

THERMISCHE OPTIMALISATIE VAN VERANKERINGEN

PRO³- IWT-TETRA 150144, Werkpakket 2 & 3
September 2017

Faculteit Ingenieurswetenschappen en Architectuur
Vakgroep Architectuur & Stedenbouw
Onderzoeksgroep Bouwfysica, constructie en klimaatbeheersing

E katrien.maroy@ugent.be
T 09 264 32 48

Technicum B4
Sint-Pietersnieuwstraat 41, 9000 Gent

www.ugent.be



INHOUDSOPGAVE

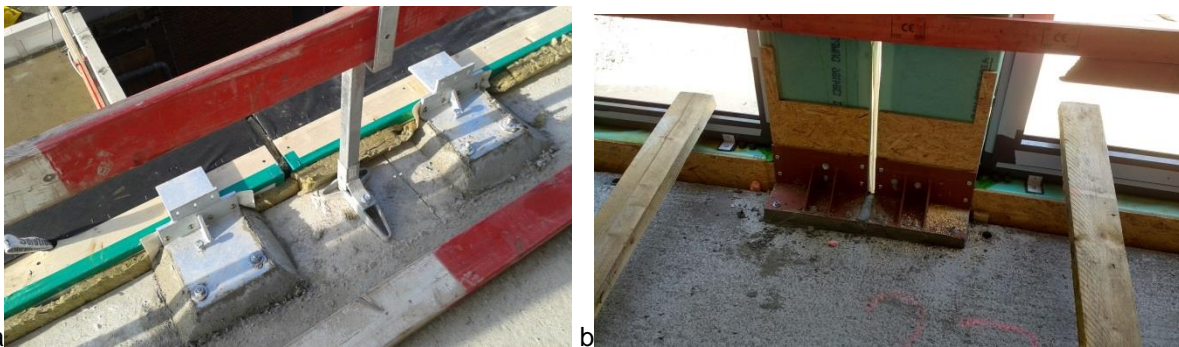
Inhoudsopgave	2
1 Inleiding	3
2 Verankeringen van gevelementen in epb	4
2.1 Algemene rekenregel voor bouwknopen	4
2.2 Vuistregels EPB-aanvaarde bouwknopen	5
2.3 Wat als de bouwknop niet EPB aanvaard is?	6
2.4 Wanneer moeten we de verankering en stelregel niet inrekenen?	7
3 Principes simulatiemodellen	9
3.1 Afmetingen	9
3.2 Randvoorwaarden	10
4 Verankering van houten gevelementen	12
4.1 EPB-aanvaarde houten stelregel met verankering	12
4.2 Werkwijze numerieke berekening bij niet EPB-aanvaarde bouwknopen	13
4.3 Voeg tussen prefab panelen met verankering	19
5 Verankeringen bij geventileerde gevels	24
5.1 Beschrijving systeem	24
5.2 Hoe berekenen in EPB?	25
5.3 Opbouw model	25
5.4 Puntbouwknop χ_e vs. Spouwhaakmethode ΔU_f	26
5.5 Hout vs. RVS	27
5.6 Thermische onderbreking	28
6 Samenvatting	30
6.1 Verankering van houten gevelementen	30
6.2 Verankeringen van geventileerde gevels	30
7 Bibliografie	31

1 INLEIDING

Bij prefab elementen zijn er verschillende situaties waarbij de isolatielaag (deels) onderbroken wordt door een anker in staal of inox:

- Onderaan de gevel, bij de stelregel;
- In de voeg tussen twee prefab elementen;
- Bij de ankerpunten van gevelbekleding, bij geventileerde gevels.

Het is niet altijd duidelijk of deze punten ingegeven moeten worden in EPB. Dit is sterk afhankelijk van de mate waarin de verankering de isolatielaag onderbreekt, de afmetingen, enz. Dit is op zijn beurt zeer projectafhankelijk, omdat bv. de verankering van houten gevelelementen per project berekend en maatgegeven wordt (bv. Figuur 1).



Figuur 1 (a) en (b) Verankering van houten gevelelementen.

In dit verslag wordt nagegaan:

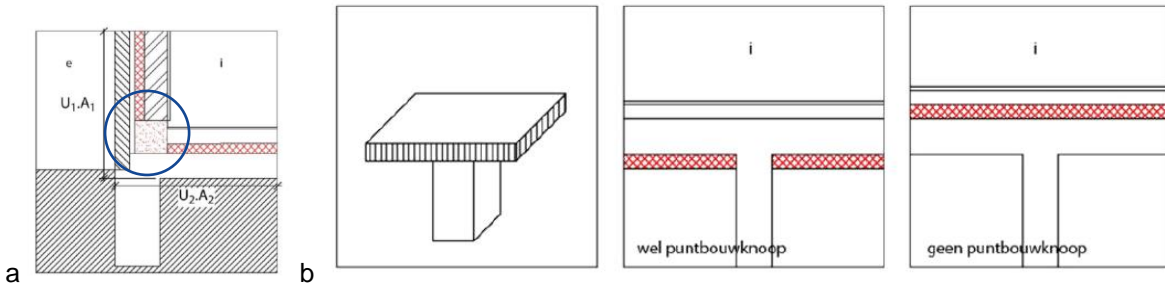
- of/hoe de verankering van houtskeletelementen (bv. Figuur 1) verrekend moet worden in de EPB-verslaggeving;
- wat de thermische impact is van verankeringen van houtskeletelementen die niet EPB-aanvaard zijn en ingegeven moeten worden;
- wat de thermische impact is van verankeringen van in-situ geplaatste geventileerde gevelsystemen;
- of er mogelijke optimalisaties zijn, door gebruik van een ander verankeringsmateriaal, thermische onderbrekingen, enz.

In dit verslag werd de verankering tussen gevelpanelen en onderaan gevelpanelen gesimuleerd volgens de bepalingen uit (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010). Hiervoor werd TRISCO gebruikt. Dit is een computerprogramma waarmee stationair warmtetransport door bouwknoopen wordt berekend (Physibel, 2005).

2 VERANKERINGEN VAN GEVELEMENTEN IN EPB

2.1 Algemene rekenregel voor bouwknopen

Bouwknopen zijn plaatsen in de gebouwschil waar de isolatielaag van een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak lineair of puntsgewijs onderbroken wordt, al dan niet over de volledige dikte van de isolatielaag. De isolatielaag wordt hierbij (deels) onderbroken door een materiaal met een hogere warmtegeleidbaarheid dan de isolatielaag (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010) (Figuur 2).



Figuur 2 (a) Voorbeeld van een lineaire bouwknop aan de funderingsaansluiting (b) Voorbeeld van een puntbouwknop (Werkgroep PAtH2010, 2009)

In de berekening van de totale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie H_T^{3D} (W/K) van een gebouw moet rekening gehouden worden met de warmteverliezen door lineaire en puntsgewijze bouwknopen. Hiervoor worden respectievelijk de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ_e (W/mK) en puntsgewijze warmtedoorgangscoefficiënt χ_e (W/K) gebruikt.

$$H_T^{3D} = H_d + H_g + H_u + \sum_k \frac{l_k b_k \psi_{e,k}}{n_k} + \sum_l \frac{b_l \chi_{e,l}}{n_l} \quad [\text{W/K}] \quad (\text{formule 1})$$

Met (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010):

- H_T^{3D} driedimensionale warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie (W/K)
- H_d warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak in direct contact met de buitenomgeving (W/K)
- H_g warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak in contact met de grond en onverwarmde kelders en kruipruimten (W/K)
- H_u warmteoverdrachtscoëfficiënt door transmissie doorheen de scheidingsconstructies van het verliesoppervlak in contact met aangrenzende onverwarmde ruimten (W/K)
- l_k totale lengte lineaire bouwknop, volgens de buitenafmetingen (m)
- $\psi_{e,k}$ lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (W/mK), met afmetingen bepaald volgens de buitenafmeting (suffix e)
- $\chi_{e,k}$ Puntwarmtedoorgangscoefficiënt (W/K), met afmetingen bepaald volgens de buitenafmeting (suffix e)
- b_k en b_l temperatuurreductiefactoren, enkel <1 indien de bouwknop grenst aan 2 of meer omgevingen die niet tot een beschermd volume behoren
- n_k en n_l het aantal energiesectoren en delen van het gebouw met een andere bestemming waaraan de lineaire bouwknop k of puntbouwknop l grenst

b_k en b_l zijn temperatuurreductiefactoren die gebruikt mogen worden als de bouwknop grenst aan minimum 2 verschillende omgevingen, bv. de buitenomgeving en een onverwarmde ruimte. De temperatuurreductiefactoren kunnen berekend worden met formule 2 (NBN B62-002, 2008). Met n_k

en n_i worden het aantal delen van een gebouw aangeduid die een andere bestemming hebben (en dus een ander EPB-dossier) dan het gebouw waarvoor H_T^{3D} berekend wordt.

$$b_k, b_l = \frac{\theta_i - \theta_u}{\theta_i - \theta_e} \quad (\text{formule 2})$$

Met:

θ_i = binnentemperatuur beschermd volume,

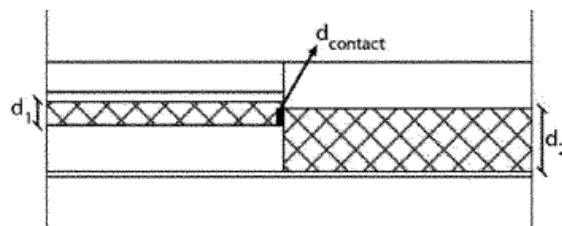
θ_e = buitentemperatuur,

θ_u = temperatuur tweede omgeving, bv. AOR

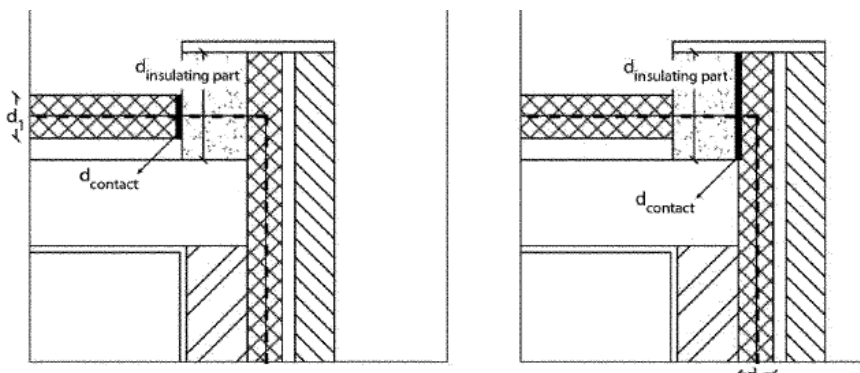
2.2 Vuistregels EPB-aanvaarde bouwknopen

Een bouwknop moet voldoen aan één van de drie vuistregels om EPB-aanvaard te zijn (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010), waardoor χ_e en ψ_e niet apart ingerekend moeten worden in de berekening van H_T^{3D} .

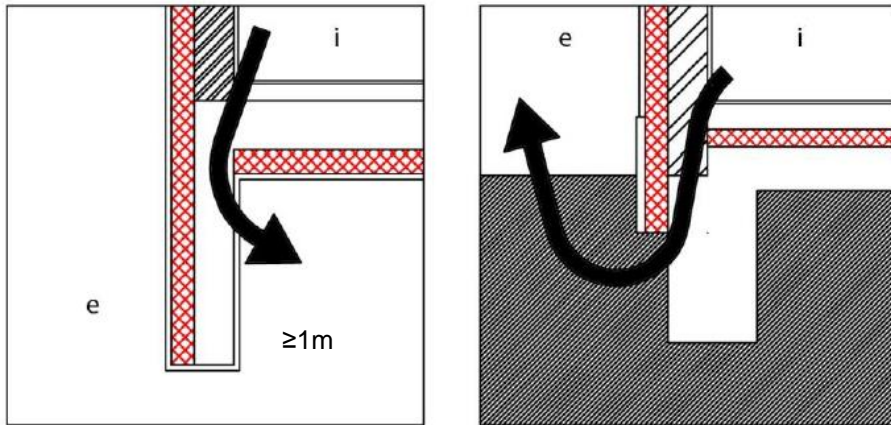
1. Continuïteit van de isolatielagen door een minimale contactlengte d_{contact} (Figuur 3)
 - Met $d_{\text{contact}} \geq \min(d_1/2, d_2/2)$
2. Continuïteit van de isolatielagen door tussenvoeging van isolerende delen (Figuur 4)
 - Met de warmtegeleidbaarheid van het isolerend deel $\leq 0.2 \text{ W/mK}$
 - En: de totale warmteweerstand R van het isolerend deel (loodrecht op de thermische snedelijijn) is $\geq \min(R_1/2, R_2/2, 2) \text{ m}^2\text{K/W}$
 - En: contactlengte van de aansluiting aan het isolerend deel $d_{\text{contact}} \geq \min(d_{\text{isolerend deel}}/2, d_x/2)$
 - Belangrijke opmerking: Mechanische bevestigingen met een warmtegeleidbaarheid groter dan 0.2 W/mK die de koude zijde van een isolerend deel rechtstreeks verbinden met de warme zijde van het isolerende deel, zijn enkel toegestaan indien de gesommeerde sectie van deze bevestigingen niet meer bedraagt dan 1 cm^2 per lopende meter lineaire bouwknop.
3. Minimale lengte van de weg van de minste weerstand (kortste weg waar nergens een isolatielaag tussen binnen en buiten wordt doorkruist), $l_i \geq 1 \text{ m}$ (Figuur 5)



Figuur 3 Vuistregel 1: Minimale contactlengte d_{contact} garanderen (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010)



Figuur 4 Vuistregel 2: Tussenvoeging van een isolerend deel (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010)



Figuur 5 Vuistregel 3: De weg van de minste weerstand verlengen tot 1 m (Werkgroep PATHB2010, 2009)

2.3 Wat als de bouwknop niet EPB aanvaard is?

Dan kan gekozen worden om ψ_e en χ_e numeriek te berekenen of om de waarde bij ontstentenis te gebruiken.

2.3.1 Waarde bij ontstentenis

Indien er gekozen wordt voor de waarde bij ontstentenis voor de bouwknopen, moeten de waarden uit Tabel 1 gebruikt worden voor ψ , met $\psi_{e,lim}$ uit Tabel 2.

Tabel 1 Waarde bij ontstentenis voor ψ (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010)

Bouwknop zonder thermische onderbreking met lineaire doorverbinding in metaal of gewapend beton	$0.90 + \psi_{e,lim}$ W/mK
Bouwknop met thermische onderbreking met puntsgewijze doorverbinding in metaal	$0.40 + \psi_{e,lim}$ W/mK
Andere	$0.15 + \psi_{e,lim}$ W/mK

Tabel 2 Limietwaarden $\psi_{e,lim}$ (W/mK). (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010)

Buitenhoek 2 muren	-0.10 W/mK
Andere buitenhoeken	0.00 W/mK
Binnenhoeken	0.15 W/mK
Venster- en deuraansluitingen	0.10 W/mK
Funderingsaanzetten	0.05 W/mK
Balkons-luifels	0.10 W/mK
Aansluiting van een scheidingsconstructie binnen eenzelfde beschermd volume of tussen 2 verschillende beschermde volumes op een scheidingsconstructie van het verliesoppervlak	0.05 W/mK
Alle andere lineaire bouwknopen	0.00 W/mK

Voor χ_e zijn de waarden bij ontstentenis af te lezen uit Tabel 3.

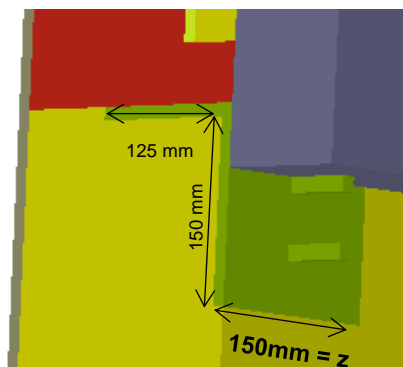
Tabel 3 Waarde bij ontstentenis χ_e (W/K) (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010)

Onderbrekingen van de isolatielaag door metalen elementen (z = zijde van het omschreven vierkant, in m)	$4.7 \cdot z + 0.03$ W/K
Onderbreking van de isolatielaag door andere materialen dan metaal (A = sectie van de onderbreking, in m ²)	$3.8 \cdot A + 0.1$ W/K

Toepassingsvoorbeeld waarde bij ontstentenis puntbouwknoop

Voor een metalen L-profiel met afmetingen 125 x 150 x 10 mm is de waarde bij ontstentenis 0.735 W/K, met z (zijde omgeschreven vierkant) gelijk aan 0.150 m (Figuur 6). Dit is de breedte van het anker.

Voor een stelregel met een metalen verankering, zou de waarde bij ontstentenis (met $\psi_{e,lim} = 0.05$, funderingsaanzet) 0.45 W/mK bedragen.



Figuur 6 Metalen L-profiel met afmetingen 150 x 150 x 10

2.3.2 Numerieke berekening

Een tweede optie om niet EPB-aanvaarde bouwknoepen in te rekenen is door een numerieke simulatie uit te voeren met gevalideerde software, bv. Trisco. Op die manier wordt de exacte waarde van ψ_e en χ_e berekend (Belgisch Staatsblad, 2010). De richtlijnen voor thermische simulaties worden verderop in dit verslag geïllustreerd.

2.4 Wanneer moeten we de verankering en stelregel niet inrekenen?

2.4.1 Stelregel

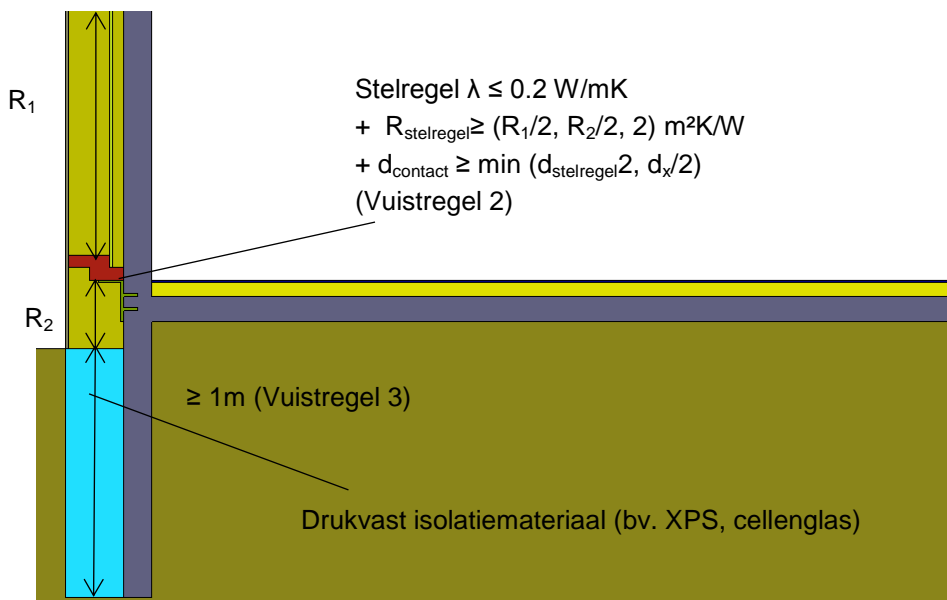
Als de stelregel bestaat:

- Uit een balk met een warmtegeleidbaarheid (λ) lager of gelijk aan 0.20 W/mK;
- EN: de thermische weerstand (R) ter hoogte van de stelregel groter of gelijk is aan minimaal de helft van de kleinste thermische weerstand van de isolerende delen (paneel en isolatielaag onder paneel) of minimaal 2 m²K/W ($R_{stelregel} \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2)$ m²K/W);
- EN: de contactlengte tussen de stelregel en de isolatielaag minimaal de helft is van de dikte van de isolatielaag of balk;

is voldaan aan vuistregel 2 (§2.2), waardoor de lineaire bouwknoop met stelregel EPB-aanvaard is.

Wanneer de stelregel opgebouwd is uit een materiaal met een warmtegeleidbaarheid hoger dan 0.20 W/mK of de thermische weerstand ter hoogte van de stelregel is lager dan min ($R_1/2, R_2/2, 2$) m²K/W, moet de lijnwarmtedoorgangscoefficiënt ψ wel berekend worden. Indien uit numerieke simulaties dan blijkt dat de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt lager is dan $\psi_{e,lim}$ (≤ 0.05 W/mK), is de bouwknoop EPB-aanvaard (Rekenvoorbeeld zie §4.2).

De aansluiting van de gevelpanelen op de fundering is EPB-aanvaard als een strook van 1 m drukvast isolatiemateriaal onder de stelregel wordt bevestigd (Figuur 7). Op die manier wordt de weg met de minste weerstand verlengd tot min. 1 m en is voldaan aan vuistregel 3 (§2.2).



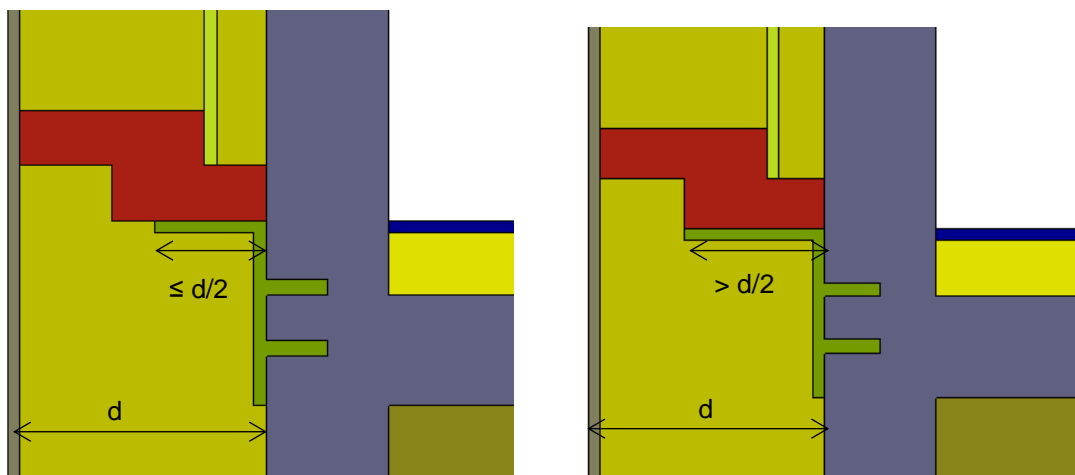
Figuur 7 De funderingsaanzet is EPB-aanvaard als een strook van 1 m in een drukvast isolatiemateriaal wordt aangebracht en de stelregel bestaat uit een materiaal met $\lambda \leq 0.2 \text{ W/mK}$ en de thermische weerstand aan de stelregel hoger is dan de kleinste waarde van $R_1/2$, $R_2/2$ en $2 \text{ m}^2\text{K/W}$.

2.4.2 Verankering prefab elementen

De puntbouwknoop aan de verankering is EPB-aanvaard als de contactlengte tussen de isolatielagen minimum over de halve dikte van de isolatielaag ligt (Figuur 8a)(Vuistregel 1 uit §2.2). Als een puntsgewijze verankering dus slechts tot de halve dikte van de isolatielaag komt, is de knoop EPB-aanvaard. In andere gevallen moet de χ_e -waarde ingerekend worden. Deze wordt numeriek bepaald d.m.v. een softwarepakket zoals Trisco of gebruik van Tabel 3 (Waarde bij ontstentenis).

Anker is EPB aanvaard: χ_e niet

Anker is niet- EPB aanvaard: χ_e berekenen of waarde bij ontstentenis (Tabel 3)



Figuur 8 (a) EPB-aanvaard en (b) Niet EPB-aanvaard; d = dikte van de isolatielaag

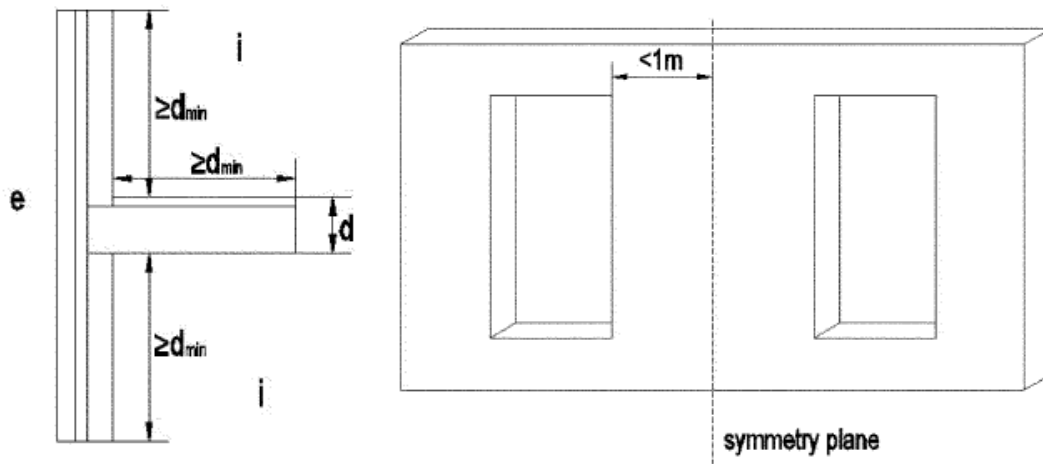
3 PRINCIPES SIMULATIEMODELLEN

De numerieke berekeningen in het verslag werden uitgevoerd met het softwarepakket TRISCO (Physibel, 2005).

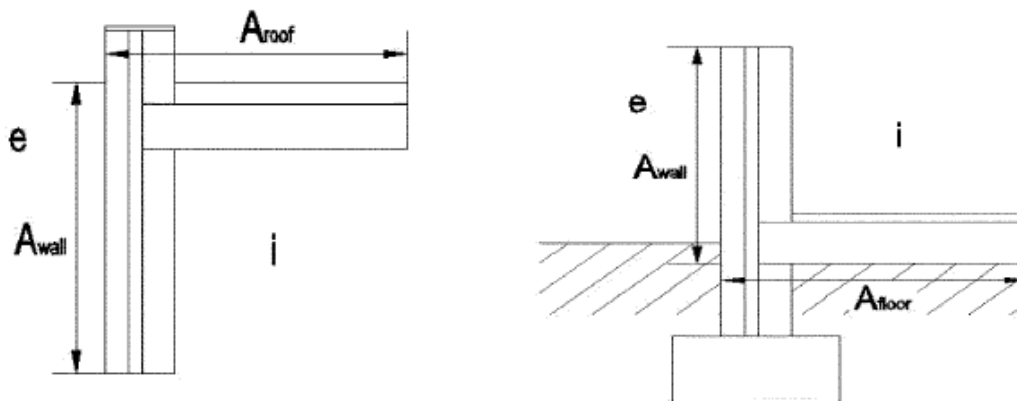
3.1 Afmetingen

De afmetingen van het simulatiemodel voor de numerieke berekeningen zijn gedefinieerd in (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010) (Figuur 9). Bij lineaire bouwknope kan de lengte van het model (derde dimensie) vrij gekozen worden. Indien er zich binnen deze afstand een symmetrievlak bevindt, kan het desbetreffende constructiedeel ter plaatse van het symmetrievlak afgesneden worden. Op de snijvlakken gelden steeds adiabatische randvoorwaarden (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010).

Voor de flankerende oppervlakken wordt telkens uitgegaan van de buitenafmetingen (Figuur 10).

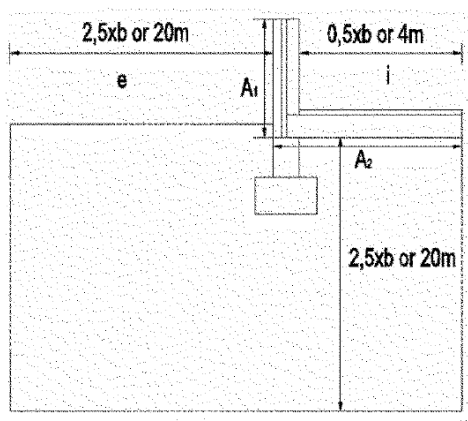


Figuur 9 met $d_{min} = \text{Max}(1 \text{ m}; 3 \times \text{dikte constructiedeel})$ (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010)



Figuur 10 Buitenafmetingen nemen voor de flankerende oppervlakken (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010)

Voor bouwknope aan het grondmassief, gelden de afstandsregels zoals aangegeven op Figuur 11. De warmtegeleidbaarheid van de grond wordt gelijkgesteld aan 2 W/mK (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010).

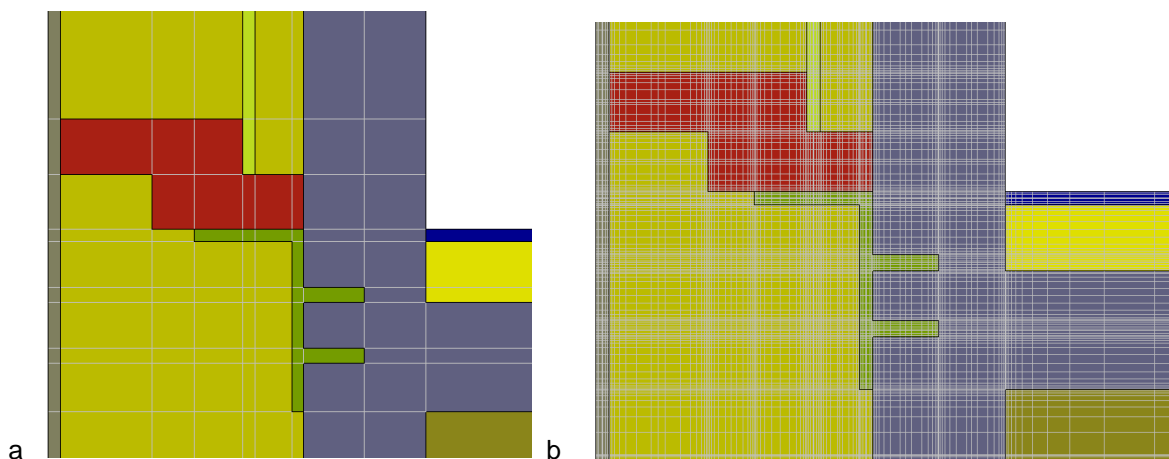


Figuur 11 Afmetingen grondmassief (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010)

Tot slot wordt in de simulatiesoftware gebruik gemaakt van een grid om detailaansluitingen te simuleren (Figuur 12). De temperatuur wordt berekend op het snijpunt van de gridlijnen. (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010) schrijft voor dat voor een voldoende nauwkeurige simulatie een minimaal grid moet gerespecteerd worden: bij een verdubbeling van het aantal onderverdelingen mag de warmtestroom niet wijzigen met meer dan 1%. Dit betekent dat het grid voldoende fijnmazig moet zijn voor een nauwkeurige numerieke berekening.

Grid niet nauwkeurig genoeg

Grid nauwkeurig genoeg



Figuur 12 (a) Grid op basis van de materiaalafmetingen, is niet nauwkeurig genoeg (b) Grid waarbij ieder blok onderverdeeld is in 5 lagen, waardoor een fijnmazig grid ontstaat

3.2 Randvoorwaarden

Voor de materiaaleigenschappen werden de waarden uit Bijlage A van het transmissiereferentiedocument (NBN B62-002, 2008) gebruikt (Tabel 4). Enkel voor de cementgebonden vezelplaat werden productgegevens gebruikt.

Tabel 4 Overzicht warmtegeleidingscoëfficiënt materialen simulatie

Metaal	
Staal	50 W/mK
Roestvast staal	17 W/mK
Aluminium 99%	50 W/mK

Binnenwanden

Metselwerk Volumemassa bakstenen $\leq 1500 \text{ kg/m}^3$	0.51 W/mK
Gewapend beton met 2% staal	2.50 W/mK

Hout

Timmerhout (Volumemassa 700 kg/m^3)	0.20 W/mK
Cementgebonden vezelplaat	0.35 W/mK (Technische fiche duripanel)
OSB	0.13 W/mK

Isolatiematerialen

Minerale wol	0.031-0.044 W/mK (gemiddelde waarde: 0.037 W/mK)
Polyurethaan (PUR/PIR-platen)	0.022-0.029 W/mK (gemiddelde waarde: 0.026 W/mK)
Polyurethaan (PUR-PIR-ingespoten)	0.055 W/mK
XPS	0.028-0.038 W/mK (gemiddelde waarde: 0.033 W/mK)

Andere materialen

Tegels van gebakken klei	0.81 W/mK
--------------------------	-----------

De binnen- en buitentemperatuur werden vastgelegd op respectievelijk 20°C en 0°C . In het geval van een geventileerde gevel, werd de gevelafwerking verwaarloosd en werd de overgangsweerstand aan het buitenvlak op $R_{se} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ vastgelegd (NBN B62-002, 2008). De weerstand aan het binnenoppervlak R_{si} is eveneens $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ (NBN B62-002, 2008).

4 VERANKERING VAN HOUTEN GEVELEMENTEN

4.1 EPB-aanvaarde houten stelregel met verankering

Houten gevelementen worden standaard op een horizontaal uitgelijnde houten stelregel geplaatst die met L-ankers onderaan tegen de wand bevestigd is. Deze stelregel vergemakkelijkt de plaatsing van de panelen (Figuur 13). Onder de stelregel wordt doorgaans nog een drukvast isolatiemateriaal (zoals cellenglas, PIR of XPS) voorzien, dat in verbinding staat met de grond.

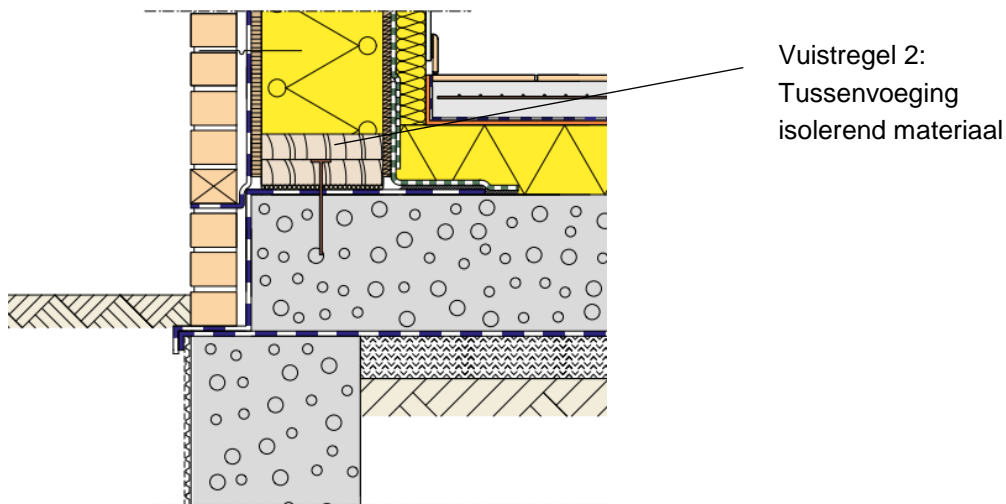


Figuur 13 (a) Houten stelregel op ijzeren L-profiel (Tijskens, 2015)(b) Driehoekige verankering die de volledige substructuur draagt, en waartegen de houten prefab panelen geplaatst worden (IEA ECBCS Annex 50, 2011)(c) Stelregel op een extra fundering voor de plaatsing van enkelschalige betonelementen met minerale wol (Kristensen, 2017)

Om de bouwknop EPB-aanvaard te maken, zijn er drie voorwaarden (zie ook Figuur 7):

1. De stelregel bestaat uit een materiaal met een warmtegeleidbaarheid (λ) van maximum 0.20 W/mK. Tegelijk moet de thermische weerstand (R) minimaal hoger zijn dan 2 m²/WK of de helft van de thermische weerstand van het prefab paneel of van de drukvaste isolatie onder het paneel.
Daarmee is voldaan aan vuistregel 2 (tussenvoeging isolerend materiaal met $\lambda \leq 0.20$ W/mK, § 2.2), waardoor de knop met stelregel EPB-aanvaard is.
2. Er is een strook XPS van 1 m onder het paneel aangebracht. Op die manier wordt de weg met de minste weerstand verlengd tot min. 1 m (vuistregel 3 EPB-aanvaarde bouwknop (§2.2))
3. De verankering onderbreekt de isolatielaag tot max. de helft. Hiermee is voldaan aan de minimale contactlengte om de isolatielaag als doorlopend te beschouwen (Vuistregel 1 EPB-aanvaarde bouwknop). Dit moet wel constructief nagerekend worden (Figuur 8b).

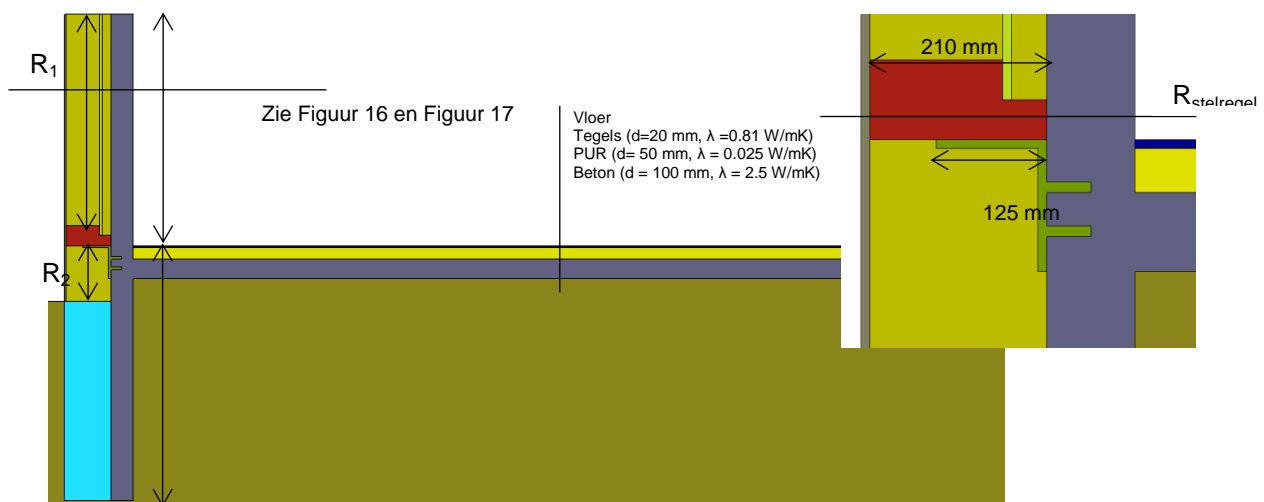
Vanzelfsprekend gelden deze vuistregels ook indien het houtskeletelement de bestaande gevel volledig vervangt (Figuur 14). Indien aan één van de drie vuistregels die hierboven zijn opgesomd wordt voldaan, hoeft de bouwknop niet apart ingerekend te worden in EPB.



Figuur 14 Voorbeeld van een funderingsaansluiting bij gevelelementen in houtskeletbouw (nieuwbouw) (WTCB TV 255, 2015)

4.2 Werkwijze numerieke berekening bij niet EPB-aanvaarde bouwknopen

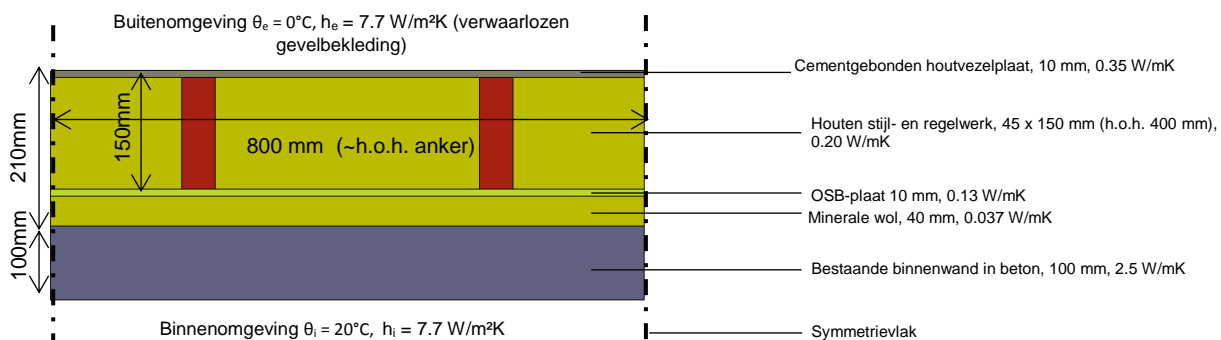
Indien om stabiliteitsredenen de verankering de isolatielaag (zijnde het prefab paneel) voor meer dan de helft van de dikte onderbreekt en de stelregel het prefab paneel over de volledige dikte moet ondersteunen (waardoor $R_{\text{stelregel}} = 1.06 \text{ m}^2\text{K/W} < \min(R_1/2, R_2/2, 2) \text{ m}^2\text{K/W}$), moet de onderstaande procedure gevolgd worden om de puntwarmtedoorgangscoefficiënt (χ_e) en lijnwarmtedoorgangscoefficiënt (ψ_e) numeriek te berekenen (Figuur 15).



Figuur 15 Bouwknop met niet-EPB aanvaarde verankering

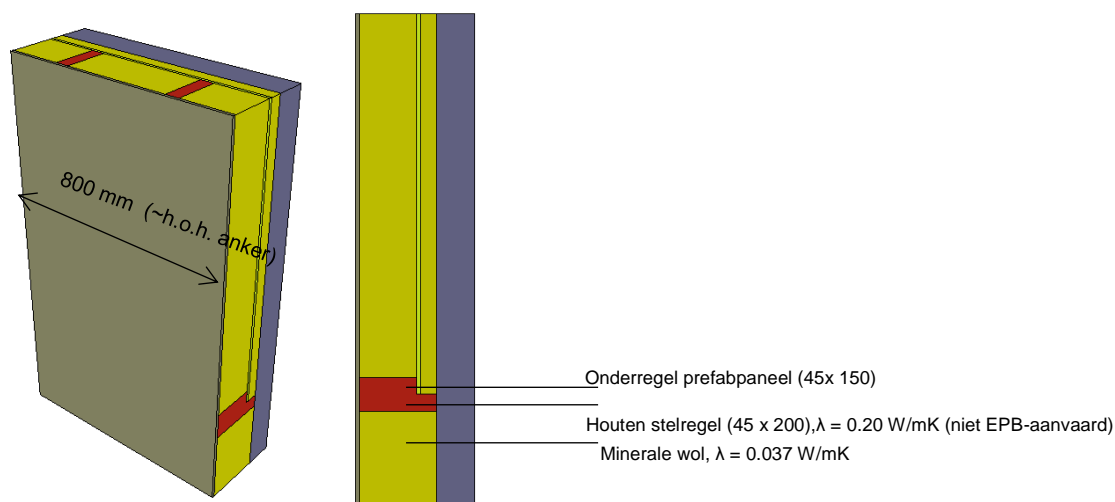
4.2.1 Opbouw simulatiemodel

In deze simulaties werd gekeken naar de verankering van een houten gevelement tegen een bestaande betonnen wand (Figuur 16).



Figuur 16 Snede wandelement

Voor de aansluiting onderaan werd een stelregel (45 x 200 mm) geplaatst met daaronder een strook minerale wol die over de hele moot van het model doorloopt (Figuur 17). Doordat de houten stelregel tot tegen de betonnen wand zit, is de stelregel niet EPB-aanvaard, want $R_{\text{stelregel}} = 1.09 \text{ m}^2\text{K/W}$. Om te voldoen aan vuistregel 2 moet $R_{\text{stelregel}} \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2) \text{ m}^2\text{K/W}$.

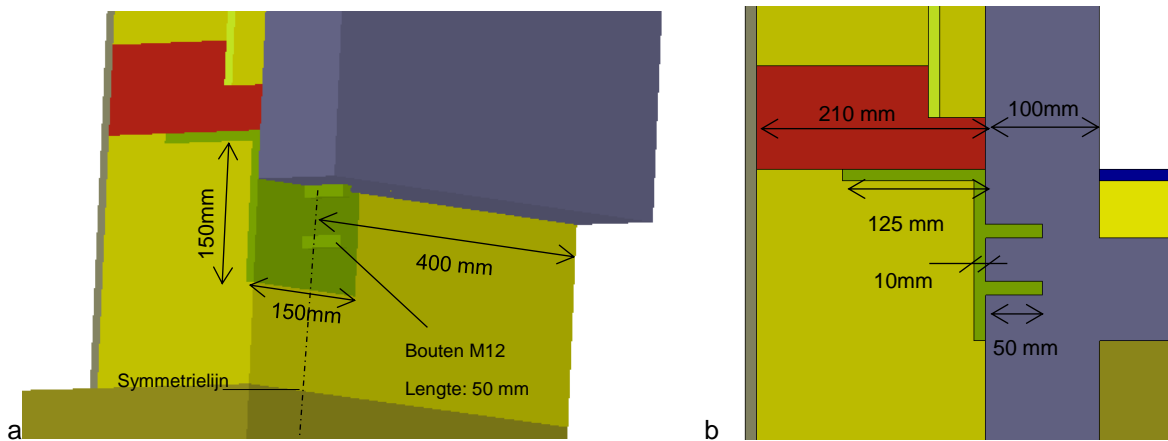


Figuur 17 Detaillering stelregel prefab paneel

4.2.2 Verankering

De verankering werd volledig gesimuleerd, met inbegrip van de boutverbinding. Het anker bevindt zich telkens in het midden van het model, met een **h.o.h. afstand van 800 mm** (gebaseerd op Case 12, Prefabgids). De verankering heeft een breedte en hoogte van 150 x 150 mm en een dikte van 10 mm. De verankering onderbreekt de isolatielaag (het prefab paneel) voor 125 mm, wat meer dan de helft is van de isolatiedikte. De verankering is dus niet EPB-aanvaard. In het midden zitten twee boutverbindingen met een diameter van 12 mm. Deze zitten tot halverwege de bestaande binnenwand in gewapend beton (Figuur 18).

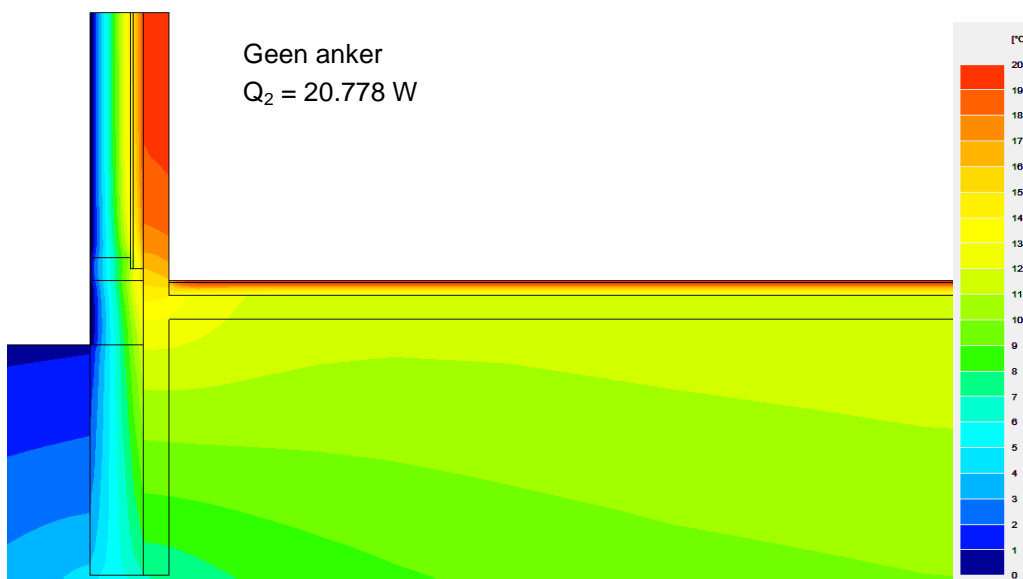
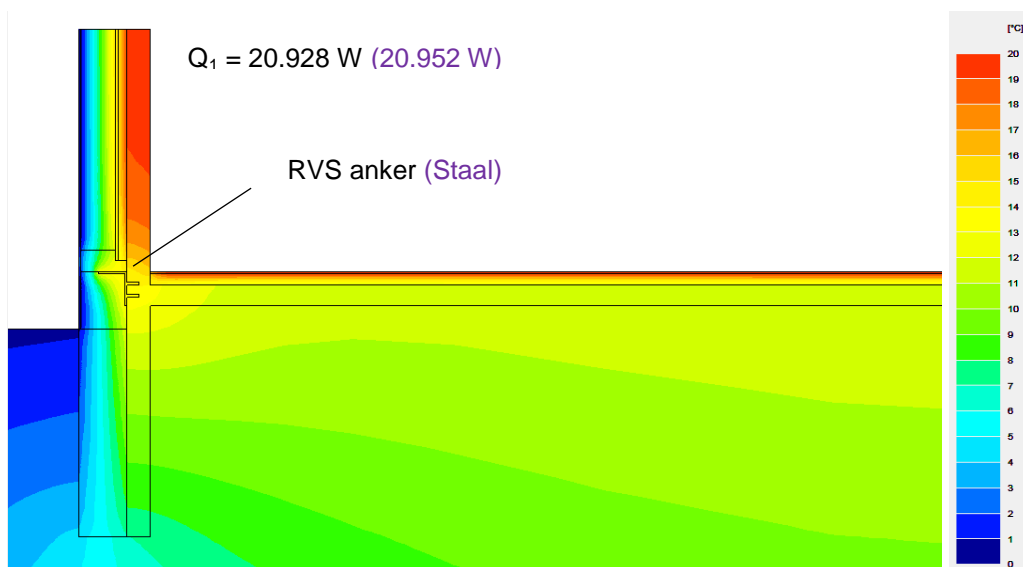
De verankering werd zowel in inox (RVS) ($\lambda = 17 \text{ W/mK}$) als in staal ($\lambda = 50 \text{ W/mK}$) gemodelleerd.



Figuur 18 (a) Snede door verankering in 3D (b) Snede door de verankering (niet EPB-aanvaard)

De afmetingen van het grondmassief zijn volgens de richtlijnen op Figuur 11, met $\lambda_{\text{grond}} = 2 \text{ W/mK}$.

Totale Q door model berekenen (met en zonder anker)



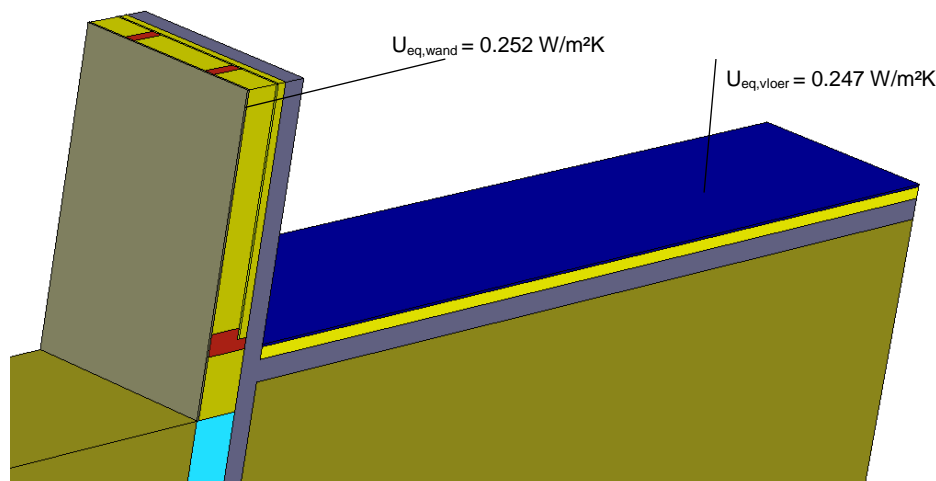
De bijkomende warmtestroom door de aanwezigheid van het anker bedraagt 0.150 W (0.174W). Met een temperatuurverschil van 20°C wordt een puntwarmtecoëfficiënt van $\chi_e = Q_{\text{bijkomend}}/\Delta T = 0.0075$ W/K (0.0087 W/K) bekomen. Ter vergelijking, de waarde bij ontstentenis volgens Tabel 3 bedraagt 0.735 W/K. De waarde die hier bekomen werd, is dus slechts 1.10% (1.18%) van de waarde bij ontstentenis.

Indien de verankering EPB-aanvaard zou zijn (de isolatielaag is slechts voor de helft onderbroken), bedraagt $\chi_e = 0.0044$ W/K (0.0052 W/K), ofwel 0.5% van de waarde bij ontstentenis.

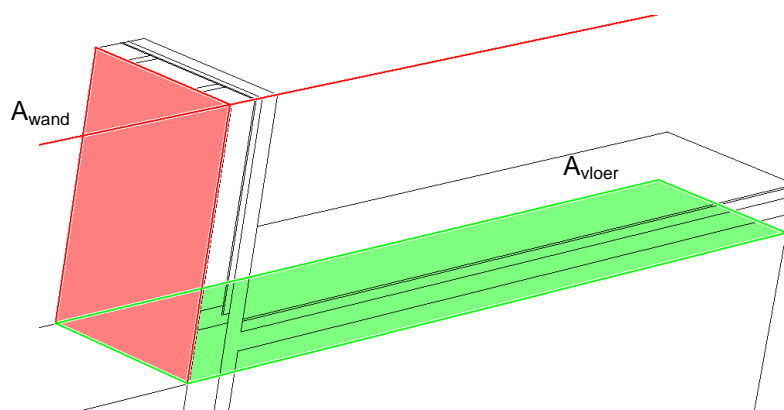
4.2.3 Stelregel

In Figuur 15 ondersteunt de stelregel het prefab paneel over de volledige dikte, waardoor de thermische weerstand ter hoogte van de stelregel 1.06 m²K/W wordt. Deze waarde is kleiner dan de vereiste minimumwaarde van 2 m²K/W waardoor de aansluiting niet EPB-aanvaard is. In dit geval moet ψ_e ter hoogte van de stelregel ook berekend worden. Volg daarvoor de volgende stappen.

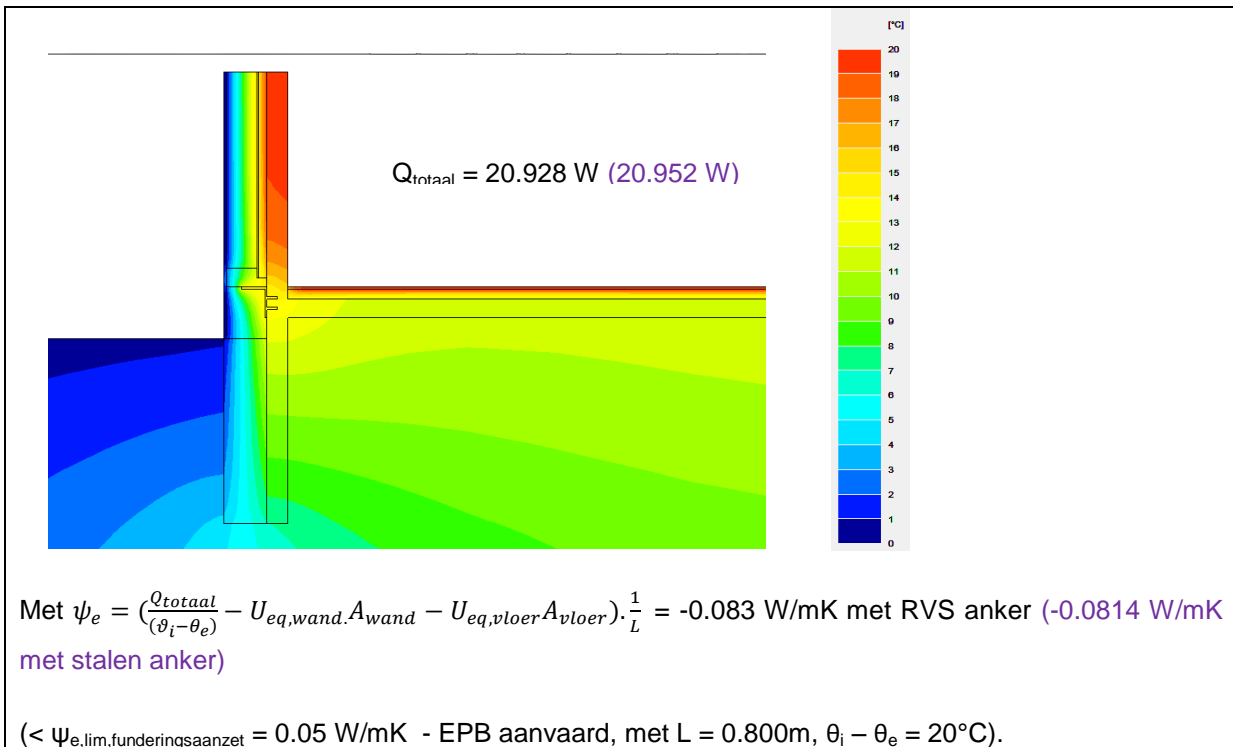
1. U_{eq} van de vloerplaat en de wand berekenen, volgens de regels in het Transmissiereferentiedocument (NBN B62-002, 2008)



2. Flankerende oppervlakken (gebruik van buitenafmetingen, regels : zie Figuur 10)



3. ψ_e (W/mK) berekenen

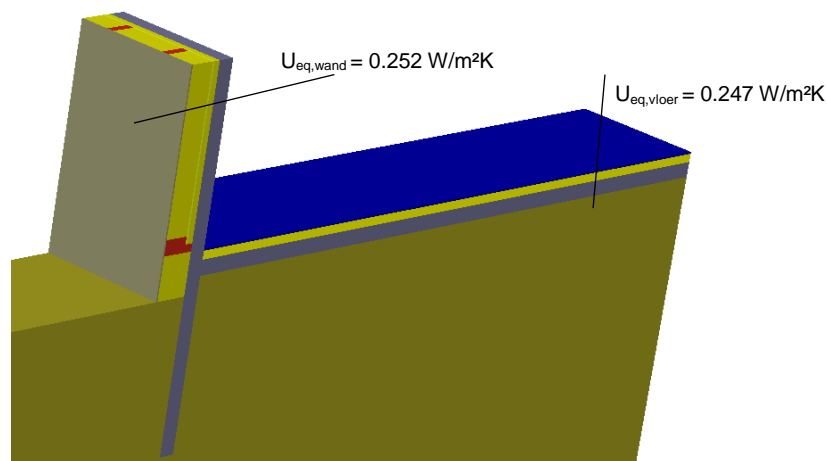


Uit deze laatste berekening blijkt dat een houten stelregel die de volledige dikte van het prefab paneel ondersteunt toch EPB-aanvaard is, ook indien de verankering meegenomen is in de simulatie (zoals hierboven). De numeriek berekende ψ_e is immers kleiner dan de waarde bij ontstentenis voor funderingsaansluitingen ($\psi_e \leq 0.05 \text{ W/mK}$) en zelfs kleiner dan de waarde bij ontstentenis voor andere lineaire bouwknopen ($\psi_e \leq 0.00 \text{ W/mK}$). Zoals hoger aangegeven, heeft verankering hier een zeer beperkte impact (slechts 0.150 W).

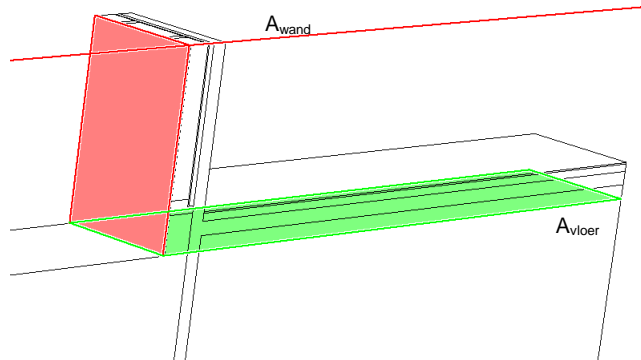
4.2.4 Geen doorgetrokken XPS-laag

Indien de XPS-laag ontbreekt waardoor de aansluiting met de stelregel niet EPB-aanvaard is, moet ψ_e ook berekend worden. Volg daarvoor de volgende stappen.

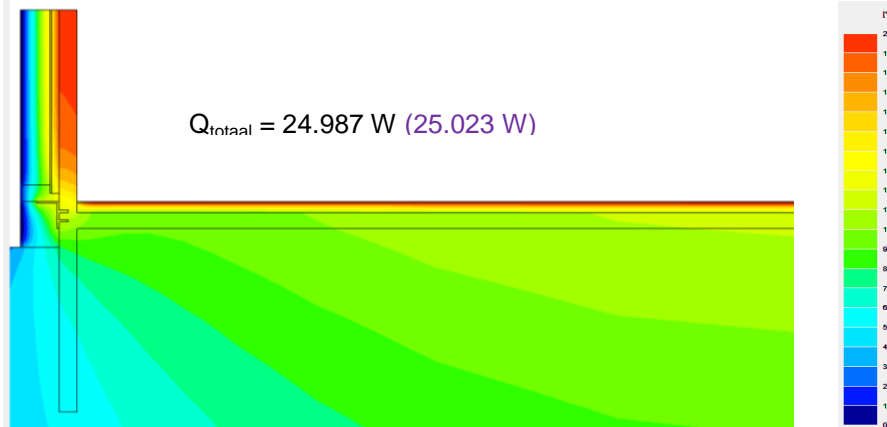
1. U_{eq} van de vloerplaat en de wand berekenen, volgens de regels in het Transmissiereferentiedocument (NBN B62-002, 2008)



2. Flankerende oppervlakken (Met buitenafmetingen, regels : zie Figuur 10)



3. ψ_e (W/mK) berekenen



Met $\psi_e = \left(\frac{Q_{\text{totaal}}}{(\vartheta_i - \vartheta_e)} - U_{eq,wand} \cdot A_{wand} - U_{eq,vloer} \cdot A_{vloer} \right) \cdot \frac{1}{L} = 0.1096 \text{ W/mK}$ met RVS anker (0.1725 W/mK met stalen anker)

(> $\psi_{e,lim} = 0.05 \text{ W/mK}$)

(met $L = 0.800\text{m}$, $\vartheta_i - \vartheta_e = 20^\circ\text{C}$)

4.2.5 Besluit

Uit deze laatste berekening blijkt dat het bij de renovatie van een gevel wel degelijk belangrijk is om een strook isolatie te voorzien onder de stelregel tot 1 m onder het niveau van de vloer. Op die manier is voldaan aan principe 3 (weg minste weerstand > 1m) en is de bouwknoop met stelregel EPB-aanvaard.

Indien de strook XPS voorzien is, maar de stelregel het prefab paneel ondersteunt over de volledige dikte van de isolatie (waardoor $R_{\text{stelregel}} < (R1/2, R2/2, 2) \text{ m}^2\text{K/W}$) en de verankering meegenomen is in de numerieke berekening, worden toch negatieve waarden bekomen voor ψ_e . Wat de puntbouwknoepen door de verankeringen betreft, is de thermische impact beperkt voor verankeringen in inox en staal. Zelfs als niet voldaan is aan vuistregel 1 van de EPB-aanvaardde bouwknoepen (minimale contactlengte tussen isolerende delen, Figuur 15), bedraagt χ_e in deze simulaties slechts 1.10 % van de waarde bij ontstentenis.

In de praktijk kan het dus interessanter zijn om de berekende negatieve ψ_e -waarde in EPB in te geven van de stelregel met verankering, dan te veronderstellen dat de stelregel een EPB-aanvaarde lineaire bouwknoop is en de ankers apart als puntbouwknoop in te rekenen.

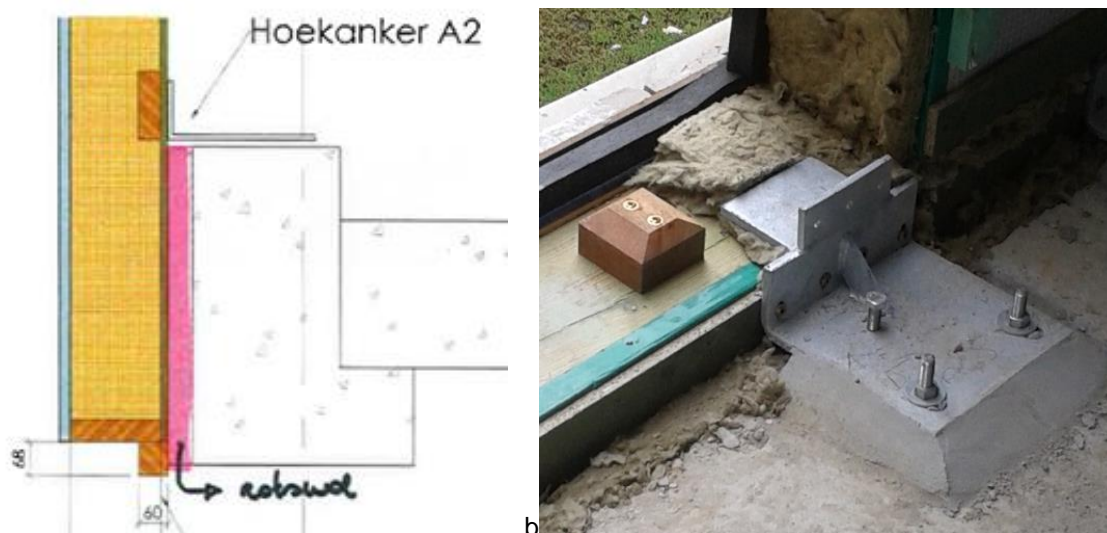
4.3 Voeg tussen prefab panelen met verankering

4.3.1 Inleiding

Een voeg tussen twee houtskelet elementen is EPB aanvaard, als:

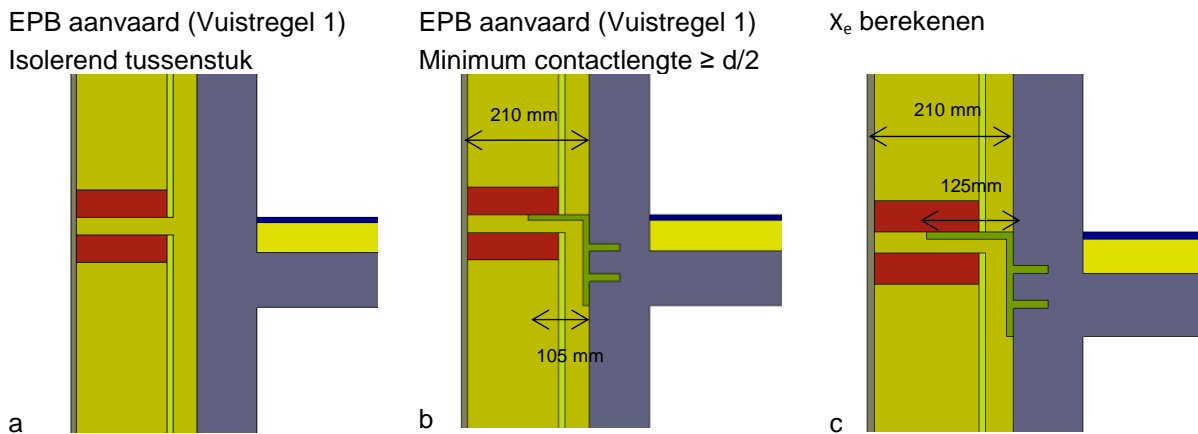
1. De voeg over meer dan de halve dikte (Vuistregel 1) opgevuld wordt met minerale wol (Vuistregel 2, tussenvoeging thermisch isolerend blok) (Figuur 19 a en b, Figuur 20a).
2. Als een verankering slechts tot de halve dikte van de isolatielaag komt (Vuistregel 1, minimale contactlengte) (Figuur 19b en Figuur 20b).

Deze regels gelden zowel voor prefab panelen die tegen een gevel geplaatst wordt, als prefab panelen die de volledige gevel vervangen (Figuur 19a en b).

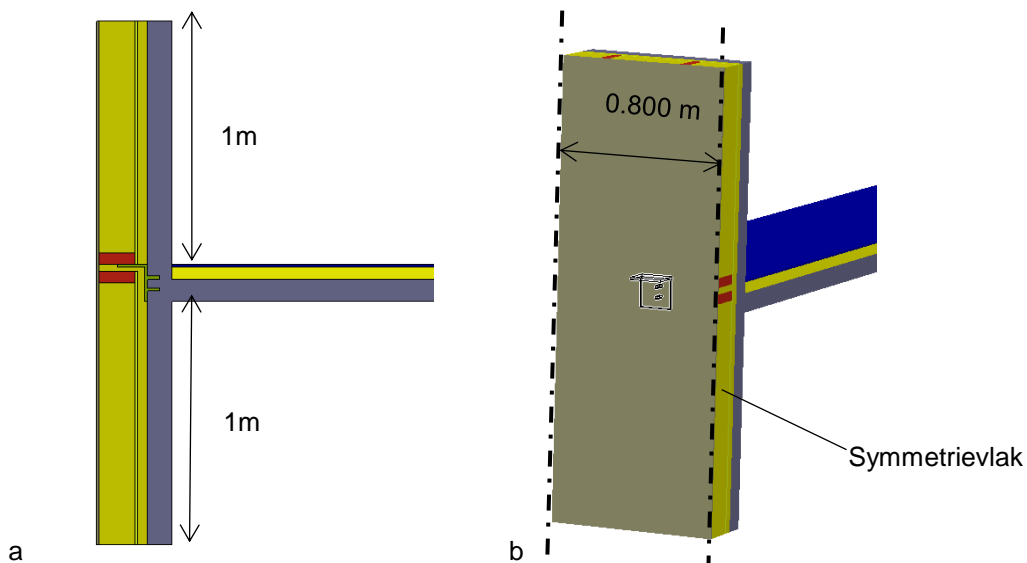


Figuur 19 Voorbeelden van EPB-aanvaarde verankeringen (a) Uit (Case 7 Prefabgids) (b) Uit (Case 12, Prefabgids)

In andere gevallen moet de χ_e -waarde ingerekend worden of de waarde bij ontstentenis ingevuld (Figuur 20c). De χ_e -waarde kan berekend worden door een model te simuleren met en zonder verankering. De verankering heeft dezelfde eigenschappen als op Figuur 18. Ze is ter hoogte van de vloerplaat bevestigd, zoals aanbevolen in (Dubois & De Bouw, 2015) (Figuur 21). Het model heeft een breedte van 800mm, wat overeenstemt met de hart-op-hart afstand van de verankering. Links en rechts van het model heersen adiabatische randvoorwaarden (Figuur 21b).

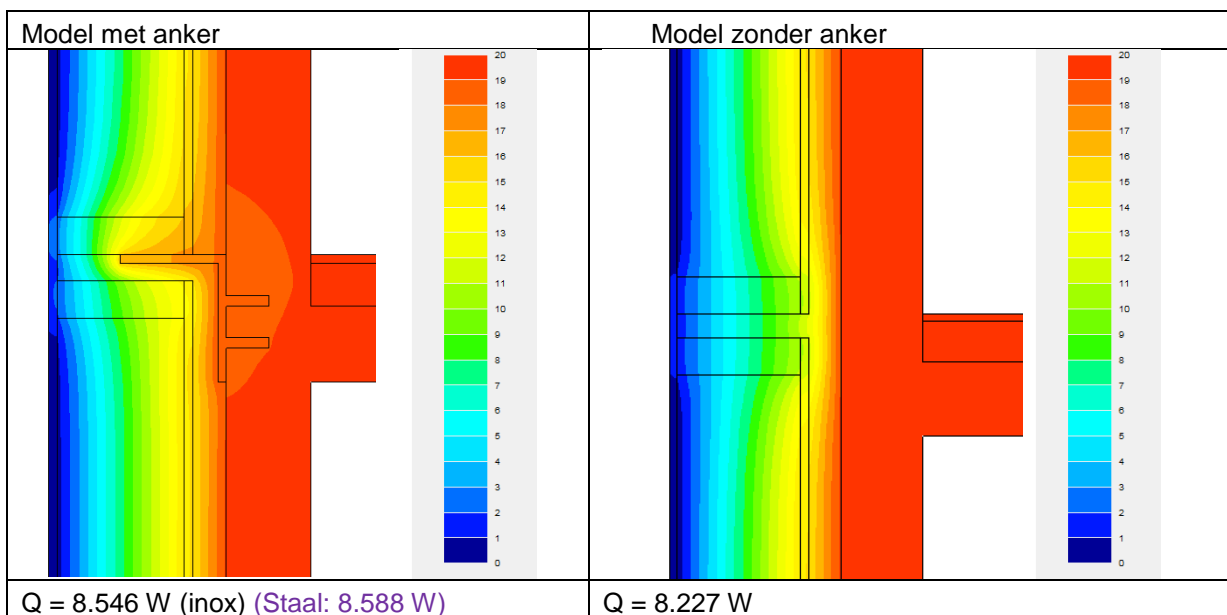


Figuur 20 (a) Strook minerale wol (b) Anker tot op halve diepte isolerende laag (prefab paneel + adaptielaag) (c) Anker tot over de halve diepte isolerende laag



Figuur 21 Afmetingen simulatiemodel (a) Snede (b) Aanzicht met aanduiding symmetrievlakken

4.3.2 Werkwijze numerieke simulatie



χ_e wordt 0.016 W/K (0.018 W/K), of 2.1% (2.4%) van de waarde bij ontstentenis (0.735 W/K, berekend volgens Tabel 3 met $z = 0.150$ m). De waarde bij ontstentenis overschat de impact van de verankering met factor 40. De energie die verloren gaat door de puntbouwknop (0.320 W, 0.360 W), bedraagt 3.7% (4.2%) van het totale warmteverlies (Q) door het model.

Indien de bouwknop niet EPB-aanvaard is, wordt χ_e bij voorkeur numeriek berekend.

4.3.3 Is een snelle controle met de spouwhaakmethode mogelijk?

Puntvormige onderbrekingen eigen aan de scheidingsconstructie worden ingerekend met een correctieterm ΔU_f , die opgeteld wordt bij de U-waarde van de scheidingsconstructie (NBN B62-002, 2008) (formule 3). Deze methode wordt doorgaans gebruikt om de thermische impact van verankeringen van lichte gevelelementen na te rekenen (NBN B62-002, 2008).

$$U_c = U + \Delta U_f \text{ (W/m}^2\text{K)} \quad \text{(formule 3)}$$

met U_c = gecorrigeerde waarde (W/m²K) en U = warmtedoorgangscoefficiënt scheidingsconstructie (W/m²K).

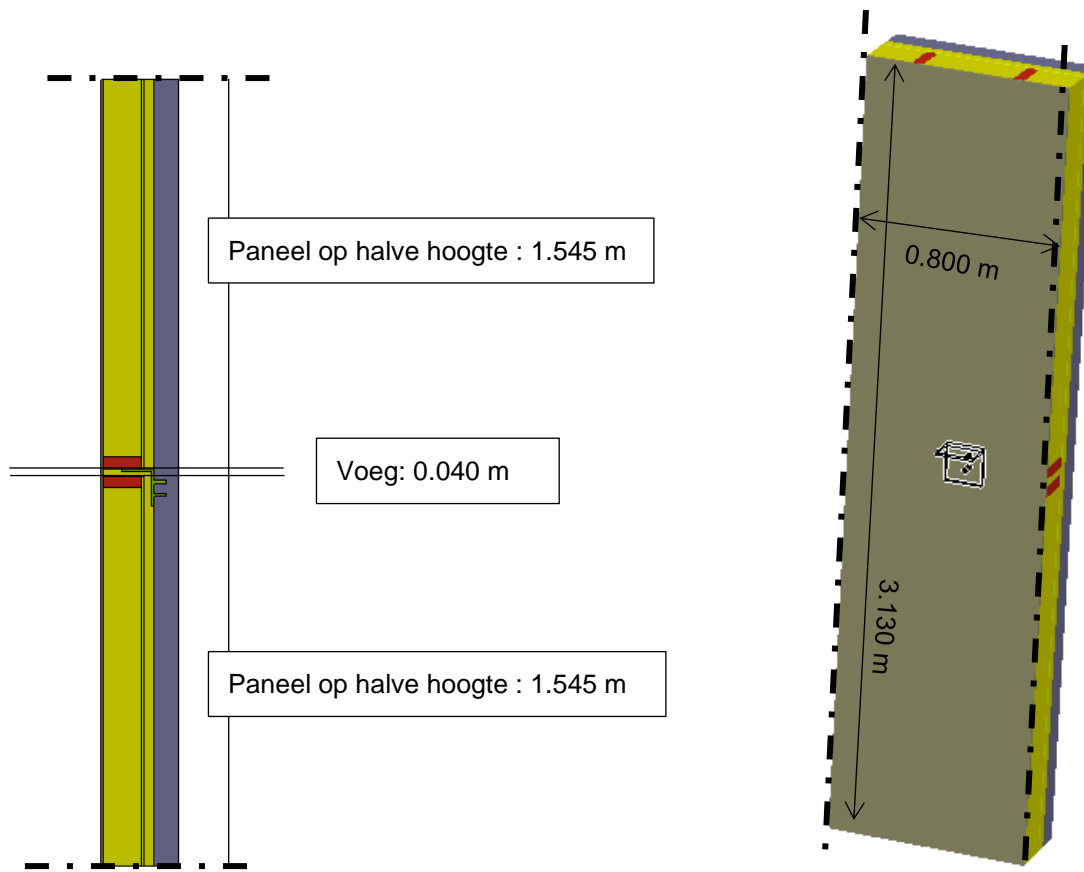
ΔU_f wordt berekend met de onderstaande formule uit (NBN B62-002, 2008):

$$\Delta U_f = \alpha \frac{\lambda_f \cdot A_f \cdot n_f}{d_1} \cdot \left[\frac{R_{U,ins}}{R_{T,h}} \right]^2 \quad \text{(formule 4)}$$

Met:

d_1 (m)	lengte van de bevestiging -Bij bevestigingen die de isolatielaag volledig doorboren (recht of schuin) is de lengte gelijk aan de dikte van de isolatielaag d_{ins} -Bij verzonken bevestigingen is de lengte gelijk aan het gedeelte van de bevestiging dat de isolatielaag doorboort
λ_f (W/mK)	de warmtegeleidbaarheid van de mechanische bevestiging
n_f (m ⁻²)	aantal mechanische bevestigingen per m ²
A_f (m ²)	doorsnede van 1 mechanische bevestiging
α (-)	= 0.8 als de mechanische bevestiging de isolatielaag volledig doorboort = 0.8 * d_1/d_{ins} indien de bevestiging verzonken is in de isolatielaag
$R_{U,ins}$ (m ² K/W)	warmteweerstand van de (homogene) isolatielaag die door de mechanische bevestiging doorboord wordt, is dus d_{iso}/λ_{iso}
$R_{T,h}$ (m ² K/W)	totale warmteweerstand (incl. warmte-overgangscoefficienten) van het gebouwelement, zonder rekening te houden met enige koudebrugwerking

We gaan na of deze methodiek gebruikt kan worden om de mechanische verankering van prefab houtskeletelementen in te schatten. Omdat deze methode uitgaat van het aantal ankers per m² en deze bij verankeringen van prefab elementen slechts lokaal boven- en onderaan een paneel voorkomen, wordt uitgegaan van het model in Figuur 22. Links, rechts, boven en onder het model (ter plaatse van de symmetrielij) gelden adiabatiese randvoorwaarden.



Figuur 22 Model met twee panelen op halve verdiepingshoogte (1.545 m) met een anker in het midden. h.o.h. verankering 800 mm, gebaseerd op (Case 12, Prefabgids).

De totale equivalente U-waarde zonder verankering $U_{T,h} = 0.216 \text{ W/m}^2\text{K}$. Hiermee is $R_{T,h} = 4.563 \text{ m}^2\text{K/W}$. Voor de thermische weerstand van het houtskeletelement $R_{u,ins}$ wordt $4,250 \text{ m}^2\text{K/W}$ gevonden. Deze waarden werden handmatig berekend op basis van de materiaaleigenschappen, met $R_{se} = R_{si} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ (nodig voor berekening $R_{T,h}$). De verankering heeft dezelfde eigenschappen als op Figuur 20c. Tabel 5 geeft alle gegevens weer die werden gebruikt in formule 4 voor ΔU_f in te vullen.

Tabel 5 Termen voor de berekening van ΔU_f (formule 3)

d_1	0.125 m	Lengte bevestiging door de isolatielaag
d_{iso}	0.210 m	Breedte totale isolatielaag
α	$=0.8 \cdot (0.125/0.210) = 0.476$	
λ_f	17 W/mK (inox)	
A_f	$=0.150 \cdot 0.01 = 0.015 \text{ m}^2$	
n_f	$=1/(3.130 \cdot 0.8) = 0.399$	ankers per m^2
$R_{u,ins}$	4.250 $\text{m}^2\text{K/W}$	
$R_{T,h}$	4.610 $\text{m}^2\text{K/W}$	

$$\Delta U_f = 0.329 \text{ W/m}^2\text{K}$$

De gecorrigeerde U-waarde van het prefab element op Figuur 22 wordt dan:

$$U_c = U + \Delta U_f = 0.217 + 0.329 = 0.546 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Indien we het model met verankering (Figuur 22) zouden simuleren in Trisco, krijgen we een U_{eq} van $0.242 \text{ W/m}^2\text{K}$, ofwel de helft van de gecorrigeerde U-waarde die met de methode van de spouwhaken

berekend werd. Deze methode is met andere woorden niet geschikt om de impact van verankeringen bij prefab panelen in te rekenen.

Bij verankeringen van houtskeletelementen moet de puntwarmtedoorgangscoefficiënt van de verankering –indien deze niet-EPB aanvaard is- gedetailleerd berekend worden met een softwarepakket of wordt de waarde bij ontstentenis gebruikt.

4.3.4 Besluit

Wat de puntbouwknopen door de verankeringen betreft, is de thermische impact beperkt voor verankeringen in inox en staal. Zelfs als niet voldaan is aan vuistregel 1 van de EPB-aanvaarde bouwknopen (anker tot over de helft van de isolatielaag, Figuur 20c), bedraagt χ_e in deze simulaties slechts maximum 3% van de waarde bij ontstentenis en 4.2% van het totale warmteverlies door het model (een moot van 800 m).

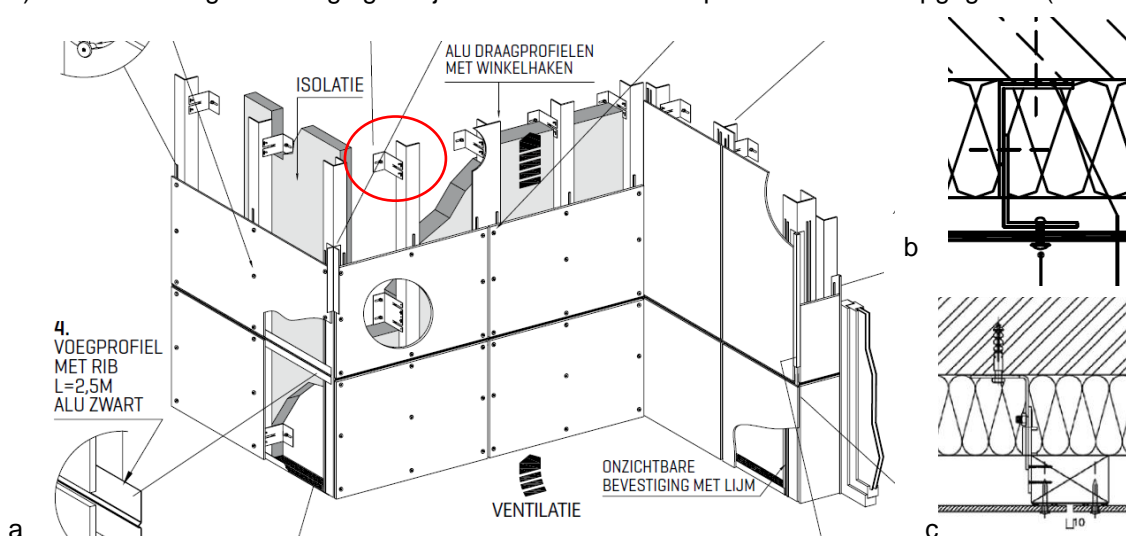
De impact moet echter altijd numeriek nagerekend worden van zodra de bouwknop niet in overeenstemming is met één van de drie vuistregels om een EPB-aanvaarde knoop te krijgen. De methode met de spouwhaken is ontoereikend en zal de thermische impact van dit type verankering overschatten. De waarde bij ontstentenis overschat eveneens de impact met een factor 40.

5 VERANKERINGEN BIJ GEVENTILEERDE GEVELS

5.1 Beschrijving systeem

Een tweede optie om gevels te renoveren is door een geventileerd gevelsysteem aan te brengen tegen de bestaande gevel. Tussen de ankerpunten wordt dan een soepel isolatiemateriaal zoals minerale wol ($\lambda = 0.037 \text{ W/mK}$) geplaatst.

De verankeringsprofielen zijn meestal hoekankers uit roestvast staal. Aan de hoekankers wordt een draagprofiel bevestigd dat verticaal doorloopt (Figuur 23a en b). Op het verticale profiel wordt dan de gevelbekleding bevestigd. Dit verticale profiel kan ook een houten draaglat zijn (Figuur 23c). De hart-op-hart afstand is afhankelijk van de windbelasting, de zone op de gevel en de gebouwhoogte (Tabel 6). Voor onderlinge bevestigingen zijn ook maximale hart-op-hart afstanden opgegeven (Tabel 7).



Figuur 23 (a) 3D aanzicht van het bevestigingssysteem voor Equitone gevelplaten (b) Snede met ALU-systeem gevelplaten (c) Snede met houten lat gevelplaten (Eternit, Equitone - Plaastingsgids gevelplaten, 2016)

Tabel 6 Overzicht hart- op hart afstanden (Eternit, Equitone - Plaastingsgids gevelplaten, 2016)

Ligging	Gebouwhoogte	Middenzone gevel		Randzone gevel en enkelvoudige overspanning	
		Max. windbelasting	Max. hart-op hart afstand draaglatten	Max. windbelasting	Max. hart-op hart afstand draaglatten
Windzone	M	N/m ²	Mm	N/m ²	Mm
Land	0-10	650	600	1000	500
Land	10-20	800	600	1200	500
Land	20-50	1000	500	1500	400
Kust	0-20				

Tabel 7 Maximale hart-op-hart afstanden voor bevestigingspunten, zowel horizontaal als verticaal (Eternit, Equitone - Plaastingsgids gevelplaten, 2016)

Berekende windsnelheid (N/m ²)	Maximale h.o.h. afstand bevestigingen (mm)
	Horizontaal en verticaal
≤ 800	600
≤ 1200	500
< 1500	400
> 1500	300

Omdat dit type verankering een eigen is aan het gevelsysteem, wordt de thermische impact meegenomen in de equivalente warmteovergangcoëfficiënt U_{eq} (W/m²K) van het gevelsysteem. Ter info werd ook χ_e (W/K) ter plaatse van de bevestigingspunten numeriek nagerekend.

5.2 Hoe berekenen in EPB?

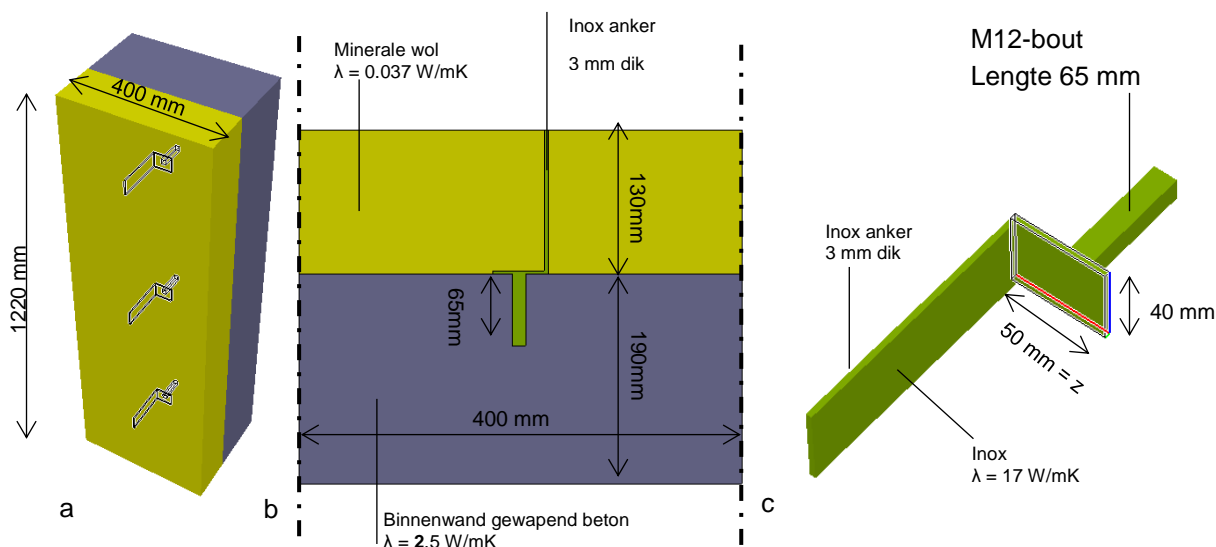
De verankering van dit type gevelsysteem komt op regelmatige afstanden voor, zowel in de lengte als in de hoogte van de gevel. Volgens de norm moeten deze verankeringen ingerekend worden via een totale warmteweerstand R_T of een equivalente warmteovergangcoëfficiënt U_{eq} , aangezien het gaat over verankeringen van lichte gevelsystemen (Belgisch Staatsblad 08-12-2010, 2010).

Ten slotte wordt deze methode vergeleken met de spouwhaakmethode en met een berekening van de puntbouwknopen in §5.4.

5.3 Opbouw model

In het model werd rekening gehouden met een hart-op-hart afstand van 400 mm van ankers, zowel in horizontale als in verticale richting. Het model is 400 mm breed, met centraal drie ankers met een tussenafstand van 400 mm. De hoogte van het model is 1220 mm, wat overeenkomt met de standaardhoogte van één gevelpaneel (Figuur 24a) (Eternit, Equitone - Plaastingsgids gevelplaten, 2016).

De materiaaleigenschappen van het model en details van de verankering zijn afgebeeld op Figuur 24b en c. De eigenschappen en afmetingen zijn gebaseerd op de technische fiches van het gevelsysteem (Eternit, Equitone - Plaastingsgids gevelplaten, 2016) (Eternit, CAD Details, 2017). De warmtegeleidingscoëfficiënten van de gebruikte materialen komen uit Tabel 4.



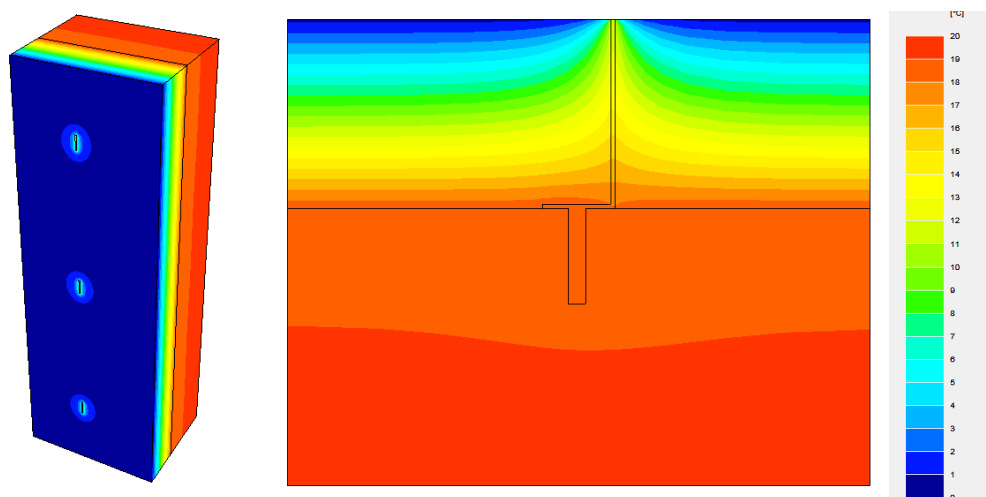
Figuur 24 (a) Aanzicht model (b) Horizontale snede door een ankerpunt (c) 3-D zicht ankerpunt

De binnen- en buitentemperatuur werden vastgelegd op respectievelijk 20°C en 0°C. In het geval van een geventileerde gevel, werd de thermische impact van de gevelafwerking verwaarloosd en werd de overgangswaarde aan het buitenvlak op $R_{se} = 0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$ vastgelegd (NBN B62-002, 2008). De weerstand aan het binnenoppervlak is eveneens $0.13 \text{ m}^2\text{K/W}$.

5.4 Puntbouwknop χ_e vs. Spouwhaakmethode ΔU_f

Ter controle wordt de puntdoorgangscoefficiënt χ_e (W/K) en de equivalentie warmtedoorgangscoefficiënt (U_{eq}) numeriek berekend. Dit wordt vergeleken met de gecorrigeerde U-waarde, met correctiefactor ΔU_f (formule 3 en 4).

In de numerieke berekeningen bedragen de warmteverliezen 0.098 W per anker, dit brengt de puntwarmtedoorgang χ op 0.005 W/K per anker. Dit werd berekend door een model met drie ankerpunten (Figuur 25) te vergelijken met een model zonder ankerpunten. Ter vergelijking, de waarde bij ontstentenis bedraagt 0.265 W/K ($4.7 \cdot z + 0.03$ met $z = 0.05 \text{ m}$, zijde omschreven vierkant, zie Figuur 24c).



Figuur 25 Temperatuurverdeling in het model met verankeringen

Er werd rekening gehouden met de volgende factoren voor de toepassing van de rekenmethode voor spouwhaken (Tabel 8).

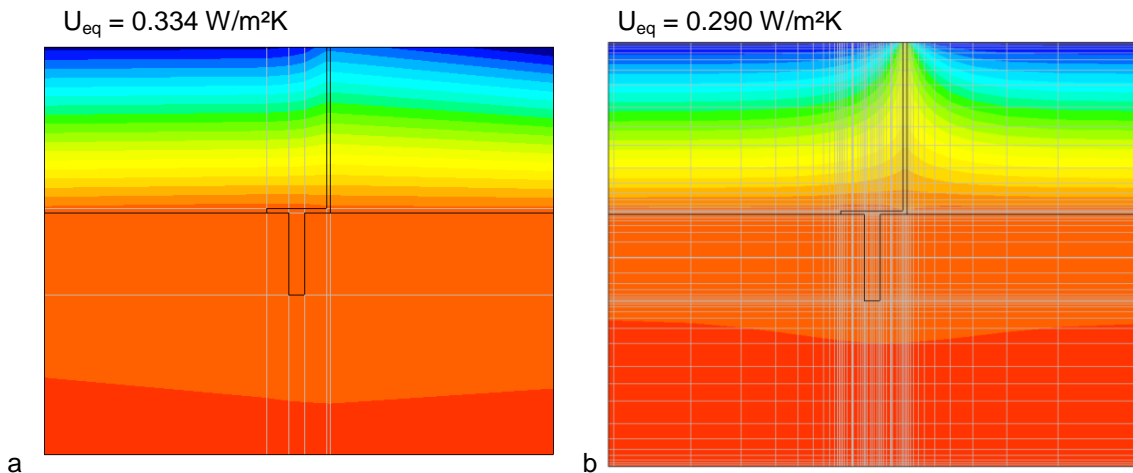
Tabel 8 Termen voor de berekening van ΔU_f (formule 3)

d_1	0.130 m	Lengte bevestiging door de isolatielaag
d_{iso}	0.130 m	Dikte totale isolatielaag
α	=0.8 (verankering doorboort de isolatie volledig)	
λ_f	17 W/mK (inox)	
A_f	= $0.003 \times 0.040 = 0.00012 \text{ m}^2$	
n_f	= $3 / (0.400 \times 1.220 \text{ m}^2) = 6.14/\text{m}^2$	
$R_{u,ins}$	3.513 $\text{m}^2\text{K/W}$	
$R_{t,h}$	3.850 $\text{m}^2\text{K/W}$	

Met deze invulgegevens wordt $\Delta U_f = 0.064 \text{ W/m}^2\text{K}$. De gecorrigeerde warmtedoorgangscoefficiënt wordt dan

$$U_c = 1/R_{t,h} + \Delta U_f = 0.324 \text{ W/m}^2\text{K}.$$

In de numerieke berekening (moot van 400 mm) bedraagt de U_{eq} waarde 0.290 W/m²K (11.7% minder dan de spouwhaakmethode). Indien echter geen minimumgrid (zie Figuur 12a) toegepast werd in de numerieke berekening, wordt een equivalente U-waarde van 0.334 W/m²K berekend in de simulaties (3% meer dan de spouwhaakberekening).



Figuur 26 (a) Met grid op basis van materiaalafmetingen wordt $U_{eq} = 0.334$ W/m²K bekomen (b) Met grid op basis van de minimumgrid-regels uit (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010), wordt $U_{eq} = 0.290$ W/m²K berekend.

De spouwhaakmethode is dus voor geventileerde gevels met verankeringen op regelmatige afstanden een betrouwbare methode om het effect van de ankers in te rekenen. Met numerieke berekeningen kan echter een meer representatievere berekening uitgevoerd worden, indien rekening gehouden wordt met het minimumgrid zoals opgelegd in (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010).

5.5 Hout vs. RVS

Om de verschillende ankersystemen te vergelijken, werden drie modellen opgemaakt (Figuur 27):

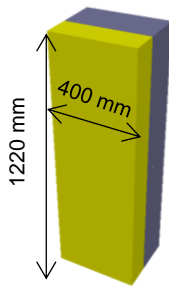
- Model zonder verankering (Figuur 27a);
- Ankersysteem met RVS- ankers (Figuur 27b);
- Ankersysteem met een houten stijl (50 x 95 mm), verankerd met RVS ankers(Figuur 27c).

In de rest van het model is/zijn:

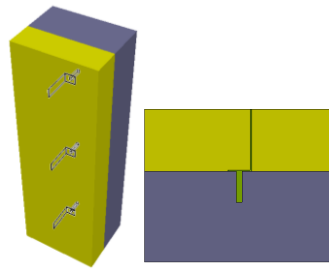
- de dragende binnenwand van gewapend beton 190 mm dik met $\lambda = 2.5$ W/mK.
- de laag minerale wol 130 mm dik met $\lambda = 0.037$ W/mK.
- de verankeringsprofielen 3 mm dik, uit roestvast staal ($\lambda = 17$ W/mK). De h.o.h.-afstand bedraagt 400 mm, zowel in de hoogte als in de breedte.
- de geventileerde spouw en de gevelbekleding verwaarloosd, conform het Transmissiereferentiedocument (NBN B62-002, 2008).
- de binnen en buitencondities (BC_simple) constant. De temperatuur bedraagt respectievelijk 20°C en 0°C. De overgangsweerstanden voor binnen en buiten bedragen respectievelijk $R_{si} = R_{se} = 0.13$ m²K/W.

Uit de resultaten (Figuur 27) blijkt dat de combinatie 'RVS en houten anker' aanleiding geeft tot hogere warmteverliezen dan het systeem met RVS-ankers die de hele isolatielaag onderbreken. Dit is te verklaren door het grotere contactoppervlak van de houten lat met de buitenomgeving.

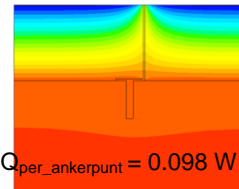
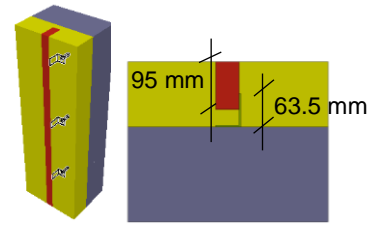
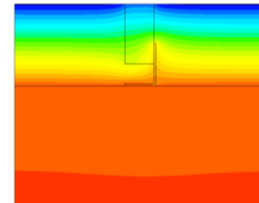
Model zonder verankering



Model met RVS-ankers



Model met RVS-hout ankers


 $Q_{\text{per_ankerpunt}} = 0.098 \text{ W}$


$$U_{\text{eq}} = 0.260 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = 2.536 \text{ W}$$

$$U_{\text{eq}} = 0.290 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = 2.829 \text{ W (+11.5\%)}$$

$$U_{\text{eq}} = 0.332 \text{ W/m}^2\text{K}$$

$$Q = 3.236 \text{ W (+27.6\%)}$$

Figuur 27 Overzicht modellen en resultaten RVS-ankers vs. houten belatting met RVS-ankers

5.6 Thermische onderbreking

Er werden 4 verschillende situaties gesimuleerd waarbij er een variatie van de RVS-verankering werd bestudeerd (Figuur 28):

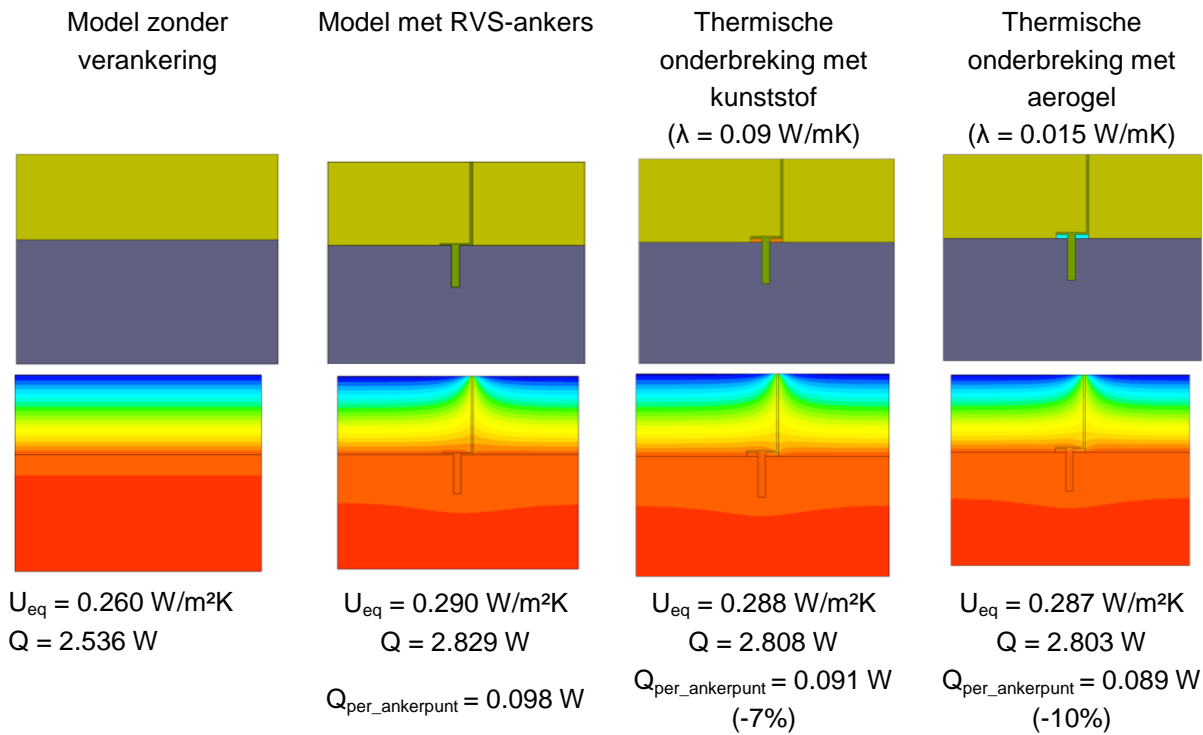
- het basisgeval zonder verankering
- met een verankering met h.o.h. 400 mm x 400 mm, dikte 3 mm, RVS ($\lambda = 17 \text{ W/mK}$)
- optimalisatie met een thermische onderbreking tussen de RVS-ankers en de betonnen gevel (kunststofplaatje $\lambda = 0.09 \text{ W/mK}$, (Thermostop-Plus, 2016))
- optimalisatie met een thermische onderbreking tussen de RVS-ankers en de betonnen gevel (aerogel $\lambda = 0.015 \text{ W/mK}$)

Daarbij bleef de dikte van de isolatielaag (minerale wol) telkens 130 mm. De boutverbinding loopt door de thermische onderbreking.

Uit deze simulaties bleek dat een thermische onderbreking tussen het anker en de massieve wand slechts een kleine impact had op de warmteverliezen door de verankering. Dit is te wijten aan de boutverbinding, die doorheen de thermische onderbreking loopt. Ook blijkt er niet veel verschil te zijn tussen de prestaties van het kunststofblokje (gebaseerd op (Thermostop-Plus, 2016)) en aerogel. Het kunststofblokje zorgt ervoor dat er 7% minder warmte verloren gaat door de verankering, bij de aerogel is er 10% minder warmteverlies.

Om de algehele thermische prestaties van het gevelsysteem (U_{eq}) te verbeteren, is het aangewezen om een dikkere isolatielaag te gebruiken. Een simulatie van het model met RVS-ankers zonder thermische onderbrekingen met een isolatielaag van 150 mm leverde een U_{eq} waarde op van 0.258 $\text{W/m}^2\text{K}$ tegenover 0.290 $\text{W/m}^2\text{K}$ met een isolatielaag van 130 mm (11% verbetering).

Een thermische onderbreking van de verankering alleen zal niet volstaan om te voldoen aan de huidige eisen ($U_{\text{eq}} \leq 0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$) (Vlaanderen, 2016).



Figuur 28 (a) Basisgeval zonder verankering (b) Met RVS-verankering, 3 mm (c) Met thermische onderbreking in kunststofplaatje (6mm) (d) Met thermische onderbreking in aerogel (6 mm) De isolatiedikte is telkens 13cm.

6 SAMENVATTING

6.1 Verankering van houten gevelelementen

Bij prefab elementen zijn er verschillende situaties waarbij de isolatielaag (deels) onderbroken wordt door een anker in staal of inox:

- Onderaan de gevel, bij de stelregel;
- In de voeg tussen twee prefab elementen;
- Bij de ankerpunten van gevelbekleding, bij geventileerde gevels.

De impact van deze bouwknopen kan ingegeven worden in EPB door de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt te berekenen voor lineaire bouwknopen (ψ_e) en de puntwarmtedoorgangscoefficiënt voor puntbouwknopen (χ_e).

Indien de bouwknop EPB –aanvaard is, hoeven ψ_e en χ_e niet ingerekend te worden in de EPB-berekening. Om de bouwknop EPB-aanvaardbaar te maken, moet voldaan zijn aan één van de volgende voorwaarden (zie §2.2):

- Er is een minimale contactlengte tussen de isolerende delen;
- De isolatielaag loopt continu door, met tussenvoeging van een isolerend deel,
 - met $\lambda \leq 0.2$ W/mK;
 - $R_{\text{isolerend deel}} \geq \min(R_1/2, R_2/2, 2)$;
 - $d_{\text{contact}} \geq \min(d_{\text{isolerend deel}}/2, d_x/2)$.
- De weg van de minste weerstand is minimum 1m lang;

In §2.4 worden deze vuistregels geïllustreerd aan de hand van enkele voorbeelden.

Indien niet voldaan wordt aan deze eisen, moet de ψ_e - of χ_e -waarde numeriek berekend worden of wordt een waarde bij ontstentenis gebruikt. Uit de simulaties in dit verslag blijkt dat het altijd interessanter is om de ψ_e en χ_e numeriek te berekenen, indien de knop niet EPB-aanvaard is. Zo werd bij de simulatie van een verankering tussen twee houtskelet elementen (§4.3) een χ_e per RVS-anker van 0.016 W/K gevonden, terwijl de waarde bij ontstentenis 0.735 W/K bedroeg. Ook met de spouwhaakmethode (ΔU_i) wordt de impact van de verankering van houtskelet gevelelementen overschat waardoor deze methode af te raden is.

6.2 Verankeringen van geventileerde gevels

Bij verankeringen van geventileerde gevels wordt de impact van de verankeringen ingerekend in de equivalente warmtedoorgangscoefficiënt U_{eq} . De verankeringen komen op regelmatige afstanden voor (bv. 400 x 400 mm) en maken dus deel uit van het lichte gevelsysteem. De spouwhaakmethode levert representatieve U_{eq} -waarden op, maar de numerieke berekening is nauwkeuriger als de temperaturen in het model berekend werden op de punten in het minimumgrid, opgelegd door (Belgisch Staatsblad 08/12/2010, 2010) (Figuur 26).

Thermische onderbrekingen hebben slechts een kleine impact op de warmteverliezen doorheen de verankering. Ook is het beter om de doorsnede van de verankering zo klein mogelijk te houden. Bij een simulatie van een RVS-ankersysteem met houten stijlen in de isolatielaag, bleken de warmteverliezen tot 27.6% hoger te liggen dan een verankering die volledig uit RVS-ankers bestaat (zie § 5.5). Aangezien de thermische impact via U_{eq} verrekend wordt, is het aangewezen om de isolatielaag dikker te maken. Hoe dikker de isolatielaag, hoe kleiner de thermische impact van de ankers wordt.

7 BIBLIOGRAFIE

- Belgisch Staatsblad 08/12/2010. (2010). *Bijlage 5 - Gevalideerde numerieke berekeningen*. Brussel.
- Belgisch Staatsblad 08-12-2010. (2010). *Bijlage 8 Behandeling van bouwknopen*. Brussel.
- Belgisch Staatsblad. (2010). *Bijlage 5 - Gevalideerde numerieke berekeningen*. Brussel.
- Dubois, S., & De Bouw, M. (2015). *AIMES- Architectural Industrialized Multifunctional Envelope Systems*. Brussels, Belgium: WTCB.
- Eternit. (2016). *Equitone - Plaastingsgids gevelplaten*. Eternit.
- Eternit. (2017, 08 22). *CAD Details*. Opgehaald van Eternit: <http://www.eternit.de/downloads/cad-details>
- IEA ECBCS Annex 50. (2011). *Building Renovation Case Studies*.
- Kristensen, O. (2017, 03 14). *"CO2-neutraal huis"*. Opgehaald van hylidenet.dk: <http://hylidenet.dk/?id=315190>
- NBN B62-002. (2008). Thermische prestaties van gebouwen-Berekening van de warmtedoorgangscoefficienten (U-waarden) van bouwcomponenten en bouwelementen-Berekening van de warmteoverdrachtscoefficienten door transmissie (Ht-waarde) en ventilatie (Hv-waarde) . Brussel, België: Belgisch Bureau voor Normalisatie.
- Physibel. (2005). Trisco. 3-dimensional static simulation tool using the finite element method (Version 12.w). Maldegem, Belgium.
- Thermostop-Plus. (2016). *Technische fiche*. TECaid e.V.
- Tijskens, A. (2015). *Ontwerp en detaillering van een prefab-gevelsysteem voor de thermische renovatie van een bestaand kantoorgebouw*. Leuven: KULeuven.
- Vlaanderen. (2016). *U-waarden vanaf 2016*.
- Wergroep PATHB2010. (2009). *Toelichtingsdocument Bouwknopen*. Brussel: Vlaamse Overheid.
- WTCB TV 255. (2015). *Luchtdichtheid van gebouwen*. Brussel: Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het bouwbedrijf.