

Bijlage 5.**Gevalideerde numerieke berekeningen****Inhoud**

1	INLEIDING.....	2
2	TOEPASSINGSDOMEIN.....	2
3	NORMATIEVE REFERENTIES.....	2
4	GEBRUIKTE SYMBOLEN.....	3
5	GEVALIDEERDE NUMERIEKE SOFTWARE.....	3
6	VOORWAARDEN VOOR HET NUMERIEK MODEL.....	4
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>Lineaire en puntsgewijze onderbrekingen eigen aan een constructie en over het oppervlak ervan verdeeld</i>	8
6.1.4	<i>Puntbouwknoopen ter plaatse van een lineaire bouwknoop.....</i>	9
6.1.5	<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>	11
7	BEREKENING VAN Ψ - EN X-WAARDEN.....	11
7.1	Algemeen	11
7.2	Meer dan 2 grenstemperaturen (AOR, onverwarmde kelder of kruipruimte) .	12
7.3	Funderingsaanzet van vloer op volle grond	14
7.4	Venster- en deuraansluitingen	17
7.4.1	<i>Gedetailleerde rekenmethode.....</i>	17
7.4.2	<i>Vereenvoudigde rekenmethode.....</i>	18
7.5	Bouwknoopen in het geval van scheidingsconstructies in houtskelet- of staalstructuur	19
8	EISEN AAN DE RAPPORTERING.....	20
8.1	Invoergegevens	20
8.2	Uitvoergegevens	20

1 Inleiding

In bijlage VIII bij het Energiebesluit 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* ("optie A"), een methode van de *EPB-aanvaarde bouwknopen* ("optie B") en een methode waarbij men voor een forfaitaire toeslag ("optie C") 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 VIII 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 deze bijlage wordt vastgelegd hoe een dergelijke numerieke berekening dient te gebeuren.

2 Toepassingsdomein

De in deze tekst vermelde rekenprocedures kunnen toegepast worden voor de berekening van lineaire en puntwarmtedoorgangscoefficienten (Ψ - en χ -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, spouwhaken,...) .

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

3 Normatieve referenties

Deze bijlage verwijst naar volgende normen. Enkel de normversie met de geciteerde datum is van toepassing, tenzij de minister expliciet een andere versie ter vervanging aanduidt.

NBN EN ISO 10211:2008	Thermal bridges in building construction - Heat flows and surface temperatures - Detailed calculations
NBN EN ISO 10077-2	Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 2 : numerical method for frames

4 Gebruikte symbolen

Symbole	Signification	Unités
AOR	Aangrenzende onverwarmde ruimte	-
b	Afmeting van de vloer in een bepaalde richting	m
B'	Karakteristieke vloerafmeting	m
R _{si}	Warmteovergangswaarde aan het binnenoppervlak	m ² .K/W
R _{se}	Warmteovergangswaarde aan het buitenoppervlak	m ² .K/W
U	Warmtedoorgangscoefficiënt	W/(m ² .K)
ΔU	Correctieterm op de warmtedoorgangscoefficiënt	W/(m ² .K)
λ	Warmtegeleidbaarheid van een bouw materiaal	W/(m.K)
Ψ	Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt	W/(m.K)
Φ	Warmtestroom	W
χ	Puntwarmtedoorgangscoefficiënt	W/K

5 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 10211:2017 gesteld worden aan een "high precision method".

6 Voorwaarden voor het numeriek model

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

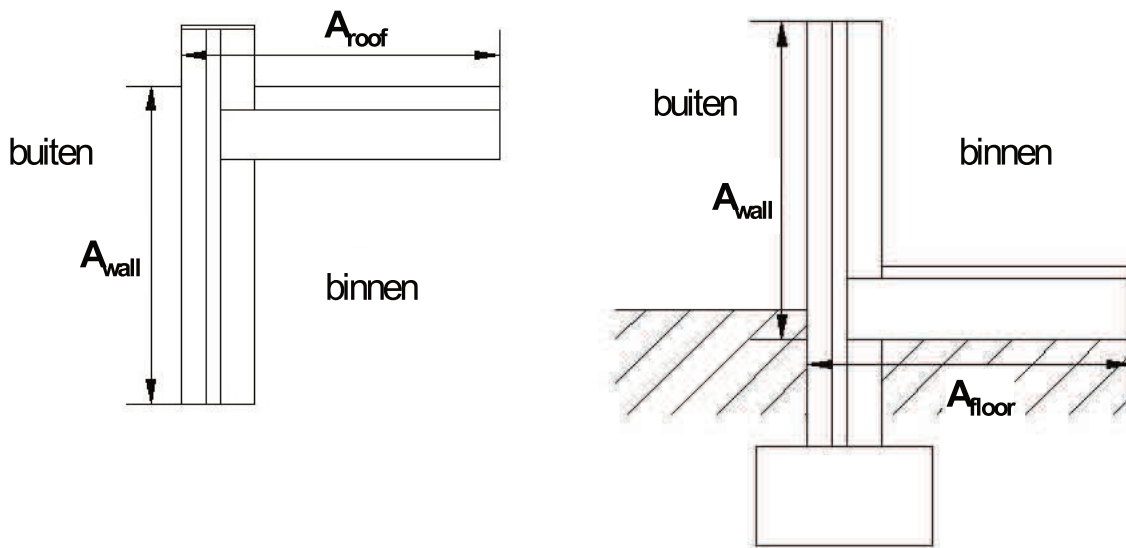
6.1 Geometrische eisen

6.1.1 Afmetingen

6.1.1.1 Algemeen

Lengtes en oppervlakten moeten berekend worden op basis van buitenafmetingen (Figuur [1]).

Figuur [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} , met d_{min} gelijk aan: (zie Figuur [2], ❶ of ❷).

Eq. 1 $d_{min} = \max(1; 3 \cdot d)$ m

waarin :

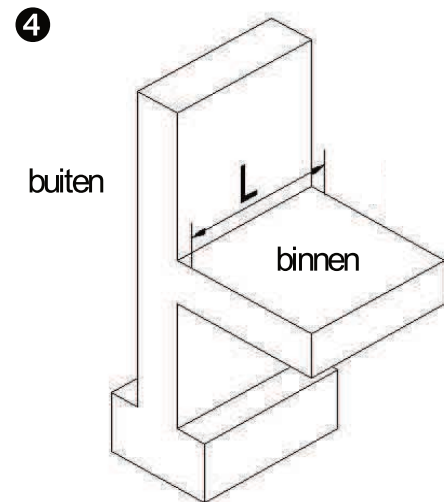
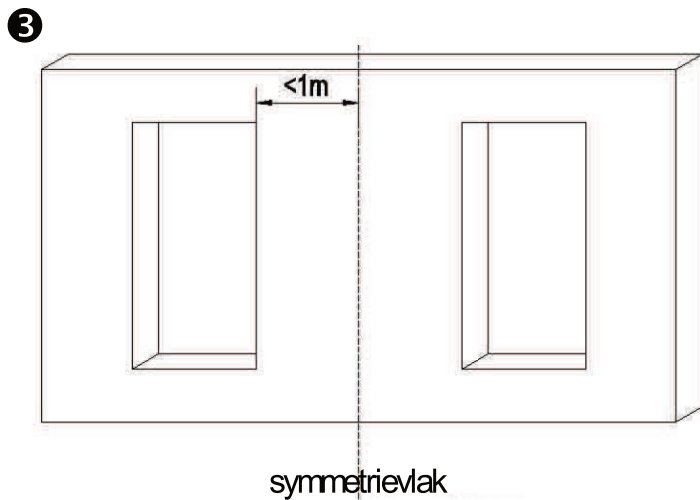
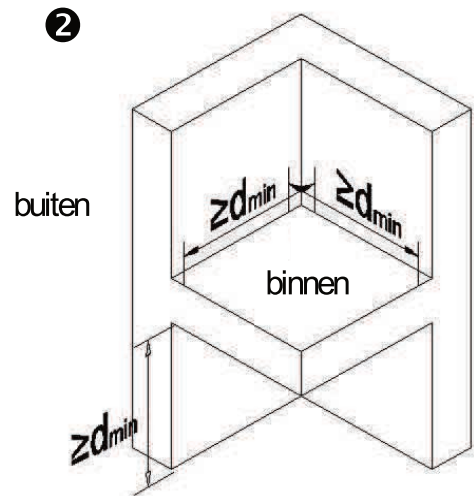
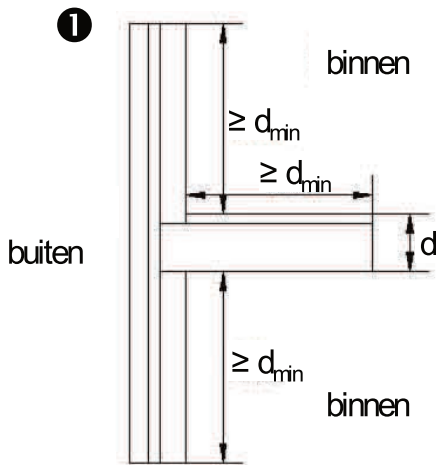
d de dikte van het betreffende constructiedeel, in m.

Indien er zich binnen deze afstand een symmetrievlak bevindt, moet het desbetreffende constructiedeel ter plaatse van het symmetrievlak afgesneden worden (Figuur [2], ❸).

Bij lineaire bouwknoopen kan de lengte L in de derde dimensie vrij gekozen worden (Figuur [2], ❹).

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

Figuur [2]: Positie van de snijvlakken van het geometrisch model



6.1.1.2 Bouwknopen 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 $0,5.b$ waarin b de breedte van het gebouw is loodrecht op de funderingsaanzet, in m (Figuur [3]).

Horizontaal buiten het gebouw en verticaal onder vloerniveau wordt het grondmassief gesimuleerd over een afstand $2,5.b$.

Voor een niet-rechthoekig gebouw moet b vervangen worden door de karakteristieke vloerafmeting B' , bepaald als :

$$\text{Eq. 2} \quad B' = 2.A/P \quad m$$

met:

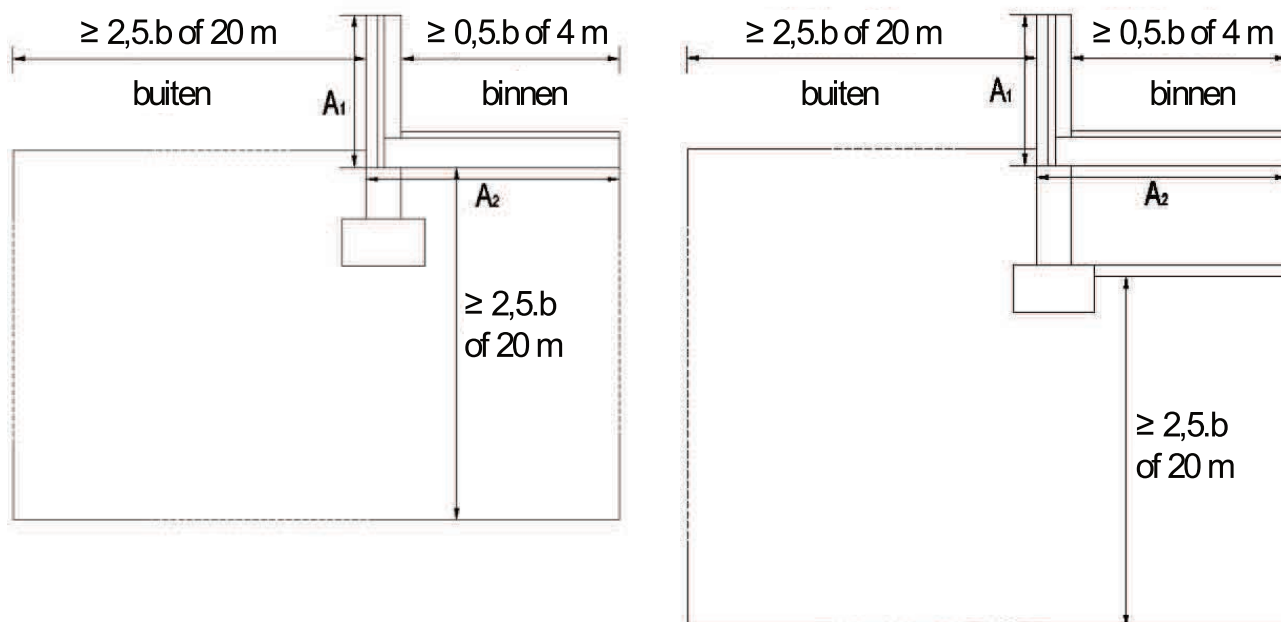
A de totale vloeroppervlakte, op basis van de buitenafmetingen, in m^2 ;

P de perimeter volgens bijlage F van bijlage TRD, in m.

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 [3]: Positie van de snijvlakken van een geometrisch model waarin het grondmassief betrokken is (boven: vloer op volle grond - onder: vloer boven kelder).



6.1.2 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: bouwfolies, damp-, water- en luchtschermen,...

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

VOORBEELDEN: regenpijp, dakgoot,...

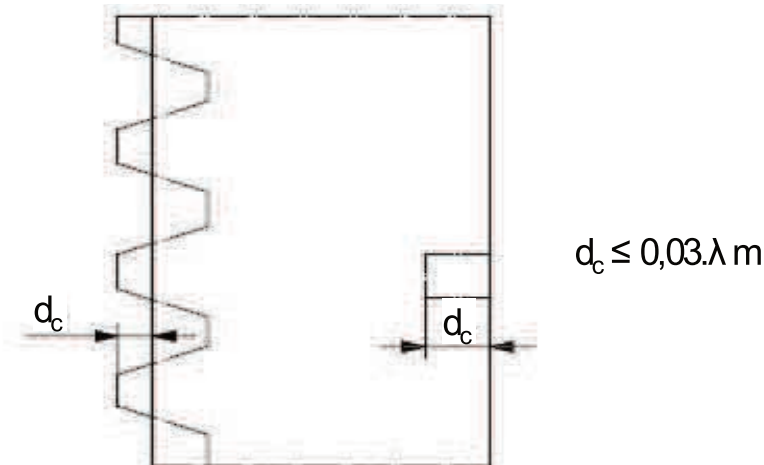
- Het uitvlakken van geprofileerde oppervlaktes of lokale dikteveranderingen aan het binnen- of buitenoppervlak van een bouwdeel is enkel toegelaten

- indien het materiaal aan het binnen- of buitenoppervlak een warmtegeleidbaarheid λ heeft kleiner dan 3 W/(m.K) , **EN**

- indien het maximale verschil in afstand, d_c , tussen het werkelijke en het vereenvoudigde oppervlak niet groter is dan $0,03 \cdot \lambda$, en m , gemeten loodrecht op het materiaaloppervlak.

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

Figuur [4]: Het uitvlakken van geprofileerde oppervlaktes (links) of een lokale dikteverandering (rechts) aan het binnen- of buitenoppervlak (Figuur uit NBN EN ISO 10211:2008) .



- 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 Ψ - en χ -waarden (zie § 7) 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 dragend en gevelmetselwerk, luchtspouw tussen leien- of pannendak en onderdak,...*

6.1.3 Lineaire en puntsgewijze onderbrekingen eigen aan een constructie en over het oppervlak ervan verdeeld

6.1.3.1 Lineaire onderbrekingen eigen aan de constructie en over het oppervlak ervan verdeeld

VOORBEELDEN: *niet-homogene bouwlagen zoals houten stijlen en regels bij houtskeletbouw wanden, kepers en gordingen bij spanten daken, houten regelwerk bij buiten- of binnenisolatie, lineaire onderlinge aansluiting van sandwichpanelen, lineaire ophangsystemen van voorhanggevel/lichte gevel, ...*

Lineaire onderbrekingen, eigen aan de constructie en over het oppervlak ervan verdeeld, mogen niet vereenvoudigd gemodelleerd worden. Dit betekent dat alle gordingen, kepers, randbalken, metaallagen, lineaire ophangsystemen,... die liggen binnen de afmetingen van het model verplicht moeten opgenomen worden in het model van de bouwknoop.

Enkel de lineaire onderbrekingen ten gevolge van metsen of lijmen van bouwstenen mogen vereenvoudigd gemodelleerd te worden, door de bouwlaag te beschouwen als een thermisch homogene bouwlaag laag met dezelfde dikte, met de equivalente warmtegeleidbaarheid λ_0 berekend volgens § G.3.1 van bijlage TRD.

6.1.3.2 *Puntsgewijze onderbrekingen, eigen aan de constructie en over het oppervlak ervan verdeeld*

VOORBEELDEN: spouwhaken, puntsgewijze ophangpunten van voorhanggevel/lichte gevel (b.v. puntsgewijze ankers voor het ophangen van buitengevelisolatiesysteem, regelschroeven op vaste afstand voor houten regelwerk), bevestigingspunten van sandwichpanelen tegen achterliggende draagstructuur, ...

Puntsgewijze onderbrekingen, eigen aan de constructie en over het oppervlak ervan verdeeld, hebben in principe een zeer beperkte invloed op de uiteindelijke Ψ - of χ -waarde van een lineaire of puntbouwknop. Ze moeten daarom niet gemodelleerd of vereenvoudigd ingerekend worden in het numeriek model van de lineaire of puntbouwknop. Dit impliceert geenszins dat de invloed van deze puntsgewijze onderbrekingen niet dient ingerekend te worden in de U-waarde van de scheidingsconstructie. De richtlijnen zoals vastgelegd in bijlage TRD zijn hierop nog steeds van toepassing. Enkel voor het bepalen van de Ψ -waarde van een lineaire bouwknop is het niet nodig om deze puntsgewijze elementen mee in rekening te brengen en te modelleren.

6.1.4 *Puntbouwknopen ter plaatse van een lineaire bouwknop*

VOORBEELDEN: puntsgewijze verankering van geveldragers voor metselwerk ter hoogte van een latei-aansluiting, puntsgewijze ondersteuning van dorpels bij buitenisolatiesystemen, ...

Twee opties zijn mogelijk, aangevuld met een uitzonderingsregel.

6.1.4.1 *χ -waarde puntbouwknop(en) reeds gekend*

Indien de invloed van deze puntbouwknopen gekend is en afzonderlijk ingerekend wordt via hun χ -waarde (hetzij met behulp van een gevalideerde numerieke berekening, hetzij met behulp van een waarde bij ontstentenis), dan kunnen deze puntbouwknopen weggelaten worden uit het numeriek model van de lineaire bouwknop.

6.1.4.2 *χ -waarde puntbouwknop(en) nog niet gekend*

Is hun invloed niet ingerekend via een χ -waarde (bijvoorbeeld omdat de puntbouwknop(en) te sterk verweven zijn met de lineaire bouwknop waardoor een apart numeriek model van de puntbouwknop(en) niet mogelijk of niet zinvol is), dan moet de volgende werkwijze aangehouden worden:

1. Bepaling van Ψ_e -waarde van de lineaire bouwknop, in W/(m.K), op basis van het tweedimensionaal numeriek model zonder puntbouwknop. Het is deze Ψ_e -waarde die, indien van toepassing, aan de Ψ_{lim} -waarde afgetoetst wordt.
2. Bepaling van de totale warmtestroom $Q_{3D,TOT}$, in W, op basis van het volledige driedimensionaal model van lineaire en puntbouwknop samen. In de richting parallel met de lineaire bouwknop moet de lengte van het model gelijk zijn aan 1/n meter, met n het aantal puntbouwknopen per lopende meter.
3. Bepaling van de χ -waarde van de puntbouwknop, in W/K, als:

$$\text{Eq. 3} \quad \chi = \frac{Q_{3D,TOT}}{\Delta T} - \frac{\Psi_e}{n} \quad \text{W/K}$$

met:

n het aantal puntbouwknopen per lopende meter;

ΔT het temperatuursverschil tussen binnen en buitenomgeving.

6.1.4.3 6.1.4.3 Uitzonderingsregel

Mechanische bevestigingen (zoals raamdoken of schroeven) met een totale sectie kleiner dan 1 cm² per lopende meter krijgen een χ -waarde toegekend van 0 W/(m.K) en mogen verwaarloosd worden uit de lineaire bouwknoopmodellering.

6.1.5 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%.

6.2 Inputgegevens

6.2.1 Warmtegeleidbaarheid

De warmtegeleidbaarheid van de materialen moet bepaald worden overeenkomstig de regels van bijlage TRD.

Een luchtlaag mag steeds beschouwd worden als een homogeen geleidend materiaal met een equivalente warmtegeleidbaarheid λ_g :

$$\text{Eq. 4} \quad \lambda_g = \frac{d_g}{R_g} \quad \text{W/(m.K)}$$

met:

d_g de dikte van de luchtlaag, in m

R_g de warmteweerstand van de luchtlaag zoals bepaald volgens bijlage TRD, in m².K/W.

De warmtegeleidbaarheid van een niet-homogene laag mag bepaald worden volgens § **Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**, indien voldaan is aan de van toepassing zijnde voorwaarden.

De warmtegeleidbaarheid van het grondmassief moet gelijk gesteld worden aan 2 W/(m.K).

6.2.2 Warmteovergangsweerstanden

De warmteovergangsweerstanden moeten bepaald worden overeenkomstig de regels van bijlage TRD. 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.

6.2.3 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 § 7.2).

7 Berekening van Ψ - en χ -waarden

7.1 Algemeen

De thermische prestaties van bouwknoten worden gekenmerkt door de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt Ψ (uitgedrukt in $W/(m.K)$) of de puntwarmtedoorgangscoefficiënt χ (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 gebaseerd is op de buitenafmetingen ('exterior'), wordt voor de eenduidigheid een suffix toegevoegd aan het symbool: Ψ_e en χ_e .

De **lijnwarmtedoorgangscoefficiënt Ψ_e** is gedefinieerd als:

$$\text{Eq. 5} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D} - \Phi_{1D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad W/(m.K)$$

met:

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

$$\text{Eq. 6} \quad \Phi_{1D} = \sum U_i \cdot A_i \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad W$$

waarin:

U_i de U -waarde van scheidingsconstructie i , in $W/(m^2.K)$;
 A_i de oppervlakte van scheidingsconstructie i van het model, op basis van buitenafmetingen, in m^2 ;
 L de lengte waarover de bouwknoop gemodelleerd wordt, in m ;
 $(\theta_i - \theta_e)$ het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving, in K .

De **puntwarmtedoorgangscoefficiënt χ_e** wordt op een analoge manier bepaald:

$$\text{Eq. 7} \quad \chi_e = \frac{\Phi_{3D} - \Phi_{2D}}{\theta_i - \theta_e} \quad W/K$$

met :

Φ_{3D} de driedimensionale, stationaire warmtestroom tussen de binnen- en buitenomgeving, berekend met gevalideerde numerieke software, in W ;
 Φ_{2D} 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, in W , berekend volgens:

$$\text{Eq. 8} \quad \Phi_{2D} = \sum_i U_i \cdot A_i \cdot (\theta_i - \theta_e) + \sum_k \Psi_{e,k} \cdot L_k \cdot (\theta_i - \theta_e) \quad W$$

waarin:

- U_i de U-waarde van scheidingsconstructie i , in $W/(m^2.K)$;
 A_i de oppervlakte van scheidingsconstructie i van het model, op basis van buitenafmetingen, in m^2 ;
 $\Psi_{e,k}$ de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van een lineaire bouwknop, in $W/(m.K)$;
 L_k de lengte van een lineaire bouwknop k , in m ;
 $(\theta_i - \theta_e)$ het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving, in K .

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

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

Bij de numerieke berekening van de Ψ -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, in $^{\circ}C$;
- buiten: $\theta_e =$ naar keuze, in $^{\circ}C$;
- AOR / onverwarmde kelder / kruipruimte: $\theta_u = \theta_e$, in $^{\circ}C$.

Met deze grenstemperaturen en een overgangsweerstand R_{si} (binnencondities) voor de AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte kan de totale stationaire warmtestroom Φ_{2D} tussen binnen- en buitenomgeving berekend worden. Bij de kelder en kruipruimte dient ook het grondmassief opgenomen te worden in het numeriek model (zie § 6.1.1.2).

De Ψ_e -waarde is dan gedefinieerd als (verduidelijking van de termen in 7.1):

$$\text{Eq. 9} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{U_1 \cdot A_1}{L} - \frac{U_2 \cdot A_2}{L} \quad W/(m.K)$$

met:

- Φ_{2D} de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software, in W ;
- L de lengte waarover de lineaire bouwknop gemodelleerd wordt, in m ;
- $(\theta_i - \theta_e)$ het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving, in K ;
- U_1 de warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving, in $W/(m^2.K)$;
- A_1 de oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnen- en buitenomgeving, op basis van buitenafmetingen, in m^2 ;
- U_2 de warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte, als hieronder bepaald, $W/(m^2.K)$;
- A_2 de oppervlakte van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR/kelder/kruipruimte, op basis van buitenafmetingen, in m^2 .

De warmtedoorgangscoefficiënt van de scheidingsconstructie tussen binnenomgeving en AOR/onverwarmde kelder/kruipruimte, U_2 , is gelijk aan:

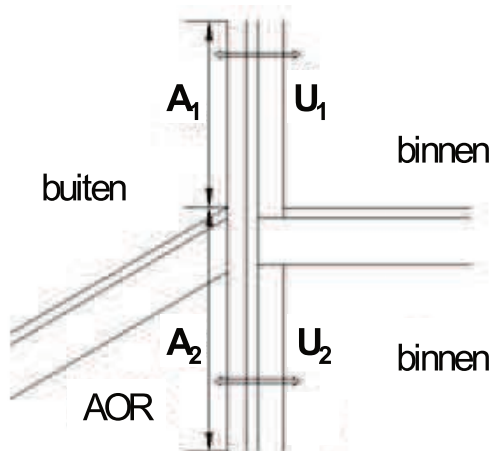
$$\text{Eq. 10} \quad U_2 = \frac{1}{R_{si} + \sum_i R_i + R_{se}} \quad \text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$$

met:

R_{si} de warmteovergangswaarde voor binnencondities, in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$;

$\sum_i R_i$ de totale warmteovergangswaarde van alle bouwlagen van het bouwelement (van oppervlak tot oppervlak), in $\text{m}^2 \cdot \text{K}/\text{W}$.

Figuur [5]: Aanduiding van de gebruikte termen in het geval een aangrenzende onverwarmde ruimte



7.3 Funderingsaanzet van vloer op volle grond

Voor een funderingsaanzet van een vloer op volle grond, wordt het model (inclusief grondmassief, zie § 6.1.1.2) tweedimensionaal doorgerekend en wordt Φ_{2D} berekend als de totale warmtestroom die de binnenomgeving verlaat.

De lijnwarmtedoorgangscoefficient is dan gelijk aan:

$$\text{Eq. 11} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{A_1 \cdot U_1}{L} - \frac{\Phi_{2D,a}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \Psi_{e, \text{edge}} \quad \text{W/(m.K)}$$

met:

Φ_{2D} de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, berekend met gevalideerde numerieke software, in W;

L lengte waarover de lineaire bouwknoop gemodelleerd wordt, in m;

$(\theta_i - \theta_e)$ het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving, in K;

A_1 de oppervlakte van de muur tussen binnen- en buitenomgeving, op basis van buitenafmetingen, in m^2 ;

U_1 : warmtedoorgangscoefficiënt van de muur, in $\text{W}(\text{m}^2 \cdot \text{K})$;

$\Phi_{2D,a}$ de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, in W, 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/(m.K) ,
- opleggen van adiabatiscie randvoorwaarden waar de muur (die principieel loopt tot onderkant vloerplaat, inclusief vloerisolatie) in contact is met de vloer op volle grond of de grond;

$\Psi_{e, \text{edge}}$ de lijnwarmtedoorgangscoefficient van de randisolatie. Indien de lijnwarmtedoorgangscoefficiënt van de funderingsaanzet het effect van de randisolatie bevat, moet $\Psi_{e, \text{edge}}$ gelijk aan nul gesteld worden. Indien de lijnwarmtedoorgangscoefficiënt van de funderingsaanzet het effect van de randisolatie niet bevat, dan moet $\Psi_{e, \text{edge}}$ berekend worden als:

$$\text{Eq. 12} \quad \Psi_{e, \text{edge}} = \frac{\Phi_{2D,b}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} - \frac{\Phi_{2D,a}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad \text{W/(m.K)}$$

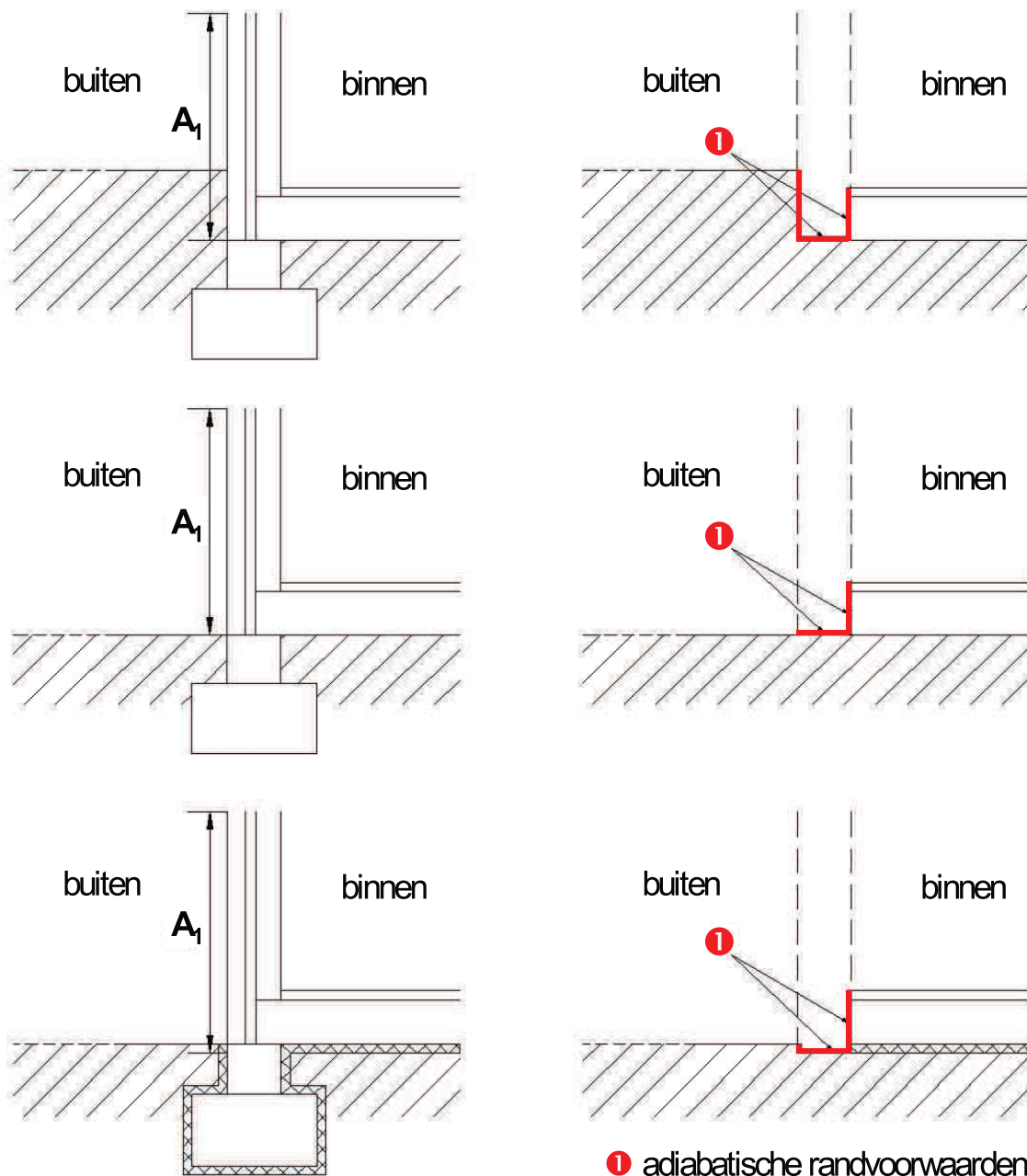
met:

$\Phi_{2D,b}$ de totale tweedimensionale stationaire warmtestroom die de binnenomgeving verlaat, in W, berekend met gevalideerde numerieke software, op basis van het model dat als volgt moet worden aangepast:

- behoud van alle funderingsmassieven en randisolatie;
- opleggen van adiabatiscie randvoorwaarden waar de muur (die principieel loopt tot onderkant vloerplaat, inclusief vloerisolatie) in contact is met de vloer op volle grond of de grond.

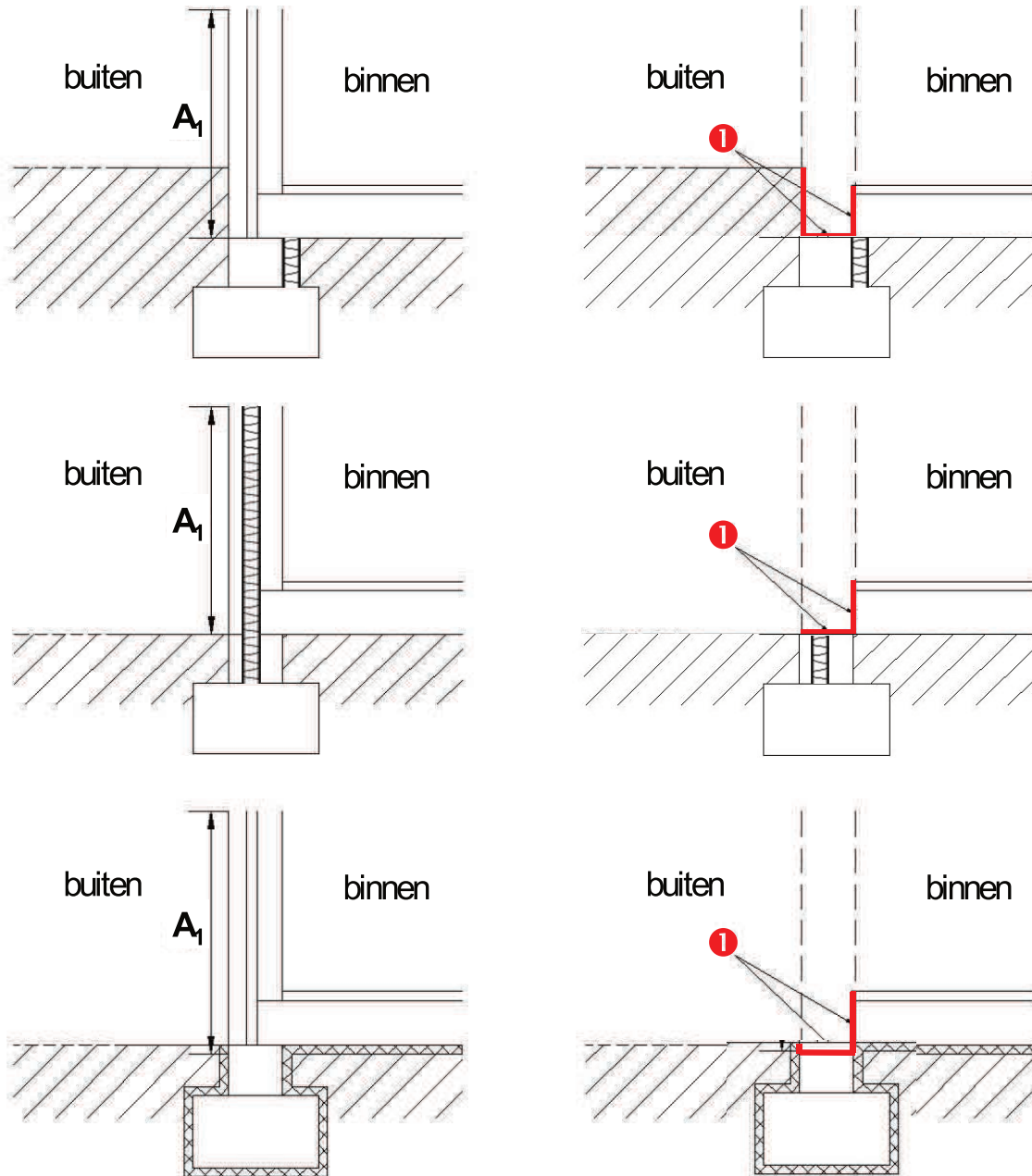
Figuur [6] en Figuur [7] verduidelijken de manier waarop het model moet aangepast worden ter berekening van respectievelijk de warmtestroom $\Phi_{2D,a}$ en $\Phi_{2D,b}$.

Figuur [6]: Aanpassing van het werkelijke detail
 ter berekening van de warmtestroom $\Phi_{2D,a}$
 (links: de reële situatie - rechts: de te simuleren situatie)



① adiabatische randvoorwaarden

Figuur [7]: Aanpassing van het werkelijke detail
 ter berekening van de warmtestroom $\Phi_{2D,b}$
 (links: de reële situatie - rechts: de te simuleren situatie)



1 adiabatische randvoorwaarden

7.4 Venster- en deuraansluitingen

Voor de bepaling van de Ψ -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 (§ 7.4.1) of een vereenvoudigde rekenmethode (§ 7.4.2).

De lijnwarmtedoorgangscoefficient is voor beide methodes gelijk aan:

$$\text{Eq. 13} \quad \Psi_e = \frac{\Phi_{2D}}{L \cdot (\theta_i - \theta_e)} = \frac{A_1 \cdot U_1}{L} + \frac{A_2 \cdot U_2}{L} \quad \text{W/(m.K)}$$

met:

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

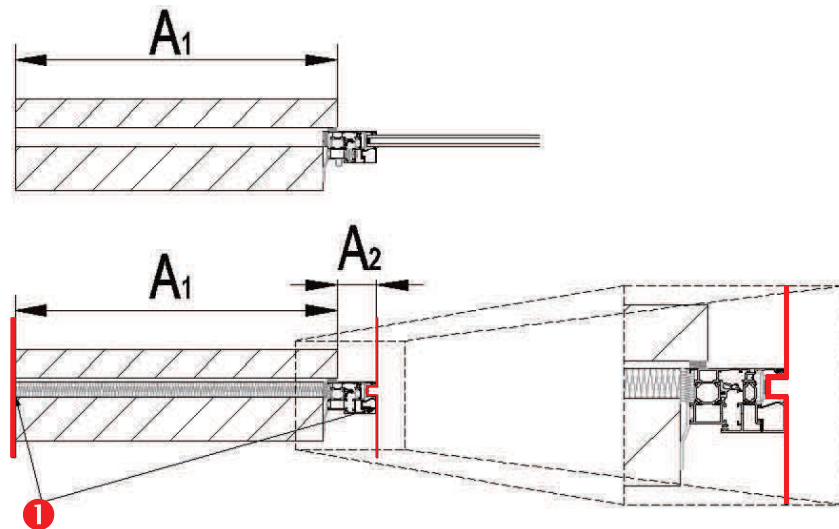
7.4.1 Gedetailleerde rekenmethode

Bij de gedetailleerde rekenmethode wordt het raam- of deurprofiel in detail gemodelleerd en wordt de warmtedoorgangscoefficiënt U_2 uit Eq. 13 bepaald volgens de voorschriften van NBN ISO 10077-2.

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

Figuur [8] toont de parameters die noodzakelijk zijn voor de berekening van de Ψ -waarde.

Figuur [8]: Gedetailleerde rekenmethode
(boven: de reële situatie - onder: de te simuleren situatie)



① adiabatische randvoorwaarden

7.4.2 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 [9]):

- 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 λ'_f van het blokje zoals hieronder bepaald;
- 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;
- bij de berekening van de Ψ -waarde moeten de overeenkomstige oppervlaktes A_1 en A_2 gebruikt worden.

De warmtegeleidbaarheid λ'_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 bijlage TRD. De equivalente λ'_f -waarde van het blokje bij de simulatie van een vensteraansluiting moet dan als volgt berekend worden:

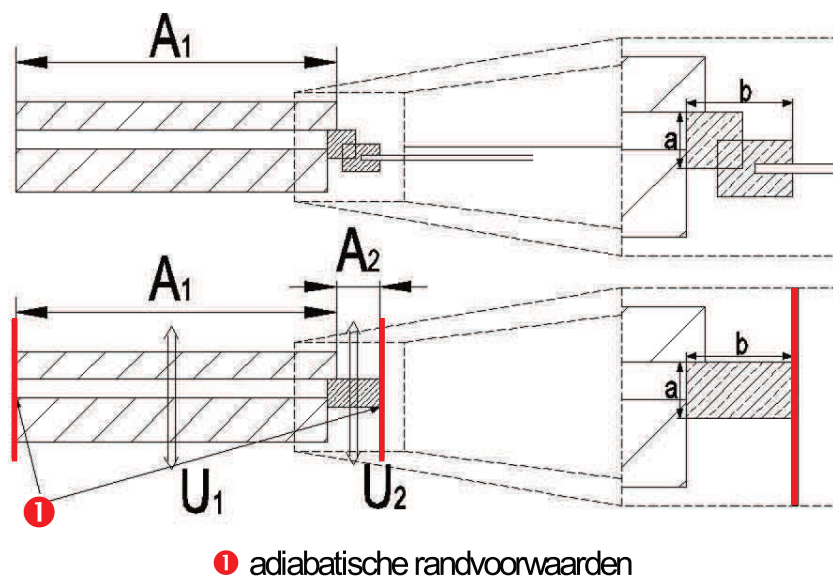
$$\text{Eq. 14} \quad \lambda'_f = \frac{a}{\frac{1}{U_f} - R_{si} - R_{se}} \quad \text{W/(m.K)}$$

met:

- a een dimensie van het blokje (zie Figuur [9]), in m ;
 U_f de warmtedoorgangscoefficiënt van het raamprofiel, bepaald volgens bijlage TRD, in $W/(m^2.K)$;
 R_{si} de warmteovergangswaerstand binnen, in $m^2.K/W$;
 R_{se} de warmteovergangswaerstand buiten, in $m^2.K/W$.

Figuur [9] toont de parameters die noodzakelijk zijn voor de berekening van de Ψ -waarde.

Figuur [9]: Vereenvoudigd rekenmethode
 (boven: de reële situatie - onder: de te simuleren situatie)



7.5 Bouwknopen in het geval van scheidingsconstructies in houtskellet- of staalstructuur

Zoals gesteld in § 6.1.3.1 mogen scheidingsconstructies met een houtskelletstructuur (gordingen- of spantendak, houten vloeren, houtskelletwanden, ...) of met andere lineaire onderbrekingen eigen aan de scheidingsconstructie (bijvoorbeeld lineaire aansluiting tussen sandwichpanelen) niet vereenvoudigd gemodelleerd worden.

Voor de bepaling van de Ψ_e -waarde van een bouwknop moeten de U-waarden van de scheidingsconstructies die deel uitmaken van de bouwknop en die lineaire onderbrekingen bevatten, 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, metaallagen, aansluitingen) en waarbij de U-waarde als volgt bepaald wordt:

$$\text{Eq. 15} \quad U = \frac{\Phi_{2D/3D}}{A \cdot (\theta_i - \theta_e)} \quad W/(m^2 \cdot K)$$

met:

$\Phi_{2D/3D}$ de totale twee- of driedimensionale stationaire warmtestroom doorheen de scheidingsconstructie, inclusief lineaire onderbrekingen eigen aan de scheidingsconstructie, berekend met gevalideerde numerieke software, in W;

- A de oppervlakte van de scheidingsconstructie zoals toegepast in het numeriek model, in m²;
- ($\theta_i - \theta_e$) het temperatuurverschil tussen de binnen- en buitenomgeving, in K.

8 Eisen aan de rapportering

8.1 Invoergegevens

Het verslag moet tenminste de volgende invoergegevens bevatten:

- gebruikte softwarepakket;
- twee- of driedimensionaal model met afmetingen;
- warmtegeleidbaarheden van de gebruikte materialen;
- opgelegde omgevingstemperaturen;
- gebruikte overgangsweerstanden en aanduiding van de oppervlaktes waarop ze van toepassing zijn;
- eventuele toegepaste vereenvoudigingen zoals toegestaan in § 6.1.2;
- eventuele equivalente warmtegeleidbaarheden.

8.2 Uitvoergegevens

Het verslag moet tenminste de volgende uitvoergegevens bevatten:

- Φ_{2D}
- de warmtedoorgangscoefficient Ψ/χ op twee cijfers na de komma nauwkeurig;
- gebruikte U-waarden en oppervlaktes A bij de berekening van Ψ/χ .

Gezien om gevoegd te worden bij het ministerieel besluit houdende algemene bepalingen inzake de energieprestatieregeling, energieprestatiecertificaten en de certificering van aannemers en installateurs.

Brussel, 28 december 2018

De Vlaamse minister van Begroting, Financiën en Energie

Bart TOMMELEIN