

# **BIJLAGE VII: TRANSMISSIE REFERENTIE DOCUMENT**

Nadere specificaties m.b.t. de berekening van de transmissieverliezen in het kader van de energieprestatieregelgeving

**BEREKENING VAN DE WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT VAN  
WANDEN VAN GEBOUWEN (U-WAARDE) EN VAN DE  
WARMTEOVERDRACHTSCOËFFICIËNT DOOR TRANSMISSIE IN  
GEBOUWEN (H-WAARDE).**

# Inhoudstafel

<b>1. INLEIDING</b> .....	
<b>2. TOEPASSINGSDOMEIN</b> .....	
<b>3. NORMATIEVE REFERENTIES</b> .....	
<b>4. DEFINITIES, EENHEDEN EN SYMBOLEN</b> .....	
4.1 Definities .....	
4.2 Symbolen en eenheden.....	
<b>5. BEPALING VAN DE WARMTEWEERSTAND (R) VAN BOUWLAGEN</b> .....	
5.1 Algemene principes .....	
5.2 Warmteweerstand van homogene bouwlagen.....	
5.3 Warmteovergangsweerstanden aan de oppervlakken.....	
5.4 Warmteweerstand van luchtlagen.....	
5.4.1 Inleiding .....	
5.4.2 Gewone luchtlagen in muren, daken en vloeren .....	
5.4.2.1 Voorwaarden .....	
5.4.2.2 Niet geventileerde luchtlagen.....	
5.4.2.3 Matig geventileerde luchtlagen .....	
5.4.2.4 Sterk geventileerde luchtlagen .....	
5.4.3 Overige luchtlagen.....	
5.4.3.1 Holten of leemten .....	
5.5 Warmteweerstand van luchtlagen (luchtruimten) met dikte groter dan 300 mm.....	
<b>6. BEPALING VAN DE TOTALE WARMTEWEERSTAND (RT) VAN BOUWELEMENTEN</b> .....	
6.1 Bouwelementen opgebouwd uit homogene lagen.....	
6.2 Bouwelementen opgebouwd uit homogene en niet-homogene lagen.....	
6.2.1 Toepasbaarheid .....	
6.2.2 Totale warmteweerstand van een bouwelement (combinatiemethode) .....	
6.2.3 Limietwaarden .....	
6.2.4 Foutenberekening.....	
<b>7. WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT (U) VAN ONDOORSCHIJNENDE BOUWELEMENTEN</b> .....	
7.1 Algemene uitdrukking .....	
7.2 Correcties op de U-waarde.....	
7.2.1 Algemeen.....	
7.2.2 Correctie van de U-waarde voor luchtspleten of -holten in of tussen isolatielagen .....	
7.2.3 Correctie voor mechanische bevestigingen die een isolatielaag doorboren.....	
7.2.4 Correctieprocedure voor omgekeerde daken .....	
7.2.4.1 Algemeen .....	
7.2.4.2 Correctie ten gevolge van waterstroming tussen isolatie en dichtingsmembraan .....	
7.3 Correctie op R-waarde voor in situ gespoten PUR-isolatie .....	
7.4 U-waarde van bouw delen met variabele dikte .....	
7.4.1 Algemene werkwijze .....	
7.4.2 Opdeling in basisvormen .....	
7.4.3 Bepaling van de U-waarde voor elk van de basisvormen.....	
7.4.4 Vereenvoudigde bepaling .....	
<b>8. BEPALING VAN DE WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT VAN VENSTERS EN DEUREN</b> .....	
8.1 Geometrische karakteristieken van vensters en deuren.....	
8.1.1 Oppervlakte glas en ondoorschijnend vulpaneel .....	
8.1.2 Zichtbare omtrek van de beglazing.....	

8.1.3	Oppervlakte van de raamprofielen.....	.....
8.1.4	Oppervlakte van het venster of deur.....	.....
8.2	Algemene procedure voor de bepaling van de U-waarde van vensters en deuren.....	.....
8.3	Basisgeval: U-waarde van gewone enkelvoudige vensters.....	.....
8.4	Specifieke gevallen.....	.....
8.4.1	Dubbelramen.....	.....
8.4.2	Voorzetramen.....	.....
8.4.3	Warmteovergangswaarden.....	.....
8.4.4	Warmteweerstand van ongeventileerde luchtlagen in dubbelramen en voorzetramen.....	.....
8.4.5	U-waarde van vensters met gesloten luiken.....	.....
8.4.5.1	Algemeen.....	.....
8.4.5.2	Bijkomende warmteweerstand bij gesloten luiken.....	.....
8.5	Vereenvoudigde bepaling van de U-waarde van vensters.....	.....
8.6	Waarden bij ontstentenis voor opake deuren en poorten.....	.....
<b>9.</b>	<b>WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT VAN COMPONENTEN VAN VENSTERS EN DEUREN.....</b>	<b>.....</b>
9.1	Warmtedoorgangskoëfficiënt van beglazingen.....	.....
9.2	Warmtedoorgangskoëfficiënt van raamprofielen.....	.....
9.2.1	Algemene bepaling.....	.....
9.2.2	Bepaling van de Uf-waarde van raamprofielen in dakvensters.....	.....
9.3	Warmtedoorgangskoëfficiënt van ondoorschijnende vulpanelen (Up).....	.....
9.4	Warmtedoorgangskoëfficiënt van ventilatieroosters (Ur).....	.....
9.5	Lineaire warmtedoorgangskoëfficiënten ( $\psi$ -waarden).....	.....
<b>10.</b>	<b>WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT VAN LICHTGEVELS.....</b>	<b>.....</b>
10.1	Algemeen.....	.....
10.2	Constructieve eigenschappen van lichte gevels.....	.....
10.2.1	Samenstellende delen en randvoorwaarden.....	.....
10.2.2	Definitie van oppervlakte en perimeter.....	.....
10.2.3	Regels voor modellering.....	.....
10.3	Nauwkeurige bepaling van de Ucw-waarde van een module van een lichte gevel.....	.....
10.3.1	Principe van de nauwkeurige numerieke rekenmethode.....	.....
10.3.2	Bepaling van de warmteoverdrachtsstroom door de verbindingselementen.....	.....
10.3.2.1	Algemeen.....	.....
10.3.2.2	Bepaling van $U_{TJ}$ (verbinding beschouwd als gevelement).....	.....
10.3.2.3	Bepaling van $\Psi_{TJ}$ (verbinding beschouwd als lineaire koudebrug).....	.....
10.3.3	Bepaling van $U_{cw}$ .....	.....
10.4	Bepaling van de $U_{cw}$ -waarde (componentenmethode).....	.....
10.4.1	Principe van de bepalingsmethode.....	.....
10.4.2	Algemene bepaling van $U_{cw}$ .....	.....
10.4.3	U-waarde van beglazing en vulpaneel.....	.....
10.4.3.1	Beglazing.....	.....
10.4.3.2	Vulpaneel.....	.....
10.4.4	U-waarde van profielen en raamstijlen.....	.....
10.4.5	Lineaire warmtedoorgangskoëfficiënten (beglazingen, profielen en raamstijlen).....	.....
10.5	Bepaling van de $U_{cw}$ -waarde voor een lichte gevel opgebouwd uit modules.....	.....
<b>11.</b>	<b>WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT VAN ANDERE DOORSCHIJNENDE WANDEN.....</b>	<b>.....</b>
11.1	Glasbouwsteenwanden.....	.....
11.1.1	Algemene procedure.....	.....
<b>12.</b>	<b>WARMTEOVERDRACHTSCOËFFICIËNT DOOR TRANSMISSIE IN GEBOUWEN.....</b>	<b>.....</b>
12.1	Totale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie.....	.....
12.2	Algemene conventies.....	.....
12.2.1	Afbakening van gebouwdelen.....	.....
12.2.2	Bepaling van de oppervlakten.....	.....
12.2.2.1	Oppervlakteberekening van buitenwanden.....	.....

12.2.2.2 Oppervlakteberekening van scheidingsconstructies binnen een beschermd volume of tussen 2 beschermde volumes .....

12.2.2.3 Oppervlakteberekening van gebogen bouwelementen .....

12.2.3 Bepaling van volumes .....

13. WARMTEOVERDRACHTSCOËFFICIËNT DOOR TRANSMISSIE DIRECT NAAR DE BUITENOMGEVING ( $H_D$ ) .....

14. WARMTEOVERDRACHTSCOËFFICIËNT DOOR TRANSMISSIE NAAR DE BUITENOMGEVING VIA AANGRENZENDE ONVERWARMDE RUIMTEN ( $H_U$ ) .....

15. WARMTEOVERDRACHTSCOËFFICIËNT DOOR TRANSMISSIE VIA DE GROND ( $H_G$ ) .....

15.1 Algemeen .....

15.2 Vereenvoudigde rekenmethodes van de grondverliezen .....

15.2.1 Vloeren in direct contact met de grond .....

15.2.2 Bouwelementen in contact met onverwarmde kruipruimten en kelders (vloeren, muren, deuren, ...) .....

15.2.3 Ingegraven muren .....

16. PEIL VAN GLOBALE WARMTE-ISOLATIE (K-PEIL) .....

16.1 Volumecompactheid van een gebouw .....

16.2 Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van een gebouw .....

16.3 Peil van globale warmte-isolatie (K-peil) .....

BIJLAGE A. BEPALING VAN DE WARMTEGELEIDBAARHEID ( $\lambda$ -WAARDE) VAN BOUWMATERIALEN .....

A.1 Algemeen .....

A.2 Tabellen met waarden bij ontstentenis voor de warmtegeleidbaarheden van homogene of gelijkgestelde bouwmaterialen .....

BIJLAGE B. WARMTEWEERSTAND (R-WAARDE) VAN NIET-HOMOGENE BOUWMATERIALEN .....

BIJLAGE C. VOCHTGEHALTE EN CONVERSIEFACTOREN VOOR STEENACHTIGE MATERIALEN .....

BIJLAGE D. WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNTEN VAN RAAMPROFIELEN ( $U_F$ -WAARDEN): WAARDEN BIJ ONTSTENTENIS .....

D.1 Houten raamprofielen .....

D.2 Metalen raamprofielen .....

D.2.1 Definities .....

D.2.2 **Metalen raamprofielen met thermische onderbreking** .....

D.2.3 **Metalen raamprofielen zonder thermische onderbreking** .....

D.3 Kunststof raamprofielen .....

BIJLAGE E. LINEAIRE WARMTEDOORGANGSCOËFFICIËNT ( $\Psi$ -WAARDEN) VAN DE ONDERLINGE AANSLUITING TUSSEN RAAMPROFIELEN, BEGLAZINGEN, VULPANELEN EN RAAMSTIJLEN .....

E.1 Algemeen .....

E.2 Aansluiting raamprofiel en beglazing .....

E.3 Aansluiting raamstijl en beglazing .....

E.4 Aansluiting profiel en vulpaneel .....

E.5 Aansluiting profiel en raamstijl .....

E.5.1 **Aluminium en stalen profielen** .....

E.5.2 **Hout en aluminium/hout profielen** .....

E.6 Berekening van  $U_f$  voor profielen geïntegreerd in een lichte gevel .....

BIJLAGE F. WARMTETRANSMISSIE VIA DE GROND .....

F.1 Specifieke nodige invoergegevens .....

F.1.1 **Thermische karakteristieken van de grond** .....

F.1.2 **Karakteristieke vloerafmeting en equivalente dikte** .....

F.2 Berekening van de U-waarde en de stationaire warmteoverdracht  $H_g$  .....

F.2.1 Algemeen .....

F.2.2 Vloeren op volle grond .....

F.2.3	Vloeren boven kruipruimten .....
F.2.4	Schildelen van een kelder .....

**BIJLAGE G. CONVENTIES VOOR DE BEREKENING VAN DE U-WAARDE .....**

G.1	Inleiding .....
G.2	Numerieke en vereenvoudigde rekenmethodes .....
G.3	Conventies voor metselwerk en geperforeerde stenen .....
G.3.1	$\lambda_U$ -waarde van metselwerk .....
G.3.2	$\lambda_U$ -waarde van geperforeerde bouwstenen of -blokken .....
G.4	Conventies voor niet-homogene bouwlagen met houtstructuur .....
G.5	Bijkomende conventies voor de bepaling van de U-waarde .....
G.5.1	Daken met pannen of leien als dakbedekking .....
G.5.2	Verlaagde plafonds .....
G.5.3	Vloeren .....

## 1. Inleiding

Sinds het midden van de jaren 1990 zijn door CEN (Europees comité voor normalisatie) een reeks normen gepubliceerd m.b.t. de berekening van transmissieverliezen. Sinds enkele jaren is in samenwerking met ISO (internationale standardisatie organisatie) een herziening van deze normen lopende.

Bij de voorbereiding van de energieprestatieregelgeving (inwerkingtreding per 1 januari 2006) is zoveel mogelijk getracht de meest recente versie te volgen van de betreffende normen, of de ontwerpen van herziening ervan (vaak nog in de vorm van werkdocumenten van de betreffende technische committees). Dit is kunnen gebeuren tot de zomer van 2005, wanneer de 1<sup>e</sup> publieke versie van de EPB-software gefinaliseerd is, en de EPB-opleidingen gestart zijn. Op dat moment is voor wat betreft de Energieprestatieregelgeving de toestand voor een hele reeks punten bevroren.

Dit document beschrijft expliciet deze specificaties m.b.t. de transmissieberekeningen zoals die gelden voor de energieprestatieregelgeving. De Waalse regering kan zo nodig later aanvullende specificaties vastleggen.

Dit document is gebaseerd op het rapport dat in opdracht van ATIC<sup>1</sup> (Stichting Gilbert Burnay) opgesteld is. Ditzelfde ATIC document heeft ook het startpunt gevormd voor het herzieningsproces van de Belgische norm NBN B62-002.

De tekst behandelt vnl. de rekenmethoden die rechtstreeks door verslaggevers (en ontwerpers) gehanteerd moeten worden. De bepaling van productgegevens dient in eerste instantie door de fabrikanten/leveranciers te gebeuren. De procedures die hiervoor gelden worden nader toegelicht in documenten uitgewerkt in het kader van de EPB-productgegevensdatabank.

De standaard rekenmethodes die in dit document opgenomen zijn laten toe het merendeel van de courante bouwconstructies te berekenen. De methodes zijn echter vaak maar geldig onder een aantal beperkende (geometrische en andere) voorwaarden zoals vlakke, homogene lagen, ... Voor meer complexe geometrieën of materiaalsamenstellingen dient zo nodig teruggevallen te worden op gedetailleerde (numerieke) 2 of 3 dimensionale berekeningen, zie Bijlage G.2.

---

<sup>1</sup> ATIC: Koninklijke Technische Vereniging van de verwarmings- en verluchttingsnijverheid en der aanverwante takken

## 2. Toepassingsdomein

De in deze tekst vermelde rekenprocedures kunnen toegepast worden voor de berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt van wanden van gebouwen (U-waarde) en de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie in gebouwen (H-waarde), welke ook gebruikt worden bij de bepaling van het K-peil en het E-peil.

De rekenprocedures betreffen de berekeningen van de:

- U-waarde van ondoorschijnende bouwelementen, opgebouwd uit homogene en niet homogene bouwlagen en luchtlagen;
- U-waarde van doorschijnende bouwelementen (beglazingen, vensters, deuren en hun samenstellende componenten);
- warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving (rechtstreeks, via aangrenzende onverwarmde ruimten en via de grond).

### 3. Normatieve referenties

Voor normen voorzien van een datum is enkel de geciteerde versie van toepassing, tenzij de overheid expliciet een andere versie ter vervanging aanduidt. Voor de ongedateerde normen geldt in principe de meeste recente versie, rekening houdend met de regels die van toepassing zijn voor de bepaling van productkarakteristieken.

NBN EN 673	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Calculation method.
NBN EN 674	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Guarded hot plate method.
NBN EN 675	Glass in buildings. Determination of thermal transmittance. Heat flow meter method.
NBN EN 1051-2	Glass in buildings. Glass blocks and glass paver units. Part 2 : evaluation of conformity.
NBN EN 1745	Masonry and masonry products. Methods for determining design thermal values.
NBN EN 1934	Thermal performance of buildings. Determination of thermal resistance by hot box method using heat flow meter. Masonry.
NBN EN ISO 6946:2008	Building components and building elements - Thermal resistance and thermal transmittance - Calculation method.
ISO 8301:1991	Thermal insulation -- Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Heat flow meter apparatus
ISO 8302:1991	Thermal insulation -- Determination of steady-state thermal resistance and related properties -- Guarded hot plate apparatus
NBN EN ISO 8990	Thermal insulation. Determination of steady-state thermal transmission properties. Calibrated and guarded hot box method.
NBN EN ISO 10077-1:2006	Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 1 : General.
NBN EN ISO 10077-2:2003	Thermal performance of windows, doors and shutters. Calculation of thermal transmittance. Part 2 : numerical method for frames.
NBN EN ISO 10211:2008	Thermal bridges in building constructions. Heat flows and surface temperatures. Detailed calculations.
NBN EN ISO 10456	Thermal insulation - Building materials and products - Determination of declared and design values.
NBN EN 12412-2	Thermal performance of windows, doors and shutters. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 2 : frames.
NBN EN 12524	Building materials and products - Hygrothermal properties - Tabulated design values.
NBN EN ISO 12567-1	Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by hot box method.
NBN EN ISO 12567-2	Thermal performance of windows and doors. Determination of thermal transmittance by hot box method. Part 2 : roof windows and other projecting windows.
NBN EN 12664	Thermal performance of building materials. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Dry and moist products of medium and low thermal resistance.
NBN EN 12667	Thermal performance of building materials. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Products of high and medium thermal resistance.
NBN EN 12939	Thermal performance of building materials and products. Determination of thermal resistance by means of guarded hot plate and heat flow meter methods. Thick products of high and medium thermal resistance.
NBN EN 12835	Shutters and blinds. Determination of air permeability.



NBN EN ISO 13370:2008	Thermal performance of buildings. Heat transfer via the ground. Calculation methods.
NBN EN 13125	Shutters and blinds. Additional thermal resistance. Allocation of a class of air permeability to a product.
NBN EN ISO 13789:2008	Thermal performance of buildings. Transmission heat loss coefficient. Calculation method.
NBN EN 13947:2007	Thermal performance of curtain walling. Calculation of thermal transmittance. Simplified method.

## 4. Definities, eenheden en symbolen

### 4.1 Definities

#### EPB-besluit

Besluit van de Waalse regering van 17 april 2008 die de berekeningsmethoden en eisen, goedkeuringen en sancties op het vlak van de energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen bepaalt.

#### Kelder

Bruikbaar gedeelte van een gebouw dat geheel of gedeeltelijk onder het grondpeil ligt.

NOTA Deze ruimte kan al of niet verwarmd zijn.

#### Warmte koppelingscoëfficiënt

Warmtestroom die in stationaire toestand optreedt door een gedeelte van de gebouwschil, gedeeld door het temperatuurverschil tussen twee omgevingen die thermisch gekoppeld of verbonden zijn door het betrokken constructiegedeelte.

#### Warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie ( $H_T$ ) [W/K]

De totale warmtestroom door transmissie die in stationaire toestand optreedt tussen een (verwarmde) binnenruimte en de buitenomgeving, gedeeld door het temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenomgeving (beide temperaturen zijn uniform beschouwd).

#### Warmteoverdrachtscoëfficiënt door ventilatie ( $H_V$ ) [W/K]

Warmtestroom door ventilatie tussen een binnenruimte en de buitenomgeving, gedeeld door het temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenomgeving.

#### Warmtedoorgangcoëfficiënt ( $U$ ) [W/m<sup>2</sup>K]

Hoeveelheid warmte die in een stationaire toestand doorheen een bouwdeel gaat, gedeeld door de oppervlakte en het temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenomgeving aan weerszijden van het betrokken bouwdeel.

#### Lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt ( $\Psi$ ) [W/mK]

Correctieterm voor de lineaire invloed van een koudebrug, gelijk aan de stationaire warmtestroom gedeeld door de lengte en het temperatuurverschil tussen de omgevingen aan weerszijden van de koudebrug.

NOTA De lineaire warmtedoorgangcoëfficiënt wordt gebruikt als een correctieterm voor de invloed van een lineaire koudebrug.

#### Punt warmtedoorgangcoëfficiënt ( $\chi$ ) [W/K]

Stationaire warmtestroom gedeeld door het temperatuurverschil tussen de omgevingen aan weerszijden van een punt koudebrug.

NOTA De punt warmtedoorgangcoëfficiënt wordt gebruikt als een correctieterm voor de invloed van een punt koudebrug.

#### Warmtegeleidbaarheid ( $\lambda_U$ ) [W/mK]

Rekenwaarde van de warmtestroomdichtheid per eenheid lengte en per eenheid temperatuurverschil die in stationaire toestand optreedt in een bouw materiaal of bouwproduct onder bepaalde specifieke binnen- of buitencondities, die als typisch kunnen beschouwd worden voor de prestaties van het betrokken product of materiaal indien het in een bouwelement geïntegreerd is.

#### Thermisch homogene laag

Bouwlaag met constante dikte die thermische eigenschappen heeft die uniform zijn of die als uniform kunnen beschouwd worden.

#### Warmtestroomdichtheid ( $q$ ) [W/m<sup>2</sup>]

Warmtestroom per oppervlakte.

**Karakteristieke vloerafmeting (B') [m]**

Oppervlakte van de vloer gedeeld door de halve perimeter van de vloer.

**Buitenafmeting**

Lengte gemeten aan de buitenzijde van een gebouw.

**Binnenafmeting**

Lengte gemeten binnen een vertrek van een gebouw van wand tot wand of van vloer tot plafond.

**Verwarmde (gekoelde) ruimte**

Vertrek of ruimte die verwarmd (gekoeld) wordt op een ingestelde temperatuur.

**Emissiefactor ( $\epsilon$ )**

Verhouding tussen de hoeveelheid energie die door het oppervlak op een bepaalde temperatuur door infraroodstraling wordt uitgezonden en de hoeveelheid energie die door infraroodstraling wordt uitgezonden door een zwart lichaam op dezelfde temperatuur.

**Warmtestroom ( $\Phi$ ) [W]**

De hoeveelheid warmte die per tijd naar (of uit) een systeem wordt gevoerd (of afgevoerd).

**Bouwdeel, bouwelement**

Deel van een gebouw, zoals muur, vloer, dak.

**Vloer op volle grond**

Vloerconstructie die over zijn gehele oppervlakte in direct contact is met de grond.

**Vloer boven kruipruimte**

Vloerconstructie voor dewelke de gehele vloer zich boven het grondpeil bevindt, waardoor er zich een luchtlaag bevindt tussen de vloer en de grond.

NOTA Deze luchtlaag, ook kruipruimte genoemd, kan al of niet geventileerd zijn en maakt meestal geen deel uit van het beschermd volume van een gebouw.

**Koudebrug**

Deel van de gebouwschil waar het normale eendimensionale karakter van de warmtestroom betekenisvol gewijzigd is ten gevolge van:

- a) een volledige of gedeeltelijke doorbreking van de gebouwschil met materialen met een verschillende warmtegeleidbaarheid, en/of
- b) een wijziging van de dikte van de constructie, en/of
- c) een verschillende binnen- en buitenoppervlakte, zoals bij aansluitingen tussen muren, vloeren, plafonds en daken.

**Lineaire koudebrug**

Koudebrug met een uniforme sectie in één richting.

**Punt koudebrug**

Koudebrug met geen uniforme sectie in één richting

**Product**

Eindvorm van een materiaal, gereed voor gebruik, met bepaalde vorm en afmetingen en voorzien van bekleding of coating.

**Materiaal**

Deel van een product, ongeacht de vorm en de afmetingen en zonder bekleding of coating.

**Warmteweerstand (R) [m<sup>2</sup>K/W]**

Reciproke waarde van de warmtedoorgangscoefficiënt van een bouwelement onder bepaalde specifieke binnen- of buitencondities die als typisch kunnen beschouwd worden voor de prestaties van het betrokken bouwelement.

**Referentie buitentemperatuur**

Luchttemperatuur van de buitenomgeving bij een volledig bewolkte hemel.

**Referentie binnentemperatuur**

Droog resulterende temperatuur in een vertrek.

**Droog resulterende temperatuur**

Rekenkundig gemiddelde waarde van de binnenluchttemperatuur en de gemiddelde stralingstemperatuur van alle wanden die de binnenomgeving omringen.

**(Thermische) rekenwaarde**

Waarde van de thermische eigenschap van een bouw materiaal of –product onder specifieke binnen- en buitenomstandigheden van temperatuur en vochtgehalte, die als typisch kunnen beschouwd worden voor dat materiaal of product wanneer dit geplaatst is in een bouwdeel.

NOTA Een product of materiaal kan verschillende rekenwaarden hebben naargelang van de toepassing.

**Gedeclareerde (thermische) waarde**

Verwachte waarde van een thermische eigenschap van een bouw materiaal of –product, bekomen op basis van gemeten waarden bij referentieomstandigheden van temperatuur en vochtigheid, voor een bepaalde fractie en graad van betrouwbaarheid en in overeenstemming met een redelijke verwachte levensduur in normale omstandigheden.

## 4.2 Symbolen en eenheden

Symbool	Eenheid	Betekenis
A	m <sup>2</sup>	Oppervlakte
B'	m	karacteristieke vloerafmeting
G <sub>w</sub>	-	correctiefactor (grondwaterstroming)
H	W/K	Warmteoverdrachtscoëfficiënt
P	m	perimeter (wanden in contact met de grond)
R	m <sup>2</sup> K/W	warmteweerstand van een bouwlaag
R <sub>g</sub>	m <sup>2</sup> K/W	warmteweerstand van een luchtlaag in wand
R <sub>s</sub>	m <sup>2</sup> K/W	warmteweerstand van een luchtlaag tussen vensters
R <sub>si</sub>	m <sup>2</sup> K/W	warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak
R <sub>se</sub>	m <sup>2</sup> K/W	warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak
R <sub>t</sub>	m <sup>2</sup> K/W	totale warmteweerstand van een wand
U	W/m <sup>2</sup> K	warmtedoorgangscoefficiënt
V	m <sup>3</sup>	Volume
a	-	correctieterm, reductiefactor
b	m	breedte
b <sub>i</sub>	-	temperatuurreductiefactor
c	J/kgK	specifieke of soortelijke warmtecapaciteit
d	m	dikte (van een bouwlaag), lengte (van een mechanische bevestiging)
f	-	fractie, factor
h	m	hoogte
l	m	Omtrek, lengte
m	kg	massa
n	h <sup>-1</sup>	ventilatievoud
w	m	dikte wand
z	m	diepte
ε <sub>n</sub>	-	normale emissiviteit van een beglazing
λ	W/mK	warmtegeleidbaarheid van een bouw materiaal
ΔR	m <sup>2</sup> K/W	bijkomende warmteweerstand van een luik
ΔU	W/m <sup>2</sup> K	correctieterm op U-waarde
χ	W/K	puntwarmtedoorgangscoefficiënt (punt koudebrug)
Ψ	W/mK	lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (lineaire koudebrug)
ρ	kg/m <sup>3</sup>	dichtheid, volumemassa

## 5. Bepaling van de warmteweerstand (R) van bouwlagen

### 5.1 Algemene principes

Het algemene principe van de bepaling van de warmteweerstand (R-waarde) van bouwelementen is het volgende:

- bepaal eerst de warmteweerstand van elke homogene bouwlaag van het bouwelement;
- tel dan de individuele warmteweerstanden van het bouwelement op om de totale warmteweerstand te bekomen, eventueel met inbegrip van de warmteovergangswaarden aan het binnen- en het buitenoppervlak van het bouwelement.

De warmteweerstanden van de homogene bouwlagen worden gegeven in 5.2 en de waarden van de warmteovergangswaarden ( $R_{si}$  en  $R_{se}$ ) in 5.3.

De in bouwelementen aanwezige luchtlagen (bv. een spouw) worden in het kader van deze norm beschouwd als homogene lagen. Waarden van de warmteweerstand van luchtlagen worden gegeven in 5.4.

De totale warmteweerstand van een bouwelement ( $R_T$ ) wordt bepaald volgens 6.1 (wand met enkel homogene bouwlagen) of 6.2 (wand met één of meer niet-homogene bouwlagen) en tenslotte wordt de warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) bepaald volgens 7.1.

Tenslotte worden eveneens mogelijke correcties voorzien op de berekende U-waarde van geïsoleerde bouwelementen, om rekening te houden met de specifieke plaatsing van isolatiematerialen, zoals doorboringen met mechanische bevestigingen (zie 7.2.3) en neerslag op omkeerdaken (zie 7.2.4).

NOTA Bij de berekening van de transmissieverliezen wordt de droog resulterende temperatuur aangenomen als de temperatuur van de binnenomgeving en de luchttemperatuur als de temperatuur van de buitenomgeving.

### 5.2 Warmteweerstand van homogene bouwlagen

De bepaling van de rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda_U$ -waarde) of van de warmteweerstand van bouwmaterialen (R-waarde) gebeurt volgens bijlage A of bijlage B van deze tekst.

Indien de warmtegeleidbaarheid van een bouw materiaal gekend is, dan kan de warmteweerstand bepaald worden volgens:

$$R = \frac{d}{\lambda_U} \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (1)$$

waarin:

- $d$  (m) = dikte van het materiaal
- $\lambda_U$  (W/mK) = warmtegeleidbaarheid van het materiaal.

### 5.3 Warmteovergangsweerstanden aan de oppervlakken

Voor vlakke oppervlakken en in afwezigheid van verdere specifieke informatie m.b.t. de randvoorwaarden, kunnen de ontwerpwaarden van de warmteovergangsweerstanden  $R_{si}$  (binnencondities) en  $R_{se}$  (buitencondities) uit Tabel 1 gebruikt worden. Deze waarden zijn geldig voor oppervlakken in contact met de lucht.

	Richting van de warmtestroom		
	opwaarts	horizontaal (*)	neerwaarts
$R_{si}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,10	0,13	0,17
$R_{se}$ (m <sup>2</sup> K/W)	0,04	0,04	0,04

(\*) : geldig voor een warmtestroomrichting die niet meer dan  $\pm 30^\circ$  afwijkt van het horizontaal vlak.

Tabel 1 – Warmteovergangsweerstanden  $R_{si}$  en  $R_{se}$  (in m<sup>2</sup>K/W)

NOTA In bijlage A van NBN EN ISO 6946 worden gedetailleerde procedures gegeven voor speciale gevallen ( $R_{si}$ - en  $R_{se}$ -waarden voor oppervlakken met lage emissiviteit, voor specifieke windsnelheden en voor niet-vlakke oppervlakken). In het kader van de energieprestatieregelgeving dient bij conventie steeds gerekend te worden met een windsnelheid van 4 m/s en dient  $h_{t0}$  (zoals gedefinieerd in die norm) bij een temperatuur van 10°C beschouwd worden.

### 5.4 Warmteweerstand van luchtlagen

#### 5.4.1 Inleiding

De warmteweerstand van een luchtlag is afhankelijk van het type van luchtlag, de richting van de warmtestroom doorheen de luchtlag, de dikte, de geometrie en de helling van de luchtlag, de emissiviteit van de begrenzende oppervlakken en de ventilatiemogelijkheden van de luchtlag. Naargelang het geval kan de warmteweerstand van de luchtlag nauwkeurig bepaald worden door proeven of berekeningen, ofwel kunnen waarden bij ontstentenis gekozen worden uit tabellen.

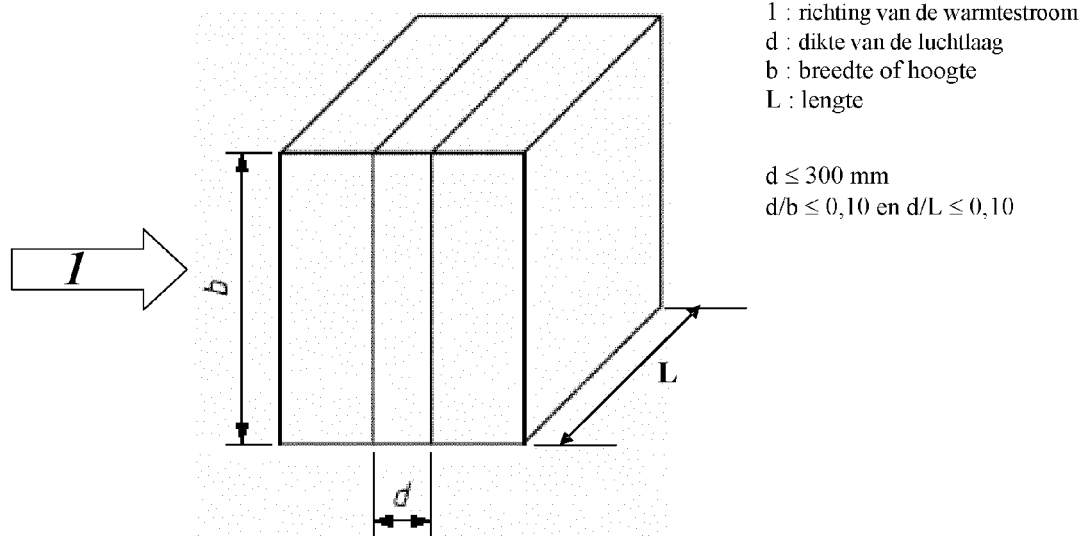
Voor sommige gevallen wordt de warmteweerstand van luchtlag of -holte niet apart berekend, maar is deze reeds begrepen in de U-waarde van het bouwelement waarin de luchtlag of -holte zich bevindt (bv. geperforeerde stenen, holle bouwblokken, beglazingen, raamprofielen, ...).

NOTA Luchtlagen met een dikte groter dan 300 mm worden behandeld als een aangrenzende onverwarmede ruimte.



## 5.4.2 Gewone luchtlagen in muren, daken en vloeren

### 5.4.2.1 Voorwaarden



Figuur 1 – Gewone luchtlaag

De waarden van de warmteweerstand van de luchtlagen behandeld in deze paragraaf (5.4.2) zijn geldig voor luchtlagen die beantwoorden aan elk van de volgende voorwaarden (zie Figuur 1) :

- de luchtlaag wordt begrensd door twee vlakken die evenwijdig zijn en die loodrecht op de richting van de warmtestroom staan en waarvan de oppervlakken een hoge emissiviteit hebben (niet reflecterend, de meeste bouwmaterialen voldoen aan deze laatste eis);
- de luchtlaag heeft een dikte (gemeten in de richting van de warmtestroom) die niet groter is dan 300 mm;
- voor de luchtlaag is de verhouding van de dikte tot de lengte ( $d/L$ ) en van de dikte tot de breedte ( $d/b$ ) niet groter dan 0,1;
- er zijn geen luchtuitwisselingsmogelijkheden tussen de luchtlaag en de binnnomgeving.

Voor luchtlagen tussen één of meer oppervlakken met lage emissiviteit (reflecterend) wordt verwezen naar bijlagen B.2 en B.3 van NBN EN ISO 6946. Daarbij moet  $h_{r0}$  bij een temperatuur van  $10^{\circ}\text{C}$  beschouwd te worden en moet  $h_a$  aan Tabel B.1 van deze norm ontleend te worden. De definities van  $h_{r0}$  en  $h_a$  worden in de norm zelfgegeven.

Rekenwaarden van de warmteweerstand van luchtlagen zijn gegeven in 5.4.2.2 (niet geventileerde luchtlagen, gewone gevallen met oppervlakken met hoge emissiviteit) en in 5.4.2.3 (idem, maar met matig geventileerde luchtlagen). In 5.4.2.4 wordt de rekenprocedure voor sterk geventileerde luchtlagen gegeven.

NOTA Luchtlagen die niet luchtdicht afgesloten zijn van de binnomgeving, worden beschouwd als behorende tot de verwarmde binnomgeving waarmee ze in verbinding staan doorheen openingen, spleten of voegen. De warmteweerstand van de bouwdelen tussen deze luchtlagen en de binnomgeving wordt eveneens niet in aanmerking genomen.

### 5.4.2.2 Niet geventileerde luchtlagen

Een niet geventileerde luchtlaag is een luchtlaag in dewelke geen enkele externe luchtstroming mogelijk is. In het geval van wanden in dewelke een aanwezige luchtlaag via kleine openingen in contact staat met

de buitenomgeving, kan deze luchtlaag eveneens als ongeventileerd beschouwd worden indien de volgende drie voorwaarden tegelijk vervuld zijn:

- er bevindt zich geen isolatielaag tussen de luchtlaag en de buitenomgeving;
- de openingen via dewelke de luchtlaag in contact staat met de buitenomgeving, zijn zodanig geplaatst dat er geen luchtstroming door de luchtlaag mogelijk is;
- de totale oppervlakte van de openingen is niet groter dan 500 mm<sup>2</sup> per meter lengte (verticale luchtlagen) of 500 mm<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> luchtlaag (horizontale luchtlagen).

De warmteweerstand van gewone niet-geventileerde luchtlagen, begrensd door oppervlakken met hoge emissiviteit, zijn gegeven in Tabel 2 in functie van de dikte van de luchtlaag en de richting van de warmtestroom.

Dikte d van de luchtlaag [mm]	Richting van de warmtestroom		
	opwaarts	horizontaal (1)	neerwaarts
0 < d < 5	0,00	0,00	0,00
5 ≤ d < 7	0,11	0,11	0,11
7 ≤ d < 10	0,13	0,13	0,13
10 ≤ d < 15	0,15	0,15	0,15
15 ≤ d < 25	0,16	0,17	0,17
25 ≤ d < 50	0,16	0,18	0,19
50 ≤ d < 100	0,16	0,18	0,21
100 ≤ d < 300	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23

(1) voor warmtestroom die niet meer dan ± 30° afwijkt van het horizontaal vlak

**Tabel 2 – Warmteweerstand (in m<sup>2</sup>K/W) van ongeventileerde luchtlagen begrensd door oppervlakken met hoge emissiviteit (gewone gevallen)**

#### 5.4.2.3 Matig geventileerde luchtlagen

Een matig geventileerde luchtlaag is een luchtlaag waarin een beperkte luchtstroming uit de buitenomgeving mogelijk is. Dit is het geval indien de totale oppervlakte van de ventilatieopeningen A<sub>v</sub> voldoet aan de volgende voorwaarden:

- > 500 mm<sup>2</sup> maar ≤ 1500 mm<sup>2</sup> per m lengte (verticale luchtlagen);
- > 500 mm<sup>2</sup> maar ≤ 1500 mm<sup>2</sup> per m<sup>2</sup> luchtlaag (horizontale luchtlagen).

Het effect van de ventilatie hangt af van de grootte en de verdeling van de ventilatieopeningen. Bij conventie mag de totale warmteweerstand van een bouwelement met een matig geventileerde luchtlaag berekend worden met:

$$R_T = \frac{1500 - A_v}{1000} R_{T,u} + \frac{A_v - 500}{1000} R_{T,v}$$

waarin

- A<sub>v</sub> de totale oppervlakte van de ventilatieopeningen gedeeld door de horizontale lengte van het bouwelement, in mm<sup>2</sup>;
- R<sub>T,u</sub> de totale warmteweerstand van hetzelfde bouwelement maar met een ongeventileerde luchtlaag, berekend volgens 6;
- R<sub>T,v</sub> de totale warmteweerstand van hetzelfde bouwelement maar met een sterk geventileerde luchtlaag, berekend volgens 6.

Alternatief mag ook nog de oude methode gehanteerd worden. Hierbij zijn de ontwerpwaarden van de warmteweerstand van matig geventileerde luchtlagen gelijk aan de helft van de corresponderende waarden in Tabel 2 (enkel geldig voor oppervlakken met hoge emissiviteit). Indien bovendien de totale warmteweerstand van de bouwlagen (van oppervlak tot oppervlak) tussen de luchtlaag en de

buitenomgeving groter is dan  $0,15 \text{ m}^2\text{-K/W}$ , dan zal deze warmteweerstand begrensd blijven tot deze waarde ( $0,15 \text{ m}^2\text{-K/W}$ ).

#### 5.4.2.4 Sterk geventileerde luchtlagen

Een sterk geventileerde luchtlaag is een luchtlaag voor dewelke de totale oppervlaktes van de ventilatieopeningen tussen de luchtlaag en de buitenomgeving voldoen aan de volgende voorwaarden:

- $> 1500 \text{ mm}^2$  per m lengte (verticale luchtlagen);
- $> 1500 \text{ mm}^2$  per  $\text{m}^2$  luchtlaag (horizontale luchtlagen).

De totale warmteweerstand van een bouwelement dat voorzien is van een sterk geventileerde luchtlaag wordt berekend door de totale warmteweerstand van de luchtlaag en van alle bouwlagen tussen de luchtlaag en de buitenomgeving te verwaarlozen en de  $R_{se}$  waarde te vervangen door  $R_{si}$ .

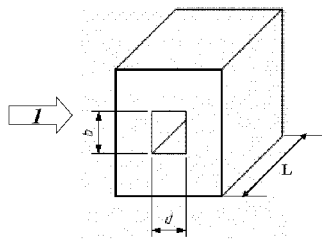
#### 5.4.3 Overige luchtlagen

Luchtlagen of -holten kunnen deel uitmaken van een product, bv. dubbele beglazing of geperforeerde metselstenen. De invloed van de luchtlaag of -holte wordt opgenomen in de productkarakteristiek ( $U$ -waarde of equivalente lambdawaarde). Dit wordt daarom hier niet behandeld.

Luchtlagen zoals die voorkomen bij voorzet- en dubbelramen worden behandeld in 8.4.4. Luchtlagen tussen vensters en luiken worden behandeld in 8.4.5.2.

##### 5.4.3.1 Holten of leemten

Dergelijke holten kunnen bv. optreden tussen dakspanten.



$l$  : richting van de warmtestroom  
 $d$  : dikte van de luchtlaag  
 $b$  : breedte of hoogte  
 $L$  : lengte

$d \leq 300 \text{ mm}$   
 $d/L > 0,10$  en/of  $d/b > 0,10$

**Figuur 2 – Buisvormige holten**

In bijlage B.4 van NBN EN ISO 6946 wordt de berekening van de warmteweerstand van kleine buisvormige niet-geventileerde luchtlagen gegeven (holten, leemten). Bij deze luchtlagen is de verhouding van dikte tot lengte (of breedte) groter dan 0,1. Figuur 2 illustreert een dergelijke luchtlaag.

#### 5.5 Warmteweerstand van luchtlagen (luchtruimten) met dikte groter dan 300 mm

Luchtlagen met een dikte groter dan 300 mm worden beschouwd als een aangrenzende onverwarmde ruimte. Aangrenzende onverwarmde ruimten worden in het kader van de energieprestatieregelgeving behandeld zoals beschreven in bijlage A van bijlage I van het EPB-besluit.

## 6. Bepaling van de totale warmteweerstand (RT) van bouwelementen

### 6.1 Bouwelementen opgebouwd uit homogene lagen

De totale warmteweerstand  $R_T$  (van omgeving tot omgeving) van een vlak bouwelement, opgebouwd uit thermisch homogene bouwlagen die loodrecht staan op de warmtestroom, wordt berekend volgens:

$$R_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [m^2K/W] \quad (2)$$

waarin:

- $R_{si}$  [ $m^2K/W$ ]: de warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak
- $R_1, R_2, \dots, R_n$  [ $m^2K/W$ ]: de warmteweerstanden van elke bouwlaag;
- $R_{se}$  [ $m^2K/W$ ]: de warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak

NOTA 1 Indien  $R_T$  als eindresultaat gepresenteerd wordt, dan dient het afgerond te worden op 2 decimalen.

NOTA 2 Vergelijking (2) geldt voor buitenwanden. In het geval van binnenwanden wordt  $R_{se}$  in vergelijking (2) vervangen door  $R_{si}$ . Indien de totale warmteweerstand (van oppervlak tot oppervlak) moet berekend worden dan vallen de beide  $R_s$ -waarden in vergelijking (2) weg.

NOTA 3 De oppervlakte van een gebogen bouwelement is deze van een tot een plat bouwelement getransformeerd vlak met dezelfde geprojecteerde oppervlakte. Hierbij wordt gerekend met de buitenafmetingen van het gebogen bouwelement.

### 6.2 Bouwelementen opgebouwd uit homogene en niet-homogene lagen

#### 6.2.1 Toepasbaarheid

In de volgende paragrafen wordt een vereenvoudigde rekenmethode gegeven om de warmteweerstand van bouwelementen te berekenen die opgebouwd zijn uit thermisch homogene en niet-homogene bouwlagen. Een nauwkeuriger resultaat kan bekomen worden door gebruik te maken van een numerieke methode overeenkomstig NBN EN ISO 10211 (zie extra toelichting in bijlage G.2).

De vereenvoudigde methode mag niet worden toegepast in de volgende gevallen:

- wanneer de verhouding van de boven- tot de onderwaarde van de warmteweerstand (zie hieronder) groter is dan 1.5.
- wanneer de isolatielaag overbrugd wordt door metaal.

Voor metalen bevestigingen kan de methode in 1° instantie toegepast worden alsof er geen metalen bevestigingen zouden zijn, en het bekomen resultaat dient vervolgens gecorrigeerd te worden overeenkomstig 7.2.

#### 6.2.2 Totale warmteweerstand van een bouwelement (combinatiemethode)

De totale warmteweerstand  $R_T$  van een bouwelement, opgebouwd uit thermisch homogene en thermisch niet-homogene bouwlagen die loodrecht staan op de warmtestroom, wordt bepaald als het rekenkundig gemiddelde van de boven- en onderwaarde van de warmteweerstand:

$$R_T = \frac{R'_T + R''_T}{2} \quad [m^2K/W] \quad (3)$$

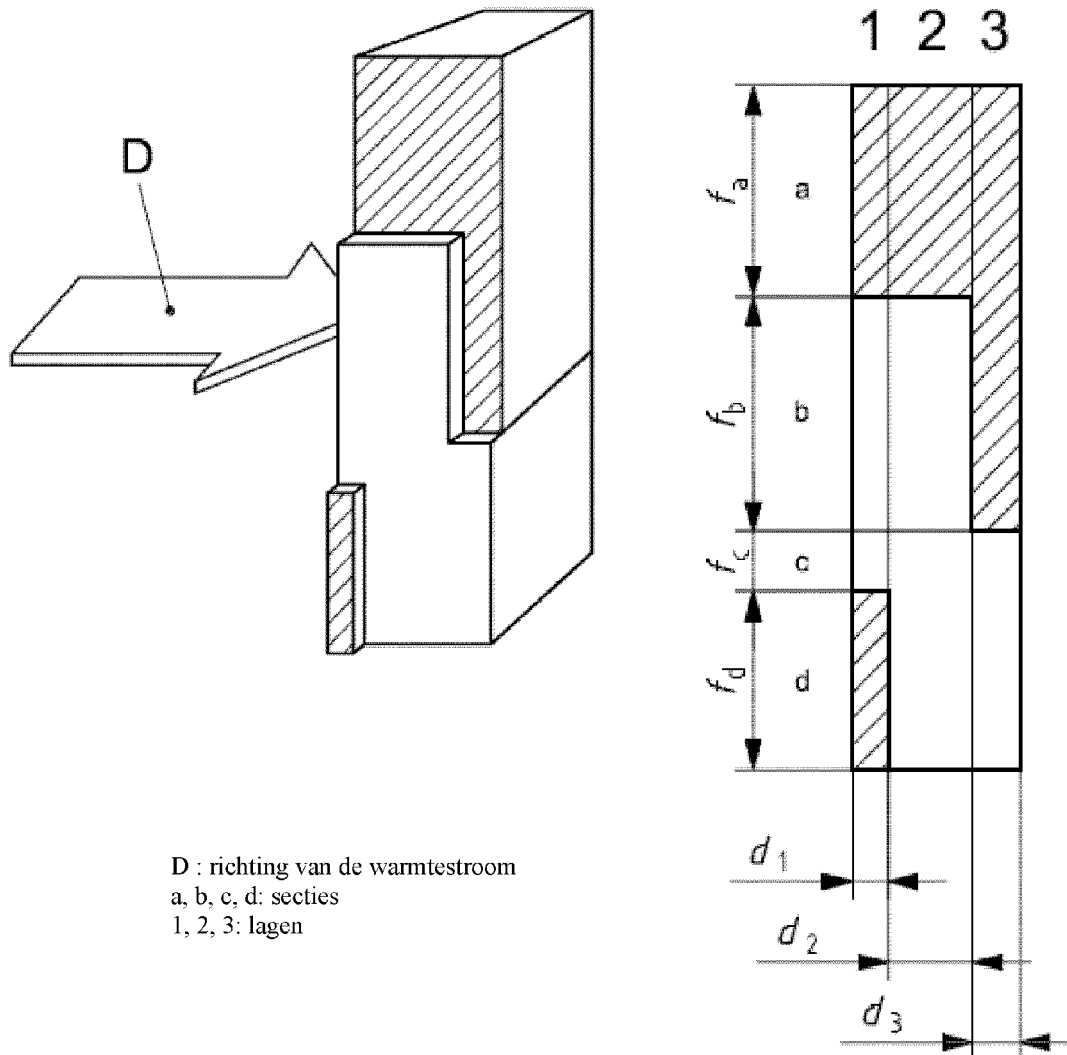
waarin:

- $R'_T$  [ $m^2K/W$ ]: de bovenwaarde van de warmteweerstand, berekend volgens vergelijking (4)
- $R''_T$  [ $m^2K/W$ ]: de onderwaarde van de warmteweerstand, berekend volgens vergelijking (6)

De berekening van de boven- en onderwaarde wordt uitgevoerd door het bouwelement op te splitsen in secties en lagen, zodanig dat het bouwelement enkel nog bestaat uit delen die op zichzelf thermisch homogeen zijn (zie voorbeeld van Figuur 3):

- het bouwelement wordt opgedeeld in secties (a, b, c, en d) met respectievelijke oppervlaktes ( $A_a$ ,  $A_b$ ,  $A_c$  en  $A_d$ ) en in lagen (1, 2 en 3), met respectievelijke diktes ( $d_1$ ,  $d_2$  en  $d_3$ );
- de secties (a, b, c, d), die loodrecht staan op de oppervlakken van het bouwelement, vertegenwoordigen elk afzonderlijk een deeloppervlakte ( $f_a$ ,  $f_b$ ,  $f_c$ ,  $f_d$ ) t.o.v. de totale oppervlakte;

- de lagen (1, 2, 3), die parallel zijn met de oppervlakken van het bouwelement, hebben een dikte  $d_1$ ,  $d_2$  en  $d_3$ ;
- alle thermisch homogene delen ( $a_1 \dots d_3$ ) hebben een welbepaalde warmtegeleidbaarheid ( $\lambda_{a1}, \dots \lambda_{d3}$ ), een bepaalde dikte ( $d_1, \dots d_3$ ), een deeloppervlakte ( $f_a, \dots f_d$ ) en een warmteweerstand ( $R_{a1}, \dots R_{d3}$ );
- de deeloppervlakte van een sectie is een proportioneel deel van de totale oppervlakte, zodat  $f_a + f_b + \dots + f_d = l$ .



Figuur 3 – Secties en lagen van een thermisch niet homogeen bouwelement

### 6.2.3 Limietwaarden

De **bovenwaarde** van de warmteweerstand wordt bepaald door aan te nemen dat de ééndimensionale warmtestroom loodrecht staat op de oppervlakken van het bouwelement. De bovenwaarde wordt gegeven door:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \frac{f_c}{R_{Tc}} + \frac{f_d}{R_{Td}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (4)$$

waarin:

- $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Td}$  [ $m^2K/W$ ] : totale warmteweerstanden (van omgeving tot omgeving) van elke sectie, berekend volgens vergelijking (2);
- $f_a, f_b, \dots, f_d$  [-] : de deelopervlaktes (fracties) van elke sectie.

De **onderwaarde** van de warmteweerstand wordt bepaald door aan te nemen dat alle vlakken die parallel zijn met de oppervlakken van het bouwelement isothermische vlakken zijn.

Voor elke thermisch niet-homogene bouwlaag (1, 2, 3, ...) wordt een equivalente warmteweerstand  $R_j$  als volgt bepaald:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \frac{f_c}{R_{cj}} + \frac{f_d}{R_{dj}} \quad [W/m^2K] \quad (5)$$

De onderwaarde van de warmteweerstand wordt dan bepaald volgens:

$$R''_T = R_{si} + R_1 + R_2 + \dots + R_n + R_{se} \quad [m^2K/W] \quad (6)$$

NOTA In het kader van de energieprestatieregelgeving is het ook toegelaten om enkel met de onderwaarde van de warmteweerstand te rekenen.

#### 6.2.4 Foutenberekening

Een methode voor de berekening van de maximale relatieve fout die begaan wordt bij de bepaling van de U-waarde is gegeven in § 6.2.5 van NBN EN ISO 6946.

## 7. Warmtedoorgangscoefficiënt (U) van ondoorschijnende bouwelementen

### 7.1 Algemene uitdrukking

De warmtedoorgangscoefficiënt (U-waarde) van een ondoorschijnend bouwelement wordt gegeven door:

$$U = \frac{1}{R_T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (7)$$

Bij de berekening van de U-waarde, moeten de aangenomen invoergegevens ter informatie opgegeven worden of beschikbaar zijn.

NOTA Indien U als eindresultaat gepresenteerd wordt, dan dient het afgerond te worden op 2 decimalen.

### 7.2 Correcties op de U-waarde

#### 7.2.1 Algemeen

Correcties dienen in principe toegepast te worden op de volgens (7) berekende U-waarde, om rekening te houden met de effecten van de volgende gevallen of situaties:

- luchtspleten of holten in isolatielagen;
- mechanische bevestigingen die isolatielagen doorboren;
- neerslag op omgekeerde daken.

De gecorrigeerde U-waarde ( $U_c$ ), wordt als volgt gedefinieerd:

$$U_c = U + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (8)$$

waarbij de correctieterm  $\Delta U$  bepaald is volgens:

$$\Delta U = \Delta U_g + \Delta U_f + \Delta U_r \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (9)$$

waarin:

- $\Delta U_g$  [W/m<sup>2</sup>K]: correctieterm voor luchtspleten en holten
- $\Delta U_f$  [W/m<sup>2</sup>K]: correctieterm voor mechanische bevestigingen
- $\Delta U_r$  [W/m<sup>2</sup>K]: correctieterm voor omgekeerde daken

#### 7.2.2 Correctie van de U-waarde voor luchtspleten of -holten in of tussen isolatielagen

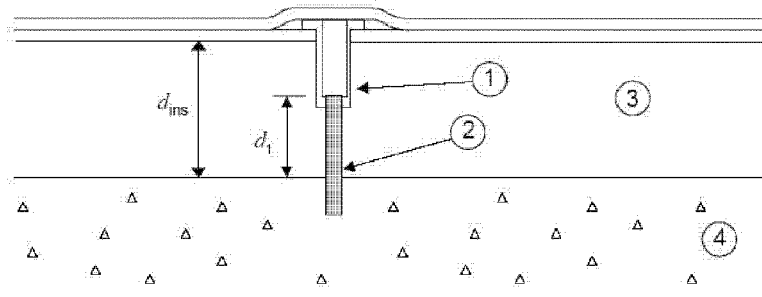
De aanwezigheid van luchtlagen, -spleten of -holten in de richting van of loodrecht op de warmtestroom, kan in sommige gevallen een sterk negatieve invloed uitoefenen op de werkelijke warmteweerstand van de isolatielaag. In NBN EN ISO 6946 (Bijlage D.2) worden een aantal categorieën van onvolkomenheden gedefinieerd, en worden bijhorende conventionele toeslagen vastgelegd.

Omdat het moeilijk is eenduidig te beoordelen welke categorie op een gebouw, een constructiedeel, ... precies van toepassing is, is besloten dit effect in het kader van de energieprestatieregelgeving buiten beschouwing te laten. Bij conventie mag daarom gesteld worden:

$$\Delta U_g = 0 \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

#### 7.2.3 Correctie voor mechanische bevestigingen die een isolatielaag doorboren

Wanneer een isolatielaag doorboord wordt door mechanische bevestigingen (bv. spouwhaken, dakbevestigingen, ...), dan kan het effect van deze bevestigingen altijd nauwkeurig berekend worden door numerieke berekeningen volgens NBN EN ISO 10211. Deze nauwkeurige rekenmethode moet steeds toegepast worden indien de beide uitcinden van de mechanische bevestiging in thermisch contact zijn met metalen platen.



1 : kunststof kap – 2 : verzonken bevestiging – 3 : isolatielaag – 4 : dakplaat

#### Figuur 4 – Verzonken mechanische bevestiging

In de andere gevallen kan de hierna volgende benaderende rekenmethode toegepast worden, waarbij het effect van de mechanische bevestigingen bepaald wordt door de correctieterm  $\Delta U_f$  die als volgt berekend wordt:

$$\Delta U_f = \alpha \cdot \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \left[ \frac{R_1}{R_{T,h}} \right]^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (10)$$

waarin:

- $d_1$  [m]: lengte van de bevestiging, als volgt bepaald:
  - bij bevestigingen die de isolatielaag volledig doorboren (onder rechte of schuine hoek) is de lengte gelijk aan de dikte van de isolatielaag ( $d_{\text{ins}}$ ):  $d_1 = d_{\text{ins}}$ ;
  - bij verzonken bevestigingen is de lengte gelijk aan het gedeelte van de bevestiging dat de isolatielaag doorboort (zie Figuur 4)
- $\lambda_f$  [W/mK]: de warmtegeleidbaarheid van de mechanische bevestiging (zie NOTA);
- $n_f$  [m<sup>-2</sup>]: aantal mechanische bevestigingen per m<sup>2</sup>;
- $A_f$  [m<sup>2</sup>]: doorsnede van 1 mechanische bevestiging;
- $\lambda_{\text{ins}}$  [W/mK]: de warmtegeleidbaarheid van de isolatielaag;
- $\alpha$  [-]: is een correctiecoëfficiënt als volgt bepaald:
  - $\alpha = 0,8$  indien de mechanische bevestiging de isolatielaag volledig doorboort
  - $\alpha = 0,8 \times d_1/d_{\text{ins}}$  indien de bevestiging verzonken is in de isolatielaag (zie Figuur 4);
- $R_1$  [m<sup>2</sup>K/W]: warmteweerstand (van het deel) van de isolatielaag die door de mechanische bevestiging doorboord wordt ( $R_1 = d_1/\lambda_{\text{ins}}$ );
- $R_{T,h}$  [m<sup>2</sup>K/W]: totale warmteweerstand van het bouwelement, zonder rekening te houden met enige koudebrugwerking, berekend volgens 6.1;

NOTA De correctieterm  $\Delta U_f$  dient in het geval van spouwvakken niet toegepast te worden voor de volgende gevallen:

- spouwvakken in ongeïsoleerde spouwen;
- spouwvakken waarvan de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda_v$ ) kleiner is dan 1 W/mK (bv. kunststof)

#### Waarden bij ontstentenis voor spouwvakken:

Voor spouwvakken is het altijd toegelaten volgende waarden bij ontstentenis te gebruiken:

- aantal spouwvakken per m<sup>2</sup>:  $n_f = 5 \text{ m}^{-2}$
- sectie van een spouwhaak:  $A_f = 1,3 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2$  ( $\varnothing 4 \text{ mm}$ )
- warmtegeleidbaarheid van het spouwhaakmateriaal:  $\lambda_v = 50 \text{ W/m.K}$  (staal)
- lengte van de spouwhaak gelijk aan de dikte van de isolatielaag:  $d_1 = d_{\text{ins}}$



## 7.2.4 Correctieprocedure voor omgekeerde daken

### 7.2.4.1 Algemeen

In het geval van omkeerdaken waarbij het waterkerend membraan zich onder de isolatielaag bevindt, dient een correctieterm  $\Delta U_r$  berekend te worden om rekening te houden met het effect van regenwater dat tussen de isolatielaag en membraan kan wegvloeien. Deze correctieprocedure dient in principe enkel toegepast te worden voor warmteoverdrachtsberekeningen en niet voor de berekening van koelbehoeften. In het kader van de energieprestatieregelgeving mag evenwel steeds (ook voor oververhittings- en koelberekeningen) met de gecorrigeerde waarde gerekend worden. De hierna volgende procedure is enkel van toepassing voor isolatielagen bestaande uit geëxtrudeerd polystyreen (XPS).

### 7.2.4.2 Correctie ten gevolge van waterstroming tussen isolatie en dichtingsmembraan

De toe te passen correctieterm  $\Delta U_r$  die rekening houdt met de extra warmteoverdracht ten gevolge van de onderstroming door regenwater van de isolatielaag in omkeerdaken, wordt berekend volgens:

$$\Delta U_r = p \cdot f \cdot x \cdot \left[ \frac{R_1}{R_T} \right]^2 \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (11)$$

waarin:

- $p$  [mm/dag]: gemiddelde regenval gedurende het stookseizoen;
- $f$  [-]: drainering factor, die een fractie van de gemiddelde regenval weergeeft die het membraan bereikt;
- $x$  [W.dag/m<sup>2</sup>.K.mm]: factor die de verhoogde warmteoverdracht karakteriseert ten gevolge van de onderstroming van de isolatielaag door regenwater;
- $R_1$  [m<sup>2</sup>K/W]: gecorrigeerde warmteweerstand van de XPS-isolatielaag ( $R_{\text{XPS}}$ ) die rekening houdt met een toename van het vochtgehalte door diffusie;
- $R_T$  [m<sup>2</sup>K/W]: totale warmteweerstand van het dak, zonder rekening te houden met enige correctie.

De correctieterm  $\Delta U_r$  wordt berekend tot twee decimalen. Waarden kleiner dan 0,01 W/m<sup>2</sup>K worden verwaarloosd.

#### Waarden bij ontstentenis voor omgekeerde daken:

Voor omkeerdaken met XPS worden de volgende parameters vastgelegd:

- neerslaghoeveelheid  $p = 2,0$  mm/dag
- $f \cdot x$ 
  - = correctiefactor voor warmteoverdracht door onderstroming (W.dag/m<sup>2</sup>.K.mm)
  - = 0,04 voor platen met rechte boorden en open ballast zoals grind, tegels of in fabriek aangebrachte afwerklaag
  - = 0,03 voor platen met sponning en open ballast zoals grind, tegels of in fabriek aangebrachte afwerklaag
  - = 0,02 voor groen- of tuindaken (in afwachting van precieze cijfers)
- $R_1$ 
  - = gecorrigeerde warmteweerstand van XPS plaat
  - =  $R_{\text{XPS}}/1,023$  (voor open ballast zoals grind, tegels of in fabriek aangebrachte afwerklaag)
  - =  $R_{\text{XPS}}/1,069$  (voor groen- of tuindaken)

waarin  $R_{\text{XPS}}$  berekend wordt met de  $\lambda_{\text{XPS}}$ -waarde uit Tabel A.14 van Bijlage A

## 7.3 Correctie op R-waarde voor in situ gespoten PUR-isolatie

Omwille van de moeilijkheden om een exacte dikte te bepalen, dient de warmteweerstand  $R_{\text{PUR}}$  van een in situ gespoten PUR-isolatielaag als volgt berekend te worden:

$$R_{\text{PUR}} = a \cdot \left( \frac{d_{\text{PUR}}}{\lambda_{\text{U,PUR}}} \right) \quad [\text{m}^2\text{K/W}] \quad (12)$$

met:

- $R_{\text{PUR}}$  [m<sup>2</sup>K/W]: gecorrigeerde warmteweerstand van in situ gespoten PUR-isolatie;

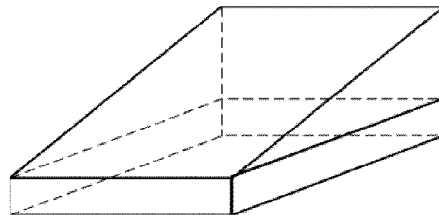
- $d_{PUR}$  [m]: dikte van de gespoten PUR-isolatielaag;
- $\lambda_{U,PUR}$  [W/m.K]: warmtegeleidbaarheid (rekenwaarde) van PUR-isolatie, bepaald volgens Tabel A.14 uit Bijlage A;
- $a$  [-]: correctieterm, gelijk aan:
  - $a = 0,85$  voor daktoppassingen;
  - $a = 0,925$  voor vloertoepassingen;

## 7.4 U-waarde van bouwdelen met variabele dikte

### 7.4.1 Algemene werkwijze

Bij gebouwelementen die bestaan uit deelelementen met ongelijke vorm en/of bouwlagen met variabele dikte (Figuur 5), varieert de totale warmteweerstand van het bouwelement over zijn gehele oppervlakte en dient daarom een gemiddelde U-waarde voor het gehele bouwelement bepaald te worden.

Vereenvoudigend kan de weerstand van de laag met variabele dikte verwaarloosd worden, zie 7.4.4.

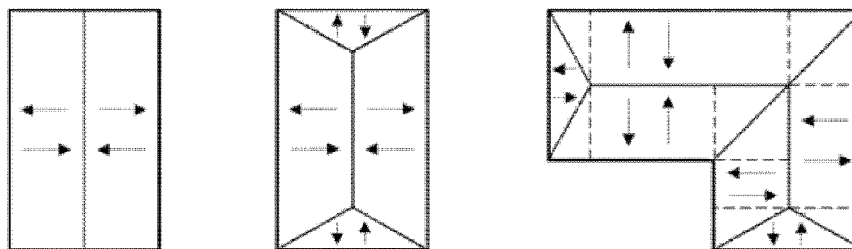


**Figuur 5 – Bouwelement met hellende bouwlaag**

De bepaling van de gemiddelde U-waarde van dergelijke gebouwelementen verloopt als volgt:

- het gehele gebouwelement wordt eerst opgesplitst in deelelementen die overeenstemmen met de vorm en de helling van de drie basisvormen uit 7.4.2; een voorbeeld van een dergelijke opsplitsing is getoond in Figuur 6 voor een aantal daken;
- vervolgens wordt voor elk deelelement (overeenstemmend met een bepaalde basisvorm en met een eigen oppervlakte) een U-waarde berekend op basis van de formules uit 7.4.3;
- tenslotte wordt voor het gehele gebouwelement de U-waarde berekend als de oppervlaktengewogen gemiddelde U-waarde van alle beschouwde deelelementen.

NOTA Deze werkwijze is geldig voor bouwlagen waarvan de helling niet groter is dan 5%, zoniet moet een numerieke berekening worden toegepast.



→ ↑ ← ↓ : duiden de richting van de helling aan (alle richtingen mogelijk)

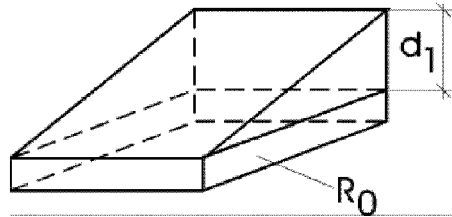
----- : opsplitsing van het dak in deelelementen met rechthoekig of driehoekig grondvlak

**Figuur 6 – Voorbeelden van opsplitsing van daken in individuele dakelementen**

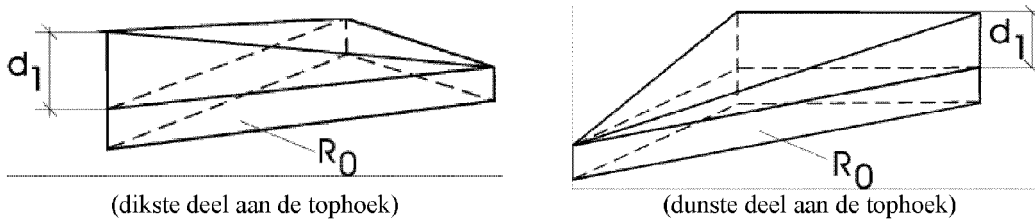
### 7.4.2 Opdeling in basisvormen

Gebouwelementen met hellende delen of lagen kunnen opgedeeld worden in drie basisvormen naargelang de vorm van het grondvlak en de richting van de helling:

- een bouwelement met rechthoekig grondvlak, opgebouwd uit een deel dat één of meerdere vlakke bouwlagen bevat (met een totale warmteweerstand  $R_0$ ) en een deel dat een hellende bouwlaag bevat (dikte varieert tussen 0 en maximaal  $d_1$ ) (Figuur 7);
- een bouwelement met driehoekig grondvlak, opgebouwd uit een deel dat één of meerdere vlakke bouwlagen bevat (met een totale warmteweerstand  $R_0$ ) en een deel dat een hellende bouwlaag bevat, waarbij ofwel het dikste deel (met dikte  $d_1$ ) aan de tophoek ligt (Figuur 8 - links) ofwel het dunste deel (met dikte 0) (Figuur 8 - rechts).



**Figuur 7 – Bouwelement met rechthoekig grondvlak, bestaand uit een hellend deel en een (overblijvend) vlak deel**



**Figuur 8 – Bouwelement met driehoekig grondvlak, bestaand uit een hellend deel en een (overblijvend) vlak deel**

#### 7.4.3 Bepaling van de U-waarde voor elk van de basisvormen

De bepaling van de U-waarde, voor elk van de drie voormelde basisvormen, kan gebeuren volgens de volgende formules:

- voor bouwdelen met rechthoekig grondvlak:

$$U = \frac{1}{R_1} \cdot \ln \left[ 1 + \frac{R_1}{R_0} \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (13)$$

- voor bouwelementen met driehoekig grondvlak:

- dikste deel aan tophoek:

$$U = \frac{2}{R_1} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{R_0}{R_1} \right) \cdot \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) - 1 \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (14)$$

- dunste deel aan tophoek:

$$U = \frac{2}{R_1} \cdot \left[ 1 - \frac{R_0}{R_1} \cdot \ln \left( 1 + \frac{R_1}{R_0} \right) \right] \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (15)$$

met:  $R_1$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: maximale warmteweerstand van het hellend deel van de bouwlaag (met dikte = 0 aan één van de zijden of aan de tophoek), gelijk aan  $d_1/\lambda_1$ , waarin  $d_1$  [m] = maximale dikte van het hellend deel van de bouwlaag (zie Figuur 7 en Figuur 8) en  $\lambda_1$  [ $\text{W/mK}$ ] = warmtegeleidbaarheid van deze bouwlaag;

$R_0$  [ $\text{m}^2\text{K}/\text{W}$ ] : totale warmteweerstand van het gehele deelelement, berekend van omgeving tot omgeving (dus met inbegrip van  $R_{\text{si}}$  en  $R_{\text{se}}$ ), maar exclusief de warmteweerstand van het hellend deel van de bouwlaag ( $R_1$ ).

#### 7.4.4 Vereenvoudigde bepaling

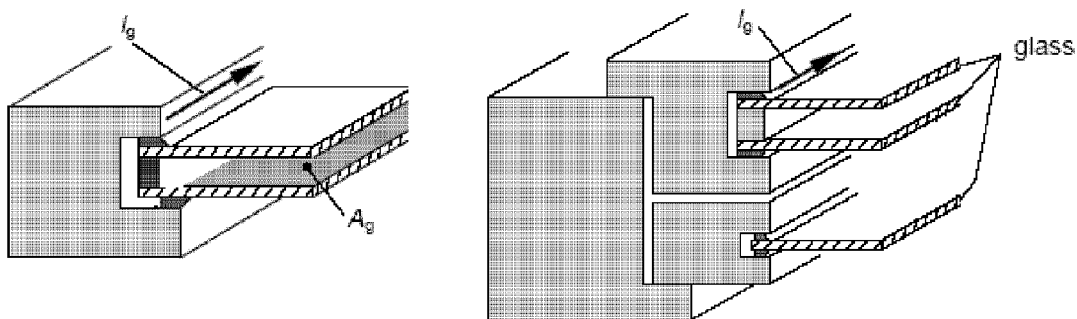
Bij een vereenvoudigde bepaling van de U-waarde van gebouwelementen met variabele dikte, wordt de warmteweerstand  $R_1$  van het hellende deel van de bouwlaag met variabele dikte verwaarloosd en wordt enkel de term  $R_0$  in rekening gebracht.

## 8. Bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt van vensters en deuren

### 8.1 Geometrische karakteristieken van vensters en deuren

#### 8.1.1 Oppervlakte glas en ondoorschijnend vulpaneel

De beglaseerde oppervlakte  $A_g$  of de oppervlakte van het ondoorschijnend vulpaneel  $A_p$  van een venster of een deur, is de kleinste van de zichtbare oppervlaktes gezien van de beide zijden, zoals te zien in Figuur 9.



Figuur 9 – Illustratie van glasoppervlakte en perimeter

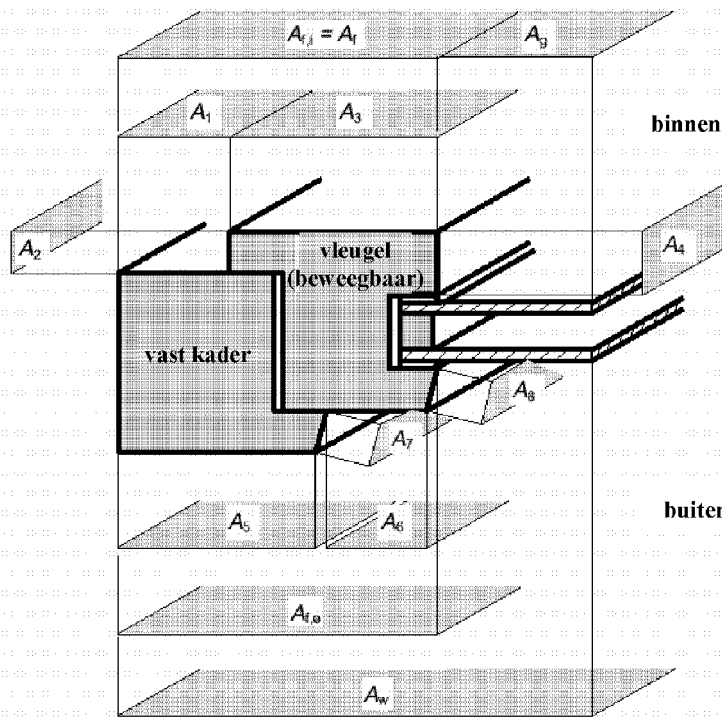
#### 8.1.2 Zichtbare omtrek van de beglazing

De totale perimeter van de beglazing ( $l_g$ ) of van het vulpaneel ( $l_p$ ) is de som van de zichtbare perimeter van de glasbladen (of vulpanelen) in het venster of in de deur. Indien de perimeters verschillend zijn aan de binnenzijde en de buitenzijde van de beglazing of het vulpaneel, dan dient de grootste van beide waarden gebruikt te worden (zie Figuur 9).

#### 8.1.3 Oppervlakte van de raamprofielen

De definities van de oppervlakten van raamprofielen zijn hierna gegeven (zie Figuur 10) :

- $A_{f,i}$  [ $m^2$ ]: geprojecteerde raamprofieloppervlakte aan de binnenzijde (is de oppervlakte van de projectie van het binnenraamprofiel, vleugel inbegrepen indien aanwezig, op een vlak dat parallel is met de beglazing);
- $A_{f,e}$  [ $m^2$ ]: geprojecteerde raamprofieloppervlakte aan de buitenzijde (is de oppervlakte van de projectie van het buitenraamprofiel, vleugel inbegrepen indien aanwezig, op een vlak dat parallel is met de beglazing);
- $A_f$  [ $m^2$ ]: raamprofieloppervlakte (is de grootste van de beide geprojecteerde raamprofieloppervlakten  $A_{f,i}$  en  $A_{f,e}$ );
- $A_{d,i}$  [ $m^2$ ]: ontwikkelde raamprofieloppervlakte aan de binnenzijde (d.i. de oppervlakte van het raamprofiel, vleugel inbegrepen indien aanwezig, in contact met de binnenlucht – zie Figuur 11)
- $A_{d,e}$  [ $m^2$ ]: ontwikkelde raamprofieloppervlakte aan de buitenzijde (d.i. de oppervlakte van het raamprofiel, vleugel inbegrepen indien aanwezig, in contact met de buitenlucht – zie Figuur 11)



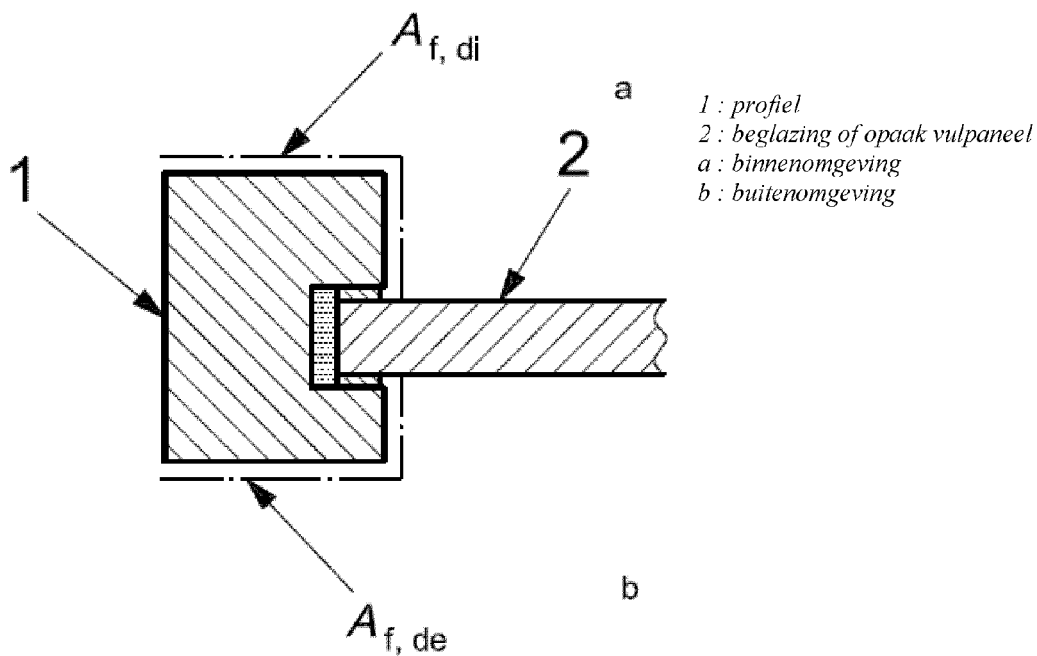
$$A_r = \max(A_{r,i}; A_{r,e})$$

$$A_w = A_r + A_g$$

$$A_{d,i} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

$$A_{d,e} = A_5 + A_6 + A_7 + A_8$$

Figuur 10 – Illustratie van de verschillende oppervlakten



Figuur 11 – Ontwikkelde oppervlakte van raamprofielen

### 8.1.4 Oppervlakte van het venster of deur

De oppervlakte van het venster (of deur)  $A_w$  ( $A_D$ ) is de som van de raamprofieloppervlakte  $A_f$  en van de beglaasde oppervlakte  $A_g$  (en/of van de paneeloppervlakte  $A_p$  en/of van de ventilatieroosteroppervlakte  $A_r$ ) (zie Figuur 10). De raamprofieloppervlakte  $A_f$  omvat de oppervlakte van zowel het vast kader als van de beweegbare vleugel.

NOTA Bij de bepaling van de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie  $H_T$  worden de transmissieverliezen doorheen vensters of deuren berekend op basis van de oppervlaktes van de dagopeningen (zie 12.2.2.1).

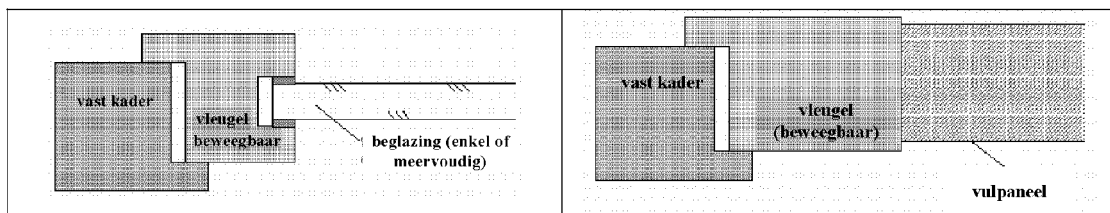
## 8.2 Algemene procedure voor de bepaling van de U-waarde van vensters en deuren

De warmtedoorgangscoefficiënt van een venster ( $U_w$ ) of een deur ( $U_D$ ) wordt bepaald voor de situatie vóór inbouw ('naakt' venster of 'naakte' deur) op één van de volgende wijzen.

- ofwel door proeven volgens NBN EN ISO 12567-1 (of NBN EN ISO 12567-2 voor dakvensters). De proeven dienen te worden uitgevoerd op exact hetzelfde venster (of exact dezelfde deur) met dezelfde afmetingen en dezelfde samenstellende componenten.
- ofwel aan de hand van een berekening zoals hieronder beschreven.

### 8.3 Basisgeval: U-waarde van gewone enkelvoudige vensters

Gewone enkelvoudige<sup>2</sup> vensters of deuren zijn opgebouwd uit een vast kader met beglazing en/of (een) vast(e) kader(s) en (een) beweegbare vleugel(s) waarin de beglazing zich bevindt (zie Figuur 12). Meerdere beglazingen kunnen eveneens deel uit maken van eenzelfde venster (deur) of zich binnen eenzelfde vast kader bevinden. Eventueel kunnen ook ondoorschijnende vulpanelen en toevoervoorzieningen voor ventilatielucht deel uit maken van een venster of deur.



Figuur 12 – Illustratie van een enkelvoudig venster of deur

De warmtedoorgangscoefficiënt van een venster ( $U_w$ ) of een deur ( $U_D$ ) met bepaalde afmetingen en voorzien van beglaasde delen en/of van ondoorschijnende vulpanelen en/of van ventilatieroosters, wordt algemeen berekend door middel van de volgende formule:

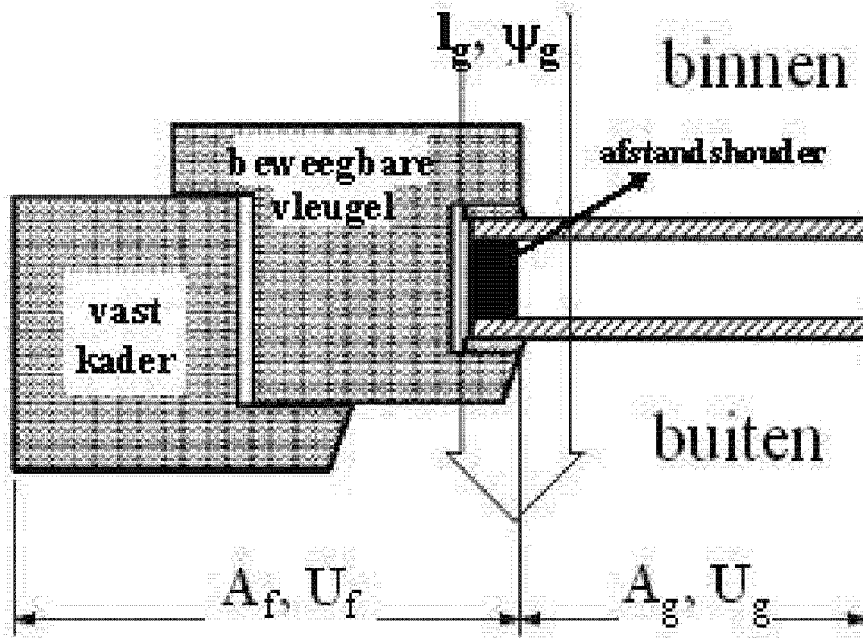
$$U_w \text{ (ou } U_D) = \frac{A_g U_g + A_f U_f + A_p U_p + A_r U_r + I_g \Psi_g + I_p \Psi_p}{A_g + A_f + A_p + A_r} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (16)$$

waarin:

- $U_g$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] : de U-waarde van de beglazing, bepaald volgens 9.1;
- $U_f$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] : de U-waarde van het raamprofiel, bepaald volgens 9.2;
- $U_p$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] : de U-waarde van het ondoorschijnend vulpaneel, bepaald volgens 9.3;
- $U_r$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ] : de U-waarde van het ventilatierooster, bepaald volgens 9.4;
- $\Psi_g$  [ $\text{W/mK}$ ] : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ten gevolge van de gecombineerde effecten van beglazing, afstandshouder en raamprofiel (zie Figuur 13), bepaald volgens 9.5;

<sup>2</sup> De betekenis van "enkelvoudig" moet gezien worden in tegenstelling tot "dubbelramen" en "voorzetramen": zie volgende paragrafen.

- $\Psi_p$  [W/mK] : de lineaire warmtetoegangscoëfficiënt ten gevolge van de gecombineerde effecten van vulpaneel, randverbinding en raamprofiel, bepaald volgens 9.5;



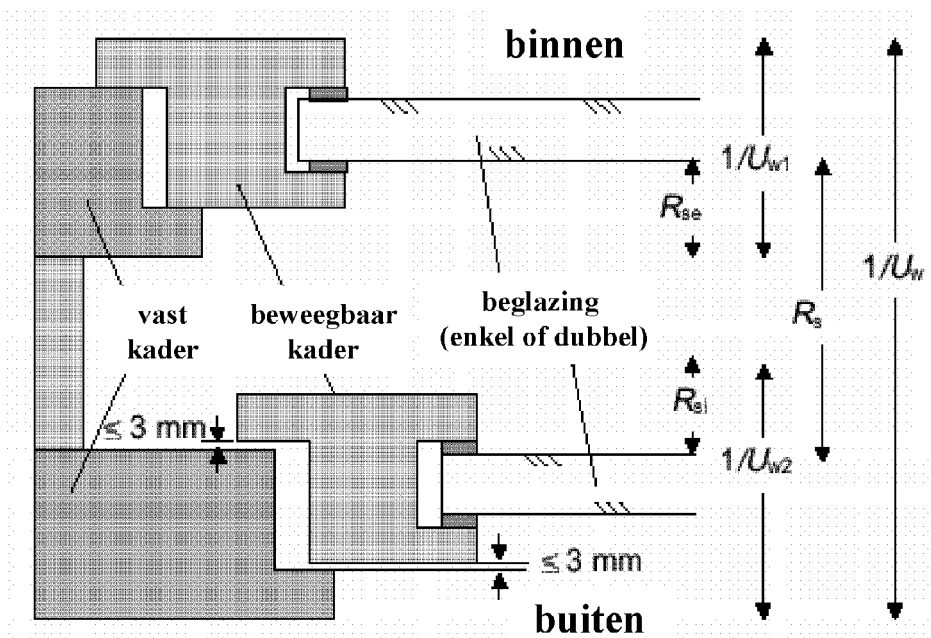
Figuur 13 – Effect van beglazing, afstandshouder en raamprofiel

- NOTA 1 In het geval van een enkelvoudige beglazing valt de term ( $l_g, \Psi_g$ ) in uitdrukking (16) weg aangezien er geen effect van een afstandshouder optreedt.
- NOTA 2 Uitdrukking (16) kan eveneens gebruikt worden voor vensters die opgebouwd zijn uit meerdere types van beglazingen, raamprofielen of vulpanelen (met eigen U-waarde en eigen oppervlakte). Voor de betrokken componenten zijn in dat geval de corresponderende termen in de teller en in de noemer te lezen als sommaties (vb.  $\sum A_f U_f, \sum A_f$ ). Indien, vereenvoudigd, bij de bepaling van  $U_w$  (of  $U_D$ ) voor de betrokken componenten slechts één U-waarde gebruikt wordt, dan moet de meest ongunstige waarde (de grootste) aangenomen worden. De corresponderende  $\psi$ -waarde moet dan wel bepaald zijn op basis van deze U-waarde.
- NOTA 3 Een vereenvoudigde bepaling van de U-waarde van vensters en deuren kan gebeuren binnen de voorwaarden die uitgelegd zijn in 8.5.



## 8.4 Specifieke gevallen

### 8.4.1 Dubbelramen



Figuur 14 – Illustratie van een dubbelraam

De  $U_w$ -waarde van een dubbelraam, d.w.z. een systeem waarbij twee aparte vensters parallel opgesteld zijn in eenzelfde dagopening (zie Figuur 14), wordt berekend volgens:

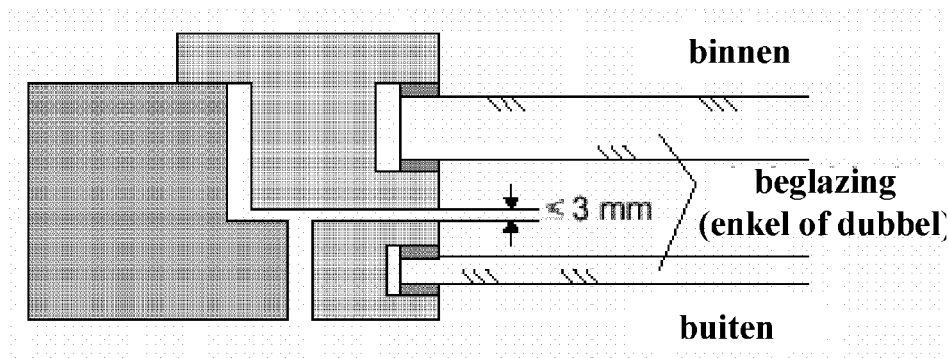
$$U_w = \frac{1}{\frac{1}{U_{w1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{w2}} - R_{si}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (17)$$

waarin:

- $U_{w1}$  en  $U_{w2}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de respectievelijke U-waarden van het venster aan de binnenzijde en van het venster aan de buitenzijde, berekend volgens uitdrukking (16);
- $R_{si}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak van het venster aan de buitenzijde, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_{se}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak van het venster aan de binnenzijde, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_s$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: de warmteweerstand van de luchtlaag tussen de beide vensters, bepaald volgens 8.4.4.

NOTA De methode is niet geldig indien de ruimte tussen de beide vensters overdreven geventileerd wordt met buitenlucht ten gevolge van te grote lichtspleten (ondichtheden) aan de aansluitingen van het buitenvenster. De lichtspleten mogen daartoe niet groter zijn dan 3 mm (zie Figuur 14), zoniet wordt de rekenmethode van een sterk geventileerde luchtlaag toegepast (zie 5.4.2.4).

## 8.4.2 Voorzetramen



Figuur 15 – Illustratie van een voorzetraam

De  $U_w$ -waarde van het systeem van voorzetramen, waarbij een vast kader en twee aparte beweegbare vleugels (met beglazingen) parallel opgesteld zijn (zie Figuur 15), kan berekend worden volgens de uitdrukking (16), maar waarbij de gecombineerde  $U_g$ -waarde van de beide beglazingen berekend wordt volgens:

$$U_g = \frac{1}{\frac{1}{U_{g1}} - R_{se} + R_s + \frac{1}{U_{g2}} - R_{si}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (18)$$

waarin:

- $U_{g1}$  en  $U_{g2}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de respectievelijke  $U$ -waarden van de beglazing aan de binnenzijde en van de beglazing aan de buitenzijde, bepaald volgens 9.1;
- $R_{si}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak van de beglazing aan de buitenzijde, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_{se}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak van de beglazing aan de binnenzijde, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_s$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: de warmteovergangsweerstand van de luchtlaag tussen de beide beglazingen, bepaald volgens 8.4.4.

NOTA Als de luchtspleet tussen de beide vleugelprofielen groter is dan 3 mm en er geen maatregelen genomen zijn om een overdreven ventilatie met buitenlucht te vermijden tussen de beide beglazingen, dan is de methode niet meer geldig. In dat geval wordt de rekenmethode van een sterk geventileerde luchtlaag toegepast (zie 5.4.2.4).

## 8.4.3 Warmteovergangsweerstanden

Voor gewone emissiefactoren ( $\epsilon_n \geq 0,8$ ) aan de binnen- en buitenzijde van vensters, deuren of beglazingen, dienen de waarden van de warmteovergangsweerstanden aan het binnenoppervlak ( $R_{si}$ ) en aan het buitenoppervlak ( $R_{se}$ ) genomen te worden uit Tabel 1. Voor beglazingen met lage emissiviteit op het binnenoppervlak kan als alternatief  $R_{si}$  ook bepaald te worden volgens de rekenprocedures uit NBN EN 673.

## 8.4.4 Warmteovergangsweerstand van ongeventileerde luchtlagen in dubbelramen en voorzetramen

De warmteovergangsweerstand  $R_s$  van ongeventileerde luchtlagen die voorkomen in dubbelramen (zie 8.4.1) en voorzetramen (zie 8.4.2) wordt berekend volgens NBN EN ISO 10077-1 (Bijlage C).

## 8.4.5 U-waarde van vensters met gesloten luiken

### 8.4.5.1 Algemeen

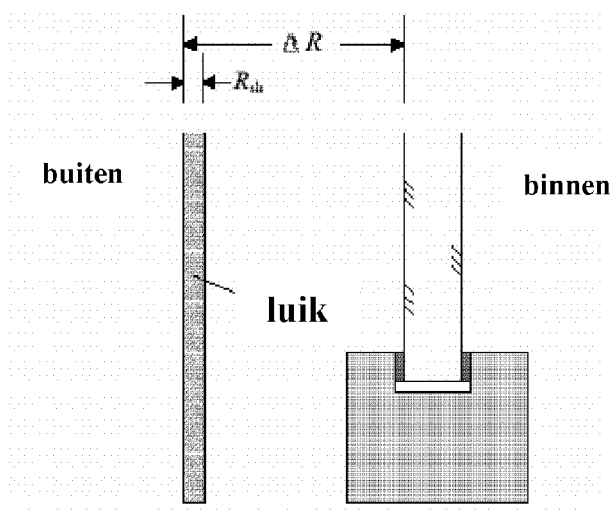
Gesloten luiken aan de buitenzijde van een venster creëren een bijkomende warmteweerstand ( $\Delta R$ ) die de som is van de warmteweerstand van het luik zelf ( $R_{sh}$ ) en van de luchtlaag tussen luik en venster ( $R_s$ ) (zie Figuur 16).

De totale warmteweerstand  $U_{ws}$  van de combinatie van venster en gesloten luik, wordt gegeven door:

$$U_{ws} = \frac{1}{\frac{1}{U_w} + \Delta R} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (19)$$

waarin:

- $U_w$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: U-waarde van het venster, berekend volgens (16);
- $\Delta R$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: bijkomende warmteweerstand, bepaald volgens 8.4.5.2.



Figuur 16 – Venster met gesloten luik

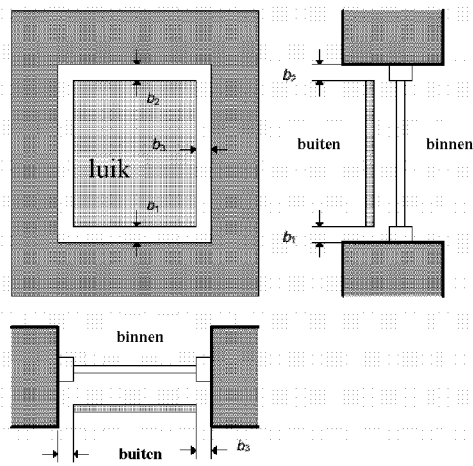
De extra warmteweerstand wordt in rekening gebracht bij de berekening van het K-peil en het E-peil overeenkomstig de regel beschreven in paragraaf 7.7.2 van bijlage I van het EPB-besluit. Voor de evaluatie van de  $U_{max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt de bijkomende warmteweerstand niet beschouwd.

### 8.4.5.2 Bijkomende warmteweerstand bij gesloten luiken

De bijkomende warmteweerstand  $\Delta R$  die in rekening gebracht moet worden om het effect van gesloten luiken te begroten, wordt bepaald in functie van de luchtdoorlaatbaarheid van de gebruikte luiken.

Hiertoe worden 5 klassen van luchtdoorlaatbaarheid vastgelegd volgens de criteria uit Tabel 3 en de definities in Figuur 17.

NOTA Voor zonneschermen, jaloezieën, persiënnes, venetianen, ... die bestaan uit textielstoffen of die opgebouwd zijn uit lamellen of andere soepele of plooibare materialen en die geplaatst kunnen worden aan de buiten- of de binnenzijde van vensters of die geïntegreerd zijn in een meervoudige beglazing, worden de voorwaarden van de klassen van luchtdoorlaatbaarheid, evenals de hiermee overeenstemmende  $\Delta R$ -waarden opgegeven in NBN EN 13125. Deze norm geeft eveneens rekenmethodes voor blinden die bedekt zijn met een laag met lage emissiviteit.



Figuur 17 – Karakteristieken van luchtspleten rond gesloten luiken

De criteria inzake luchtdoorlaatbaarheid worden uitgedrukt door  $b_{sh}$ , die gedefinieerd is als de totale effectieve spleetopening tussen de randen van het luik en de dagopening van het venster:

$$b_{sh} = b_1 + b_2 + b_3 \text{ [mm]}$$

Hierin zijn  $b_1$ ,  $b_2$  en  $b_3$  de gemiddelde spleetopeningen aan de onderzijde, de bovenzijde en de zijkant van het luik (zie Figuur 17).

De spleetopening aan de zijkant van het luik ( $b_3$ ) wordt slechts 1 maal meegeteld omdat de spleetopeningen bovenaan en onderaan een grotere invloed hebben.

Klasse	Luchtdoorlaatbaarheid van het luik in gesloten toestand	$b_{sh}$ (mm)	$\Delta R$ (m <sup>2</sup> K/W) (1)
1	Zeer grote luchtdoorlaatbaarheid	$35 < b_{sh}$	0,08
2	Grote luchtdoorlaatbaarheid (luik zelf luchtdicht)	$15 < b_{sh} \leq 35$	$0,25 \cdot R_{sh} + 0,09$
3	Gemiddelde luchtdoorlaatbaarheid (luik zelf luchtdicht)	$8 < b_{sh} \leq 15$	$0,55 \cdot R_{sh} + 0,11$
4	Kleine luchtdoorlaatbaarheid (luik zelf luchtdicht)	$b_{sh} \leq 8$	$0,80 \cdot R_{sh} + 0,14$
5	Zeer kleine luchtdoorlaatbaarheid (luik zelf luchtdicht)	$b_{sh} \leq 3$ en $b_1 + b_3 = 0$ of $b_2 + b_3 = 0$ (2) (3)	$0,95 \cdot R_{sh} + 0,17$
(1)	Waarden van $\Delta R$ zijn geldig voor $R_{sh} < 0,3$ m <sup>2</sup> K/W ( $R_{sh}$ is de warmteweerstand van het luik zelf, bepaald volgens hoofdstuk 6 indien van toepassing, volgens NBN EN ISO 10211 in het geval van een luik met heterogene samenstelling of volgens NBN EN ISO 10077-2 in het geval van een geprofileerd element). Voor niet gekende luiken : neem $R_{sh} = 0$ m <sup>2</sup> K/W.		
(2)	Bedoeld wordt dat dichtingstrippen aanwezig zijn rond minstens 3 zijden van het luik (of rolluik) en dat de overblijvende zijde een spleetopening heeft van maximaal 3 mm		
(3)	Klasse 5 (zeer kleine luchtdoorlaatbaarheid) kan ook aangenomen worden indien een meting van de luchtstroom doorheen het gesloten luik een resultaat heeft dat niet groter is dan 10 m <sup>3</sup> /h.m <sup>2</sup> (bij 10 Pa drukverschil – test volgens NBN EN 12835). Bijkomende voorwaarden voor klasse 5 kunnen per type van luik gevonden worden in NBN EN 13125.		

Tabel 3 – Bijkomende warmteweerstand van de luchtlaag en het gesloten luik

### 8.5 Vereenvoudigde bepaling van de U-waarde van vensters

Voor een geheel van vensters met eenzelfde type van beglazing, raamprofiel, vulpaneel en ventilatioerooster en die in hetzelfde gebouw geplaatst zijn, kan eenzelfde gemiddelde  $U_w$ -waarde ( $U_{w,T}$ ) aangenomen worden, die rekening houdt met een vaste oppervlakteverhouding tussen beglazing en raamprofiel evenals met een vaste omtrek van de glasrand of afstandshouder

Deze  $U_{w,T}$ -waarde wordt, naargelang de verhouding van de U-waarde van de beglazing tot deze van het raamprofiel, berekend volgens uitdrukking (20) of (21):

	aandeel glas en raamprofiel	aandeel ventilatierooster	aandeel vulpaneel	
$U_g \leq U_r$	$U_{w,T} = 0,7.U_g + 0,3.U_r + 3.\Psi_g$	$+ \Sigma A_r.(U_r - U_g) / \Sigma A_{wd}$	$+ \Sigma A_p.(U_p - U_g) / \Sigma A_{wd}$	[W/m <sup>2</sup> K] ( 20 )
$U_g > U_r$	$U_{w,T} = 0,8.U_g + 0,2.U_r + 3.\Psi_g$	$+ \Sigma A_r.(U_r - U_r) / \Sigma A_{wd}$	$+ \Sigma A_p.(U_p - U_r) / \Sigma A_{wd}$	[W/m <sup>2</sup> K] ( 21 )

waarin:

- $U_g$  [W/m<sup>2</sup>K] : warmtedoorgangscoefficiënt van de beglazing (zie 9.1);
- $U_r$  [W/m<sup>2</sup>K] : warmtedoorgangscoefficiënt van het raamprofiel (zie 9.2);
- $\Psi_g$  [W/m.K]: lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (zie 9.5)
- $U_r$  [W/m<sup>2</sup>K]: warmtedoorgangscoefficiënt van het ventilatierooster (zie 9.4);
- $\Sigma A_r$  [m<sup>2</sup>]: totale oppervlakte van de aanwezige ventilatieroosters;
- $U_p$  [W/m<sup>2</sup>K] : warmtedoorgangscoefficiënt van het vulpaneel (zie 9.3);
- $\Sigma A_p$  [m<sup>2</sup>]: totale oppervlakte van de aanwezige vulpanelen;
- $\Sigma A_{wd}$  [m<sup>2</sup>]: totale oppervlakte van de vensters (bepaald op basis van de oppervlaktes van de dagopeningen).

NOTA 1 In eenzelfde gebouw kunnen meerdere gehelen van vensters gedefinieerd worden. Indien voor één van deze gehelen gekozen wordt om de hiervoor uitgelegde vereenvoudigde bepaling ( $U_{w,T}$ ) toe te passen, dan dient deze methode consequent toegepast te worden voor alle andere gehelen van vensters.

NOTA 2 Indien bij de bepaling van  $U_{w,T}$ , sommige componenten lichte dimensionele afwijkingen vertonen (bijvoorbeeld een afwijkende breedte van een raamprofiel), dan mag, vereenvoudigd, voor deze componenten eenzelfde U-waarde gebruikt worden op voorwaarde dat de meest ongunstige waarde (de grootste) aangenomen wordt. De corresponderende  $\psi$ -waarde moet dan bepaald zijn op basis van deze U-waarde.

## 8.6 Waarden bij ontstentenis voor opake deuren en poorten

Voor deuren en poorten met eenvoudige geometrische karakteristieken en die uitgevoerd zijn met materialen waarvan de verhouding van hun warmtegeleidbaarheden ( $\lambda$ -waarden) niet groter is dan 1:5 (nagels en schroeven uitgezonderd), kan de  $U_p$ -waarde (van het deurblad) berekend worden volgens uitdrukking (7), waarbij de corresponderende  $R_1$ -waarde naargelang de opbouw berekend is volgens de uitdrukkingen (2) of (3). Het is steeds toegelaten voor opake deuren en poorten te rekenen met de waarde bij ontstentenis van Tabel 4.

	Niet-geïsoleerde deuren of poorten		Geïsoleerde deuren of poorten (1)	
	in metaal	andere materialen	in metaal	andere materialen
$U_p$ [W/m <sup>2</sup> K]	6,0	4,0	5,0	3,0

(1) minstens 70% van de totale deuropervlakte voorzien van een isolatie met  $R_{min} = 0,4 \text{ m}^2\text{K/W}$

Tabel 4 –Waarde bij ontstentenis voor  $U_p$  voor opake deuren en poorten

## 9. Warmtedoorgangscoefficiënt van componenten van vensters en deuren

### 9.1 Warmtedoorgangscoefficiënt van beglazingen

De warmtedoorgangscoefficiënt van het centrale gedeelte van een beglazing ( $U_g$ -waarde) wordt bepaald overeenkomstig NBN EN 673, NBN EN 674 of NBN EN 675.

### 9.2 Warmtedoorgangscoefficiënt van raamprofielen

#### 9.2.1 Algemene bepaling

De warmtedoorgangscoefficiënt van een raamprofiel ( $U_f$ ) kan bepaald worden uitgaande van:

- profondervindelijke bepaling overeenkomstig NBN EN 12412-2;
- de numerieke berekeningswijze vermeld in NBN EN ISO 10077-2;
- de vereenvoudigde tabelwaarden van bijlage D.

#### 9.2.2 Bepaling van de $U_f$ -waarde van raamprofielen in dakvensters

In het geval van dakvensters dient de  $U$ -waarde van het raamprofiel ( $U_f$ ) als volgt bepaald te worden:

- profondervindelijke bepaling overeenkomstig NBN EN 12412-2;
- numerieke berekening volgens NBN EN ISO 10077-2;
- de vereenvoudigde tabelwaarden van bijlage D, mits onderstaande omrekening gebeurt.

Voor dakvensters kunnen de  $U_f$ -rekenwaarden uit de tabellen van bijlage D niet rechtstreeks gebruikt worden, omdat deze tabellen enkel geldig zijn voor raamprofielen die verticaal geplaatst zijn (met  $R_{si} = 0,13$ ). Voor de horizontale of hellend geplaatste dakvensters (onder een hoek begrepen tussen  $0^\circ$  en  $60^\circ$ ), is  $R_{si} = 0,10$  (volgens Tabel 1) en kan benaderend de volgende correctie toegepast worden:

$$U_{f,r} = \frac{1}{\frac{1}{U_f} - 0,03} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (22)$$

met :

- $U_{f,r}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de gecorrigeerde  $U_f$ -waarde van het raamprofiel in het dakvenster;
- $U_f$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de vereenvoudigde  $U_f$ -waarde van het raamprofiel bepaald volgens de tabelwaarden uit bijlage D.

NOTA De volgens (22) bepaalde  $U_{f,r}$ -waarden liggen 5 à 18% hoger dan de  $U_f$ -waarden van verticaal geplaatste raamprofielen.

### 9.3 Warmtedoorgangscoefficiënt van ondoorschijnende vulpanelen ( $U_p$ )

Wanneer ondoorschijnende vulpanelen bestaan uit parellele lagen (bv. twee panelen uit glas, kunststof of metaal, waartussen zich een isolatiemateriaal bevindt), dan kan de warmtedoorgangscoefficiënt ( $U_p$ ) van het centraal gedeelte van het vulelement berekend worden volgens hoofdstukken 6 en 7.

Voor meer ingewikkelde geometrieën kan de warmtedoorgangscoefficiënt berekend worden volgens NBN EN ISO 10211.

### 9.4 Warmtedoorgangscoefficiënt van ventilatieroosters ( $U_r$ )

Ventilatieroosters die ingewerkt zijn in een venster of die rond (d.w.z. op, onder of naast) een raamprofiel geplaatst zijn, worden bij de bepaling van de  $U_w$ -waarde van het venster volgens 8.3 en 8.5 beschouwd als constructief en thermisch behorend tot het venster.

De warmtedoorgangscoefficiënt ( $U_r$ ) van een (afsluitbaar) ventilatierooster wordt als volgt bepaald :

- profondervindelijk volgens NBN EN 12412-2,

- of berekend volgens NBN EN ISO 10077-2;

Bij de bepaling van de U-waarde wordt bij conventie het ventilatierooster in gesloten stand beschouwd.

Als waarde bij ontstentenis geldt:

$$U_r = 6,0 \text{ W/m}^2\text{K (alle roosters)}$$

De met de  $U_r$ -waarde overeenstemmende roosteroppervlakte ( $A_r$ ) is bepaald als de geprojecteerde zichtbare oppervlakte van het in of rond het venster geplaatste rooster. Zoals hiervoor aangegeven maakt de roosteroppervlakte  $A_r$  deel uit van de totale vensteroppervlakte  $A_w$ , zelfs indien het rooster rond het venster is geplaatst.

### 9.5 Lineaire warmtedoorgangscoefficienten ( $\Psi$ -waarden)

De lineaire warmtedoorgangscoefficienten (-waarden) van de onderlinge aansluitingen tussen raamprofielen, raamstijlen, beglazingen, vulpanelen en ventilatieroosters, kunnen nauwkeurig bepaald worden uitgaande van een numerieke berekening volgens NBN EN ISO 10077-2 of een proef volgens NBN EN 12412-2.

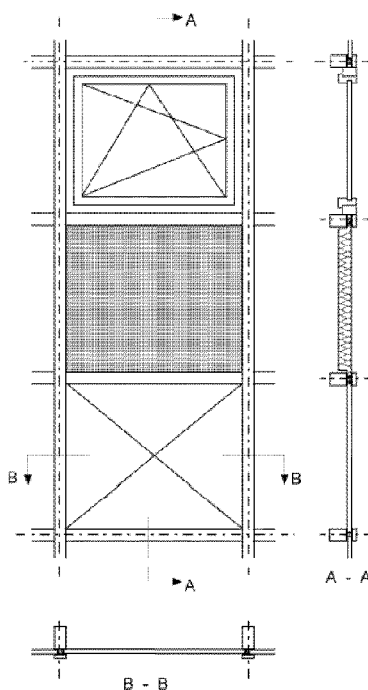
Voor de aansluiting tussen beglazing en raamprofiel mogen de  $\Psi$ -waarden ook de waarden bij ontstentenis gebruikt worden die vermeld zijn in de tabellen van bijlage E.

In het geval van ondoorschijnende vulpanelen die thermisch overbrugd worden aan de randen van het paneel door een minder isolerende afstandshouder, dient de  $\Psi$ -waarde op dezelfde wijze berekend te worden als voor een beglazing. In het tegengestelde geval mag  $\Psi_p$  gelijkgesteld worden aan 0.

## 10. Warmtedoorgangscoefficiënt van lichte gevels

### 10.1 Algemeen

Lichte gevels, ook gordijngevels genoemd, bestaan uit een combinatie van beglazingen, profielen en ondoorschijnende vulpanelen en die als één module geassembleerd zijn in een afzonderlijk kader. Een voorbeeld van een dergelijke constructie is gegeven in Figuur 18.



Figuur 18 – Module van een lichte gevel (gordijngevel)

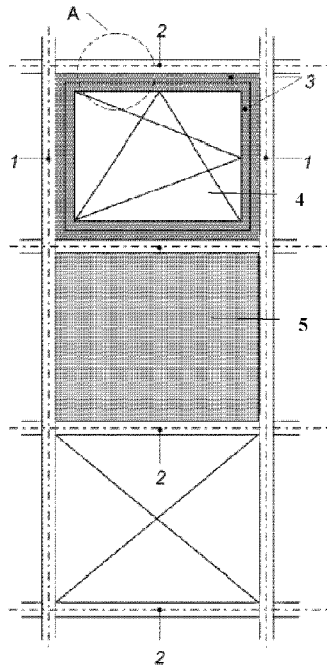
Door het gebruik van de vele mogelijke materialen die op diverse wijzen met elkaar verbonden kunnen zijn, is het risico op aanwezigheid van koudebruggen in deze lichte gevels zeer groot. De bepaling van de warmtedoorgangscoefficiënt van deze gevels dient dan ook rekening te houden met de invloed van de koudebruggen die niet alleen optreden ter hoogte van de onderlinge aansluitingen tussen beglazing, vulpanelen en raamprofielen, maar eveneens ter hoogte van de onderlinge aansluitingen tussen de modules zelf. In de volgende hoofdstukken worden de mogelijke bepalingsmethodes verder uitgelegd.

### 10.2 Constructieve eigenschappen van lichte gevels

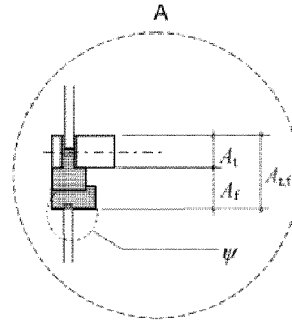
#### 10.2.1 Samenstellende delen en randvoorwaarden

De samenstellende delen van een module van een lichte gevel zijn schematisch voorgesteld in Figuur 19.





- 1 : verticale raamstijl
- 2 : horizontale raamstijl
- 3 : vast kader en opengaande vleugel
- 4 : beglazing
- 5 : isolerend ondoorschijnend vulpaneel

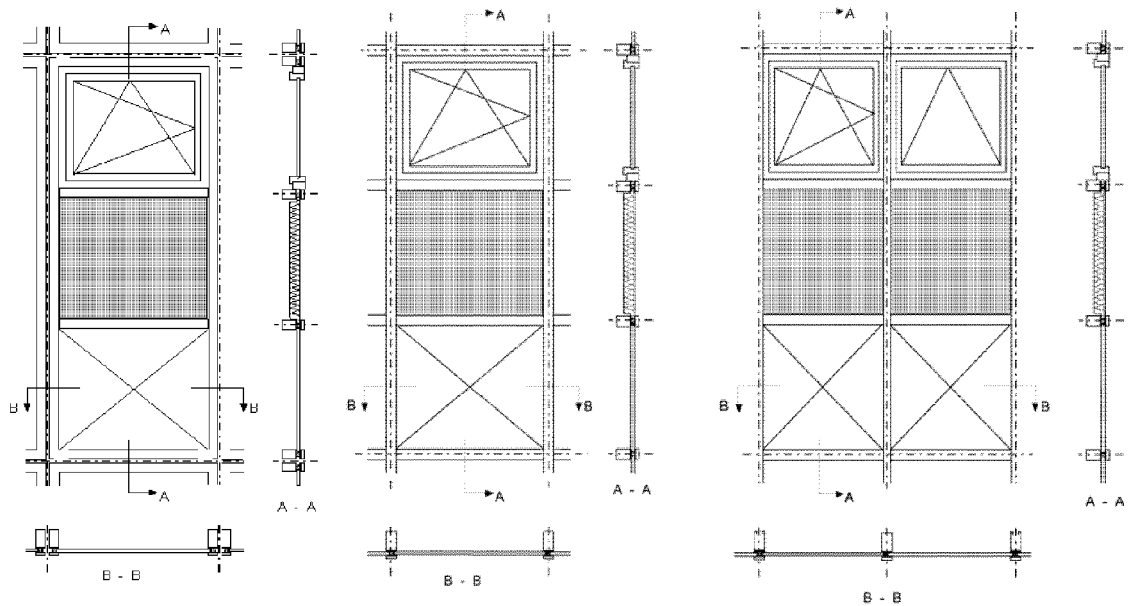


Doorsnede A

- $A_t$  (m<sup>2</sup>) : geprojecteerde oppervlakte van de horizontale raamstijl
- $A_f$  (m<sup>2</sup>) : geprojecteerde oppervlakte van het profiel

**Figuur 19 – Samenstellende delen van een gordijngevel**

De afbakening van de scheidingslijnen tussen verschillende modules van een lichte gevel hangt af van het soort of type van lichte gevel, zoals voorgesteld in Figuur 20.



Type 1

Type 2

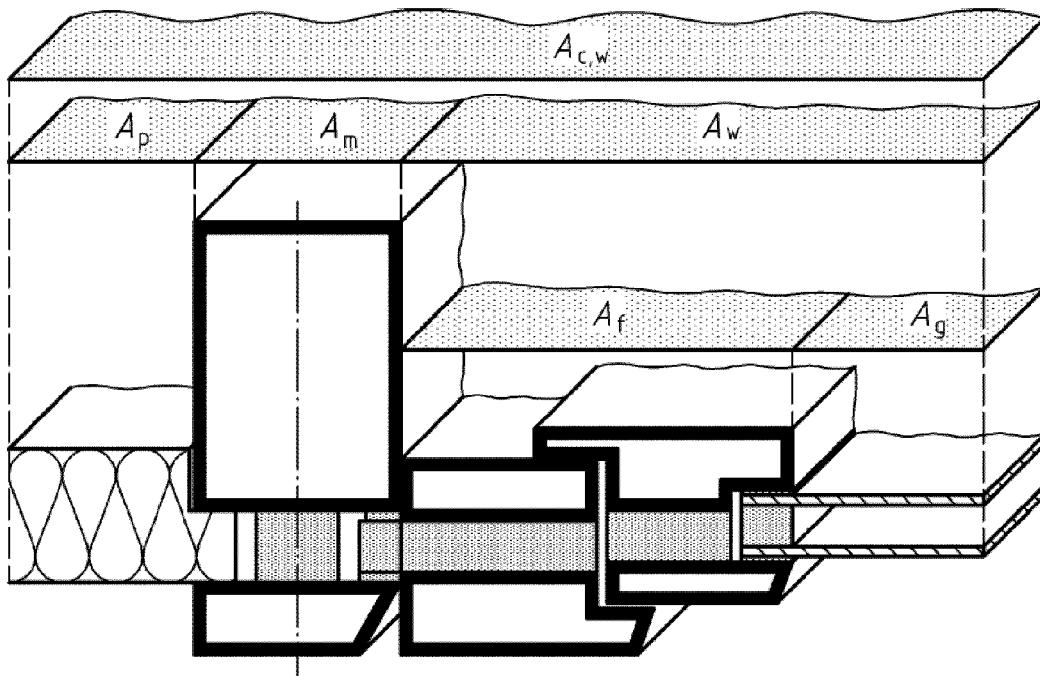
Type 1 & 2 gecombineerd

**Figuur 20 – Afbakening van de oppervlaktes van modules in een lichte gevel**

### 10.2.2 Definitie van oppervlaktes en perimeter

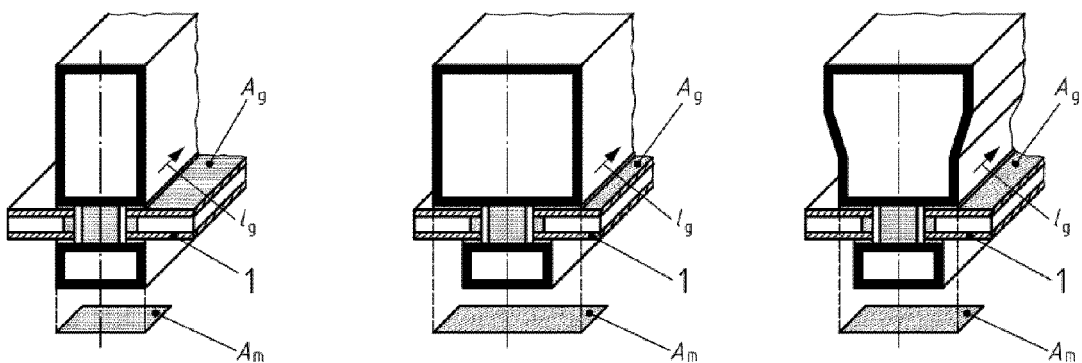
Voor elke module van een lichte gevel worden de in rekening te brengen oppervlaktes van alle samenstellende delen (beglazing, vleugel, vast kader, paneel, horizontale en verticale raamstijlen) bepaald als de geprojecteerde oppervlaktes, zoals schematisch weergegeven in Figuur 21. Deze oppervlaktes kunnen verschillen naargelang zij bepaald worden gezien van de buitenzijde of de binnenzijde. Daarom gelden de volgende conventies:

- voor beglazing en vulpaneel wordt de kleinste oppervlakte, gezien van beide zijden, weerhouden;
- voor alle andere delen (kader, raamstijlen) wordt de grootste oppervlakte, gezien van beide zijden, in rekening gebracht.



Figuur 21 – Illustratie van geprojecteerde en ontwikkelde oppervlaktes bij lichte gevels

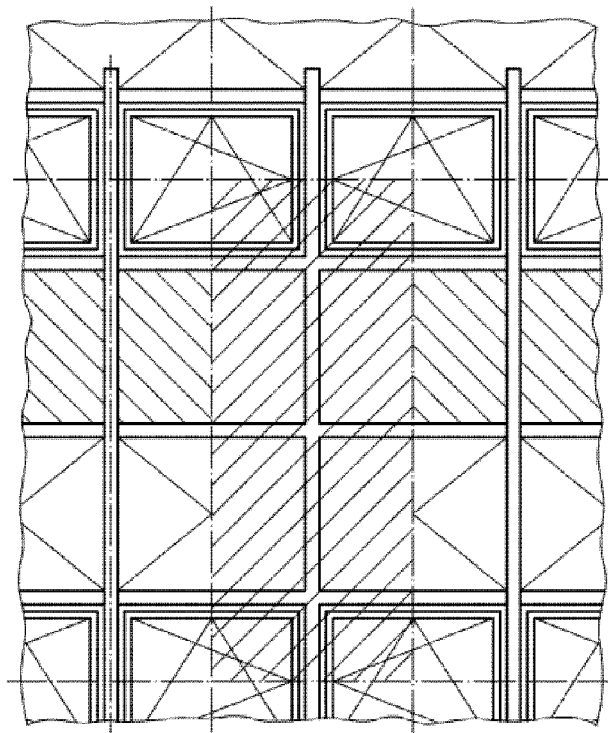
Indien de perimeter van een beglazing,  $l_g$ , of van een vulpaneel,  $l_p$ , verschillend is aan de binnenzijde en de buitenzijde, wordt de perimeter gedefinieerd als de grenslijn tussen de oppervlaktes (zie hierboven) van het glas en van het profiel (zie figuur 22).



Figuur 22 – Illustratie van glasoppervlakte en perimeter (1: glas)

### 10.2.3 Regels voor modellering

Meestal kunnen bij de modellering of de onderverdeling van een lichte gevel de snijvlakken zodanig aangebracht worden dat geveldelen ontstaan waarvoor een aparte U-waarde kan bepaald worden. In dat geval kan de globale  $U_{cw}$ -waarde van de gehele lichte gevel bepaald worden als de oppervlakte-gewogen gemiddelde U-waarde van alle aparte geveldelen. De thermische kenmerken van elk geveldel kunnen ofwel nauwkeurig bepaald zijn via metingen of numerieke berekeningen, ofwel vereenvoudigd gekozen worden uit tabelwaarden of grafieken.



**Figuur 23 – Modellering van een volledige module van een lichte gevel**

Algemeen kan gesteld worden dat de modules van lichte gevels meestal een vrij complexe samenstelling hebben, waarbij de centrale delen dikwijls onderling verbonden zijn door verbindingselementen die een hoge warmtegeleidbaarheid hebben. Hierdoor kunnen belangrijke koudebruggen ontstaan die de totale warmteoverdracht in belangrijke mate kunnen doen toenemen. Bij de modellering van de modules dienen daarom de snijvlakken en de randvoorwaarden zorgvuldig gekozen te worden. In Figuur 23 wordt bijvoorbeeld getoond hoe de snijvlakken van het model gelegen zijn op de symmetrievlakken (midden van beglazing, ...) of de plaatsen waar zo weinig mogelijk of geen randeffecten optreden die de warmtestroom kunnen beïnvloeden.

### 10.3 Nauwkeurige bepaling van de $U_{cw}$ -waarde van een module van een lichte gevel

#### 10.3.1 Principe van de nauwkeurige numerieke rekenmethode

De nauwkeurige bepaling van de  $U_{cw}$ -waarde gebeurt:

- ofwel door proeven volgens NBN EN ISO 12567-1;
- ofwel door nauwkeurige numerieke berekeningen volgens NBN EN ISO 10211 en NBN EN ISO 10077-2, waarbij  $U_{cw}$  bepaald is als een gewogen gemiddelde U-waarde van alle deelcomponenten

in de module, met inbegrip van alle randeffecten (koudebruggen) die optreden in de verbindingselementen tussen deze componenten :

- de U-waarde van het centrale deel van de beglazing ( $U_g$ ) zoals gedeclareerd door de fabrikant en bepaald volgens NBN EN 673, NBN EN 674 of NBN EN 675;
- de U-waarde van het centrale deel van de ondoorschijnende panelen ( $U_p$ ) wordt berekend volgens hoofdstukken 6 en 7;
- de warmtestroom die optreedt in de verbindingselementen tussen de componenten, met inbegrip van alle randeffecten t.g.v. koudebrugwerking, wordt bepaald volgens de rekenregels uit 10.3.2.

NOTA De nauwkeurige bepalingmethode kan zonder beperking gebruikt worden voor alle types van lichte gevels.

### 10.3.2 Bepaling van de warmteoverdrachtsstroom door de verbindingselementen

#### 10.3.2.1 Algemeen

De onderlinge aansluitingen tussen de deelcomponenten (beglazing, vulpaneel) veroorzaken bijkomende verliezen ten gevolge van randeffecten (koudebruggen). Deze extra verliezen worden bepaald:

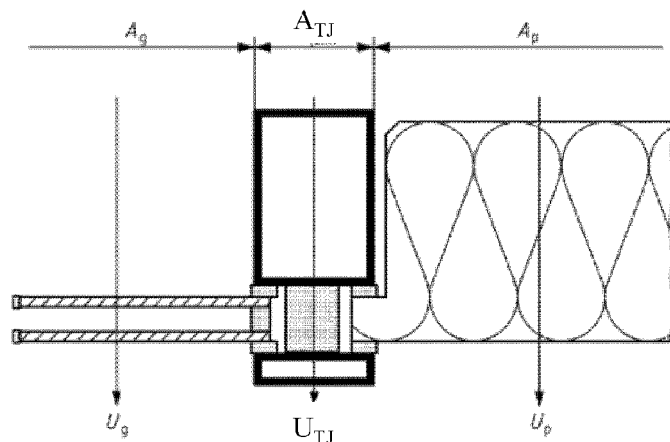
- ofwel op basis van proeven volgens NBN EN ISO 12567-1;
- ofwel op basis van 2D- en/of 3D-numerieke berekeningen volgens NBN EN ISO 10077-2 en/of NBN EN ISO 10211.

Bij het uitvoeren van de numerieke rekenmethode kan de totale warmteoverdrachtsstroom doorheen de verbindingselementen ( $\Phi_{TJ}$ ), met inbegrip van alle randeffecten, volgens twee verschillende manieren berekend worden:

- ofwel wordt het verbindingselement tussen beglazing en vulpaneel als een apart gevelement beschouwd (met eigen oppervlakte en eigen U-waarde); in dat geval wordt een  $U_{TJ}$  berekend volgens de rekenwijze uit 10.3.2.2;
- ofwel wordt het verbindingselement tussen beglazing en vulpaneel als een lineaire koudebrug beschouwd (met eigen lengte en eigen  $\Psi$ -waarde); in dat geval wordt een  $\Psi_{TJ}$  bepaald volgens de rekenwijze uit 10.3.2.3.

De bepaling van  $U_{cw}$  geschiedt tenslotte volgens de formules die gegeven zijn in 10.3.3.

#### 10.3.2.2 Bepaling van $U_{TJ}$ (verbinding beschouwd als gevelement met eigen oppervlakte)



Figuur 24 – Verbinding beschouwd als gevelement met eigen oppervlakte

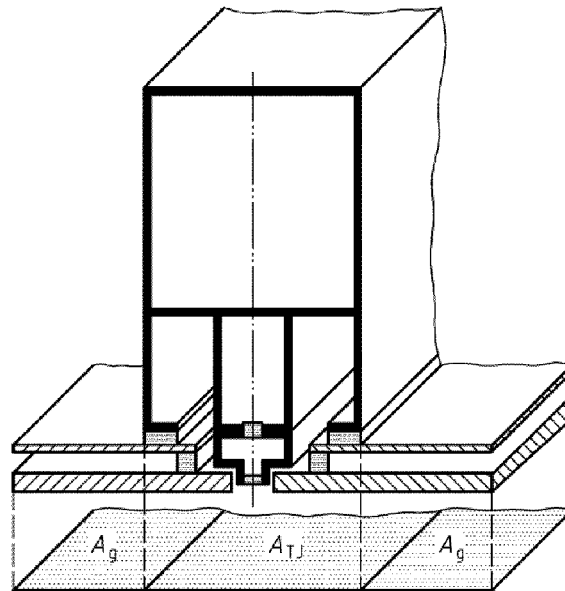
In dit geval geldt het rekenmodel van Figuur 24. Voor beglazing en vulpaneel zijn zowel de oppervlakten ( $A_g$  en  $A_p$ ) als de centrale U-waarden ( $U_g$  en  $U_p$ ) gekend. De verbinding tussen beglazing en paneel wordt als gevelement beschouwd met een gekende eigen geprojecteerde oppervlakte ( $A_{TJ}$ ) en een onbekende (te zoeken) eigen U-waarde ( $U_{TJ}$ ). Op basis van de totale warmteoverdrachtsstroom ( $\Phi_{tot}$ ) doorheen het volledige model (numeriek berekend) volgt  $U_{TJ}$  uit:

$$U_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g + U_p \cdot A_p) \cdot \Delta T)}{A_{TJ} \cdot \Delta T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (23)$$

waarin:  $\Delta T$  [K] : temperatuurverschil tussen de binnen- en de buitenomgeving.

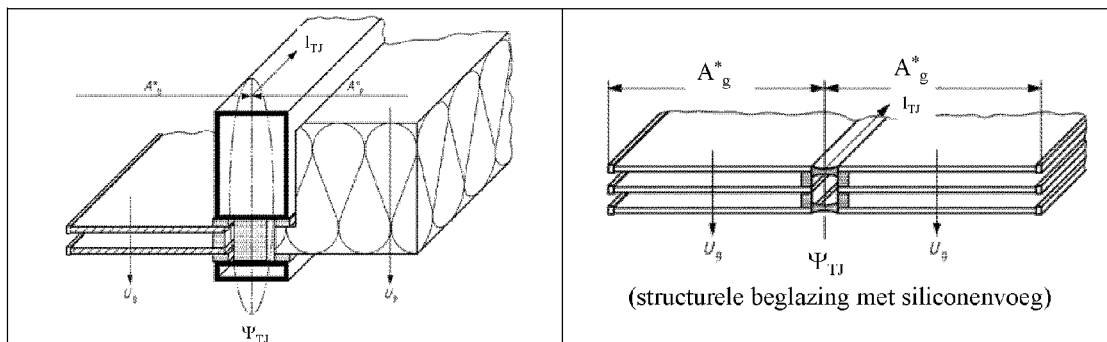
NOTA 1  $U_{TJ}$  bepaalt de warmtestroom door de verbinding met inbegrip van alle randeffecten (interactie tussen profiel en beglazing of vulpaneel) van het beschouwde model. Deze  $U_{TJ}$ -waarde is dus niet vergelijkbaar met  $U_f$  (profiel), die enkel de warmtestroom door het verbindingsprofiel bepaalt zonder rekening te houden met deze randeffecten.

NOTA 2 Bij de numerieke berekening wordt de oppervlakte  $A_{TJ}$  bepaald als de grootste van de geprojecteerde oppervlakten van het geheel van de verbindingselementen gelegen tussen de beglazing en het vulpaneel, zoals getoond in figuur 25.



Figuur 25 – Bepaling van  $A_{TJ}$  bij structurele beglazing

### 10.3.2 Bepaling van $\Psi_{TJ}$ (verbinding beschouwd als lineaire koudebrug)



Figuur 26 – Verbindingen beschouwd als lineaire koudebrug

In dit geval geldt het rekenmodel van Figuur 26. Voor de beglazingen en/of vulpanelen zijn zowel de equivalente oppervlakten ( $A_g^*$  en/of  $A_p^*$ ) als de centrale U-waarden ( $U_g$  en/of  $U_p$ ) gekend. De verbinding tussen beglazingen en/of panelen wordt als een lineaire koudebrug beschouwd met een gekende eigen lengte ( $l_{TJ}$  bepaald als de lengte van de thermische verbinding tussen de vulpanelen en/of de beglazingen) en een onbekende (te zoeken) eigen  $\Psi$ -waarde ( $\Psi_{TJ}$ ). Op basis van de totale numeriek berekende warmteoverdrachtsstroom ( $\Phi_{tot}$ ) wordt  $\Psi_{TJ}$  als volgt berekend:

$$\Psi_{TJ} = \frac{\Phi_{tot} - ((U_g \cdot A_g^* + U_p \cdot A_p^*) \cdot \Delta T)}{l_{TJ} \cdot \Delta T} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (24)$$

### 10.3.3 Bepaling van $U_{cw}$

$U_{cw}$  wordt tenslotte berekend als een oppervlaktegewogen gemiddelde U-waarde.

Indien de verbinding tussen de componenten als een apart geveldeel beschouwd is, dan volgt  $U_{cw}$  uit:

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g \cdot U_g + \sum A_p \cdot U_p + \sum A_{TJ} \cdot U_{TJ}}{\sum A_g + \sum A_p + \sum A_{TJ}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (25)$$

Indien de verbinding tussen de componenten als een koudebrug is behandeld, dan volgt  $U_{cw}$  uit:

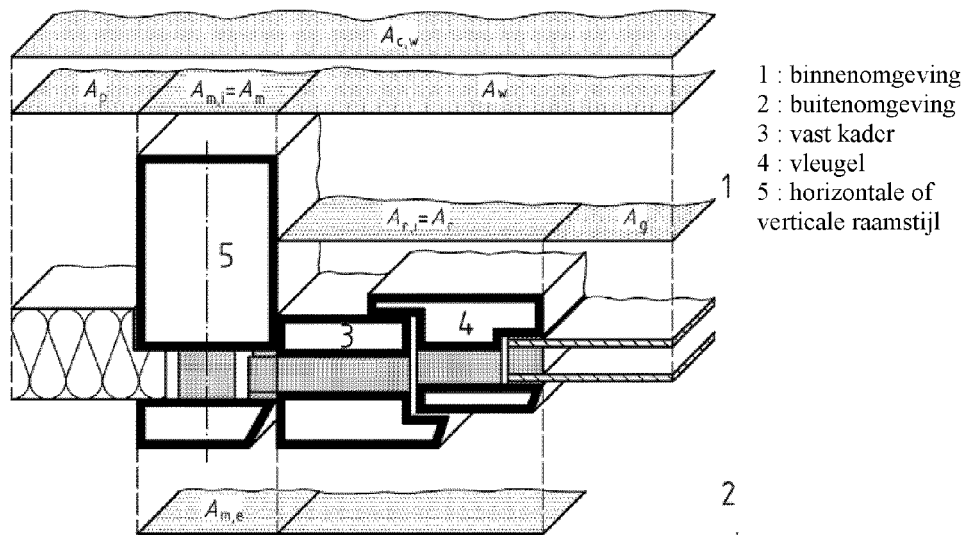
$$U_{cw} = \frac{\sum A_g^* \cdot U_g + \sum A_p^* \cdot U_p + \sum l_{TJ} \cdot \Psi_{TJ}}{A_{cw}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (26)$$

## 10.4 Bepaling van de $U_{cw}$ -waarde (componentenmethode)

### 10.4.1 Principe van de bepalingsmethode

Bij de bepaling van de totale  $U_{cw}$ -waarde van een module van een lichte gevel volgens deze componentenmethode, wordt een oppervlakte-gewogen gemiddelde U-waarde berekend van alle deelcomponenten van de module (beglazing, vulpanelen, profielen en raamstijlen), waarbij de randeffecten van de onderlinge aansluitingen tussen deze delen als koudebruggen zijn toegevoegd, d.w.z. begroot door het product van een lengte en een lineaire warmteovergangscoefficiënt ( $\Psi$ -waarde).

### 10.4.2 Algemene bepaling van $U_{cw}$



Figuur 27 - Opsplitsing van de module in deelcomponenten met eigen oppervlakte en U-waarde

De warmtedoorgangscoefficiënt van een module van een lichte gevel ( $U_{cw}$ ) wordt berekend volgens :

$$U_{cw} = \frac{\sum A_g U_g + \sum A_p U_p + \sum A_f U_f + \sum A_{m(i)} U_{m(i)} + \sum l_g \cdot \Psi_{f,g} + \sum l_p \cdot \Psi_{f,p} + \sum l_{m(i),g} \cdot \Psi_{m(i),g} + \sum l_{m(i),f} \cdot \Psi_{m(i),f}}{A_{cw}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (27)$$

waarin:

- $U_g, U_p$  [W/m<sup>2</sup>K] : warmtedoorgangscoefficiënten van resp. beglazing en ondoorschijnende vulpanelen, bepaald volgens 10.4.3;
- $U_f, U_m, U_t$  [W/m<sup>2</sup>K] : warmtedoorgangscoefficiënten van resp. de profielen en de verticale en horizontale raamstijlen, bepaald volgens 10.4.4;
- $A_g, A_p, A_f, A_m, A_t$  [m<sup>2</sup>] : de geprojecteerde oppervlaktes van resp. beglazingen, ondoorschijnende panelen, profielen en de verticale en horizontale raamstijlen, bepaald volgens 10.2.2;
- $A_{cw}$  [m<sup>2</sup>] : de totale oppervlakte van de module van de lichte gevel, bepaald als de som van de samenstellende delen van de module  $A_{cw} = A_g + A_p + A_f + A_m + A_t$ ;
- $\Psi_{f,g}, \Psi_{f,p}$  [W/mK] : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënten ten gevolge van de onderlinge randeffecten (lineaire koudebruggen) tussen beglazingen en profielen en tussen panelen en profielen, bepaald volgens 10.4.5;
- $\Psi_{m,f}, \Psi_{t,f}$  [W/mK] : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënten ten gevolge van de randeffecten (lineaire koudebruggen) tussen de profielen (vast kader) en de horizontale en/of verticale raamstijlen, bepaald volgens 10.4.5;
- $\Psi_{m,g}, \Psi_{t,g}$  [W/mK] : de lineaire warmtedoorgangscoefficiënten ten gevolge van de randeffecten (lineaire koudebruggen) tussen de beglazingen en de horizontale en/of verticale raamstijlen, bepaald volgens 10.4.5;
- $l_g, l_p, l_{m,f}, l_{t,f}, l_{m,g}, l_{t,g}$  [m] : de omtrekken van de corresponderende lineaire koudebruggen van de onderlinge aansluitingen van beglazingen, vulpanelen, profielen en horizontale en verticale raamstijlen.

#### 10.4.3 U-waarde van beglazing en vulpaneel

##### 10.4.3.1 Beglazing

Zie 9.1.

### 10.4.3.2 Vulpaneel

Zie 9.3.

### 10.4.4 U-waarde van profielen en raamstijlen

De warmtedoorgangscoefficiënt van de profielen ( $U_f$ ) wordt bepaald volgens de principes van 9.2.

De warmtedoorgangscoefficienten van de horizontale of verticale raamstijlen ( $U_t$  of  $U_m$ ) worden als volgt bepaald:

- o proefondervindelijke bepaling overeenkomstig NBN EN 12412-2;
- o de numerieke berekeningswijze vermeld in NBN EN ISO 10077-2.

NOTA De numerieke berekening van NBN EN ISO 10077-2 houdt geen rekening met de randeffecten van metalen verbindingen (schroeven) in de raamstijlen. De punt-koudebruggen ( $\chi$ -waarden) die door deze verbindingen veroorzaakt worden kunnen nauwkeurig berekend worden door een numerieke 3D-koudebrugberekening volgens NBN EN ISO 10211 of volgen uit een vergelijkende proef (een proef met schroeven in metaal en een tweede proef met schroeven in kunststof) volgens NBN EN 12412-2.

In Bijlage C van NBN EN 13947 wordt voor profielsystemen een speciale rekenmethode gegeven om het effect van schroefverbindingen te kunnen evalueren op basis van een 2D-numerieke berekening met aangepaste modellering en randvoorwaarden. Vereenvoudigd kan het effect van deze verbindingen bepaald worden door de gewone U-waarde van het profiel ( $U_{m0}$  of  $U_{t0}$ , numeriek berekend volgens NBN EN ISO 10077-2, zonder inrekening van het effect van schroeven) te vermeerderen met een correctieterm  $\Delta U$ :

$$U_{m(t)} = U_{m(t)0} + \Delta U \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (28)$$

In het geval van roestvrij stalen schroeven is een waarde bij ontstentenis voor deze correctieterm  $\Delta U$  gegeven in Tabel 5, mits voldaan is aan de vermelde voorwaarden.

Diameter roestvrij stalen verbinding (schroef)	Onderlinge afstand tussen de verbindingen	$\Delta U$ (W/m <sup>2</sup> K)
≤ 6 mm	200 – 300 mm	0,3

Tabel 5 -  $\Delta U$ -waarden voor horizontale en verticale raamstijlen

### 10.4.5 Lineaire warmtedoorgangscoefficienten (beglazingen, profielen en raamstijlen)

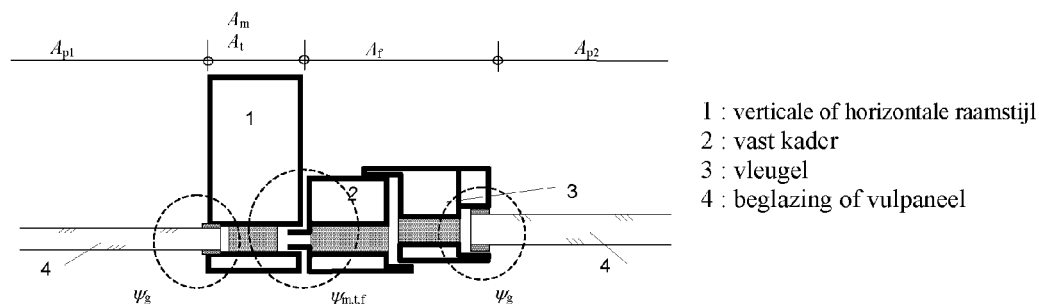
De lineaire warmtedoorgangscoefficienten van de onderlinge aansluitingen tussen beglazingen of vulpanelen, afstandshouders en profielen ( $\Psi_{t,g}$  en  $\Psi_{t,p}$ ), kunnen bepaald worden uitgaande van:

- o een numerieke berekening volgens NBN EN ISO 10077-2 (nauwkeurige berekening);
- o de waarden bij ontstentenis vermeld in Tabellen E.2 en E.4 van Bijlage E.

De interactie of de extra warmteoverdracht die veroorzaakt wordt door de aansluitingen van een beglazing of een vulpaneel op de horizontale en verticale raamstijlen, zoals getoond in Figuur 28, kan geëvalueerd worden door specifieke lineaire warmtedoorgangscoefficienten ( $\psi_{m,f}$  en  $\psi_{t,f}$  of  $\psi_{m,g}$  en  $\psi_{t,g}$ ). Deze waarde kan bepaald worden, uitgaande van:

- o een numerieke berekening volgens NBN EN ISO 10077-2 (nauwkeurige berekening);
- o de waarden bij ontstentenis vermeld in Tabel E.3, tabel E.5 en Tabel E.6 van Bijlage E.





Figuur 28 – Aansluiting van een module van lichte gevel op een verticale of horizontale raamstijl

### 10.5 Bepaling van de $U_{cw}$ -waarde voor een lichte gevel opgebouwd uit modules

De berekening van de totale warmtedoorgangscoefficiënt ( $U_{cw,tot}$ ) van een lichte gevel, opgebouwd uit verschillende modules met verschillende vormen en afmetingen, kan berekend worden volgens:

$$U_{cw,tot} = \frac{\sum (U_{cw,i} \cdot A_{cw,i})}{\sum A_{cw,i}} \quad [W/m^2K] \quad (29)$$

met:

- $U_{cw,i}$  : U-waarden van de verschillende modules ( $W/m^2K$ )
- $A_{cw,i}$  : oppervlakten van de verschillende modules ( $m^2$ )

## 11. Warmtedoorgangscoefficiënt van andere doorschijnende wanden

### 11.1 Glasbouwsteenwanden

#### 11.1.1 Algemene procedure

Bij de berekening van de warmtedoorgangscoefficiënt van een glasbouwsteenwand moet het ganse bouwelement beschouwd worden. In voorkomend geval moet dus ook het effect van voegen (zoals bij metselwerk, zie bijlage G.3.1), profielen (zoals bij vensters) of andere elementen ingerekend worden.

De warmtedoorgangscoefficiënt van een glasbouwsteen op zich wordt bepaald op één van de volgende manieren:

- o.b.v. proeven volgens NBN EN ISO 12567-1;
- o.b.v. numerieke berekeningen volgens NBN EN ISO 10211 en/of NBN EN 673;
- o.b.v. vereenvoudigde berekeningen volgens EN 1051-2.

Er mag ook steeds gerekend worden met de waarde bij ontstentenis die gelijk is aan  $5,7 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

## 12. Warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie in gebouwen<sup>3</sup>

### 12.1 Totale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie

De totale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie ( $H_T$ ), is bepaald door :

$$H_T = H_D + H_g + H_U \quad [\text{W/K}] \quad (30)$$

met:

- $H_D$  [W/K] : de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen de gebouwschil en direct naar de buitenomgeving, bepaald volgens 13;
- $H_g$  [W/K] : de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie via de grond en via onverwarmde kelders en kruipruimten in contact met de grond, bepaald volgens 15;
- $H_U$  [W/K] : de warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving via aangrenzende onverwarmde ruimten, bepaald volgens 14.

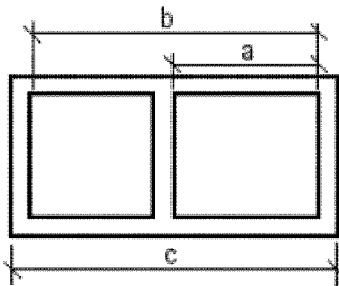
### 12.2 Algemene conventies

#### 12.2.1 Afbakening van gebouwdelen

Het deel van het gebouw (beschermd volume, aangrenzende onverwarmde ruimte, energiesector, ...) waarvoor de warmteoverdrachtscoëfficiënt moet berekend worden, moet eenduidig gedefinieerd zijn.

#### 12.2.2 Bepaling van de oppervlakten

##### 12.2.2.1 Oppervlaktebepaling van buitenwanden



Legende:

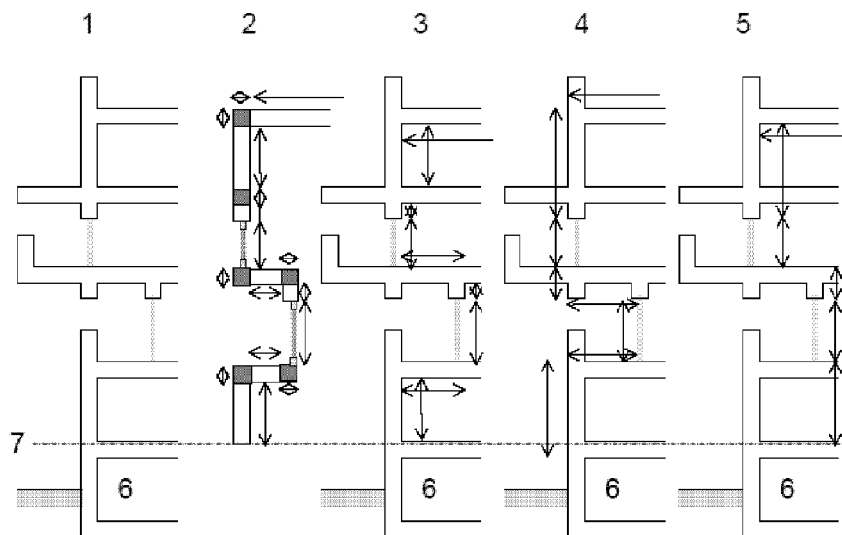
- a Binnenafmeting
- b Volledige binnenafmeting
- c Buitenafmeting

Figuur 29 – Systemen van oppervlaktebepaling

Voor de berekening van de oppervlakten van de schil-elementen van een gebouw (d.w.z. de scheidingsconstructies die het beschermd volume van een gebouw scheiden van de buitenomgeving, de grond en aangrenzende onverwarmde ruimten), dienen buitenafmetingen gebruikt te worden (afmeting c uit Figuur 29 en geïllustreerd in Figuur 30), zodat de volledige gebouwschil als een gesloten omhullende oppervlakte kan beschouwd worden. Voor vensters en deuren worden daarbij de afmetingen van de dagopening (gezien van buiten) als afmetingen aangenomen.

Deze methode dient consistent gebruikt te worden bij alle berekeningen die de thermische prestaties van gebouwen betreffen (warmteverliezen, energiebehoeften, ...).

<sup>3</sup> Onder “gebouw” wordt eveneens verstaan “deel van een gebouw” indien de berekening hierop van toepassing is.



1 : realiteit – 2 : bouwdelen – 3 : binnenafmetingen – 4 : buitenafmetingen – 5 : volledige binnenafmetingen –  
6 : onverwarmde ruimte – 7 : afbakening grondverliezen

Figuur 30 – Systemen van afmetingen

#### 12.2.2.2 Oppervlakteberekening van scheidingsconstructies binnen een beschermd volume of tussen 2 beschermde volumes

De oppervlakten van alle scheidingsconstructies binnen een beschermd volume of tussen 2 beschermde volumes worden bepaald op basis van binnenafmetingen (afmeting a in figuur 29).

#### 12.2.2.3 Oppervlakteberekening van gebogen bouwelementen

Voor gebogen bouwelementen (tondaken, gebogen muren, ...) wordt de reële (= ontwikkelde) oppervlakte in rekening gebracht, tenzij andere specifieke voorwaarden gelden.

#### 12.2.3 Bepaling van volumes

Het volume van een gebouw of deel ervan wordt bepaald op basis van buitenafmetingen, met inbegrip van het volume van de binnenwanden. Gemeenschappelijk wanden tussen twee beschermde volumes behoren voor de helft tot het ene en voor de helft tot het andere beschermde volume.

### 13. Warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie direct naar de buitenomgeving ( $H_D$ )

De warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie rechtstreeks doorheen de scheidingsconstructies naar de buitenomgeving ( $H_D$ ), kan ingerekend worden op één van de volgende manieren naar keuze:

- De driedimensionale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie ( $H_D^{3D}$ ) kan volgens de richtlijnen van NBN EN ISO 13789 en NBN EN ISO 10211 rechtstreeks berekend worden op basis van een gevalideerde 3D-computerberekening, waarbij alle invloeden van eventueel aanwezige koudebruggen inbegrepen zijn. In dit geval geldt:

$$H_D = H_D^{3D} \quad [\text{W/K}] \quad (31)$$

- De tweedimensionale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie ( $H_D^{2D}$ ) kan volgens de richtlijnen van NBN EN ISO 10211 berekend worden, waarbij de koudebruggen ingerekend worden m.b.v. de lineaire  $\psi$ -waarden en/of punt- $\chi$ -waarden. In dit geval geldt:

$$H_D = H_D^{2D} = \sum_{i=1}^n U_i \cdot A_i + \sum_{k=1}^m l_k \cdot \Psi_k + \sum_{l=1}^r \chi_l \quad [\text{W/K}] \quad (32)$$

met:

- $A_i$  [ $\text{m}^2$ ]: oppervlakte van bouwelement  $i$  van de gebouwschil, bepaald met buitenafmetingen;
- $U_i$  [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]:  $U$ -waarde van bouwelement  $i$  van de gebouwschil;
- $l_k$  [ $\text{m}$ ]: lengte van de aanwezige lineaire koudebrug  $k$ , bepaald met buitenafmetingen;
- $\Psi_k$  [ $\text{W}/\text{mK}$ ]: lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van de lineaire koudebrug  $k$ ;
- $\chi_l$  [ $\text{W}/\text{K}$ ]: punt-warmtedoorgangscoefficiënt van de punt koudebrug  $l$ .

Hierbij dient gesommeerd te worden over alle schildelen  $i$ . Ook dient er gesommeerd te worden over alle lijnkoudebruggen  $k$  en alle puntkoudebruggen  $l$  die aanwezig zijn in het deel van het verliesoppervlak waarvoor  $H_D$  berekend wordt, in zoverre ze nog niet bij de bepaling van de  $U_i$ -waarde van de constructieonderdelen ingerekend werden.

Voor de behandeling van koudebruggen wordt verwezen naar artikel 5 en bijlage IV van het EPB-besluit.

## 14. Warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving via aangrenzende onverwarmde ruimten ( $H_U$ )

De rekenmethode in deze paragraaf is van toepassing op bovengrondse ruimten. Voor kruipkelders en onverwarmde kelders wordt verwezen naar hoofdstuk 15.

De warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving via aangrenzende onverwarmde ruimten  $H_U$  (bedoeld zijn hier de ruimten waarvan de dikte van de luchtlaag groter is dan 0,3 m), kan nauwkeurig berekend worden door een warmtebalans te maken tussen enerzijds de verliezen tussen de verwarmde ruimte en de aangrenzende onverwarmde ruimte en anderzijds tussen de aangrenzende onverwarmde ruimte en de buitenomgeving.

Deze worden bepaald volgens:

$$H_U = H_{iu} \cdot b \quad [\text{W/K}] \quad (33)$$

met:

$$b = \frac{H_{ue}}{H_{iu} + H_{ue}} \quad [-] \quad (34)$$

- $H_{iu}$  [W/K] : de directe warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie tussen de verwarmde en de aangrenzende onverwarmde ruimte, berekend volgens:

$$H_{iu} = H_{T,iu} + H_{V,iu} \quad [\text{W/K}] \quad (35)$$

Waarin :  $H_{T,iu}$  [W/K] : warmteoverdracht door transmissie  
 $H_{V,iu}$  [W/K] : warmteoverdracht door ventilatie, berekend volgens:

$$H_{V,iu} = \rho \cdot c \cdot V_{iu} \quad [\text{W/K}] \quad (36)$$

Waarin:  $\rho$  [kg/m<sup>3</sup>] : de dichtheid van lucht;  
 $c$  [Wh/kg.K] : de soortelijke warmtecapaciteit van lucht;  
 $V_{iu}$  [m<sup>3</sup>/h] : het luchtdebiet door ventilatie tussen de verwarmde ruimte en de aangrenzende onverwarmde ruimte. In het kader van de energieprestatieregeling wordt dit debiet bij conventie gelijk gesteld aan nul.

- $H_{ue}$  [W/K] : de warmtetransmissiecoëfficiënt tussen de aangrenzende onverwarmde ruimte en de buitenomgeving, berekend volgens:

$$H_{ue} = H_{T,ue} + H_{V,ue} \quad [\text{W/K}] \quad (37)$$

met:  $H_{T,ue}$  [W/K] : warmteoverdracht door transmissie  
 $H_{V,ue}$  [W/K] : warmteoverdracht door ventilatie, berekend volgens:

$$H_{V,ue} = \rho \cdot c \cdot V_{ue} \quad [\text{W/K}] \quad (38)$$

Het ventilatiedebiet tussen de aangrenzende onverwarmde ruimte en de buitenomgeving wordt berekend volgens:

$$V_{ue} = n_{ue} \cdot V_u \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (39)$$

met:

- $V_u$  [m<sup>3</sup>] : het volume van de aangrenzende onverwarmde ruimte;
- $n_{ue}$  [h<sup>-1</sup>] : het conventionele ventilatievoud van de aangrenzende onverwarmde ruimte, te bepalen voor het best overeenkomende geval uit tabel 6.

Type	Beschrijving luchtdichtheid van de aangrenzende onverwarmde ruimte	$n_{ue}$ ( $h^{-1}$ )
1	Geen deuren of vensters, alle aansluitingen tussen bouwdelen luchtdicht, geen ventilatieopeningen	0,1
2	Alle aansluitingen tussen bouwdelen luchtdicht, geen ventilatieopeningen	0,5
3	Alle aansluitingen tussen bouwdelen luchtdicht, kleine ventilatieopeningen voorzien	1
4	Niet luchtdicht omwille van plaatselijke ondichtheden of permanente ventilatieopeningen	3
5	Niet luchtdicht omwille van talrijke ondichtheden of grote of talrijke ventilatieopeningen	10

**Tabel 6 – Conventioneel ventilatievoud tussen aangrenzende onverwarmde ruimte en buitenomgeving**

- NOTA 1        Het product ( $\rho.c$ ) wordt conventioneel gelijk genomen aan :  $\rho.c = 0,34 \text{ Wh/m}^3.K$   
NOTA 2        De warmteoverdracht door de grond is niet begrepen in  $H_{iu}$  of  $H_{ue}$  en wordt apart berekend in de term  $H_g$  van uitdrukking (30).

Voor de evaluatie van de  $U_{max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt de gecombineerde waarde  $b.U_i$  beschouwd, waarbij voor  $b$  de waarde bij winteromstandigheden wordt genomen.

## 15. Warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie via de grond ( $H_g$ )

### 15.1 Algemeen

De transmissieverliezen doorheen het grondmassief worden bepaald door verschillende factoren:

- de driedimensionale geometrie van het gebouw, de funderingsaansluitingen en de bodem;
- de warmtegeleidbaarheid van de grond (afhankelijk van grondsamenstelling en vochtgehalte);
- eventuele grondwaterbewegingen;
- enz.

In het kader van de energieprestatieregelgeving wordt steeds met stationaire verliezen gerekend.

De Europese normen bieden een aantal rekenmethodes aan. Deze worden in bijlage F beschreven. In aanvulling daarop worden in 15.2 een aantal vereenvoudigde methoden beschreven.

### 15.2 Vereenvoudigde rekenmethodes van de grondverliezen

#### 15.2.1 Vloeren in direct contact met de grond

De warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving via de grond ( $H_g$ ), kunnen voor vloeren in direct contact met de grond (vloeren op volle grond, keldervloeren) vereenvoudigd bepaald worden door:

$$H_g = \sum_{i=1}^n U_{eq,f,i} \cdot A_i \cdot a_i \quad [\text{W/K}] \quad (40)$$

waarin:

- $U_{eq,f,i}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de equivalente U-waarde van vloerdeel  $i$  bepaald volgens:

$$U_{eq,f,i} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{f,i}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (41)$$

met:  $R_{si}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: de warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak (= 0,17)  
 $\sum R_{f,i}$  [ $\text{m}^2\text{K/W}$ ]: de totale warmteweerstand van alle bouwlagen van vloerdeel  $i$  berekend volgens hoofdstuk 6 (van binnenoppervlak tot het contactoppervlak met de grond, dus zonder overgangsweerstanden)

- $A_i$  [ $\text{m}^2$ ]: de oppervlakte van vloerdeel  $i$  (bepaald met buitenafmetingen);
- $a_i$  [-]: temperatuurreductiefactor voor vloerdeel  $i$  bepaald door:

$$a_i = \frac{1}{U_{eq,f,i} + 1} \quad [-] \quad (42)$$

Bij de berekening van  $H_g$  dient gesommeerd te worden over alle vloerdelen  $i$  met verschillende samenstelling die in direct contact zijn met de volle grond.

Voor de evaluatie van de  $U_{max}$ -cis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt de gecombineerde waarde  $a_i \cdot U_{eq,f,i}$  beschouwd.

#### 15.2.2 Bouwelementen in contact met onverwarmde kruipruimten en kelders (vloeren, muren, deuren, ...)

De warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie naar de buitenomgeving via de onverwarmde kruipruimten en kelders ( $H_g$ ), kunnen voor vloeren die zich boven deze ruimten bevinden, vereenvoudigd bepaald worden m.b.v. een temperatuurreductiefactor ( $b_{t,i}$ ):

$$H_g = \sum_{i=1}^n U_{eq,f,i} \cdot A_i \cdot b_{t,i} \quad [\text{W/K}] \quad (43)$$

waarin:

- $U_{eq,f,i}$  [ $\text{W/m}^2\text{K}$ ]: de equivalente U-waarde van vloerdeel  $i$  bepaald volgens:



$$U_{eq,f,i} = \frac{1}{R_{si} + \sum R_{f,i} + R_{se}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}] \quad (44)$$

met:  $R_{si}$  [m<sup>2</sup>K/W] : de warmteovergangswaarde aan het binnenoppervlak (= 0,17)  
 $\sum R_{f,i}$  [m<sup>2</sup>K/W] : de totale warmteovergangswaarde van alle bouwlagen van vloerdeel i berekend volgens hoofdstuk 6 (van het binnenoppervlak tot het contactoppervlak met de kruipruimte of de kelder, dus zonder overgangswaarden)

- $A_i$  [m<sup>2</sup>] : de oppervlakte van vloerdeel i (bepaald met buitenafmetingen);
- $b_{U,i}$  [-] : de temperatuurreductiefactor van vloerdeel i zoals bepaald in Tabel 7.

<b>Onverwarmde kelder of kruipruimte</b>	<b><math>b_U</math> (-)</b>
<b>Kelderruimte (minstens 70% van de buitenwanden in contact met de grond)</b>	
zonder buitenvenster of buitendeur	0,5
met buitenvenster of buitendeur	0,8
<b>Kruipruimten <sup>(1)</sup></b>	
sterk geventileerd ( $n_{ve} \geq 1 \text{ h}^{-1}$ )	1,0
niet of zwak geventileerd ( $n_{ve} < 1 \text{ h}^{-1}$ )	0,8
<b>(1)</b> conventionele waarden van het ventilatievoud ( $n_{ve}$ ) volgens Tabel 6	

**Tabel 7 – Waarden bij ontstentenis van de temperatuurreductiefactor  $b_U$**

Voor de evaluatie van de  $U_{max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt de gecombineerde waarde  $b_{U,i} \cdot U_{eq,f,i}$  beschouwd.

### 15.2.3 Ingegraven muren

De vereenvoudigde methode volgt de procedure voor 'Keldermuren' in bijlage F.2.4, waarbij als vereenvoudiging bij conventie mag worden aangenomen dat  $R_f = 1 \text{ m}^2\text{K/W}$ .

## 16. Peil van globale warmte-isolatie (K-peil)

In deze paragraaf kan de term "gebouw" zowel betrekking hebben op "het gebouw in zijn geheel" als op "een deel van een gebouw". Een deel van een gebouw kan bij wijze van voorbeeld zijn: een uitbreiding, een gedeeltelijke herbouw, een industriële hall waarvoor een aparte K-peil eis geldt, ...

### 16.1 Volumecompactheid van een gebouw

De volumecompactheid van een gebouw wordt gegeven door de verhouding van het volume tot de verliesoppervlakte:

$$C = \frac{V}{A_T} \quad [\text{m}] \quad (45)$$

waarin:

- $V [\text{m}^3]$  : het volume van het gebouw op basis van de buitenafmetingen, bepaald volgens 12.2.3;
- $A_T [\text{m}^2]$  : de totale verliesoppervlakte van het gebouw op basis van de buitenafmetingen, bepaald volgens 12.2.2.

### 16.2 Gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van een gebouw

De gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt  $U_m$  van een gebouw is de verhouding van de totale warmteoverdrachtscoefficient tot de verliesoppervlakte:

$$U_m = \frac{H_T}{A_T} \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (46)$$

waarin:

- $H_T [\text{W}/\text{K}]$  : de warmteoverdrachtscoefficient van het gebouw, berekend volgens 12.1;
- $A_T [\text{m}^2]$  : de totale verliesoppervlakte van het gebouw op basis van de buitenafmetingen, bepaald volgens 12.2.2.

Voor  $H_T$  wordt de waarde bij winteromstandigheden beschouwd.

### 16.3 Peil van globale warmte-isolatie (K-peil)

Het peil van de globale warmte-isolatie van een gebouw wordt gegeven door de verhouding van de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt tot een referentiewaarde, vermenigvuldigd met 100:

$$K = 100 \frac{U_m}{U_{m,ref}} \quad (47)$$

waarin:

- $U_m [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  : de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt van het gebouw, berekend volgens 16.2;
- $U_{m,ref} [\text{W}/\text{m}^2\text{K}]$  : de referentiewaarde voor de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt, zoals hieronder vastgelegd.

De volgens (47) gevonden waarde dient afgerond te worden tot op een geheel getal, waarbij naar boven wordt afgerond wanneer het deel na de komma van de volgens (47) gevonden waarde exact gelijk is aan een half. In de communicatie laat men het getal voorafgaan door de hoofdletter K.

De referentiewaarde voor de gemiddelde warmtedoorgangscoefficiënt  $U_{m,ref}$  wordt bepaald als volgt:

$$\text{Voor } C \leq 1 \text{ m:} \quad U_{m,ref} = 1 \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (48)$$

$$\text{Voor } 1 \text{ m} < C < 4 \text{ m:} \quad U_{m,ref} = (C + 2)/3 \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (49)$$

$$\text{Voor } 4 \text{ m} \leq C: \quad U_{m,ref} = 2 \quad [\text{W}/\text{m}^2\text{K}] \quad (50)$$

Hierin is C de volumecompactheid (m) zoals gedefinieerd in 16.1.

## BIJLAGE A. Bepaling van de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda$ -waarde) van bouwmaterialen

### A.1 Algemeen

Algemeen kan de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda$ -waarde) van een bouw materiaal gedefinieerd worden als de hoeveelheid warmte per eenheid van oppervlakte die in stationaire omstandigheden per tijdseenheid, per eenheid van lengte en per eenheid van temperatuurverschil door dat materiaal gaat.

Als rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid wordt die waarde gebruikt waarbij rekening gehouden wordt met de te verwachten temperatuur en vochtgehalte in het materiaal. Zo worden afhankelijk van de binnen- of de buitenomstandigheden de volgende rekenwaarden gedefinieerd:

- De  $\lambda_{U_i}$ -waarde stemt overeen met de binnenomstandigheden en moet gebruikt worden voor materialen in binnenwanden en in buitenwanden in zoverre deze noch door regenindringing, noch door blijvende inwendige- of oppervlaktecondensatie, noch door opstijgend grondvocht nat kunnen worden. De  $\lambda_{U_i}$ -waarde mag niet gebruikt worden voor materialen die dampdicht ingebouwd worden en die vocht kunnen bevatten (bv. bouwvocht of neerslagwater).
- De  $\lambda_{U_e}$ -waarde stemt overeen met de buitenomstandigheden en moet worden gebruikt voor alle materialen in buitenwanden, die door regeninslag, blijvende inwendige- of oppervlaktecondensatie of door opstijgend grondvocht nat kunnen worden. De  $\lambda_{U_e}$ -waarde moet eveneens gebruikt worden voor dampdicht ingebouwde materialen die tijdens de uitvoering nat zijn.

Voor isolatieproducten en producten waarvoor de  $\lambda$ -waarde een belangrijke eigenschap is, worden de  $\lambda_{U_i}$ -rekenwaarden bepaald uitgaande van de gedeclareerde waarde  $\lambda_D$  van het specifieke product. De  $\lambda_D$ -waarde wordt geconverteerd naar  $\lambda_{U_i}$ -rekenwaarden om rekening te houden met de vochtcondities waarin het materiaal en/of product gebruikt wordt.

De **gedeclareerde waarde ( $\lambda_D$  of  $R_D$ )** wordt bepaald volgens de principes die aangegeven zijn in NBN EN ISO 10456 en waarbij de volgende voorwaarden gelden:

- gemeten waarden in condities met een gegeven referentietemperatuur en –vochtigheid, vastgelegd in deze tekst bij 10°C en gemeten volgens de meetmethodes van NBN EN 1934, NBN EN ISO 8990, NBN EN 12664, NBN EN 12667 of NBN EN 12939 (ISO 8301, ISO 8302);
- gegeven met een fractiel met een vertrouwensniveau vastgelegd in deze tekst op 90/90 (m.a.w. met een betrouwbaarheid van 90 % wordt gesteld dat 90 % van de productie een  $\lambda$ -waarde heeft die kleiner of gelijk is aan de gedeclareerde waarde);
- overeenkomend met een redelijke levensduur, in normale omstandigheden. Hierbij zal het proefstuk voorafgaand aan de meting geconditioneerd worden zoals in de overeenkomstige technische specificatie is aangegeven.

De gedeclareerde  $\lambda_D$ - of  $R_D$ -waarden, berekend met inachtneming van de hoger vermelde voorwaarden, worden door de fabrikant verklaard op basis van de NBN EN-productnorm of een ETA (European Technical Approval / Europese technische goedkeuring), voor zover beschikbaar en gepubliceerd. In andere gevallen kan de Waalse regering bijkomende specificaties vastleggen.

Bij de bepaling van de gedeclareerde waarde van elementen van metselwerk dient in aanvulling op het voorgaande ook rekening gehouden te worden met NBN EN 1745.

De **rekenwaarde van de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda_{U_i}$ )** wordt afgeleid uit de gedeclareerde waarde ( $\lambda_D$ ) waarbij de volgende condities aangenomen worden:

- $\lambda_{U_i}$  (of  $R_{U_i}$ ) = binnentoepassing: gebaseerd op de gemeten  $\lambda_D$ -waarden bij 10°C,  $U_{dry}$  en geconverteerd naar een gebruiksconditie  $U_{23,50}$  (= evenwichtsvochtgehalte bij 23°C en een relatieve vochtigheid van 50 %); voor de conversie wordt gerekend met de formule  $\lambda_{U_i} = \lambda_D * e^{f_{u_1}(u_2-u_1)}$  of  $\lambda_{U_i} = \lambda_D * e^{f_{\psi}(\psi_2-\psi_1)}$  zoals vermeld in NBN EN ISO 10456 en de  $f_{u_1}$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ -waarden (in kg/kg) of de  $f_{\psi}$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ -waarden (in m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) zoals vermeld in NBN EN 12524.

- $\lambda_{Ue}$  (of  $R_{Ue}$ ) = buitentoepassing: gebaseerd op de gemeten  $\lambda_D$ -waarden bij 10°C,  $U_{dry}$  en geconverteerd naar een gebruiksconditie  $U$  overeenstemmend met 75 % van het kritisch verzadigingsgetal bij 20°C; voor de conversie wordt gerekend met de formule  $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_u(u_2-u_1)}$  of  $\lambda_U = \lambda_D * e^{f_\psi(\psi_2-\psi_1)}$  zoals vermeld in NBN EN ISO 10456 en de  $f_u$ ,  $u_1$ ,  $u_2$ -waarden (in kg/kg) of de  $f_\psi$ ,  $\psi_1$ ,  $\psi_2$ -waarden (in m<sup>3</sup>/m<sup>3</sup>) zoals vermeld in NBN EN 12524 (voor houtachtige materialen).  
De vochtgehalten ( $u$  en  $\psi$ ) en de conversiewaarden ( $f_u$  en  $f_\psi$ ) voor steenachtige materialen zijn opgenomen in tabel C.1 (Bijlage C).

De rekenwaarden  $\lambda_U$ - of  $R_U$ -waarden worden berekend met inachtneming van de hoger vermelde condities. De Waalse regering kan ev. bijkomende specificaties vastleggen. In de tabellen hieronder worden voor diverse materialen rekenwaarden bij ontstentenis gegeven.

Opmerking: Voor de isolatieproducten van dezelfde materialen als diegene die vermeld zijn in tabel A.14 leidt de toepassing van bovenstaande regels tot het resultaat dat de  $\lambda_{U1}$ -waarde (voor binnentoepassing) gelijk is aan de  $\lambda_D$ -waarde, omdat  $u_1=u_2$  en  $\psi_2=\psi_1$ .

De  $\lambda_U$ -waarde bij ontstentenis van elementen van metselwerk (bakstenen, betonblokken, ...) worden gegeven in de tabellen A.3 tot A.8. Voor een metselwerk dient ook de invloed van de voegen ingerekend te worden (zie NOTA 1). Wanneer de voegen echter op geen enkel punt meer dan 3 mm dik zijn en geen wapening bevatten (meestal het geval bij gelijkmd metselwerk), mag de invloed van de voegen buiten beschouwing worden gelaten en mag voor het metselwerk met de  $\lambda_U$ -waarde van de elementen worden gerekend.

NOTA 1: Voor gemetselde bouwlagen (bouwblokken met mortelvoegen) dient rekening gehouden te worden met de invloed van de warmtegeleidbaarheid van de mortel die niet verwaarloosbaar is, vooral indien lichte bouwblokken gebruikt worden (zie bijlage G.3.1).

NOTA 2: Voor metselwerk opgebouwd uit **geperforeerde elementen** worden de  $\lambda_U$ -waarden van de geperforeerde bouwelementen ontleend van de tabel-waarden voor de volle stenen/blokken waarbij de volumemassa van de geperforeerde stenen/blokken in acht wordt genomen, zie bijlage G.3.2.

## A.2 Tabellen met waarden bij ontstentenis voor de warmtegeleidbaarheden van homogene of gelijkgestelde bouwmaterialen

De tabellen in deze paragraaf geven waarden bij ontstentenis die steeds gebruikt mogen worden voor de transmissieberekeningen in het kader van de energieprestatieregelgeving. Ze zijn echter niet zonder meer geldig voor het berekenen van de isolatie van technische installaties.

Metalen				
Tabel A.1 – Metalen				
Materiaal	$\lambda_{Ui}$ W/(m.K)	$\lambda_{Ue}$ W/(m.K)	Massawarmte $c$ J/(kg.K)	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Lood	35	35	130	11 300
Koper	380	380	380	8 900
Staal	50	50	450	7 800
Aluminium 99%	160	160	880	2 800
Gietijzer	50	50	450	7 500
Zink	110	110	380	7 200

## Natuursteen

**Tabel A.2 – Natuursteen**

*De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

Materiaal	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Zware steen (graniet, gneis, basalt, porfier)	3.50	3.50	$2\ 700 \leq \rho \leq 3\ 000$
“Petit granit” (blauwe steen), kalksteen	2.91	3.50	2 700
Marmer	2.91	3.50	2 800
Harde steen	2.21	2.68	2 550
Vaste steen	1.74	2.09	2 350
Halfvaste steen (o.a. breuksteen)	1.40	1.69	2 200

## Elementen van metselwerk

**Tabel A.3 - Stenen van gebakken aarde**

*De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)
$\rho \leq 700$	0.22	0.43
$700 < \rho \leq 800$	0.25	0.49
$800 < \rho \leq 900$	0.28	0.56
$900 < \rho \leq 1000$	0.32	0.63
$1000 < \rho \leq 1100$	0.35	0.70
$1100 < \rho \leq 1200$	0.39	0.77
$1200 < \rho \leq 1300$	0.42	0.84
$1300 < \rho \leq 1400$	0.47	0.93
$1400 < \rho \leq 1500$	0.51	1.00
$1500 < \rho \leq 1600$	0.55	1.09
$1600 < \rho \leq 1700$	0.60	1.19
$1700 < \rho \leq 1800$	0.65	1.28
$1800 < \rho \leq 1900$	0.71	1.40
$1900 < \rho \leq 2000$	0.76	1.49
$2000 < \rho \leq 2100$	0.81	1.61

**Tabel A.4 - Stenen/blokken van kalkzandsteen**

*De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)
$\rho \leq 900$	0.36	0.78
$900 < \rho \leq 1000$	0.37	0.81
$1000 < \rho \leq 1100$	0.40	0.87
$1100 < \rho \leq 1200$	0.45	0.97
$1200 < \rho \leq 1300$	0.51	1.11
$1300 < \rho \leq 1400$	0.57	1.24
$1400 < \rho \leq 1500$	0.66	1.43
$1500 < \rho \leq 1600$	0.76	1.65
$1600 < \rho \leq 1700$	0.87	1.89
$1700 < \rho \leq 1800$	1.00	2.19
$1800 < \rho \leq 1900$	1.14	2.49
$1900 < \rho \leq 2000$	1.30	2.84
$2000 < \rho \leq 2100$	1.49	3.25
$2100 < \rho \leq 2200$	1.70	3.71

**Tabel A.5 – Betonmetselblokken met gewone aggregaten***De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

<b>Volumemassa <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda_{U_i}</math> W/(m.K)</b>	<b><math>\lambda_{U_e}</math> W/(m.K)</b>
$\rho \leq 1600$	1.07	1.39
$1600 < \rho \leq 1700$	1.13	1.47
$1700 < \rho \leq 1800$	1.23	1.59
$1800 < \rho \leq 1900$	1.33	1.72
$1900 < \rho \leq 2000$	1.45	1.88
$2000 < \rho \leq 2100$	1.58	2.05
$2100 < \rho \leq 2200$	1.73	2.24
$2200 < \rho \leq 2300$	1.90	2.46
$2300 < \rho \leq 2400$	2.09	2.71

**Tabel A.6 - Betonstenen van geëxpandeerde klei***De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

<b>Volumemassa <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda_{U_i}</math> W/(m.K)</b>	<b><math>\lambda_{U_e}</math> W/(m.K)</b>
$\rho \leq 400$	0.14	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.18	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.21	0.28
$600 < \rho \leq 700$	0.25	0.33
$700 < \rho \leq 800$	0.30	0.39
$800 < \rho \leq 900$	0.33	0.44
$900 < \rho \leq 1000$	0.38	0.50
$1000 < \rho \leq 1100$	0.43	0.57
$1100 < \rho \leq 1200$	0.49	0.65
$1200 < \rho \leq 1300$	0.55	0.73
$1300 < \rho \leq 1400$	0.61	0.80
$1400 < \rho \leq 1500$	0.67	0.88
$1500 < \rho \leq 1600$	0.75	0.99
$1600 < \rho \leq 1700$	0.83	1.10

(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling.

**Tabel A.7 - Betonstenen met andere lichtgewicht toeslag***De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

<b>Volumemassa <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda_{U_i}</math> W/(m.K)</b>	<b><math>\lambda_{U_e}</math> W/(m.K)</b>
$\rho \leq 500$	0.30	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.33	0.43
$600 < \rho \leq 700$	0.37	0.47
$700 < \rho \leq 800$	0.41	0.52
$800 < \rho \leq 900$	0.46	0.58
$900 < \rho \leq 1000$	0.51	0.65
$1000 < \rho \leq 1100$	0.57	0.73
$1100 < \rho \leq 1200$	0.64	0.82
$1200 < \rho \leq 1300$	0.72	0.91
$1300 < \rho \leq 1400$	0.82	1.04
$1400 < \rho \leq 1500$	0.92	1.17
$1500 < \rho \leq 1600$	1.03	1.31
$1600 < \rho \leq 1800$	1.34	1.70

(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling.

**Tabel A.8 - Geautoclaveerde cellenbetonblokken***De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)*

<b>Volumemassa <math>\rho</math> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b><math>\lambda_{U_i}</math> W/(m.K)</b>	<b><math>\lambda_{U_e}</math> W/(m.K)</b>
$\rho \leq 300$	0.10	(1)
$300 < \rho \leq 400$	0.13	(1)
$400 < \rho \leq 500$	0.16	(1)
$500 < \rho \leq 600$	0.20	0.32
$600 < \rho \leq 700$	0.22	0.36
$700 < \rho \leq 800$	0.26	0.42
$800 < \rho \leq 900$	0.29	0.48
$900 < \rho \leq 1000$	0.32	0.52

(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling.

## Steenachtige bouwdelen zonder voegen (volle wanden, vloerplaten)

<b>Tabel A.9 - Zwaar normaal beton</b>			
<i>De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)</i>			
Zwaar normaal beton	$\lambda_{Ui}$ W/(m.K)	$\lambda_{Ue}$ W/(m.K)	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Gewapend	1.70	2.20	2 400
Ongewapend	1.30	1.70	2 200

<b>Tabel A.10 - Licht beton in volle platen (2) of in deklaag (beton van geëxpandeerde klei, cellenbeton, slakkenbeton, vermiculietbeton, kurkbeton, perlietbeton, polystyreenbeton, enz.)</b>		
<i>De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K).</i>		
<i>Indien voor deze producten <math>\lambda</math>-waarden vermeld worden in tabellen A.3 tot A.8, zullen deze laatste gebruikt worden.</i>		
<i>Zoniet zijn de onderstaande waarden van toepassing.</i>		
Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda_{Ui}$ W/(m.K)	$\lambda_{Ue}$ W/(m.K)
$\rho < 350$	0.12	(1)
$350 \leq \rho < 400$	0.14	(1)
$400 \leq \rho < 450$	0.15	(1)
$450 \leq \rho < 500$	0.16	(1)
$500 \leq \rho < 550$	0.17	(1)
$550 \leq \rho < 600$	0.18	(1)
$600 \leq \rho < 650$	0.20	0.31
$650 \leq \rho < 700$	0.21	0.34
$700 \leq \rho < 750$	0.22	0.36
$750 \leq \rho < 800$	0.23	0.38
$800 \leq \rho < 850$	0.24	0.40
$850 \leq \rho < 900$	0.25	0.43
$900 \leq \rho < 950$	0.27	0.45
$950 \leq \rho < 1\ 000$	0.29	0.47
$1\ 000 \leq \rho < 1\ 100$	0.32	0.52
$1\ 100 \leq \rho < 1\ 200$	0.37	0.58
(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling. (2) In de gevallen waar de platen of panelen voorzien zijn van een wapening evenwijdig aan de richting van de warmtestroom (bv. beugels, traliwapening), zal het warmteoverdracht verrekend worden in de bepaling van de U-waarde, berekend volgens NBN EN 10211.		

<b>Tabel A.11 - Gips met of zonder lichte granulaten</b>		
<i>De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)</i>		
Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda_{Ui}$ W/(m.K)	$\lambda_{Ue}$ W/(m.K)
$\rho \leq 800$	0.22	(1)
$800 < \rho \leq 1\ 100$	0.35	(1)
$1\ 100 < \rho$	0.52	(1)
(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling.		



## Bepalingen

<b>Tabel A.12 – Bepalingen</b>			
<i>De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)</i>			
Bepalingen	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)
Cementmortel	1 900	0.93	1.50
Kalkmortel	1 600	0.70	1.20
Gips	1 300	0.52	(1)

(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden, met o.a. de kans op bevochtiging door de regen, verdient over het algemeen geen aanbeveling.

## Hout en houtderivaten

<b>Tabel A.13 – Hout en houtderivaten</b>				
Materiaal	Volumemassa $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	$\lambda_{U_i}$ [W/m.K]	$\lambda_{U_e}$ [W/m.K]	c [J/kg.K]
Timmerhout van hard-, loof- en naaldhout	$\leq 600$	0.13	0.15	1880
	$> 600$	0.18	0.20	
Multiplexplaat	$< 400$	0.09	0.11	1880
	$400 \leq \rho < 600$	0.13	0.15	
	$600 \leq \rho < 850$	0.17	0.20	
	$\geq 850$	0.24	0.28	
Spaanplaat	$< 450$	0.10	(1)	1880
	$450 \leq \rho < 750$	0.14	(1)	
	$\geq 750$	0.18	(1)	
Cementgebonden vezelplaat	1200	0.23	(1)	1470
OSB-plaat (oriented strand board)	650	0.13	(1)	1880
Vezelplaat (inclusief MDF)	$< 375$	0.07	(1)	1880
	$375 \leq \rho < 500$	0.10	(1)	
	$500 \leq \rho < 700$	0.14	(1)	
	$\geq 700$	0.18	(1)	

(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling.

## Isolatiematerialen

<b>Tabel A.14 – Isolatiematerialen</b>			
Isolatiemateriaal	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)	Massawarmte c J/(kg.K)
Kurk (ICB)	0.050	(1)	1 560
Minerale wol (MW)	0.045	(1)	1 030
Geëxpandeerd polystyreen (EPS)	0.045	(1)	1 450
Geëxtrudeerd polyethyleen (PEF)	0.045	(1)	1 450
Fenolschuim – bekleed (PF)	0.045 (2)	(1)	1 400
Polyurethaan – bekleed (PUR/PIR)	0.035	(1)	1 400
Geëxtrudeerd Polystyreen (XPS)	0.040	(1)	1 450
Cellulair glas (CG)	0.055	(1)	1 000
Perliet (EPB)	0.060	(1)	900
Vermiculiet	0.065	(1)	1 080
Geëxpandeerde vermiculietplaten	0.090	(1)	900
(1) De directe blootstelling van deze materialen aan de buitenklimaatomstandigheden verdient over het algemeen geen aanbeveling. (2) Voor de beklede isolatieplaten van fenolschuim met gesloten cellen, wordt deze waarde teruggebracht naar 0.030 W/(m.K).			

## Verscheidene materialen

<b>Tabel A.15 - Verscheidene materialen</b>				
Materiaal	$\lambda_{U_i}$ W/(m.K)	$\lambda_{U_e}$ W/(m.K)	Massawarmte c J/(kg.K)	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Glas	1.00	1.00	750	2 500
Tegels van gebakken klei	0.81	1.00	1 000	1 700
Grèsttegels	1.20	1.30	1 000	2 000
Rubber	0.17	0.17	1 400	1 500
Linolcum, PVC-tegels	0.19	-	1 400	1 200
Platen van met natuurlijke minerale vezels versterkt cement	0.35	0.50	1 000	$1\ 400 \leq \rho \leq 1\ 900$
Gietasfalt	0.70	0.70	1 000	2 100
Bitumenmembraan	0.23	0.23	1 000	1 100

## Materialen gebruikt in venstercomponenten

**Tabel A.16 – Materialen gebruikt bij de vervaardiging van raamprofielen en vensters**

Materiaalgroep	Materiaal	$\lambda_U$ (W/mK)	Volumemassa $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )
Raamprofiel	Koper (roodkoper)	380	8900
	Aluminium (legeringen)	160	2800
	Koper (geelkoper, messing)	120	8400
	Staal	50	7800
	Roestvast staal	17	7900
	PVC	0.17	1390
	Loofhout	0.18	> 600
	Naaldhout	0.13	≤ 600
	Glasvezel (UP-hars)	0.40	1900
Glas	Glas	1.00	2500
	PMMA (polymethylmethacrylaat)	0.18	1180
	Polycarbonaat	0.20	1200
Thermische onderbreking	Polyamide (nylon)	0.25	1150
	Polyamide 6.6 met 25% glasvezel	0.30	1450
	Polyethyleen, HD	0.50	980
	Polyethyleen, LD	0.33	920
	Polypropyleen, vast	0.22	910
	Polypropyleen met 25% glasvezel	0.25	1200
	Polyurethaan (PUR), hard	0.25	1200
	Polyvinylchloride (PVC), hard	0.17	1390
Tochtstrippen	Neopreen (PCP)	0.23	1240
	EPDM	0.25	1150
	Siliconen	0.35	1200
	Polyvinylchloride (PVC), flexibel	0.14	1200
	Mohair (polyester)	0.14	± 1000
	Schuimrubber	0.05	60 – 80
Kitten en afdichtingsmaterialen	Polyurethaan (PUR), hard	0.25	1200
	Butyl (isobutheen)	0.24	1200
	Polysulfide	0.40	1700
	Siliconen	0.35	1200
	Polyisobutyleen	0.20	930
	Polyesterhars	0.19	1400
	Silica-gel (droogmiddel)	0.13	720
	Siliconenschuim, LD	0.12	750
	Siliconenschuim, MD	0.17	820

## Bijlage B. Warmteweerstand (R-waarde) van niet-homogene bouwmaterialen

Sommige wanden worden opgebouwd met grote elementen met holle delen (bv. holle betonblokken, holle bakstenen, gemengde materialen, ...). Deze materialen kunnen niet gekenmerkt worden door een bepaalde warmtegeleidbaarheid. Van dergelijke materialen wordt de warmteweerstand R aangegeven, waarbij rekening dient gehouden te worden met de binnen- of buitenomstandigheden zoals gedefinieerd in bijlage A. De in rekening te brengen waarde van R wordt afgeleid uit metingen van de U-waarde overeenkomstig de bepalingen van NBN EN 8990. Alternatief kunnen de R-waarden berekend worden volgens de numerieke rekenmethode uit NBN EN ISO 10211.

In Tabel B.1 worden ook een aantal waarden bij ontstentenis gegeven.

<b>Tabel B.1 - Warmteweerstand en massawarmte van de niet-homogene materialen</b>			
<i>De massawarmte c bedraagt 1000 J/(kg.K)</i>			
<b>Materialen</b>	<b>Dikte/hoogte van de delen</b>	<b>R<sub>ci</sub> [m<sup>2</sup>.K/W]</b>	
<b>Metselwerk van holle blokken van zwaar beton (<math>\rho &gt; 1\ 200\ \text{kg/m}^3</math>)</b>	d = 14 cm	0.11	
	d = 19 cm	0.14	
	d = 29 cm	0.20	
<b>Metselwerk van holle blokken van licht beton (<math>\rho \leq 1\ 200\ \text{kg/m}^3</math>)</b>	d = 14 cm	0.30	
	d = 19 cm	0.35	
	d = 29 cm	0.45	
<b>Vooraf vervaardigde ruwe vloerplaten van holle delen van gebakken klei</b>	1 holte in de stroomrichting	d = 8 cm	0.08
		d = 12 cm	0.11
	2 holten in de stroomrichting	d = 12 cm	0.13
		d = 16 cm	0.16
		d = 20 cm	0.19
<b>Vooraf vervaardigde ruwe vloerplaten van zwaar beton (met holle delen)</b>	d = 12 cm	0.11	
	d = 16 cm	0.13	
	d = 20 cm	0.15	
<b>Gipsplaten tussen twee lagen karton</b>	d < 1.4 cm	0.05	
	d ≥ 1.4 cm	0.08	

## Bijlage C. Vochtgehalte en conversiefactoren voor steenachtige materialen

Tabel C.1 - Vochtgehalten en conversiefactoren voor steenachtige materialen							
Materiaal	Volumemassa $\rho$ [kg/m <sup>3</sup> ]	Vochtgehalte bij 23°C en 50% RV (NBN EN 12524)		Vochtgehalte bij 20°C en 75% van het kritisch ver- zadigingsgetal		Conversiefactor voor vocht (NBN EN 12524)	
		$u_{2i}$ [kg/kg]	$\Psi_{2i}$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$u_{2e}$ [kg/kg]	$\Psi_{2e}$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]	$f_u$ [kg/kg]	$f_\Psi$ [m <sup>3</sup> /m <sup>3</sup> ]
Metselwerk in gebakken aarde	700-2100	-	0.007	-	0.075	-	10
Metselwerk van kalkzandsteen	900-2200	-	0.012	-	0.090	-	10
Betonmetselwerk met gewone aggregaten	1600-2400	-	0.025	-	0.090	-	4
Betonmetselwerk van geëxpandeerde klei	400-1700	-	0.020	-	0.090	-	4
Betonmetselwerk met andere lichtgewicht toetslag	500-1800	-	0.030	-	0.090	-	4
Cellenbetonmetselwerk	300-1000	0.026	-	0.150	-	4	-

Extra waarden voor buitenomstandigheden zijn ook te vinden in NBN EN 12524.

## Bijlage D. Warmtedoorgangscoefficienten van raamprofielen ( $U_f$ -waarden): Waarden bij ontstentenis

Deze bijlage is van toepassing voor verticaal opgestelde raamprofielen die voldoen aan de opgegeven criteria of voorwaarden. Voor alle andere raamprofielen dienen de  $U_f$ -waarden bepaald te worden zoals uitgelegd in 9.2.1.

### D.1 Houten raamprofielen

Voor houten raamprofielen kunnen de benaderende  $U_f$ -waarden uit Tabel D.1 genomen worden. Voor niet-vermelde dikten wordt de  $U_f$ -waarde beschouwd overeenkomend met de eerstvermelde kleinere dikte in de tabel.

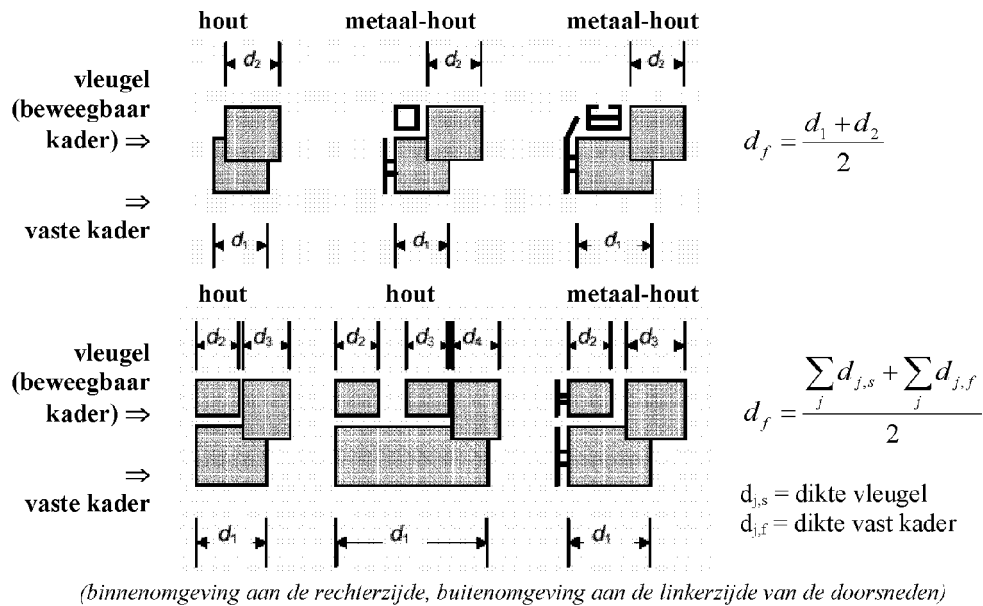
Raamprofiel dikte $d_f$ (in mm) (zie figuur D.1)	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K] (1)	
	Loofhout $\lambda_U = 0,18$ W/m.K	Naaldhout $\lambda_U = 0,13$ W/m.K
50	2,36	2,00
60	2,20	1,93
70	2,08	1,78
80	1,96	1,67
90	1,86	1,58
100	1,75	1,48
110	1,68	1,40
120	1,58	1,32
130	1,50	1,25
140	1,40	1,18
150	1,34	1,12

(1) **Conventies voor houten raamprofielen :**

- als waarde bij ontstentenis mag voor de raamprofiel dikte 50mm genomen worden
- als waarde bij ontstentenis mag voor de houtsoort loofhout genomen worden

**Tabel D.1 – Warmtedoorgangscoefficienten van houten raamprofielen,  $U_f$  in W/m<sup>2</sup>K**

Voor houten raamprofielen wordt de raamprofiel dikte ( $d_f$ ) bepaald als de gemiddelde dikte van de samenstellende raamprofielen (vast kader en vleugel), zoals getoond in Figuur D.1.



Figuur D.1 – Definitie van de dikte  $d_f$  van verschillende houtprofielen.

## D.2 Metalen raamprofielen

### D.2.1 Definities

De warmteweerstand  $R_f$  van een metalen raamprofiel wordt gegeven door:

$$R_f = \frac{1}{U_{f0}} - 0,17 \text{ [m}^2\text{K/W]} \quad (\text{D } 1)$$

waarin:

- $U_{f0}$  [W/m<sup>2</sup>K]: U-waarde van het raamprofiel berekend alsof de ontwikkelde oppervlakte gelijk zou zijn aan de geprojecteerde oppervlakte (zie Tabel D.2)

De  $U_f$ -waarde van het metalen raamprofiel wordt gegeven door:

$$U_f = \frac{1}{\frac{R_{si} A_{f,i}}{A_{d,i}} + R_f + \frac{R_{se} A_{f,e}}{A_{d,e}}} \text{ [W/m}^2\text{K]} \quad (\text{D } 2)$$

waarin:

- $A_{d,i}$ ,  $A_{d,e}$ ,  $A_{f,i}$ ,  $A_{f,e}$  [m<sup>2</sup>]: de oppervlaktes van de raamprofielen, gedefinieerd in 8.1.3,
- $R_{si}$  [m<sup>2</sup>K/W]: warmteovergangswaarde aan het binnenoppervlak van het raamprofiel, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_{se}$  [m<sup>2</sup>K/W]: warmteovergangswaarde aan het buitenoppervlak van het raamprofiel, bepaald volgens 8.4.3 (of zie Tabel 1);
- $R_f$  [m<sup>2</sup>K/W]: de warmteweerstand van het raamprofiel, berekend volgens (D 1)

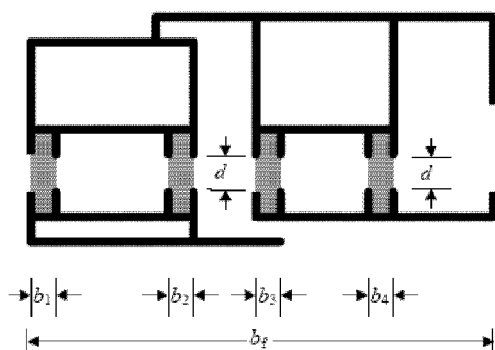
### D.2.2 Metalen raamprofielen met thermische onderbreking

Een thermische onderbreking heeft tot doel om de metalen raamprofielgedelen aan de warme zijde van het raam thermisch te scheiden van de raamprofielgedelen aan de koude zijde.

In het geval van metalen raamprofielen met thermische onderbreking wordt de  $U_f$ -waarde beïnvloed door constructieve eigenschappen, zoals:

- de kleinste afstand  $d$  tussen de onderbroken metalen secties;
- de totale steegbreedte  $b$  van de thermische onderbrekingen zelf;
- de warmtegeleidbaarheid  $\lambda$  van het materiaal van de thermische onderbreking;
- de verhouding van de totale steegbreedte van de thermische onderbreking tot de totale geprojecteerde breedte van het raamprofiel.

In Tabel D.2 worden  $U_f$ -waarden gegeven die gebruikt kunnen worden voor de twee types van metalen raamprofielen die getoond zijn in Figuur D.2 en Figuur D.3, en waarbij de volgende voorwaarden gelden:



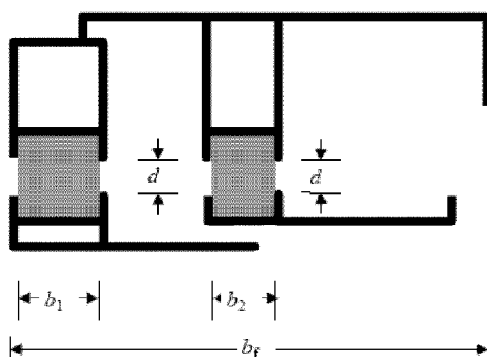
De thermische geleidbaarheid van het materiaal van de thermische onderbreking is zo dat :

$$0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$$

$d$  : is de kleinste afstand tussen de door de onderbreking gescheiden metalen profielen  
 $b_j$  : is de steegbreedte van onderbreking  $j$   
 $b_f$  : is de breedte van het profiel

$$\sum_j b_j \leq 0,2 \cdot b_f$$

Figuur D.2 – Sectie type 1 : thermische onderbreking met  $0,2 < \lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$



De thermische geleidbaarheid van het materiaal van de thermische onderbreking is zo dat :

$$0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$$

$d$  : is de kleinste afstand tussen de door de onderbreking gescheiden metalen profielen  
 $b_j$  : is de steegbreedte van onderbreking  $j$   
 $b_f$  : is de breedte van het profiel

$$\sum_j b_j \leq 0,3 \cdot b_f$$

Figuur D.3 – Sectie type 2 : thermische onderbreking met  $0,1 < \lambda \leq 0,2 \text{ W/mK}$



d (in mm) : kleinste afstand tussen de thermisch onderbroken metalen raamprofielen	$U_{f0}$ [W/m <sup>2</sup> K] (1)	$R_f$ [m <sup>2</sup> K/W]	$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K] (2)
8	3,56	0,11	4,51
10	3,36	0,13	4,19
12	3,18	0,14	3,91
14	3,08	0,15	3,76
16	2,96	0,17	3,59
18	2,85	0,18	3,43
20	2,75	0,19	3,28
22	2,70	0,20	3,21
24	2,60	0,21	3,07
26	2,58	0,22	3,04
28	2,55	0,22	3,00
30	2,53	0,23	2,97
32	2,52	0,23	2,96
34	2,51	0,23	2,95
36	2,50	0,23	2,93

(1)  $U_{f0}$  is de theoretische  $U_f$ -waarde van het raamprofiel indien de geprojecteerde en ontwikkelde profielloppervlaktes zowel aan de binnen- als de buitenzijde gelijk zijn, d.w.z. indien  $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$  en  $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$

(2) Als waarde bij ontstentenis voor de kleinste afstand d tussen de thermisch onderbroken profielen mag d = 10 mm genomen worden. De  $U_f$ -waarden zijn enkel geldig indien de verhouding  $A_{f,i}/A_{d,i} \geq 0,50$ , zoniet dient een nauwkeurige berekening volgens NBN EN ISO 10077-2 uitgevoerd te worden

**Tabel D.2 – Warmtedoorgangscoefficienten van metalen raamprofielen met thermische onderbreking,  $U_f$  in W/m<sup>2</sup>K**

### D.2.3 Metalen raamprofielen zonder thermische onderbreking

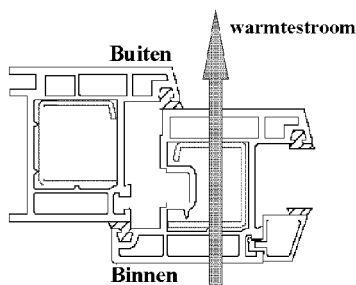
Voor raamprofielen zonder thermische onderbreking geldt algemeen  $R_f = 0$  m<sup>2</sup>K/W en  $U_{f0} = 5,90$  W/m<sup>2</sup>K.

Naargelang van de oppervlakteverhoudingen  $A_{f,i}/A_{d,i}$  en  $A_{f,e}/A_{d,e}$  varieert de corresponderende  $U_f$ -waarde van metalen raamprofielen zonder thermische onderbreking, berekend volgens (D.2), tussen:

- $U_f = 5,9$  W/m<sup>2</sup>K (voor  $A_{f,i}/A_{d,i} = 1$  en  $A_{f,e}/A_{d,e} = 1$ );
- $U_f = 9,0$  W/m<sup>2</sup>K (voor de forfaitaire onderwaarden :  $A_{f,i}/A_{d,i} = 0,60$  en  $A_{f,e}/A_{d,e} = 0,82$ ).


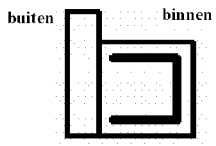
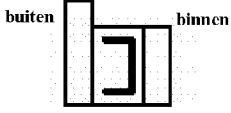
### D.3 Kunststof raamprofielen

In Figuur D.4 wordt een voorbeeld van een kunststofraamprofiel getoond, waarbij drie kamers in serie met de warmtestroom zijn geplaatst en waarvan de middenste kamer voorzien is van een metalen versterking.



**Figuur D.4 – Kunststofraamprofiel met versterking en met 3 kamers in serie in de richting van de warmtestroom**

Tabel D.3 geeft benaderende  $U_f$ -waarden voor kunststof raamprofielen met metalen versterkingen. Indien geen andere gegevens gekend zijn, dan kunnen de waarden evencens gebruikt worden voor raamprofielen zonder versterkingen.

Materiaalsoort en type van het raamprofiel		$U_f$ [W/m <sup>2</sup> K] <sup>(1)</sup>
<b>PVC-raamprofiel</b> minimum 5 mm tussen de wanden van elk van de kamers (2), bv: 	2 kamers (in serie met de warmtestroom) met of zonder versterking 	2,20
	3 kamers (in serie met de warmtestroom) met of zonder versterking 	2,00
	4 kamers (in serie met de warmtestroom) met of zonder versterking	1,80
	5 kamers (in serie met de warmtestroom) met of zonder versterking	1,60
<b>PUR-raamprofiel</b>	met metalen kern en minimum dikte van 5 mm PUR	2,80
(1) Waarden bij ontstentenis voor kunststofraamprofielen : <ul style="list-style-type: none"> <li>• materiaalsoort niet gekend : neem <math>U_f</math>-waarde voor PUR-raamprofiel</li> <li>• aantal kamers niet gekend : neem <math>U_f</math>-waarde voor 2 kamers</li> </ul> (2) Voor afstanden kleiner dan 5 mm dient de $U_f$ -waarde bepaald te worden volgens berekening (NBN EN ISO 10077-2) of meting (NBN EN 12412-2)		

**Tabel D.3 – Warmtedoorgangcoëfficiënten van kunststof raamprofielen,  $U_f$  in W/m<sup>2</sup>K**

## Bijlage E. Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ( $\Psi$ -waarden) van de onderlinge aansluiting tussen raamprofielen, beglazingen, vulpanelen en raamstijlen.

### E.1 Algemeen

De  $U_g$ -waarde van beglazing en de  $U_p$ -waarde van vulpanelen zijn van toepassing voor het centraal gedeelte van de beglazing of het vulpaneel en omvat niet het effect van de afstandshouders aan de glas- of paneelranden. Anderzijds wordt de  $U_f$ -waarde van het raamprofiel bepaald voor profielen die niet van een beglazing voorzien zijn.

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ( $\Psi$ -waarde) beschrijft de bijkomende warmtetransmissie die optreedt tussen raamprofiel, beglazing (of paneel) en afstandshouder. De  $\Psi$ -waarde wordt voornamelijk beïnvloed door de warmtegeleidbaarheid van het materiaal waaruit de afstandshouder bestaat, evenals door het raamontwerp.

In deze bijlage worden waarden bij ontstentenis gegeven voor de  $\Psi$ -waarde voor typische combinaties van raamprofiel, beglazing (of paneel) en afstandshouders. Bijkomend worden eveneens de aansluitingen behandeld die voorkomen in lichte gevels, d.w.z. voor combinaties tussen beglazingen (of panelen), profielen en raamstijlen.

Alle waarden die niet gedekt zijn door de verschillende tabellen, moeten met een numerieke berekening bepaald worden in overeenstemming met de richtlijnen uit NBN EN ISO 10077-2.

NOTA Voor enkelvoudige beglazing geldt algemeen dat  $\Psi = 0$ .

### E.2 Aansluiting raamprofiel en beglazing

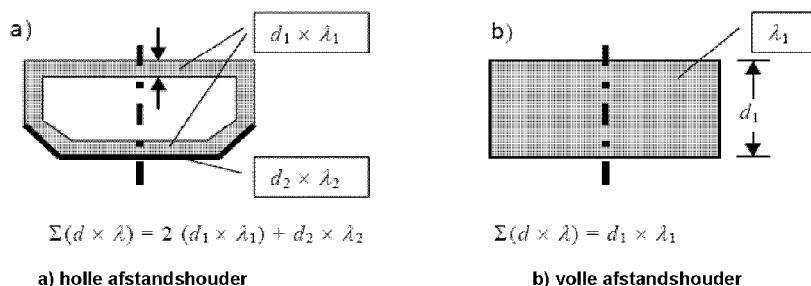
Er wordt een onderscheid gemaakt tussen gewone afstandshouders (uitgevoerd in aluminium of staal) en thermisch verbeterde afstandshouders die beantwoorden aan het hierna volgende criterium inzake thermische onderbreking:

$$\Sigma (d \times \lambda) \leq 0,007 \quad [\text{W/K}] \quad (\text{E } 1)$$

waarin:

- $d$  [m] : de dikte van de wand van de afstandshouder
- $\lambda$  [W/mK] : de warmtegeleidbaarheid van het materiaal van de afstandshouder (zie tabel A.16)

Het criterium is geldig voor alle warmtestromen die parallel met de hoofdwarmtestroom vloeit, waarbij de dikte  $d$  loodrecht op de hoofdwarmtestroom gemeten wordt (zie Figuur E.1).



Figuur E.1 – Voorbeelden van de bepaling van het criterium van thermisch verbeterde afstandshouder

In Tabel E.1 worden  $\Psi_g$ -waarden bij ontstentenis gegeven voor de aansluiting tussen profielen en beglazingen die voorzien zijn van gewone en thermisch verbeterde afstandshouders. Alternatief mogen ook de waarden volgens Tabel E.2. gehanteerd worden.

Profiel	Meervoudige beglazing			
	Beglazing zonder coating		Beglazing met coating	
	gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder	gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder
Hout of PVC	0,06	0,05	0,08	0,06
Metaal met thermische onderbreking	0,08	0,06	0,11	0,08
Metaal zonder thermische onderbreking	0,02	0,01	0,05	0,04

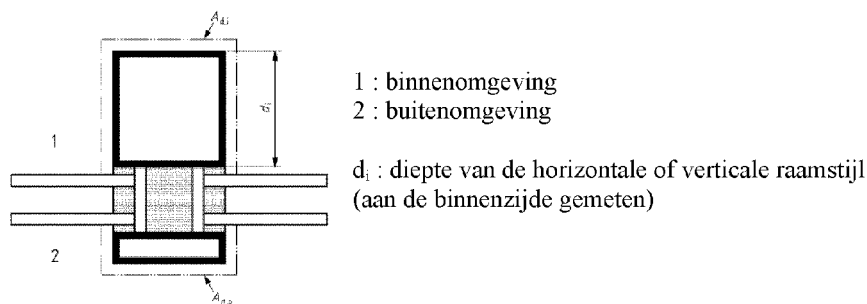
Tabel E.1 –  $\Psi_g$ -waarden (W/mK) voor aansluitingen tussen profielen en beglazingen die voorzien zijn van gewone en thermisch verbeterde afstandshouders, variant 1.

Raamprofiel	Enkele beglazing	Meervoudige beglazing			
		$U_g > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$		$U_g \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	
		gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder	gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder
$U_f \geq 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,02	0,01	0,05	0,04
$U_f < 5,9 \text{ W/m}^2\text{K}$	0	0,06	0,05	0,11	0,07

Tabel E.2 –  $\Psi_g$ -waarden (W/mK) voor aansluitingen tussen profielen en beglazingen die voorzien zijn van gewone en thermisch verbeterde afstandshouders, variant 2.

### E.3 Aansluiting raamstijl en beglazing

In Tabel E.3 worden  $\Psi_{m,g}$ - of  $\Psi_{1,g}$ -waarden bij ontstentenis gegeven voor de aansluiting tussen horizontale of verticale raamstijlen en beglazingen die voorzien zijn van gewone en thermisch verbeterde afstandshouders.



Figuur E.2 – Interne diepte van raamstijlen

Type raamstijl (materialen)	$d_i$ (mm) (*)	Meervoudige beglazing			
		Beglazing zonder coating		Beglazing met coating	
		gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder	gewone afstandshouder	isolerende afstandshouder
Aluminium-hout	-	0,08	0,06	0,11	0,08
Metaal met thermische onderbreking	$d_i \leq 100$	0,13	0,09	0,17	0,11
	$100 < d_i \leq 200$	0,15	0,10	0,19	0,12

(\*)  $d_i$  is de interne diepte van een raamstijl (zie Figuur E.2)

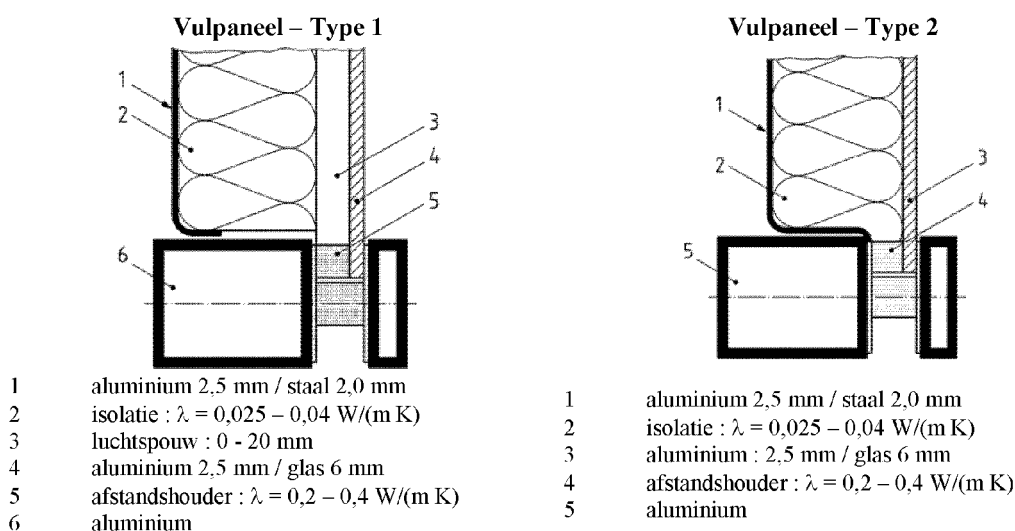
Tabel E.3 –  $\Psi_{m(t),g}$ -waarden (W/mK) voor aansluitingen tussen raamstijlen en beglazingen die voorzien zijn van gewone en thermisch verbeterde afstandshouders

#### E.4 Aansluiting profiel en vulpaneel

In Tabel E.4 worden waarden bij ontstentenis gegeven voor de aansluiting tussen profiel, afstandshouder en vulpaneel ( $\Psi_{r,p}$ ).

Type van vulelement	Warmtegeleidbaarheid van de afstandshouder (W/mK)	$\Psi_{r,p}$ -waarde (W/mK)
<b>Type 1 (zie Figuur E.3) :</b> (aluminium/aluminium) – (aluminium/glas) – (staal/glas)	-	0,13
<b>Type 2 (zie Figuur E.3) :</b> aluminium / aluminium	0,2	0,20
(met bekleding)	0,4	0,29
aluminium / glas	0,2	0,18
(met bekleding)	0,4	0,20
staal / glas	0,2	0,14
(met bekleding)	0,4	0,18

Tabel E.4 –  $\Psi_{r,p}$ -waarden voor aansluiting tussen profielen en vulpanelen



Figuur E.3 – Types van panelen

NOTA Als de voor- en achterplaat van het vulpaneel bestaan uit een materiaal waarvan de warmtegeleidbaarheid ( $\lambda$ -waarde) kleiner is dan 0,5 W/m.K en de afstandshouder bestaat uit een materiaal met  $\lambda < 0,2$  W/mK, dan mag  $\Psi_{f,p} = 0$  aangenomen worden.

## E.5 Aansluiting profiel en raamstijl

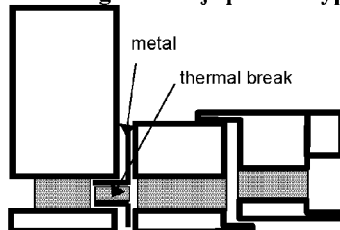
### E.5.1 Aluminium en stalen profielen

In Tabel E.5 worden waarden bij ontstentenis gegeven voor de aansluitingen tussen raamstijlen en profielen ( $\Psi_{m,f}$  of  $\Psi_{t,f}$ ).

Type (zie onderstaande figuren)	Beschrijving van de aansluiting van het profiel op de raamstijl	$\Psi_{m,f}$ of $\Psi_{t,f}$ -waarde (W/mK)
Type A	Bijkomend metalen profiel met thermische onderbreking	0,11
Type B	Bijkomend profiel met lage warmtegeleidbaarheid ( $\lambda \leq 0,3$ W/mK)	0,05
Type C1/C2	Geïntegreerd, met gebruik van de thermische onderbreking van het profiel	0,07
Type D	Montage van het profiel tot de raamstijl, met uitbreiding van het buitenste aluminium profiel. Opvulmateriaal met lage warmtegeleidbaarheid ( $\lambda \leq 0,3$ W/mK)	0,07

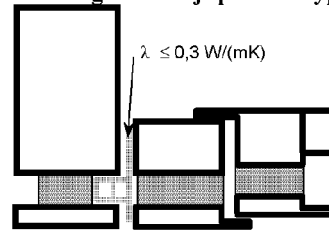
Tabel E.5 –  $\Psi_{m,f}$  en  $\Psi_{t,f}$  waarden voor aansluitingen tussen profielen en raamstijlen (in aluminium of staal)

Aansluiting raamstijl-profiel Type A



Montage van het profiel tegen de raamstijl met een bijkomend metalen profiel met thermische onderbreking

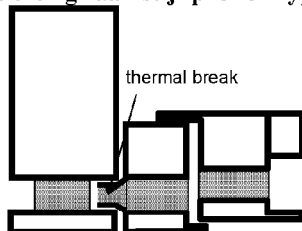
Aansluiting raamstijl-profiel Type B



Montage van het profiel tegen de raamstijl met een bijkomend profiel met lage warmtegeleidbaarheid

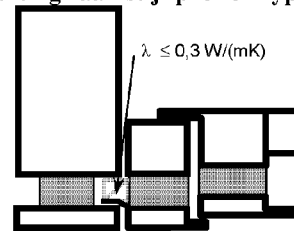
Figuur E.4 – Aansluiting profiel – raamstijl (Type A en Type B)

Aansluiting raamstijl-profiel Type C1



Montage van het profiel tegen de raamstijl gebruik makend van een uitbreiding van de thermische onderbreking van het profiel

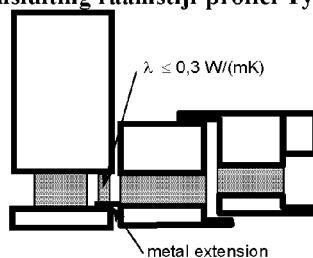
Aansluiting raamstijl-profiel Type C2



Montage van het profiel tegen de raamstijl gebruik makend van een uitbreiding van de thermische onderbreking van het profiel

Figuur E.5 – Aansluiting profiel – raamstijl (Type C1 en Type C2)

### Aansluiting raamstijl-profiel Type D



Montage van het profiel tegen de raamstijl gebruik makend van een uitbreiding van het buitenste aluminium profiel. Opvulmateriaal met lage warmtegeleidbaarheid ( $\lambda \leq 0,3 \text{ W/mK}$ )

Figuur E.6 – Aansluiting profiel – raamstijl (Type D)

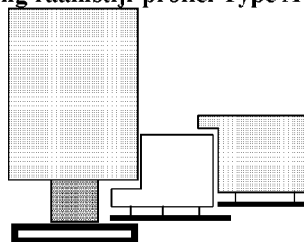
### E.5.2 Hout en aluminium/hout profielen

In Tabel E.6 worden waarden bij ontstentenis gegeven voor de aansluitingen tussen profielen en raamstijlen ( $\Psi_{t,m}$  of  $\Psi_{t,t}$ ).

Type	Voorwaarden voor de U-waarden van de horizontale en verticale raamstijlen ( $U_m$ en $U_t$ )	$\Psi_{m,r}$ of $\Psi_{t,r}$ -waarde (W/mK)
Type A	$U_m > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $U_t > 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,02
Type B	$U_m \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $U_t \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	0,04

Tabel E 6 –  $\Psi_{m,r}$  en  $\Psi_{t,r}$  waarden voor aansluitingen tussen profielen en raamstijlen (in hout of aluminium/hout)

### Aansluiting raamstijl-profiel Type A en Type B

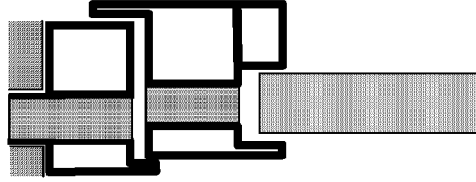


Figuur E 7 – Aansluiting profiel – raamstijl (Type A en Type B)

## E.6 Berekening van $U_f$ voor profielen geïntegreerd in een lichte gevel

De berekening van de  $U_f$ -waarde van profielen die geïntegreerd zijn in een lichte gevel door middel van een bijkomend profiel in de gevel (Type A en Type B – zie Figuur E.4), wordt berekend volgens NBN EN ISO 10077-2. De warmtestroom door het bijkomend profiel wordt ingerekend bij de lineaire warmtedoorgangscoefficienten van de raamstijlen ( $\Psi_{m,r}$  en  $\Psi_{t,r}$  waarden), die de thermische interactie beschrijven tussen de raamstijlen en het profiel.

 adiabatic



**Figuur E.8 – Randvoorwaarden voor de berekening van  $U_f$  van een profiel, dat rechtstreeks geïntegreerd is in een lichte gevel (metalen profielen – Type C en Type D)**

De algemene rekenprocedure voor de bepaling van de  $U_f$ -waarde van profielen, die rechtstreeks zijn geïntegreerd in een lichte gevel (Type C en Type D – zie Figuur E.5 en Figuur E.6), is beschreven in NBN EN ISO 10077-2. De oppervlakte van het profiel dat in de raamstijlen is ingebouwd, wordt als adiabatisch beschouwd in de berekening (zie Figuur E.8). De bijkomende warmtestroom, ten gevolge van de inbouw in de lichte gevel, wordt ingerekend bij de lineaire warmtedoorgangscoefficienten van de raamstijlen ( $\Psi_{m,r}$  en  $\Psi_{t,r}$  waarden), die de thermische interactie beschrijven tussen de raamstijlen en het profiel.



## Bijlage F. Warmtetransmissie via de grond.

### F.1 Specifieke nodige invoergegevens

#### F.1.1 Thermische karakteristieken van de grond

In het kader van de energieprestatieregelgeving wordt steeds met volgende vastgelegde hypothesen gerekend:

- warmtegeleidbaarheid van de bodem:  $\lambda = 2,0 \text{ W/m}\cdot\text{K}$
- het effect van grondwater wordt verwaarloosd, d.w.z.  $G_w = 1$ .

#### F.1.2 Karakteristieke vloerafmeting en equivalente dikte

De karakteristieke vloerafmeting ( $B'$  in m) wordt gedefinieerd als de verhouding van de totale vloerooppervlakte in contact met de grond ( $A$  in  $\text{m}^2$ ) tot de halve perimeter ( $P$  in m):

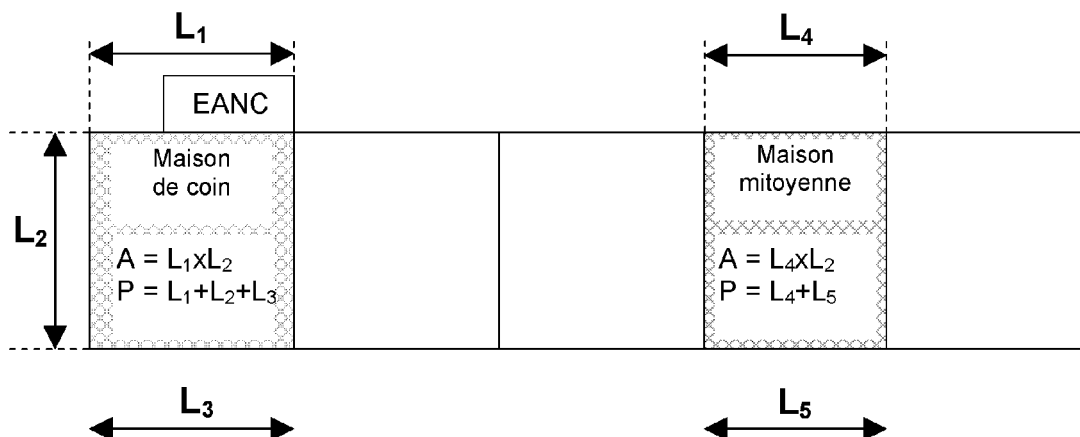
$$B' = \frac{A}{0,5 \cdot P} \quad [\text{m}] \quad (\text{F1})$$

De perimeter  $P$  (of grondomtrek) van de onderste vloer van een beschermd volume is de totale horizontaal gemeten lengte waarlangs de grondoppervlakte  $A$  voor deze vloer grenst aan de buitenomgeving of aan een AOR.

Verdere regels m.b.t. de bepaling van  $P$  en/of  $A$  zijn :

- voor een vrijstaand gebouw op volle grond is  $P$  gelijk aan de volledige gebouwomtrek en is  $A$  gelijk aan de totale vloerooppervlakte op de volle grond;
- voor een deel van een geheel van gebouwen (bv. een rijwoning), wordt  $P$  berekend als de totale lengte van de aan de buitenomgeving blootgestelde voor- en achtergevel (zijgevels grenzend aan naburige verwarmde gebouwen zijn dus niet meegeteld);  $A$  is opnieuw gelijk aan de volledige vloerooppervlakte op volle grond;
- bij de bepaling van  $P$  wordt een eventuele aanwezige AOR als niet bestaande beschouwd; de lengte van de grenslijn tussen het beschermd volume en de AOR wordt dus meegeteld bij de bepaling van  $P$  (zie figuur);
- bij de bepaling van  $P$  en  $A$  worden buitenafmetingen aangenomen.

NOTA : Hoogten van een verticale vloerpeilverspringing in een onderste vloer worden niet in  $P$  meegerekend om de kenmerkende vloerafmeting te bepalen, maar zijn wel bijkomend bij  $P$  te beschouwen ter bepaling van randgebonden transmissie-warmtcoverdracht van de vorm  $P \cdot \Psi_g$ .



Het concept van de “equivalente dikte” ( $d_t$  voor vloeren en  $d_g$  en  $d_w$  voor ingegraven muren) is een louter rekenkundig concept dat ingevoerd is om de diverse formules voor de U-waarde eenvoudiger te kunnen noteren. Indien de dikte van de muren varieert, dient voor  $w$  de kleinste waarde genomen te worden.

## F.2 Berekening van de U-waarde en de stationaire warmteoverdracht $H_g$

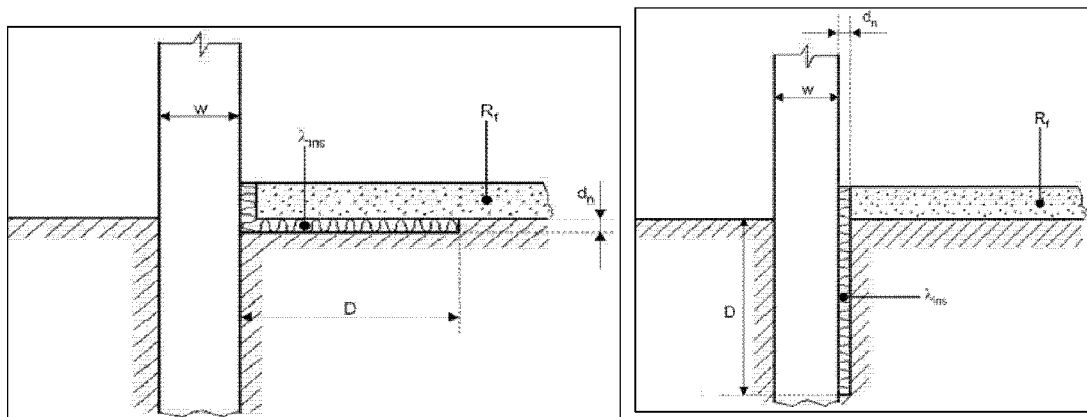
### F.2.1 Algemeen

In de hierna volgende paragrafen wordt de gedetailleerde berekening van de U-waarde van de wanden in contact met de grond en van de stationaire warmteoverdrachtscoëfficiënt  $H_g$  gegeven voor de verschillende voorkomende wandtypes in contact met de grond, namelijk:

- vloeren op volle grond (zie F.2.2)
- vloeren boven kruipruimten (zie F.2.3)
- kelderwanden (zie F.2.4)

### F.2.2 Vloeren op volle grond

Vloeren op volle grond bestaan uit een vloerplaat die over zijn volledige oppervlakte in contact is met de grond (ongeacht of de vloerplaat over zijn volledige oppervlakte ondersteund wordt door de grond), en die zich bevindt op dezelfde hoogte als of dichtbij het niveau van het maaiveld. De vloerplaat kan ongeïsoleerd zijn, gelijkmatig geïsoleerd zijn over de gehele oppervlakte of gedeeltelijk geïsoleerd zijn (bijvoorbeeld horizontale of verticale randisolatie).



Nodige invoergegevens :

- grond :  $\lambda$ -waarde [W/mK] en grondwaterfactor  $G_w$  [-] volgens F.1.1
- buitenmuur : totale dikte  $w$  [m]
- vloer : perimeter  $P$  [m], oppervlakte  $A$  [m<sup>2</sup>],  $B' = 2.A/P$  en totale warmteweerstand van de vloer (van binnenoppervlak tot scheidingsvlak met de grond)  $R_f$  [m<sup>2</sup>K/W]
- randisolatie : breedte of diepte  $D$  [m], dikte  $d_n$  [m],  $\lambda_{ins}$ -waarde en warmteweerstand  $R_n = d_n/\lambda_{ins}$  [m<sup>2</sup>K/W]

De rekenprocedure (U-waarde en stationaire warmteoverdracht) verloopt volgens de volgende procedure :

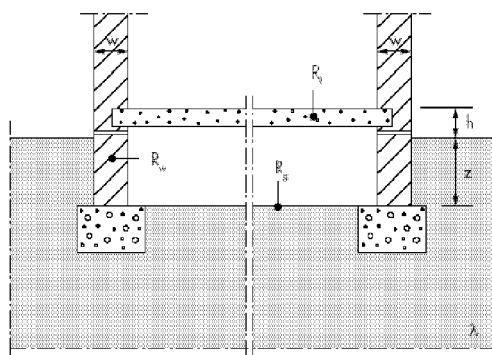
stap 1	Bereken $d_t$ volgens : $d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$
--------	---

stap 2	<p>Bereken <math>U_o</math> :</p> $U_o = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t} \ln \left( \frac{\pi \cdot B' + d_t}{d_t} + 1 \right) \quad \text{als } d_t < B'$ <p>of</p> $U_o = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t} \quad \text{als } d_t \geq B' \text{ (goed geïsoleerde vloer)}$
stap 3 (1)	<p>Indien geen randisolatie : <math>U = U_o</math>  Indien wel randisolatie : <math>U = U_o + 2 \Psi_e / B'</math>, met :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>○ horizontale randisolatie : <math>\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]</math></li> <li>○ verticale randisolatie : <math>\Psi_e = -\frac{\lambda}{\pi} \left[ \ln \left( \frac{2D}{d_t} + 1 \right) - \ln \left( \frac{2D}{d_t + d'} + 1 \right) \right]</math></li> </ul> <p>waarin : <math>d' = R_n \cdot \lambda - d_n</math></p> <p>Indien horizontale en verticale randisolatie gecombineerd zijn, weerhoud de <math>\Psi_e</math>-waarde met de grootste invloed (reductie) op <math>U</math>.</p>
stap 4	<p>De stationaire warmteoverdracht wordt als volgt berekend :</p> $H_g = G_w \cdot (A \cdot U + P \cdot \Psi)$ <p><math>\Psi</math> is de lineaire warmteovergangcoëfficiënt van de aansluiting vloer-buitenmuur-fundering.  Indien in deze <math>\Psi</math>-waarde ook het effect van de randisolatie meegenomen is, dan dient geen <math>\Psi_e</math>-waarde berekend te worden (<math>U = U_o</math>).</p>

Voor de evaluatie van de  $U_{\max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt de waarde van  $U$  beschouwd.

### F.2.3 Vloeren boven kruipruimten

Een vloer boven een kruipruimte heeft geen rechtstreeks contact met de grond, maar de warmtestroom vloeit via de kruipruimte rechtstreeks en via de grond naar de buitenomgeving. Een extra overdracht treedt op indien de onderliggende ruimte geventileerd is met buitenlucht. De rekenprocedure is hierna gegeven:



#### Nodige invoergegevens :

- grond :  $\lambda$ -waarde [W/mK] en grondwaterfactor  $G_w$  [-]
- muur kruipruimte : dikte ter hoogte van het maaiveld  $w$  [m], warmte-weerstand  $R_w$  [m<sup>2</sup>K/W], gemiddelde diepte in grond  $z$  [m]
- vloer boven kruipruimte : perimeter  $P$  [m], oppervlakte  $A$  [m<sup>2</sup>],  $B^2 = 2 \cdot A / P$  [m], warmte-weerstand  $R_f$  [m<sup>2</sup>K/W] en gemiddelde hoogte boven maaiveld  $h$  [m]
- vloer kruipruimte : warmte-weerstand  $R_g$  [m<sup>2</sup>K/W]
- ventilatie kruipruimte : oppervlakte van de ventilatie-openingen gedeeld door de perimeter  $\varepsilon$  [m<sup>2</sup>/m], windsnelheid  $v$  [m/s] en windbeschuttingsfactor  $f_w$  [-]

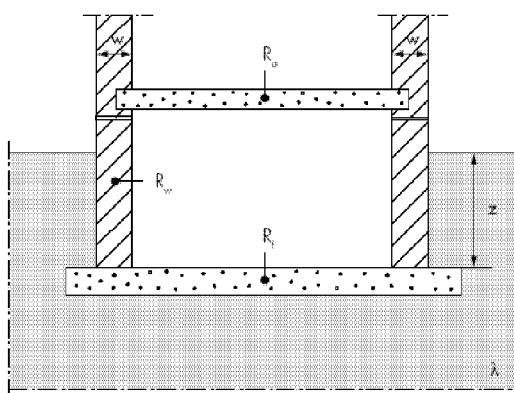
stap 1	<p>Bereken <math>U_f</math> (vloer boven kruipruimte):</p> $U_f = \frac{1}{R_{si} + R_f + R_{si}} \quad (\text{met } R_{si} = 0,17)$
--------	--

stap 2	Bereken $U_w$ (muurdeel boven het maaiveld): $U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (\text{met } R_{si} = 0,13)$
stap 3	Bereken $d_g$ volgens : $d_g = w + \lambda (R_{si} + R_g + R_{sc})$
stap 4	Bereken $d_w$ volgens : $d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{sc})$
stap 5	Bereken $U_g$ volgens : $U_g = G_w \cdot \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_g} + 1 \right)$ (als $z \leq 0,5$ m) of : $U_g = G_w \cdot (U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}/A)$ (als $z > 0,5$ m) met : $U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_g + 0,5 \cdot z} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_g + 0,5 \cdot z} + 1 \right)$ en met : $U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_g}{d_g + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right)$
stap 6	Bereken $U_x$ : $U_x = 2 \cdot h \cdot U_w / B' + 1450 \cdot \varepsilon \cdot v \cdot f_w / B'$ (geventileerde kruipruimte) (1) of $U_x = 2 \cdot h \cdot U_w / B'$ (niet geventileerde kruipruimte)
stap 7	Bereken $U$ volgens : $\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{1}{U_g + U_x}$
stap 8	Bereken de stationaire warmteoverdracht volgens : $H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi$ waarin $\Psi$ de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is van de aansluiting van de vloer (boven de kruipruimte) op de buitenmuur.
(1)	Neem in het kader van de energieprestatie-regelgeving de vaste waarden: $f_w = 0,05$ $v = 4$ m/s (gemiddelde windsnelheid)

Voor de evaluatie van de  $U_{max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt voor de keldervloer de waarde van  $U$  beschouwd.

#### F.2.4 Schildelen van een kelder

Kelders zijn ruimten die geheel of gedeeltelijk onder het maaiveld liggen. De keldervloer ligt op een gemiddelde diepte  $z$  onder het maaiveld en de keldermuren en de keldervloer kunnen verschillende isolatiegraden hebben. De rekenprocedure beschrijft de gemeenschappelijke warmteoverdracht  $H_g$  dat zowel door de keldervloer als door de keldermuren naar de buitenomgeving vloeit, aangezien de beide warmtestromen onderling van elkaar afhankelijk zijn.



#### Nodige invoergegevens :

- grond :  $\lambda$ -waarde [W/mK]
- vloer boven kelder : warmteweerstand  $R_p$  [ $m^2K/W$ ] en gemiddelde hoogte boven maaiveld  $h$  [m]
- keldermuur : dikte ter hoogte van het maaiveld  $w$  [m], warmteweerstand  $R_w$  [ $m^2K/W$ ], gemiddelde diepte in grond  $z$  [m]
- keldervloer : perimeter  $P$  [m], oppervlakte  $A$  [ $m^2$ ],  $B' = 2 \cdot A/P$  [m] en warmteweerstand  $R_f$  [ $m^2K/W$ ]
- ventilatie kelder : ventilatievoud  $n$  [ $h^{-1}$ ] en volume  $V$  [ $m^3$ ]

stap 1	Bereken voor de <u>keldervloer</u> $d_t$ volgens: $d_t = w + \lambda (R_{si} + R_f + R_{se})$
stap 2	Bereken voor de <u>keldervloer</u> $U_{bf}$ volgens: $U_{bf} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \ln \left( \frac{\pi \cdot B'}{d_t + 0,5 \cdot z} + 1 \right) \quad \text{als } (d_t + 0,5 \cdot z) < B' \text{ (vloer weinig of niet geïsoleerd)}$ $U_{bf} = \frac{\lambda}{0,457 \cdot B' + d_t + 0,5 \cdot z} \quad \text{als } (d_t + 0,5 \cdot z) \geq B' \text{ (goed geïsoleerde keldervloer)}$
stap 3	Bereken voor de <u>keldermuur</u> $d_w$ volgens: $d_w = \lambda (R_{si} + R_w + R_{se})$
stap 4	Bereken voor de <u>keldermuur</u> vervolgens $U_{bw}$ volgens: $U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_t}{d_t + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad \text{als } d_w \geq d_t$ $U_{bw} = \frac{2 \cdot \lambda}{\pi \cdot z} \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_w}{d_w + z} \right) \ln \left( \frac{z}{d_w} + 1 \right) \quad \text{als } d_w < d_t$
stap 5	In geval van een <u>verwarmde</u> kelder: <ul style="list-style-type: none"> <li>• bereken <math>U'</math> volgens: <math>U' = \frac{A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw}}{A + z \cdot P}</math></li> <li>• bereken transmissie warmteoverdracht volgens: <math>H_g = A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + P \cdot \Psi</math> waarin <math>\Psi</math> de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is van de aansluiting van de keldervloer op de keldermuur.</li> </ul>
(stap 6)	In geval van een kelder <u>buiten het beschermd volume</u> : <ul style="list-style-type: none"> <li>• bereken <math>U_f</math> (U-waarde van de vloer boven de kelder):  <math display="block">U_f = \frac{1}{R_{si} + R_p + R_{si}} \quad (\text{met } R_{si} = 0,17)</math> </li> <li>• bereken <math>U_w</math> (U-waarde muurdeel boven maaiveld):  <math display="block">U_w = \frac{1}{R_{si} + R_w + R_{se}} \quad (\text{met } R_{si} = 0,13)</math> </li> <li>• bereken <math>U</math> volgens: <math>\frac{1}{U} = \frac{1}{U_f} + \frac{A}{A \cdot U_{bf} + z \cdot P \cdot U_{bw} + h \cdot P \cdot U_w + 0,33 \cdot n \cdot V}</math> <sup>(1)</sup></li> <li>• en transmissie warmteoverdracht: <math>H_g = A \cdot U + P \cdot \Psi</math> waarin <math>\Psi</math> de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is van de aansluiting van de keldervloer op de keldermuur.</li> </ul>
(1) Neem in het kader van de energieprestatie-regelgeving voor het ventilatievoud $n$ de vaste waarde van $0,3 \text{ h}^{-1}$ .	

Voor de evaluatie van de  $U_{\max}$ -eis volgens bijlage III van het EPB-besluit wordt voor de keldervloer de waarde van  $U_{bf}$  beschouwd.

## Bijlage G. Conventies voor de berekening van de U-waarde

### G.1 Inleiding

In deze bijlage worden conventies gegeven die toegepast kunnen worden voor de berekening van de  $\lambda$ -, R- of U-waarde van specifieke wandelementen, zoals metselwerk, geperforeerde bouwstenen en wanden met houtstructuren. Alle conventies houden rekening met de courant voorkomende gevallen die in de Belgische bouwpraktijk aangetroffen worden.

### G.2 Numerieke en vereenvoudigde rekenmethodes

De berekening van de U-waarde is zeer eenvoudig uit te voeren in het geval van bouwelementen die opgebouwd zijn uit vlakke, parallelle en homogene bouwlagen. In deze gevallen staat de warmtestroom doorheen het bouwelement van de binnen- naar de buitenomgeving loodrecht op de bouwlagen (zonder enige afwijking) en wordt de U-waarde bekomen door de som te maken van alle warmteweerstand van de bouwlagen.

In werkelijkheid vertonen bouwelementen evenwel meestal onregelmatigheden of bevatten zij niet-homogene bouwlagen, waardoor de warmtestroom afbuigt en derhalve een effect heeft op de totale warmteweerstand van het bouwelement.

Het effect op de U-waarde kan nauwkeurig berekend worden op basis van een numerieke berekening ofwel vereenvoudigd berekend worden op basis van de formules die in onderhavige tekst opgegeven zijn.

**Numerieke berekeningen** zijn gedetailleerde computerberekeningen die de twee- of driedimensionale warmtestroom doorheen niet-homogene bouwelementen kunnen bepalen en hieruit een nauwkeurige U-waarde kunnen afleiden. De software die hierbij gebruikt wordt, dient gevalideerd te zijn volgens de richtlijnen uit diverse EN-normen (NBN EN ISO 10211 voor 2D en 3D-koudebruggen, NBN EN ISO 10077-2 voor raamprofielen, NBN EN ISO 13370 voor grondverliezen). De numerieke berekeningen worden toegepast voor de bepaling van de U-waarde van bouwelementen die mogelijks belangrijke extra warmteverliezen vertonen (bv. componenten die een isolatielaag onderbreken, wanden voorzien van metalen constructiedelen), complexe constructies of prefab elementen (bv. raamprofielen, modules van lichte gevels), hoeksituaties of aansluitingen waar een duidelijke driedimensionale warmtestroom optreedt, enz.

Numerieke berekeningen geven de meest nauwkeurige resultaten en zijn steeds toepasbaar als een toelaatbaar alternatief. In vele gevallen echter is het niet nodig om numerieke berekeningen uit te voeren en kunnen vereenvoudigde rekenmethodes toegepast worden die via een handberekening (formule) een voldoende nauwkeurige U-waarde opleveren.

De **vereenvoudigde berekeningen** die in onderhavige tekst zijn opgenomen kunnen zonder meer toegepast worden voor zover zij binnen het toepassingsdomein vallen dat omschreven is voor de verschillende gevallen.

### G.3 Conventies voor metselwerk en geperforeerde stenen

#### G.3.1 $\lambda_U$ -waarde van metselwerk

Een laag die (gemetselde of gelijmde) voegen bevat vormt een specifiek geval van een niet-homogene laag, zie § 6.2. Gebouwelementen die één of meerdere lagen met voegen bevatten kunnen op de algemene manier volgens de methode beschreven in 6.2 berekend worden.

Een vereenvoudigde werkwijze bestaat erin enkel de onderwaarde van de weerstand  $R''_T$  van het gebouwelement te bepalen. De warmtedoorgangscoefficiënt U wordt dan enkel op basis deze onderwaarde berekend (zie NOTA van 6.2.3)

In dat geval kan de rekenmethode op volgende alternatieve manier geformuleerd worden. De formules leiden tot hetzelfde resultaat voor  $R''_T$  als de formules van § 6.2.

De weerstand van de laag met voegen wordt gegeven door:

$$R = d/\lambda_U \quad [m^2K/W] \quad (G1)$$

waarin  $\lambda_U$  een equivalente (homogene) warmtegeleidbaarheid van de laag is. Deze wordt berekend als het oppervlakte gewogen gemiddelde van de warmtegeleidbaarheden van bouw materiaal en voeg.

$$\lambda_U = \frac{\lambda_{U,mat} \cdot A_{mat} + \lambda_{U,joint} \cdot A_{joint}}{A_{mat} + A_{joint}} \quad [W/m.K] \quad (G2)$$

waarin :

- $d$  [m] : de dikte van de laag;
- $\lambda_{U,mat}$  [W/mK] : warmtegeleidbaarheid van het bouw materiaal zonder voegen;
- $\lambda_{U,joint}$  [W/mK] : warmtegeleidbaarheid van het voegmateriaal;
- $A_{mat}$  [m<sup>2</sup>] : zichtbare oppervlakte van het bouw materiaal zonder voegen;
- $A_{joint}$  [m<sup>2</sup>] : zichtbare oppervlakte van de voegen.

De formule voor de equivalente warmtegeleidbaarheid (G2) kan ook geschreven worden als

$$\lambda_U = \lambda_{U,mat} \cdot (1 - f_{joint}) + \lambda_{U,joint} \cdot f_{joint} \quad [W/m.K] \quad (G3)$$

waarin :

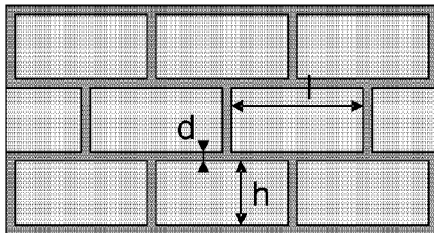
- $f_{joint}$  : de voegfractie [-].

Voor een repetitieve rechthoekige geometrie waarbij de strekse (bed-) en de kopse voeg even dik zijn (zie Figuur G.1), zoals standaard bij metselwerk, kan de voegfractie als volgt berekend worden:

$$f_{joint} = \frac{A_{joint}}{A_{mat} + A_{joint}} = 1 - \frac{l \cdot h}{(l+d) \cdot (h+d)} \quad [-] \quad (G4)$$

waarin (zie Figuur G.1) :

- $l$  [mm] en  $h$  [mm] : lengte en hoogte van het rechthoekige bouw materiaal;
- $d$  [mm] : dikte van de voeg (vaak 6 of 12 mm).



$$A_{joint} = (l+h+d) \times d$$

$$A_{mat} = l \times h$$

Figuur G.1 – Parameters voor de bepaling van de mortelfractie van metselwerk

Voor andere geometrische configuraties (bv. geen kopse voeg) dient de fractie op aangepaste manier berekend te worden, en in formule (G3) ingebracht te worden.



Volgende conventies moeten gehanteerd worden:

- indien de voegbreedte nergens meer dan 3mm bedraagt, is het toegelaten de invloed van de voeg niet in te rekenen (ongeacht het voegmateriaal). In dat geval geldt dus:  $\lambda_U = \lambda_{U,mat}$
- voor de voegfractie mogen altijd de volgende waarden bij ontstentenis gebruikt worden:
  - indien  $\lambda_{U,joint} < \lambda_{U,mat}$  :  $f_{joint} = 0.00$  (0%)
  - indien  $\lambda_{U,joint} > \lambda_{U,mat}$  :
    - voor binnenmetselwerk:  $f_{joint} = 0.16$  (16%)
    - voor buitenmetselwerk:  $f_{joint} = 0.28$  (28%)

Voorbeelden van materialen die courant met voegwerk uitgevoerd worden, zijn:

- natuursteen (tabel A.2)
- metselstenen (tabellen A.3 tot A.8)
- holle blokken (tabel B.1)
- glasbouwstenen (§11.1)
- ...

### G.3.2 $\lambda_U$ -waarde van geperforeerde bouwstenen of –blokken

Voor metselwerk opgebouwd uit geperforeerde bouwstenen of –blokken, wordt de  $\lambda_U$ -waarde van deze stenen ontleend aan de tabelwaarden van de gelijkaardige volle stenen (tabellen A.3 tot A.8 van bijlage A), waarbij echter de volumemassa van de geperforeerde stenen in acht wordt genomen.

Naargelang de gekende informatie m.b.t. de geperforeerde steen kan de  $\lambda_U$ -waarde op de volgende manieren bepaald worden :

- 1) Indien de aard van de steen gekend is, evenals de volumemassa van de volle steen (scherfgewicht) en het percentage perforaties, dan wordt de volumemassa van de geperforeerde steen berekend en wordt de hiermee overeenstemmende  $\lambda_U$ -waarde uit de corresponderende tabel gehaald. Een voorbeeld :
  - **Gegeven** : een gecertificeerde steen van gebakken aarde met 30% perforaties en een volumemassa van de scherf (volle steen) van  $1800 \text{ kg/m}^3$ ;
  - **Bepaling** : aangezien de volle steen een volumemassa heeft van  $1800 \text{ kg/m}^3$  en de steen 30% perforaties heeft, is de volumemassa van de geperforeerde steen gelijk aan  $1800 \text{ kg/m}^3 \times 70\% = 1260 \text{ kg/m}^3$ ; de  $\lambda_U$ -waarde die overeenstemt met deze volumemassa van  $1260 \text{ kg/m}^3$  is  $0,42 \text{ W/mK}$  (zie Tabel A.3).
- 2) Indien de aard van de steen gekend is, evenals de afmetingen en de massa van de geperforeerde steen, maar het percentage perforaties niet gekend is, dan kan de  $\lambda_U$ -waarde direct gehaald worden uit de corresponderende tabel. Een voorbeeld :
  - **Gegeven** : een gecertificeerde geperforeerde steen met afmetingen  $290 \times 140 \times 90 \text{ mm}$  en een massa van  $4,6 \text{ kg}$ ;
  - **Bepaling** : de volumemassa van de geperforeerde baksteen is gelijk aan de massa gedeeld door het volume, d.w.z  $4,6 / (0,29 \times 0,14 \times 0,09) = 1260 \text{ kg/m}^3$ ; de  $\lambda_U$ -waarde kan rechtstreeks bepaald worden voor deze volumemassa van  $1260 \text{ kg/m}^3$ , d.w.z.  $0,42 \text{ W/mK}$  (tabel A.3).

### G.4 Conventies voor niet-homogene bouwlagen met houtstructuur

Vele wanden bevatten niet homogene bouwlagen waarin een houtstructuur verwerkt is. Typische voorbeelden hiervan zijn balklagen in hellende of platte daken, houten vloeren of plafonds, houtskelwand, enz. Meestal bevinden zich tussen deze houtstructuur isolatielagen waarvan het isolerend vermogen verzwakt wordt door de aanwezigheid van houten balken of stijlen die de isolatielagen onderbreken.

Bij de bepaling van de U-waarde van dergelijke wanden dient de warmteweerstand van de bouwlagen met houtstructuur berekend te worden in functie van de houtfractie in deze lagen. Omwille van de zeer grote

verscheidenheid van afmetingen van gordingen, balken, kepers, enz... evenals de variabele tussenafstanden na plaatsing van deze elementen, is het weinig zinvol om voor houtfracties bruikbare tabelwaarden op te geven. Indien voldoende gegevens beschikbaar zijn m.b.t. de houtbreedte en de tussenafstanden (hart op hart) van repetitieve houten elementen, dan kan de houtfractie van de bouwlaag waarin de houten elementen geplaatst zijn, berekend worden op de volgende wijze :

$$\text{houtfractie} = \frac{\text{breedte van de houten elementen}}{\text{gemiddelde tussenafstand (hart op hart)}}$$

Bij de bepaling van de houtfractie dient niet alleen rekening gehouden te worden met de kepers of balken, maar eveneens met de eventueel aanwezige houten dwarsverbindingen die de structuur verstevigen. Voor deze dwarsverbindingen wordt de houtfractie vermeerderd met een additionele term van 1% (+ 0,01).

Er mag steeds gebruik gemaakt worden van waarden bij ontstentenis, die een bovenwaarde zijn van de meest voorkomende waarden (zie Tabel G.1).

Houtstructuur	Houtfractie (waarden bij ontstentenis)
Gordingendak (gordingen – primaire draagstructuur)	0,11
Gordingendak (kepers – secundaire draagstructuur)	0,20
Sporen- of spantendak (spanten – secundaire draagstructuur)	0,12
Houten vloeren (balken – secundaire draagstructuur)	0,11
Houtskeletwanden	0,15

Tabel G.1 – Houtfracties (waarden bij ontstentenis) voor bouwlagen met houtstructuur

## G.5 Bijkomende conventies voor de bepaling van de U-waarde

### G.5.1 Daken met pannen of leien als dakbedekking

	<p>1: dakbedekking (pannen of leien)                  2: panlatten                  3: tengellatten                  4: onderdak                  5: luchtspouw tussen dakbedekking en onderdak                  6: isolatie                  7: lucht- en dampscherm                  8: leidingenspouw                  9: binnenafwerking</p>
--	--

Figuur G.2 – Warmteweerstand van een pannen- of leidendak

In het geval van een leidendak of een pannendak (Figuur G.2) wordt aangenomen dat de luchtspouw tussen de dakbedekking en het onderdak een sterk geventileerde luchtlaag is. Dit betekent dat alle bouwlagen tussen deze luchtspouw en de buitenomgeving verwaarloosd worden bij de berekening van de totale warmteweerstand van het dak en dat de warmteovergangswaarde ter hoogte van het onderdak gelijk genomen wordt aan  $R_{si}$  (zie 5.4.2.4) :

$$1/U = R_T = R_{si} + R_{tot} + R_{si} \quad [m^2K/W]$$

met:

- $R_{tot}$  [ $m^2K/W$ ] : som van de warmteweerstanden van alle bouwlagen tussen de binnenomgeving en de sterk verluchte spouw (lagen 4, 6, 7, 8 en 9).

### G.5.2 Verlaagde plafonds

In het kader van de energieprestatieregelgeving wordt er a priori van uitgegaan dat de ruimte boven het verlaagd plafond niet luchtdicht afgesloten is van de onderliggende ruimte. De warmteweerstand van het verlaagd plafond wordt dan ook verwaarloosd. Enkel indien aangetoond kan worden dat het verlaagd plafond luchtdicht afgesloten is (bv. met rondom afgekleefde luchtdichte folies), kunnen de warmteweerstanden van het vals plafond en van de ruimte tussen het vals plafond en de bovenliggende constructie meegerekend te worden bij de bepaling van de U-waarde van het plafond of dak.

### G.5.3 Vloeren

De volgende conventies zijn geldig bij de bepaling van de U-waarde van vloeren :

- Voor vloeren op volle grond en muren in contact met de grond wordt geen rekening gehouden met opvullingen die zich onder de vloerplaat of tegen de muur bevinden en waarvan de rekenwaarde van de van toepassing zijnde warmtegeleidbaarheid (binnen- of buitenomstandigheden) groter is dan 0.4 W/(m.K) (bv. gestabiliseerd zand of losgestorte steenslag); deze materialen worden beschouwd als behorend tot de grond.
- De U-waarde houdt geen rekening met de warmteweerstand van afwerkingslagen of vloerbekledingen die niet vast bevestigd zijn of die gemakkelijk te verwijderen zijn, zoals tapijten, tapijten, enz.

Gezien om te worden gevoegd bij het besluit van de Waalse regering van 17 april 2008 tot vaststelling van de berekeningsmethoden en cisen, goedkuringen en sancties op het vlak van energieprestaties en het binnenklimaat van gebouwen.

Namen, 17 april 2008.

De Minister-President,

R.DEMOTTE

De Minister van Huisvesting, Transport en Ruimtelijke Ontwikkeling,

A. ANTOINE