gevalideerde numerieke berekeningen

### INHOUDSTAFEL

---

<b>1</b>	<b>INLEIDING .....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>TOEPASSINGSDOMEIN .....</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>NORMATIEVE REFERENTIES .....</b>	<b>2</b>
<b>4</b>	<b>GEBRUIKTE SYMBOLEN .....</b>	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>GEVALIDEERDE NUMERIEKE SOFTWARE .....</b>	<b>4</b>
<b>6</b>	<b>VOORWAARDEN VOOR HET NUMERIEK MODEL.....</b>	<b>4</b>
6.1	GEOMETRISCHE EISEN.....	4
6.1.1	<i>Afmetingen.....</i>	4
6.1.2	<i>Toegestane vereenvoudigingen aan het geometrische model.....</i>	7
6.1.3	<i>Niet-homogene bouwlagen .....</i>	9
6.1.4	<i>Eisen aan het grid.....</i>	10
6.2	INPUTGEGEVENS.....	10
6.2.1	<i>Warmtegeleidbaarheid.....</i>	10
6.2.2	<i>Warmteovergangsweerstanden .....</i>	10
6.2.3	<i>Omgevingstemperaturen .....</i>	10
<b>7</b>	<b>BEREKENING VAN <math>\Psi</math>- EN X-WAARDEN.....</b>	<b>11</b>
7.1	ALGEMEEN .....	11
7.2	MEER DAN 2 GRENSTEMPERATUREN (AOR, ONVERWARMDE KELDER OF KRUIPRUIMTE) .....	12
7.3	FUNDERINGSAANZET VAN VLOER OP VOLLE GROND .....	13
7.4	VENSTER- EN DEURAANSLUITINGEN .....	15
7.4.1	<i>Gedetailleerde rekenmethode.....</i>	15
7.4.2	<i>Vereenvoudigde rekenmethode.....</i>	16
7.5	BOUWKNOEPEN IN HET GEVAL VAN BOUWELEMENTEN IN HOUTSKELETSTRUCTUUR ..	17
<b>8</b>	<b>EISEN AAN DE RAPPORTERING .....</b>	<b>18</b>
8.1	INVOERGEGEVENS .....	18
8.2	UITVOERGEGEVENS .....	18

## Inleiding

Voor de toepassing van deze bijlage moet worden verstaan onder:

“Bijlage BK”: de bijlage V van het Besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 21 december 2007 tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestatie en het binnenklimaat van gebouwen, zoals vervangen door de bijlage 3 van het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van 5 mei 2011 houdende wijziging van meerdere uitvoeringsbesluiten van de ordonnantie van 7 juni 2007 betreffende de energieprestatie en het binnenklimaat van gebouwen.

In het ontwerp tot wijziging van Bijlage BK van het EPB-besluit is vastgelegd hoe de invloed van bouwknopen op de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie bepaald moet worden. Hierbij wordt de keuze gelaten tussen drie methoden: een gedetailleerde methode, een methode van de EPB-aanvaarde bouwknopen en een methode waarbij men voor een forfaitaire, ongunstige toeslag op het K-peil kiest.

Dit document gaat in op de exacte berekening van de invloed van bouwknopen op de totale warmtestroom. Deze berekening is vereist wanneer men ervoor kiest de *gedetailleerde methode ('Optie A')* van Bijlage BK te volgen of wanneer men bij het toepassen van de *methode van de EPB-aanvaarde bouwknopen ('Optie B')* te maken krijgt met bouwknopen die individueel ingegeven worden (al dan niet EPB-aanvaard). Het berekenen van de invloed van lineaire en puntbouwknopen kan in deze gevallen gebeuren met behulp van een numeriek berekeningsprogramma. In dit document wordt vastgelegd hoe een dergelijke numerieke berekening dient te gebeuren.

## Toepassingsdomein

De in deze tekst vermelde rekenprocedures kunnen toegepast worden voor de berekening van lineaire en puntwarmtedoorgangscoefficienten ( $\Psi$ - en  $\chi$ -waarden). Deze lijn- en puntwarmtedoorgangscoefficienten zijn gedefinieerd voor onderstaande situaties:

- ✓ lineaire en puntbouwknopen (dakopstand, funderingsaanzet, ...);
- ✓ lineaire en puntvormige onderbrekingen die eigen zijn aan de constructie (houten stijl- en regelwerk, spouwankers, ...).

Deze rekenprocedures zijn niet van toepassing op de berekening van warmtedoorgangscoefficienten van raam- en deurprofielen, afstandhouders, ...

## Normatieve referenties

NBN EN ISO 10211:2008	Thermal bridges in building construction – Heat flows and surface temperatures – Detailed calculations
NBN EN ISO 6946:2008	Building components and building elements – Thermal resistance and thermal transmittance – Calculation method
NBN EN ISO 13370:2008	Thermal performance of buildings – Heat transfer via the ground – Calculation methods

NBN EN ISO 10077-2

Thermal performance of windows, doors and  
shutters. Calculation of thermal transmittance.  
Part 2 : numerical method for frames

## Gebruikte symbolen

Symbol	Eenheid	Betekenis
B'	m	Karakteristieke vloerafmeting
R <sub>si</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	Warmteovergangswaarde aan het binnenoppervlak
R <sub>se</sub>	m <sup>2</sup> .K/W	Warmteovergangswaarde aan het buitenoppervlak
U	W/(m <sup>2</sup> .K)	Warmtedoorgangscoefficient
ÿU	W/(m <sup>2</sup> .K)	Correctieterm op de warmtedoorgangscoefficient
b	m	Afmeting van de vloer in een bepaalde richting
Ē	W/(m.K)	Warmtegeleidbaarheid van een bouw materiaal
↳	W/(m.K)	Lineaire warmtedoorgangscoefficient
Φ	W	Warmtestroom
Â	W/K	Puntwarmtedoorgangscoefficient

## Gevalideerde numerieke software

Numerieke berekeningsprogramma's die in het kader van de EPB-regelgeving gebruikt worden, moeten voldoen aan alle eisen die in bijlage A van NBN EN ISO 10211:2008 gesteld worden aan een "high precision method".

Onderstaande aanpassingen zijn van toepassing op bijlage A van NBN EN ISO 10211:2008:

*figure A.3.b: the boundary condition between A and C should be g  
equation A.5 should read:  $F_{b,a} = \dots = 2,094 \times (15-20) = -10,47 \text{ W}$   
equation A.7 should read:  $F_{b,g} + F_{a,g} = 24,36 + 35,62 = 59,98 \text{ W}$   
equation A.8 should read:  $F_{b,g} + F_{b,a} = 24,36 - 10,47 = 13,89 \text{ W}$   
equation A.9 should read:  $F_{a,g} + F_{a,b} = 35,62 + 10,47 = 46,09 \text{ W}$   
Second paragraph of the section A.1.5 Case 4 : "lowest internal surface temperatures" should be replaced by "highest surface temperature on the external side"*

## Voorwaarden voor het numeriek model

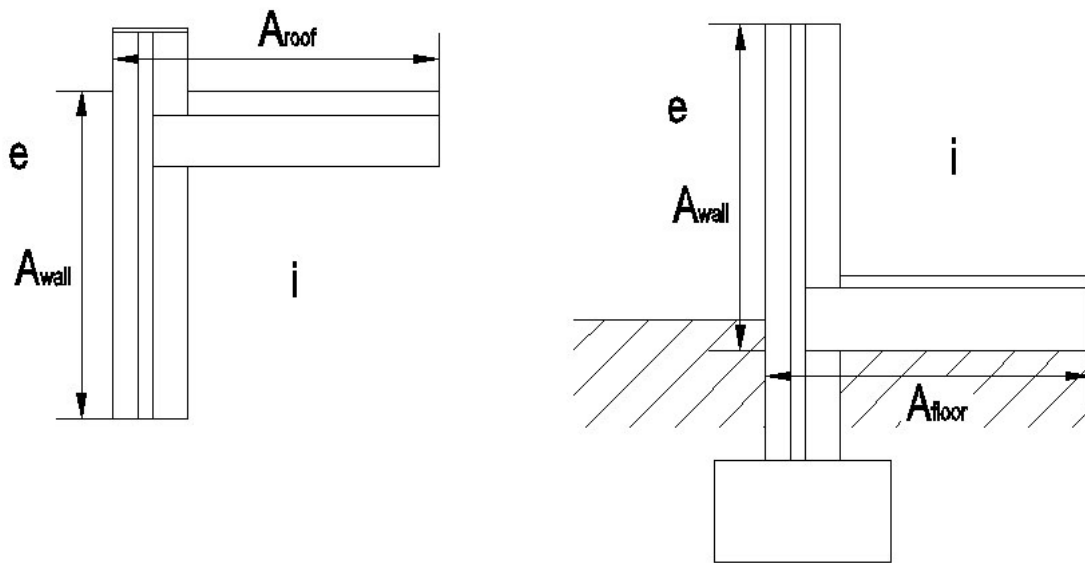
In deze paragraaf worden de voorwaarden gespecificeerd waaraan een numeriek model moet voldoen.

### Geometrische eisen

#### Afmetingen

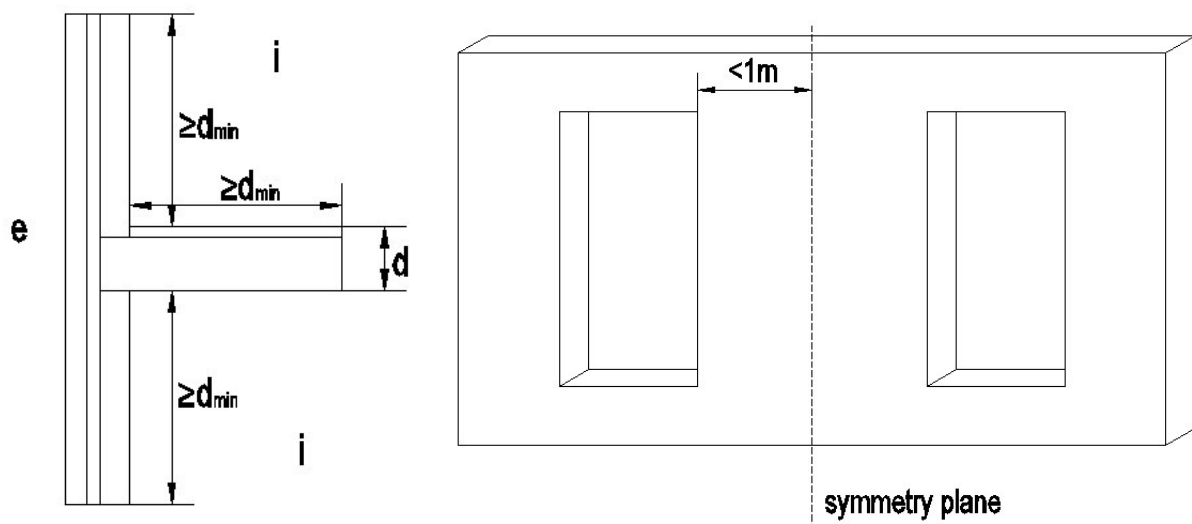
##### Algemeen

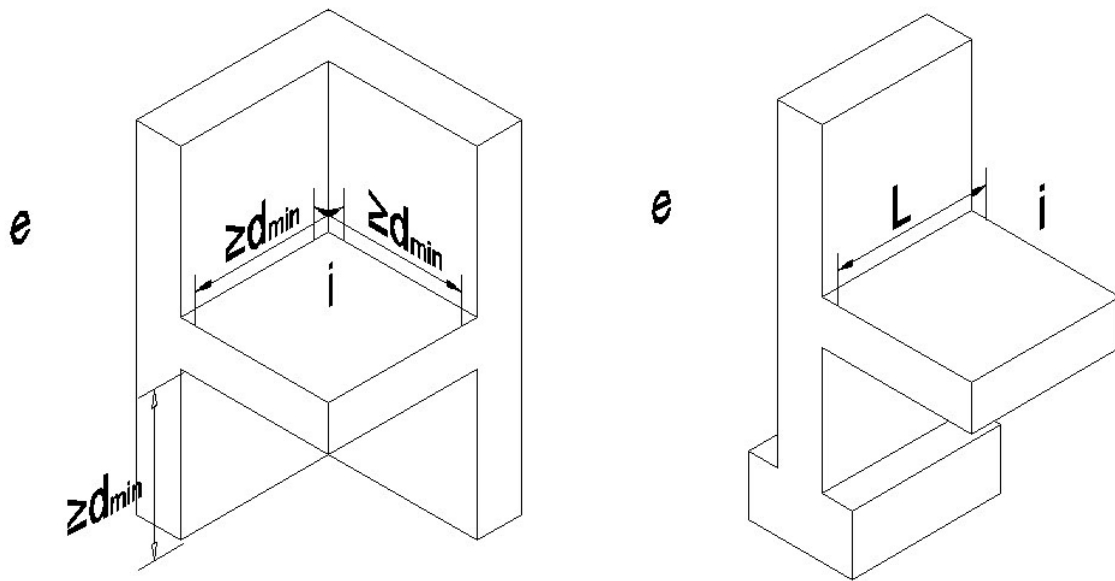
Lengtes en oppervlakten moeten berekend worden op basis van buitenafmetingen (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).



**Figuur 0.1: Voorbeeld buitenafmetingen bij aansluiting plat dak met gevel (links) en bij de funderingsaanzet van een vloer op volle grond (rechts).**

Het twee- of driedimensionale geometrische model van een bouwknoop dient de aangrenzende constructiedelen te bevatten over een afstand  $d_{\min}$  die gelijk is aan het grootste van 1 meter en 3 keer de dikte  $d$  van het betreffende constructiedeel (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Indien er zich binnen deze afstand een symmetrievlak bevindt, moet het desbetreffende constructiedeel ter plaatse van het symmetrievlak afgesneden worden. Bij lineaire bouwknoopen kan de lengte  $L$  in de derde dimensie vrij gekozen worden. Op de snijvlakken van het model dienen steeds adiabatische randvoorwaarden te worden opgelegd.





**Figuur 0.2: Positie van de snijvlakken van het geometrisch model**

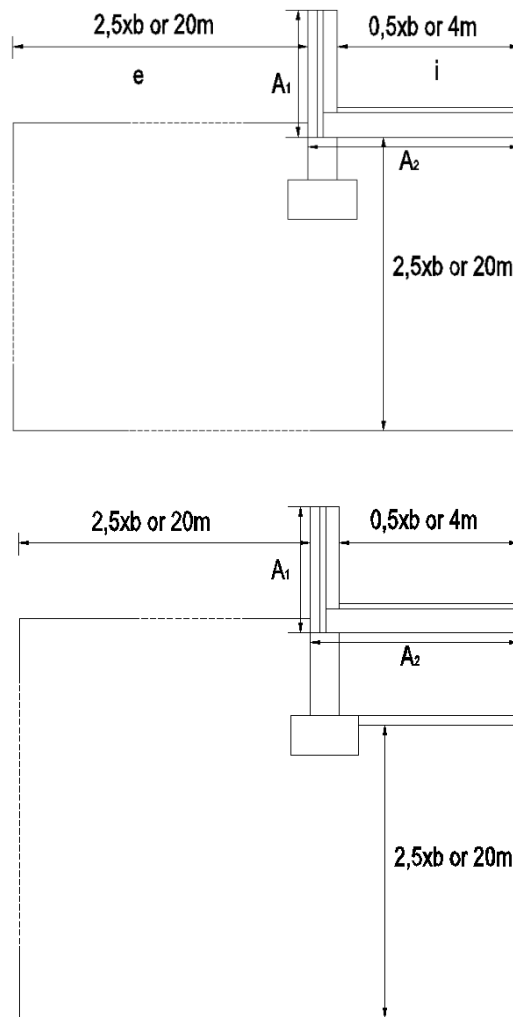
#### *Bouwknoopen met grondmassief*

Bij de funderingsaanzet van een vloer op volle grond of van een vloer boven een kruipruimte of onverwarmde kelder treedt er niet enkel warmtetransport op doorheen het vloerdeel, maar ook doorheen het grondmassief (al dan niet via een kruipruimte/onverwarmde kelder). Dit betekent dat ook dit grondmassief in het numeriek model moet worden opgenomen.

Horizontaal binnen het gebouw worden het grondmassief en de vloerplaat gesimuleerd over een afstand  $0,5 \times b$  waarin  $b$  [m] de breedte van het gebouw is loodrecht op de funderingsaanzet (Figuur 0.3). Horizontaal buiten het gebouw en verticaal onder vloerniveau wordt het grondmassief gesimuleerd over een afstand  $2,5 \times b$ . Voor een niet-rechthoekig gebouw moet  $b$  vervangen worden door de karakteristieke vloerafmeting  $B' = 2A/P$  [m] met  $A$  de totale vloeroppervlakte [ $m^2$ ] op basis van buitenafmetingen en  $P$  de perimeter [m] volgens Bijlage F van het transmissiereferentieodocument.

Om de rekentijd te beperken mogen deze afmetingen gelimiteerd worden: 4 meter aan de binnenzijde van de woning en 20 meter onder en naast de woning. Het is steeds toegelaten om met deze maximale afmetingen te rekenen.

Op de snijvlakken van het model dienen steeds adiabatische randvoorwaarden te worden opgelegd.



**Figuur 0.3** Positie van de snijvlakken van een geometrisch model waarin het grondmassief betrokken is (boven: vloer op volle grond – onder: vloer boven kelder).

### **Toegestane vereenvoudigingen aan het geometrische model**

Berekeningsresultaten die voortvloeien uit een geometrisch model zonder vereenvoudigingen zullen altijd voorrang hebben op resultaten die voortvloeien uit een geometrisch model met vereenvoudigingen.

Vereenvoudigingen zijn enkel toegestaan indien ze voldoen aan de voorwaarden van NBN EN ISO 10211:2008.

De belangrijkste toegestane vereenvoudigingen zijn hieronder opgesomd.

Niet-metaallagen met een dikte kleiner dan 1 mm mogen verwaarloosd worden.

Dunne metaallagen mogen enkel verwaarloosd worden indien kan aangetoond worden dat ze een verwaarloosbare invloed hebben op de warmtestroom.

VOORBEELDEN: *bouwfilies, damp-, water- en*

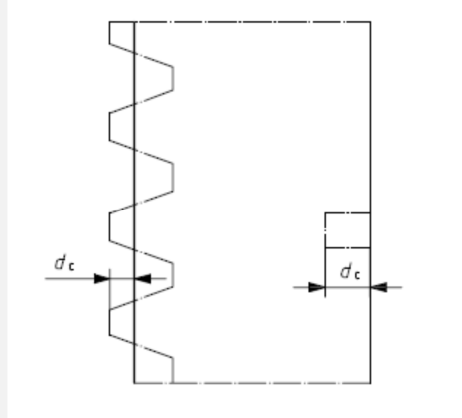
*luchtschermen, ...*

Elementen die puntsgewijs aan het buitenoppervlak zijn bevestigd en die de isolatielaag niet doorboren, mogen verwaarloosd worden.

VOORBEELDEN: *regenpijp, dakgoot, ...*

Het uitvlakken van geprofileerde oppervlaktes of lokale dikteveranderingen aan het binnen- of buitenoppervlak van een bouwdeel is enkel toegelaten

- ✓ indien het materiaal aan het binnen- of buitenoppervlak een warmtegeleidbaarheid  $\lambda$  heeft kleiner dan 3 W/mK, EN
- ✓ indien het maximale verschil in afstand,  $d_c$ , tussen het werkelijke en het vereenvoudigde oppervlak niet groter is dan  $0.03 \text{ m}^2\text{K/W} * \lambda$ , gemeten loodrecht op het materiaaloppervlak.



Figuur 0.4 Het uitvlakken van geprofileerde oppervlaktes (links) of een lokale dikteverandering (rechts) aan het binnen- of buitenoppervlak (Figuur: NBN EN ISO 10211:2008) .

VOORBEELDEN: *afgeronde hoeken, geprofileerde oppervlakken (profielplaten, geprofileerd architectonisch beton), ...*

Materiaallagen die zich aan de buitenzijde van een *sterk geventileerde luchtlaag* bevinden, mag men verwaarlozen in het geometrische model. In dit geval gebruikt men ter plaatse van de sterk geventileerde luchtlaag de warmteovergangswaarde voor binnencondities,  $R_{si}$ . De uiteindelijke bepaling van  $\Psi$ - en  $\chi$ -waarden (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) a.d.h.v. de numeriek berekende warmtestroom moet nog steeds met de buitenafmetingen gebeuren, inclusief de materiaallagen die niet gemodelleerd moeten worden in het geometrische model.

VOORBEELDEN: *sterk geventileerde spouw tussen*



## Niet-homogene bouwlagen

### *Mechanische bevestigingen die de isolatielaag doorboren*

Mechanische bevestigingen die een isolatielaag doorboren, mogen op een vereenvoudigde manier gemodelleerd worden door de isolatielaag een equivalente warmtegeleidbaarheid  $\lambda'$  te geven, bepaald door:

$$\lambda' = \frac{d}{\frac{1}{(U + \Delta U_f)} - R_{si} - R_{se} - \sum R_i} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (1)$$

met

$d$ [m]:	dikte van de isolatielaag;
$U$ [W/m <sup>2</sup> K]:	warmtedoorgangscoefficiënt zonder mechanische bevestigingen;
$\Delta U_f$ [W/m <sup>2</sup> K]:	correctieterm op de U-waarde voor de invloed van de mechanische bevestigingen zoals vastgelegd in het transmissiereferentiedocument;
$R_{si}$ [m <sup>2</sup> K/W]:	warmteovergangswaarde binnen;
$R_{se}$ [m <sup>2</sup> K/W]:	warmteovergangswaarde buiten;
$\sum R_i$ [m <sup>2</sup> K/W]:	som van de warmteovergangswaarden van de andere bouwlagen.

### *Niet-homogene bouwlagen met houtstructuur*

Niet-homogene bouwlagen met houtstructuur (gordingen- of spantendak, houtskeletwanden, ...) mogen niet vereenvoudigd gemodelleerd worden. Alle kepers/gordingen/stijlen/balken, ... die liggen binnen de afmetingen van het model (zie §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), moeten verplicht opgenomen worden in het numeriek model.

### *Andere niet-homogene bouwlagen*

Elke andere niet-homogene bouwlaag (b.v. metselwerk) mag gemodelleerd worden als een thermisch homogene laag met dezelfde dikte, op voorwaarde dat de warmtegeleidbaarheid na vereenvoudiging kleiner dan of gelijk is aan 1,5 keer de laagste warmtegeleidbaarheid van de materialen voor vereenvoudiging.

Indien hieraan voldaan is, mag de equivalente warmtegeleidbaarheid  $\lambda'$  berekend worden als

$$\lambda' = \frac{A_1 \lambda_1 + \dots + A_n \lambda_n}{A_1 + \dots + A_n} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (2)$$

met  $\lambda_1, \dots, \lambda_n$  de warmtegeleidbaarheden van de voorkomende materialen en  $A_1, \dots, A_n$  de overeenkomstige oppervlakten.

## Eisen aan het grid

De software voor het simuleren van detailaansluitingen maakt doorgaans gebruik van een grid: op de snijpunten van de gridlijnen wordt de temperatuur berekend. Voor een voldoende nauwkeurige simulatie dient een minimaal grid gerespecteerd te worden: bij een verdubbeling van het aantal **onderverdelingen** mag de warmtestroom niet wijzigen met meer dan 1%.

## Inputgegevens

### Warmtegeleidbaarheid

De warmtegeleidbaarheid van de materialen moet bepaald worden overeenkomstig de regels van het transmissiereferentiedocument.

Een luchtlaag mag steeds beschouwd worden als een homogeen geleidend materiaal met een equivalente warmtegeleidbaarheid  $\lambda_g$ :

$$\lambda_g = \frac{d_g}{R_g} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (3)$$

met  $d_g$  [m] de dikte van de luchtlaag en  $R_g$  [m<sup>2</sup>.K/W] de warmteweerstand van de luchtlaag zoals bepaald volgens het transmissiereferentiedocument.

De warmtegeleidbaarheid van een niet-homogene laag mag bepaald worden volgens **§Erreur ! Source du renvoi introuvable.**, indien voldaan is aan de van toepassing zijnde voorwaarden.

De warmtegeleidbaarheid van het grondmassief moet gelijk gesteld worden aan 2 W/mK.

### Warmteovergangsweerstanden

De warmteovergangsweerstanden moeten bepaald worden overeenkomstig de regels van het transmissiereferentiedocument. Indien de richting van de warmtestroom onzeker is of indien een gebouw in zijn geheel gemodelleerd wordt in eenzelfde berekening, is het toegelaten met de warmteovergangsweerstand voor binnencondities ( $R_{si}$ ) overeenkomend met een horizontale warmtestroom te rekenen.

Voor scheidingsconstructies tussen binnenomgeving en kruipruimten, onverwarmde kelders of aangrenzende onverwarmde ruimten moet aan beide zijden de warmteovergangsweerstand voor binnencondities ( $R_{si}$ ) opgelegd worden.

### Omgevingstemperaturen

De temperaturen van de binnen- en buitenomgeving mogen vrij gekozen worden. De temperatuur in een aangrenzende onverwarmde ruimte, onverwarmde kelder of kruipruimte moet gelijk gesteld worden aan de buitentemperatuur (zie ook **§Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

## Berekening van $\Psi$ - en $\chi$ -waarden

### Algemeen

De thermische prestaties van bouwknoten worden gekenmerkt door de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt  $\Psi$  (uitgedrukt in W/mK) of de puntwarmtedoorgangscoefficiënt  $\chi$  (uitgedrukt in W/K). Deze warmtedoorgangscoefficienten geven aan welke toeslag men moet aanrekenen op het warmtetransport dat op basis van U-waarden berekend is.

Aangezien de referentieberekening in ons land gebaseerd is op de buitenafmetingen ('exterior'), wordt voor de eenduidigheid een suffix toegevoegd aan het symbool:  $\Psi_e$  en  $\chi_e$ .

De lijnwarmtedoorgangscoefficiënt  $\Psi_e$  is gedefinieerd als:

$$\Psi_e = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (4)$$

met:

- $\Phi_{2D}$  [W]: de tweedimensionale, stationaire warmtestroom tussen de binnen- en buitenomgeving, berekend met gevalideerde numerieke software;
- $\Phi_{1D}$  [W]: de som van de stationaire warmtestromen door de samenstellende scheidingsconstructies van het model, berekend volgens:

$$\Phi_{1D} = \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (5)$$

waarin:

$U_i$  [W/m<sup>2</sup>K]: U-waarde van scheidingsconstructie i;  
 $A_i$  [m<sup>2</sup>]: oppervlakte van scheidingsconstructie i van het model, op basis van buitenafmetingen;

- $L$  [m] : lengte waarover de bouwknoop gemodelleerd wordt;
- $\theta_i - \theta_e$  [K]: het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving.

De puntwarmtedoorgangscoefficiënt  $\chi_e$  wordt op een analoge manier bepaald:

$$\chi_e = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{2D}}{\theta_i - \theta_e} \left[ \frac{W}{K} \right] \quad (6)$$

met :

- $\Phi_{3D}$  [W]: de driedimensionale, stationaire warmtestroom tussen de binnen- en buitenomgeving, berekend met gevalideerde numerieke software;
- $\Phi_{2D}$  [W]: de som van de stationaire warmtestromen door de samenstellende scheidingsconstructies van het model en de eventuele lineaire bouwknoten die ontstaan door het samenkomen van scheidingsconstructies, berekend volgens:

$$\Phi_{1D} = \sum U_i A_i (\theta_i - \theta_e) + \sum \psi_{e,k} L_k (\theta_i - \theta_e) \quad [W] \quad (7)$$

waarin:

$U_i$ [W/m <sup>2</sup> K]:	U-waarde van scheidingsconstructie i;
$A_i$ [m <sup>2</sup> ]:	oppervlakte van scheidingsconstructie i van het model, op basis van buitenafmetingen;
$\psi_{e,k}$ [W/mK]:	lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van een lineaire bouwknoop;
$L_k$ [m]:	lengte van een lineaire bouwknoop;

- $\theta_i - \theta_e$  [K]: het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving.

### **Meer dan 2 grenstemperaturen (AOR, onverwarmde kelder of kruipruimte)**

Bepaalde bouwknoepen worden begrensd door meer dan 2 omgevingen. Voorbeelden hiervan zijn een funderingsaanzet boven een onverwarmde kelder of kruipruimte of bouwknoepen tussen binnen, buiten en een aangrenzende onverwarmde ruimte (AOR).

Bij de numerieke berekening van de  $\psi$ -waarde dient de temperatuur in de AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte gelijk gesteld te worden aan de buitentemperatuur. Dit betekent dat volgende temperaturen ingesteld worden:

- ✓ BINNEN:  $\theta_i =$  naar keuze [°C]
- ✓ BUITEN:  $\theta_e =$  naar keuze [°C]
- ✓ AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte:  $\theta_u = \theta_e$  [°C]

Met deze grenstemperaturen en een overgangsweerstand  $R_{si}$  (binnencondities) voor de AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte kan de totale stationaire warmtestroom  $\Phi_{2D}$  tussen binnen- en buitenomgeving berekend worden. Bij de kelder en kruipruimte dient ook het grondmassief opgenomen te worden in het numeriek model (zie §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

De  $\psi_e$  -waarde is dan gedefinieerd als (verduidelijking van de termen in **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**):

$$\psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{U_1 A_1}{L} - \frac{U_2 A_2}{L} \quad \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (8)$$

met

$\Phi_{2D}$ [W]:	de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software;
$L$ [m]:	lengte waarover de lineaire bouwknoop gemodelleerd wordt;
$\theta_i - \theta_e$ [K]:	temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving;
$U_1$ [W/m <sup>2</sup> K]:	warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving;
$A_1$ [m <sup>2</sup> ]:	oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving, op basis van buitenafmetingen;
$U_2$ [W/m <sup>2</sup> K]:	de warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie

tussen binnenomgeving en AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte, gedefinieerd als:

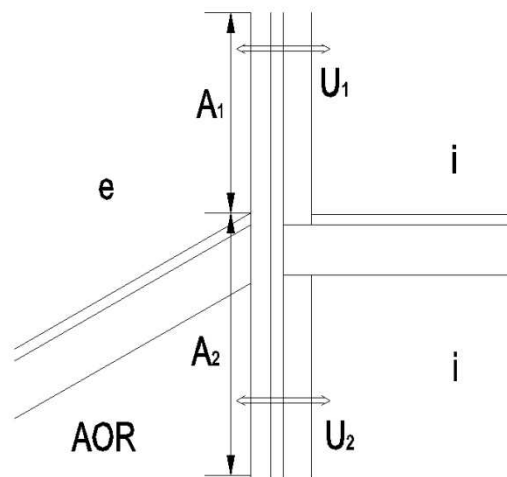
$$U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum R_i + R_{se}} \quad (9)$$

met  $R_{si}$  [m<sup>2</sup>K/W]: de warmteovergangsweerstand voor binnencondities;

$\sum R_i$  [m<sup>2</sup>K/W]: de totale warmteweerstand van alle bouwlagen van het bouwelement (van oppervlak tot oppervlak).

$A_2$  [m<sup>2</sup>]:

oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR/kelder/kruipruimte, op basis van buitenafmetingen.



**Figuur 0.1 Aanduiding van de gebruikte termen in het geval een aangrenzende onverwarmde ruimte.**

### **Funderingsaanzet van vloer op volle grond**

Voor een funderingsaanzet van een vloer op volle grond, wordt het model (inclusief grondmassief – zie §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) tweedimensionaal doorgerekend en wordt  $\Phi_{2D}$  berekend als de totale warmtestroom die de binnenomgeving verlaat.

De lijnwarmtedoorgangscoefficient is dan gelijk aan:

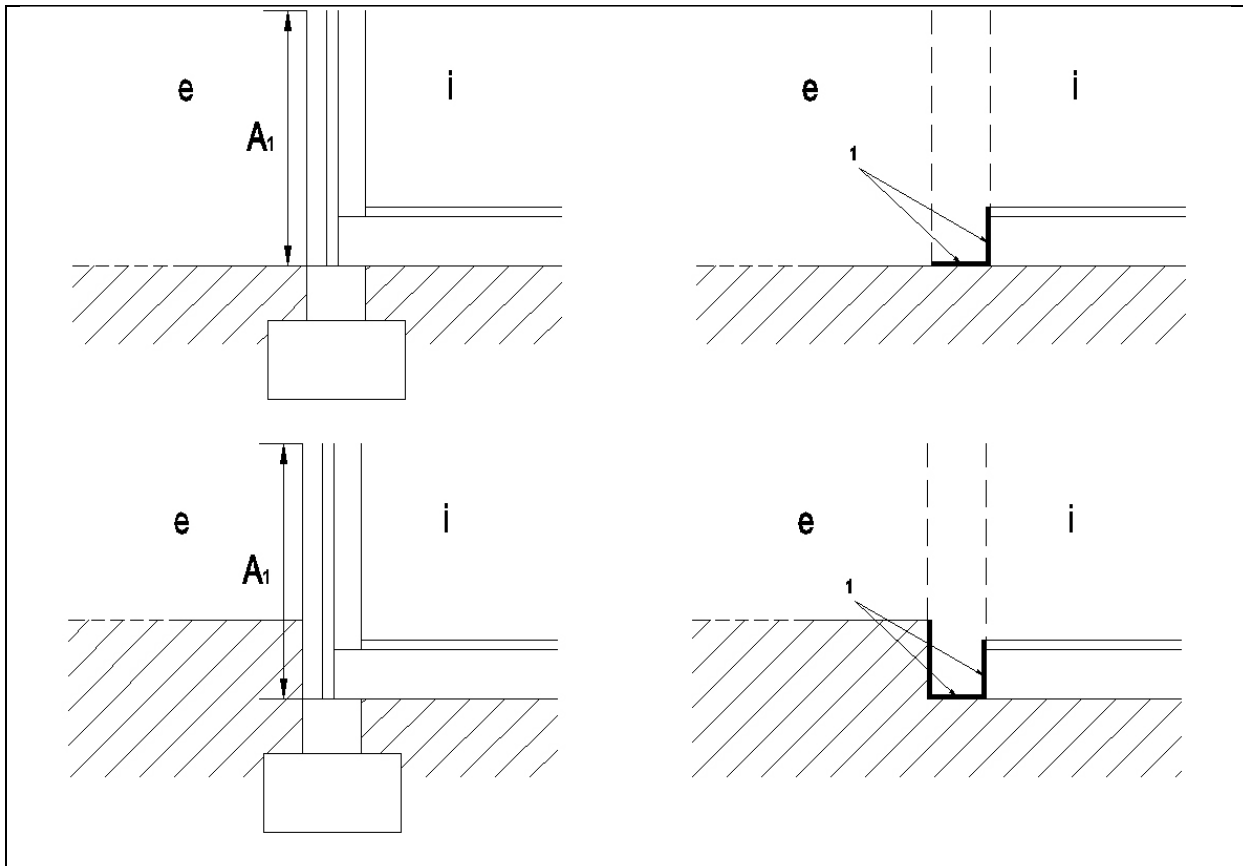
$$\psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} = \frac{A_1 U_1}{L} + \frac{\Phi_{2D,a}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (10)$$

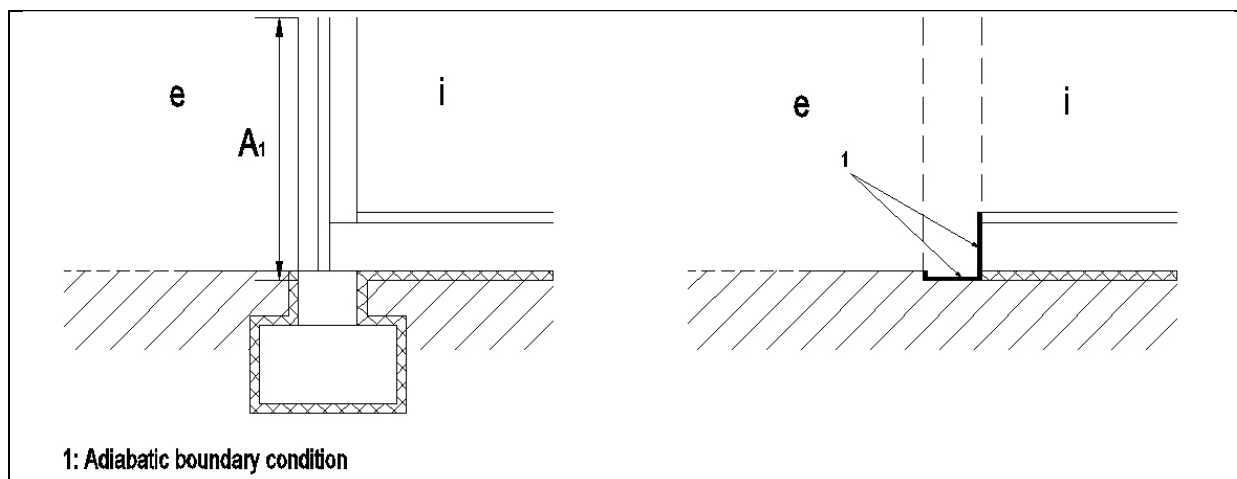
met

$\Phi_{2D}$  [W]: de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software;

- $L$  [m]: lengte waarover de lineaire bouwknop gemodelleerd wordt;
- $\theta_i - \theta_e$  [K]: temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving;
- $A_1$  [m]: oppervlakte van de muur tussen binnen- en buitenomgeving, op basis van buitenafmetingen;
- $U_1$  [W/m<sup>2</sup>K]: warmtedoorgangscoefficiënt van de muur;
- $\Phi_{2D,a}$  [W]: de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software, op basis van het model dat als volgt moet worden aangepast:
- ✓ verwaarlozing van alle funderingsmassieven en/of randisolatie door deze te vervangen door grond met een warmtegeleidbaarheid van 2 W/mK;
  - ✓ opleggen van adiabatische randvoorwaarden waar de muur (die principieel loopt tot onderkant vloerplaat, inclusief vloerisolatie) in contact is met de vloer op volle grond of de grond.

**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** verduidelijkt de manier waarop het model moet aangepast worden.





**Figuur 0.2** Aanpassing van het werkelijke detail ter berekening van de U-waarde van de vloer op volle grond.

### Venster- en deuraansluitingen

Voor de bepaling van de  $\Psi$ -waarde van een venster- of deuraansluiting wordt enkel rekening gehouden met de wand en het raam- of deurprofiel. Er kan gekozen worden voor een gedetailleerde (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**) of een vereenvoudigde rekenmethode (§**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**).

De lijnwarmtedoorgangscoefficient is voor beide methodes gelijk aan:

$$\psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{A_1 U_1}{L} - \frac{A_2 U_2}{L} \quad \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (11)$$

met

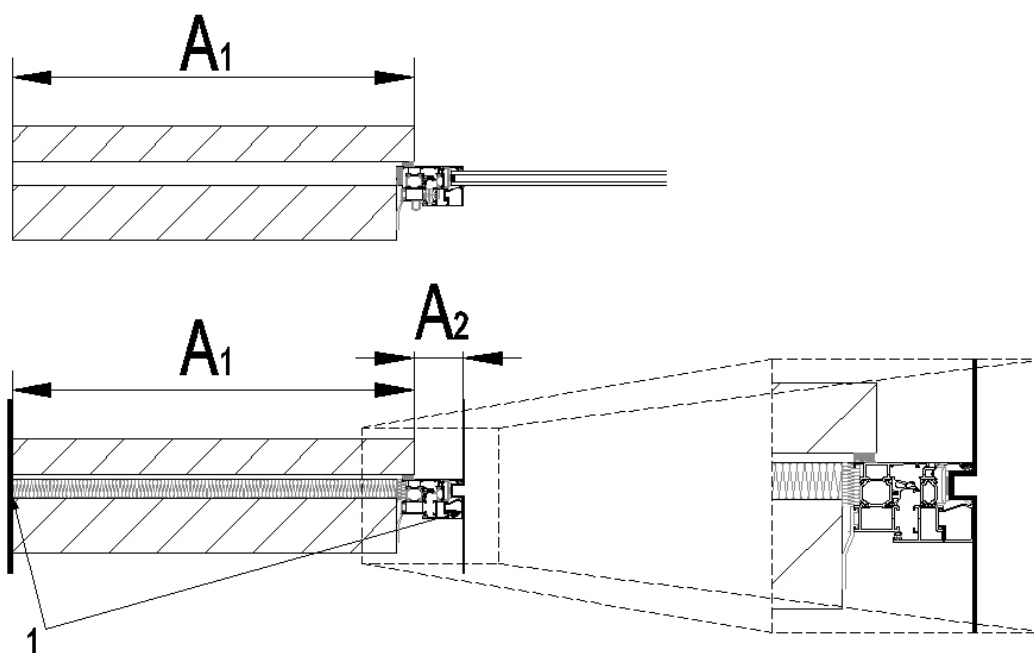
$\Phi_{2D}$ [W]:	de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software;
$L$ [m]:	lengte waarover de lineaire bouwknop gemodelleerd wordt;
$\theta_i - \theta_e$ [K]:	temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving;
$A_1$ [m]:	oppervlakte van de wand tussen binnen- en buitenomgeving, op basis van buitenafmetingen;
$U_1$ [W/m <sup>2</sup> K]:	warmtedoorgangscoefficiënt van de wand;
$A_2$ [m]:	geprojecteerde raamprofieloppervlakte aan de buitenzijde, op basis van buitenafmetingen;
$U_2$ [W/m <sup>2</sup> K]:	warmtedoorgangscoefficiënt van het raamprofiel.

### Gedetailleerde rekenmethode

Bij de gedetailleerde rekenmethode wordt het raam- of deurprofiel in detail gemodelleerd en wordt de warmtedoorgangscoefficiënt  $U_2$  uit vergelijking (11) bepaald volgens de voorschriften van NBN ISO 10077-2.

Voor de bepaling van de  $\Psi$ -waarde wordt dit gedetailleerde model overgenomen. Op de contactvlakken tussen het raam- of deurprofiel en de beglazing en/of afstandhouders moeten adiabatische randvoorwaarden opgelegd worden. De beglazing en afstandhouders zelf worden dus niet gemodelleerd.

**Erreur ! Source du renvoi introuvable.** toont de parameters die noodzakelijk zijn voor de berekening van de  $\Psi$ -waarde.



1: Adiabatic boundary condition

**Figuur 0.3 Bij de gedetailleerde rekenmethode worden de beglazing en afstandhouders (boven) weggelaten en worden op de contactvlakken tussen het raam- of deurprofiel en de beglazing en/of afstandhouders adiabatische randvoorwaarden opgelegd (onder)**

### Vereenvoudigde rekenmethode

Een vereenvoudigde detaillering van het raamprofiel is toegestaan voor alle types raam- en deurprofielen, behalve voor raamprofielen met thermische onderbreking in contact met een opake scheidingsconstructie waarbij de isolatie niet aansluit op de thermische onderbreking van het raamprofiel.

De vereenvoudiging bestaat erin het raam- of deurprofiel te vervangen door een homogeen blokje met volgende eigenschappen (Figuur 0.4):

- ✓ de afmeting  $a$  van het blokje is gelijk aan de diepte van het vast kader van het venster, gemeten loodrecht op het glasoppervlak;
- ✓ de afmeting  $b$  van het blokje is gelijk aan de hoogte van het volledige raamprofiel (zowel vast als beweegbaar deel), gemeten parallel aan het glasoppervlak;
- ✓ de warmtegeleidbaarheid  $\ddot{E}_f$  van het blokje wordt zo gekozen dat de warmtedoorgangscoefficiënt van het totale blokje identiek gelijk is aan de

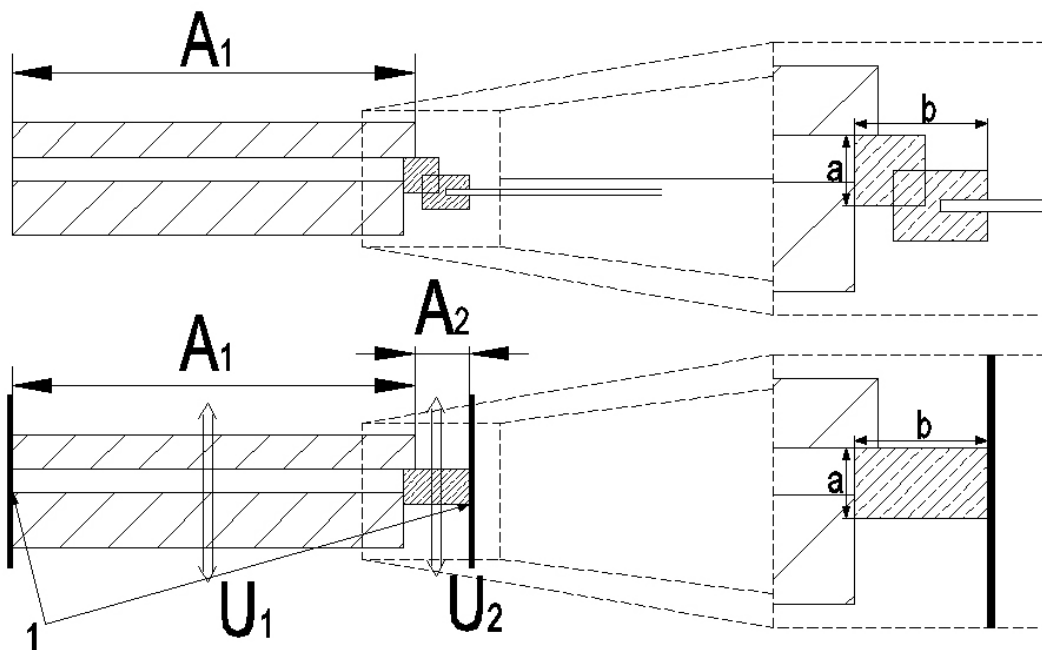


warmtedoorgangscoefficiënt  $U_f$  van het raamprofiel. Voor de berekening van  $U_f$  wordt verwezen naar het transmissiereferentiedocument. De equivalente  $\ddot{E}$ -waarde van het blokje bij de simulatie van een vensteraansluiting moet dan als volgt berekend worden:

$$\lambda'_f = \frac{a}{\frac{1}{U_f} - R_{si} - R_{se}} \left[ \frac{W}{m \cdot K} \right] \quad (12)$$

- ✓ de beglazing en afstandhouders worden niet gemodelleerd.

Dit homogeen blokje moet zich op exact dezelfde positie bevinden als het originele raamprofiel. De beglazing wordt niet gemodelleerd, dus de adiabatische grenzen van het te simuleren model bevinden zich aan de raamzijde op het snijvlak van het homogene blokje. Figuur 7.4 toont de parameters die noodzakelijk zijn voor de berekening van de  $\Psi$ -waarde.



1: Adiabatic boundary condition

**Figuur 0.4** De werkelijke situatie (boven) mag vereenvoudigd worden door het raamprofiel te vervangen door een homogeen, rechthoekig blokje (onder). Bij de berekening van de  $\Psi$ -waarde moeten de overeenkomstige oppervlaktes  $A_1$  en  $A_2$  gebruikt worden.

### ***Bouwknoopen in het geval van bouwelementen in houtskeletstructuur***

De detaillering van bouwknoopen in het geval van bouwelementen met een houtskeletstructuur (gordingen- of spantendak, houten vloeren, houtskeletwanden,

...) is zeer specifiek en mag niet zomaar vereenvoudigd worden. Dit betekent dat alle gordingen, kepers, randbalken, ... die liggen binnen de afmetingen van het model (zie §**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), verplicht moeten opgenomen worden in de detaillering van de bouwknop.

Voor de bepaling van de  $\Psi$ -waarde moeten de U-waarden van de scheidingsconstructies die deel uitmaken van de bouwknop en die bestaan uit niet-homogene bouwlagen met houtskeletstructuur, verplicht numeriek bepaald worden. Dit betekent dat een tweede numerieke berekening nodig is, waarbij een representatief deel van de scheidingsconstructie afzonderlijk gemodelleerd wordt (inclusief kepers/gordingen/stijlen/balken) en waarbij de U-waarde als volgt bepaald wordt:

$$U = \frac{\Phi_{2D}}{A \cdot (\theta_i - \theta_e)} \left[ \frac{W}{m^2 K} \right] \quad (13)$$

met

$\Phi_{2D}$ [W]:	de totale twee- of driedimensionale stationaire warmtestroom doorheen de scheidingsconstructie, berekend met gevalideerde numerieke software;
$A$ [m <sup>2</sup> ]:	oppervlakte van de scheidingsconstructie zoals toegepast in het numeriek model;
$\theta_i - \theta_e$ [K]:	temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving;

## Eisen aan de rapportering

### Invoergegevens

- Gebruikte softwarepakket
- Twee- of driedimensionaal model met afmetingen
- Warmtegeleidbaarheden van de gebruikte materialen
- Opgelegde omgevingstemperaturen
- Gebruikte overgangswaarden en aanduiding van de oppervlaktes waarop ze van toepassing zijn
- Eventuele toegepaste vereenvoudigingen zoals toegestaan in §0 op pagina 7
- Eventuele equivalente warmtegeleidbaarheden.

### Uitvoergegevens

- $\Phi_{2D}$
- De warmtedoorgangscoefficient  $\Psi/\chi$  op twee cijfers na de komma nauwkeurig
- Gebruikte U-waarden en oppervlaktes  $A$  bij de berekening van  $\Psi/\chi$
- De schatting van de relatieve fout dient weergegeven te worden: de som van alle warmtestromen (positief en negatief) over alle grensoppervlakken van het model gedeeld door de totale uitgaande of inkomende warmtestroom, moet kleiner zijn dan 0,0001 [-].

Gezien om te worden gevoegd bij het ministerieel besluit houdende uitvoering van bijlagen V, IX et X van het besluit van de Brusselse Hoofdstedelijke Regering van

21 december 2007 tot vaststelling van de eisen op het vlak van de energieprestatie en het binnenklimaat van gebouwen.

Brussel, 6 mei 2014

Evelyne HUYTEBROECK