

Voorwoord

Het uitwerken van dit eindwerk was voor ons beide een zeer leerrijke en interessante ervaring. We kunnen ook stellen dat het algemene vooropgestelde doel, namelijk het opdoen van relevante kennis en ervaring voor ons toekomstige beroepsleven, bereikt is. Het tot stand komen van dit werk verliep echter niet altijd even vlot. We zouden hierbij dan ook alle mensen willen bedanken die het uiteindelijke resultaat mede hebben mogelijk gemaakt.

Eerst en vooral danken we onze promotor, dr. ir. Ralf Klein, voor de nodige begeleiding en nuttige opmerkingen gedurende het ganse jaar. Daarnaast willen we ing. Toon Possemiers van het cluster duurzaam bouwen en energie van de BECO Groep bedanken voor het aanreiken van het onderwerp en het ter beschikking stellen van de nodige middelen.

Ir.-arch. Wouter Hilderson van Passiefhuis-Platform vzw bedanken we voor het nakijken van de details en zijn deskundig advies. Ook ing. Katleen Maes willen we bedanken voor de hulp met de software Therm.

Verder richten we nog een dankwoord tot dhr. Ivan Demeyer voor de uitgebreide rondleiding in zijn passieve woning, architect Bert Schellekens voor het beantwoorden van onze vragen en dhr. Hans Delannoye voor het toesturen van de nodige informatie.

Tenslotte danken we onze ouders en familieleden voor hun steun en kritische opmerkingen gedurende niet enkel dit jaar maar gans onze opleiding.

Koen Claes
Joris Claes

'De auteur geeft de toelating deze tekst op papier en digitaal voor consultatie beschikbaar te stellen en delen ervan te kopiëren voor eigen gebruik. Elk ander gebruik valt onder de strikte beperkingen van het auteursrecht. In het bijzonder wordt gewezen op de verplichting de bron uitdrukkelijk te vermelden bij het aanhalen van tekstdelen.'

Abstract

De toepassing van het passiefhuis-concept in België kent een aantal belangrijke barrières. Eén daarvan is het ontbreken van geschikte bouwkundige details. De doelstelling van dit werk is daarom het uitwerken van verschillende constructiedetails die kunnen worden toegepast in passiefhuizen, uitgevoerd in traditionele houtskeletbouw.

Om tot bruikbare details te komen worden eerst voor de verschillende schildelen, dus zowel wanden, vloeren als daken, een aantal mogelijke opbouwen ontworpen. Vervolgens wordt aan de hand van een eenvoudige handberekening nagegaan of deze voldoen aan de passiefhuis-standaard op vlak van de U-waarde. Bijkomende aandachtspunten die worden beschouwd zijn de luchtdichtheid en de dampopenheid van de constructie. Daarnaast wordt er getracht zoveel mogelijk gebruik te maken van traditionele materialen om enerzijds de kostprijs te beperken en anderzijds de kloof met de traditionele bouwwijze niet te vergroten.

Voor elk schildeel worden een aantal van de mogelijke opbouwen geselecteerd waarvoor de aansluitingsdetails uitgewerkt worden. Met behulp van het eindige elementen pakket “Therm” wordt vervolgens voor ieder detail de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt alsook het isothermenverloop bepaald. Tenslotte wordt een korte beschrijving gegeven van de praktische opbouw van de constructiedetails met de nodige aandacht voor kritische punten zoals luchtdichtheid en vochthuishouding.

Inhoudstafel

<u>INHOUDSTAFEL.....</u>	<u>I</u>
<u>1 INLEIDING.....</u>	<u>1</u>
<u>2 WAT IS EEN PASSIEFHUIS?</u>	<u>3</u>
2.1 DEFINITIE.....	3
2.2 BASISPRINCIPES	4
2.2.1 TRANSMISSIEVERLIEZEN BEPERKEN	4
2.2.2 LEKVERLIEZEN BEPERKEN	5
2.2.3 VENTILATIEVERLIEZEN BEPERKEN	6
2.2.4 PASSIEVE WARMTEWINSTEN	7
<u>3 HOUTSKELETBOUW ALGEMEEN.....</u>	<u>9</u>
3.1 INLEIDING	9
3.2 SOORTEN OPBOUW	9
3.2.1 TRADITIONELE WANDOPBOUW MET SPOUWMUUR.....	9
3.2.2 HOUTSKELETBOUW	9
3.2.3 VOORDELEN VAN HOUTSKELETBOUW BIJ HET BOUWEN VAN EEN PASSIEFHUIS	12
3.3 THERMISCHE INERTIE	13
<u>4 MARKTONDERZOEK</u>	<u>15</u>
4.1 ALGEMEEN.....	15
4.2 RESULTATEN.....	15
4.3 CONCLUSIES.....	20
<u>5 MATERIALENSTUDIE</u>	<u>21</u>
5.1 INLEIDING	21
5.2 WARMTEGELEIDINGSCOËFFICIËNT	21
5.3 VOCHTHUISHOUDING	22
5.3.1 TRANSPORTMECHANISMEN.....	22
5.3.2 MOGELIJKE VOCHTPROBLEMEN.....	24
5.4 ISOLATIEMATERIALEN	26
5.4.1 NIBE-CLASSIFICATIE	26
5.4.2 BRANDREACTIE.....	28
5.4.3 KOSTPRIJS	28

5.4.4	VERGELIJKING.....	29
5.5	LUCHTDICHTING.....	37
5.6	DAMPREM.....	38
5.6.1	OSB.....	38
5.6.2	FOLIES.....	39
5.7	GEVELAFWERKING.....	40
5.7.1	GEVELSTEEN.....	40
5.7.2	BUITENBEPLEISTERING.....	41
5.7.3	AFWERKING IN HOUT.....	43
5.8	DAKAFWERKING.....	45
5.8.1	HELLEND DAK.....	45
5.8.2	PLAT DAK.....	46
5.9	BINNENAFWERKING.....	47
5.9.1	WAND EN DAK.....	47
5.9.2	VLOER.....	47

6 ONTWERP SCHILDELEN..... 49

6.1	INLEIDING.....	49
6.2	BEREKENING U-WAARDE.....	50
6.2.1	FORMULES.....	50
6.2.2	WARMTEWEERSTAND VAN NIET-HOMOGENE LAGEN.....	52
6.2.3	WARMTEWEERSTAND VAN LUCHTLAGEN.....	52
6.3	WAND.....	54
6.3.1	WAND MET GEVELBEPLEISTERING.....	54
6.3.2	WAND MET GEVELSTEEN ALS GEVELAFWERKING.....	56
6.3.3	WAND MET HOUTEN BEPLANKING ALS GEVELAFWERKING.....	59
6.4	VLOER.....	62
6.4.1	ISOLATIE BOVEN DE VLOERPLAAT.....	62
6.4.2	ISOLATIE ONDER DE VLOERPLAAT.....	66
6.5	DAK.....	67
6.5.1	HELLEND DAK.....	67
6.5.2	PLAT DAK.....	74

7 ONTWERP VAN DE CONSTRUCTIEDETAILS..... 79

7.1	INLEIDING.....	79
7.2	KOUDEBRUGBEREKENING.....	79
7.3	AANDACHTSPUNTEN.....	83
7.4	AANSLUITING BUITENWAND - VERDIEPINGSVLOER.....	84
7.4.1	LUCHTDICHTHEID.....	84
7.4.2	KOUDEBRUGBEREKENING.....	85
7.4.3	WAND MET GEVELBEPLEISTERING.....	86

7.4.4	WAND MET GEVELSTEEN	90
7.4.5	WAND MET HOUTEN BEPLANKING	92
7.4.6	ALGEMENE OPBOUWVOLGORDE	94
7.5	AANSLUITING BUITENWAND - HELLEND DAK	97
7.5.1	SPANTENDAK	97
7.5.2	GORDINGENDAK.....	98
7.5.3	DAKOVERSTEEK	98
7.5.4	WAND MET GEVELBEPLEISTERING.....	99
7.5.5	WAND MET GEVELSTEEN	103
7.5.6	WAND MET HOUTEN BEPLANKING	107
7.5.7	ALGEMENE OPBOUWVOLGORDE	114
7.6	AANSLUITING BUITENWAND - PLAT DAK.....	117
7.6.1	ALGEMEEN	117
7.6.2	WAND MET GEVELBEPLEISTERING.....	118
7.6.3	WAND MET GEVELSTEEN	121
7.6.4	WAND MET HOUTEN BEPLANKING	124
7.6.5	ALGEMENE OPBOUWVOLGORDE	128
7.7	AANSLUITING BUITENWAND - FUNDERING.....	131
7.7.1	ALGEMENE PLAATFUNDERING	131
7.7.2	FUNDERING OP STAAL MET KRUIPRUIMTE BIJ DE TOEPASSING VAN WELFSELS.....	139
7.7.3	FUNDERING OP STAAL MET KRUIPRUIMTE BIJ DE TOEPASSING VAN EEN HOUTEN ROOSTERING 146	
7.8	AANSLUITING BINNENWAND – FUNDERING.....	155
7.8.1	FUNDERING OP STAAL MET DRAAGVLOER UIT WELFSELS	155
7.8.2	FUNDERING OP STAAL MET DRAAGVLOER UIT HOUTEN ROOSTERING	156
7.8.3	GEHELE PLAATFUNDERING	157
7.9	INBOUW RAAM	158
7.9.1	VERTICALE SNEDES VAN DE RAAMDDETAILS.....	159
7.9.2	HORIZONTALE SNEDES VAN DE RAAMDDETAILS.....	162
8	<u>BESLUIT</u>	<u>165</u>
	<u>LITERATUURLIJST</u>	<u>169</u>

1 Inleiding

Op 31 januari 2008 riep het Europees Parlement de EU-Commissie op een voorstel te presenteren voor een bindende eis dat vanaf 2011 alle nieuwe gebouwen die verwarming en/of koeling behoeven aan eisen voor 'passieve woningen' of commerciële gebouwen moeten voldoen¹.

Dit voorstel wijst er dus op dat de passiefhuis-standaard in de toekomst waarschijnlijk een belangrijke rol zal gaan spelen. De vraag is echter of dit mogelijk is op zulke korte termijn. In de meeste Europese landen bestaan er immers nog steeds een aantal belangrijke barrières die de toepassing van het passiefhuis-concept bemoeilijken. Voor België zijn dit o.a. de beperkte know-how van zowel architecten als aannemers alsook een gebrek aan geschikte details. Er zullen de komende jaren dan ook grote inspanningen moeten geleverd worden om deze barrières weg te werken, zowel door de overheid als de bouwsector zelf.

De aanvankelijke doelstelling van dit werk bestond erin om, in samenwerking met het cluster duurzaam bouwen en energie van BECO Groep, onderzoek te doen naar deze barrières en hoe deze kunnen worden weggenomen. Concreet was het de bedoeling, uitgaande van een marktonderzoek onder architecten en afhankelijk van de resultaten, te onderzoeken in hoeverre normale plannen aangepast moeten worden om volgens het passiefhuis-concept te bouwen. Hiervoor zouden we dan referentiedetails uitwerken die architecten kunnen helpen bij de aanpassing van hun plannen met de nodige aandacht voor kostenbesparing en reproduceerbaarheid.

Na enig onderzoek bleek echter dat het omzetten van traditionele plannen, naar plannen geschikt voor een passiefhuis, niet zomaar mogelijk is. Het is immers van belang dat reeds bij het ontwerp uitgegaan wordt van het passiefhuis-concept, rekening houdend met een aantal basisprincipes. Omdat het uitwerken van details wel degelijk één van de barrières is in de toepassing van het concept, was het de bedoeling ons daarop te concentreren. In samenspraak met het Passiefhuis Platform werd dan besloten om specifiek de detaillering van passiefhuizen in traditionele houtskeletbouw te beschouwen.

Het marktonderzoek bleef behouden omdat het ons toch interessant leek om enerzijds te peilen naar de kennis betreffende het concept bij architecten en anderzijds na te gaan wat zij voor zichzelf als de belangrijkste barrières zien in de toepassing ervan.

¹ Bron: www.passiefhuisplatform.be

2 Wat is een passiefhuis?

Ondanks het feit dat de term “passiefhuis” regelmatig in de actualiteit opduikt is er nog steeds veel verwarring en onduidelijkheid rond dit begrip. Daarom worden in dit hoofdstuk kort de definitie en de algemene basisprincipes besproken. Vervolgens worden de eisen toegelicht waaraan voldaan moet zijn om de passiefhuis-standaard te bereiken en de bijhorende maatregelen. De aandacht gaat hierbij vooral uit naar de constructie gezien de doelstelling van dit werk, namelijk het uitwerken van constructiedetails.

Dit hoofdstuk blijft zeer beperkt omdat in eerdere eindwerken de voorbije jaren al veel aandacht werd besteed aan het algemene concept. Voor meer informatie hieromtrent wordt dan ook verwezen naar [SULP,2004].

2.1 Definitie

De term passiefhuis verwijst naar een constructiestandaard, opgesteld door Dhr. Wolfgang Feist. Het is een verfijning van “lage-energie woning”. In een passiefhuis heerst winter en zomer een stabiele comforttemperatuur zonder dat daarvoor een conventioneel verwarming- of koelingsysteem nodig is. De standaard kan bereikt worden met een verscheidenheid aan ontwerpen, materialen en technologieën [WIEP,2002].

Omdat deze definitie praktisch onbruikbaar is wordt ze omgezet in twee algemene energieprestatie-eisen [WIEP,2002]:

- Een maximale warmtevraag van 15 kWh/m² gebruiksoppervlak per jaar
- Een maximaal primair energieverbruik van 120 kWh/m² per jaar

2.2 Basisprincipes

Aan de verschillende delen van de constructie worden, uitgezonderd de luchtdichtheid, geen prestatie-eisen opgelegd om het passiefhuis-certificaat te behalen. Er wordt gebruik gemaakt van streefwaarden. Om deze streefwaarden te bereiken moeten bepaalde maatregelen getroffen worden die in de volgende paragrafen worden toegelicht. Deze maatregelen zijn afgeleid uit twee basisprincipes:

- Optimaliseer wat noodzakelijk is
- Minimaliseer eerst het warmteverlies vooraleer je de warmtewinsten maximaliseert

2.2.1 Transmissieverliezen beperken

Één van de belangrijkste factoren in het warmteverlies van een woning is het transmissieverlies doorheen de gebouwschil. Het is dus noodzakelijk alle delen van deze schil goed te isoleren zodat volgende streefwaarden bereikt worden:

- | | |
|--|---------------------------|
| ➤ U-waarde van vloeren, muren en daken | < 0,15 W/m ² K |
| ➤ U-waarde van buitenschrijnwerk | < 0,8 W/m ² K |
| ➤ U-waarde van beglazing | < 0,8 W/m ² K |

Afhankelijk van de oriëntatie en compactheidsgraad van de woning kunnen deze waarden echter ontoereikend zijn om aan de vooropgestelde passiefhuiscriteria te voldoen. De huidige gemiddelde U-waarden van de reeds gecertificeerde woningen bedragen voor muren ca. 0,12-0,13 W/m²K, voor daken ca. 0,09 W/m²K en voor vloeren ca. 0,14 W/m²K [PIVA,2007]. Bij het ontwerp van de schildelen later in dit werk worden deze gemiddelden als richtwaarden gehanteerd.

Door het ontwerp van goed geïsoleerde schildelen dient bij het ontwerp van de woning en de detaillering extra aandacht besteed te worden aan het vermijden van koudebruggen. Het effect van een koudebrug neemt immers toe naarmate de isolatiegraad stijgt. Deze koudebruggen leiden tot een hoog warmteverlies en kunnen eventueel ook schadelijke gevolgen hebben zoals schimmels en houtrot ten gevolge van condensatie. Er wordt gestreefd naar:

- | | |
|--|-------------|
| ➤ Lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ | < 0,01 W/mK |
|--|-------------|

Dit is echter een zeer strenge beperking waarbij het voor bepaalde constructiedetails vrijwel onmogelijk is om hieraan te voldoen. Daarom moet, indien deze streefwaarde niet kan bereikt worden, aangetoond worden dat de oppervlaktetemperatuur condensatievrij is bij een binnentemperatuur van 20°C en een relatieve vochtigheid van 60%, en een buitentemperatuur van -10°C.

2.2.2 Lekverliezen beperken

Ook de luchtdichtheid speelt een grote rol in het energieverbruik en comfort van een woning. Daarom moet een luchtdichte laag worden aangebracht die doorloopt over de volledige gebouwschil. Typische zwakke plekken zijn plaatsen waar verschillende onderdelen van het gebouw aansluiten, zoals bvb de aansluiting tussen wand en dak, de raamaansluiting enz. Om een extreme luchtdichtheid te verzekeren is dan ook een gedetailleerd ontwerp van deze aansluitingen noodzakelijk. Volgende eis is opgenomen in de passiefhuiscriteria:

$$\text{➤ Gebouwlekverliezen } n_{50} < 0,6 \text{ h}^{-1}$$

De luchtdichtheid wordt geverifieerd door middel van een blower-door test of pressuratietest. Bij deze proef wordt een ventilator in een deuropening geplaatst die de woning in onder- of overdruk plaatst, zoals weergegeven in Figuur 2.1. De n_{50} -waarde stemt overeen met hoeveel maal per uur de volledige luchtinhoud van het gebouw door luchtlekken in de gebouwschil verloren gaat, bij een drukverschil van 50Pa.



Figuur 2.1: Blower-door test

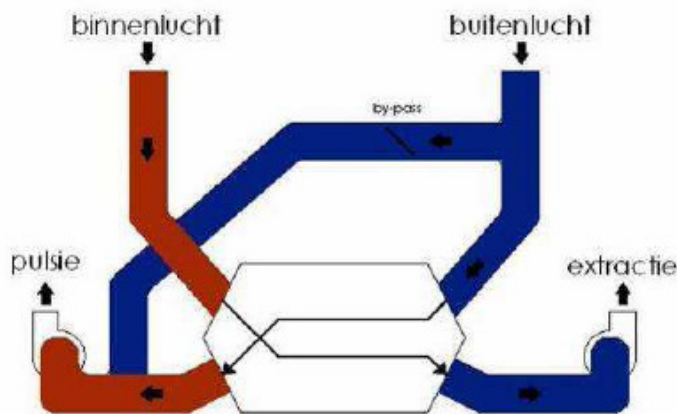
Voor een geldige meting met bewijskracht is het belangrijk de planning van de uitvoering van de bouwwerkzaamheden en het ogenblik van de meting op elkaar af te stemmen. Het gebouw moet zich in een toestand bevinden die in sterke mate overeenstemt met de normale gebruikstoestand. Zo moeten alle bouwonderdelen en -elementen die een duidelijke invloed hebben op de luchtdichtheid zijn aangebracht: regen- en windscherm, dampscherm, aansluitingen met buitenschrijnwerk enz. [LUBO,2004].

2.2.3 Ventilatieverliezen beperken

Door de extreme luchtdichtheid zal het gebouw nauwelijks op een natuurlijke manier geventileerd worden. Een mechanische ventilatie is dus noodzakelijk voor de toevoer van verse lucht in de leefruimtes en de afvoer van vochtige, vervuilde lucht uit de natte ruimtes. Om de verliezen die hiermee gepaard gaan te minimaliseren moet een balansventilatie met warmteterugwinning worden toegepast. De streefwaarde voor het rendement:

- Mechanische balansventilatie met warmterecuperatie met temperatuurrendement (met efficiënte gelijkstroomventilator of gelijkwaardig) $> 75 \%$

Meestal worden deze toestellen ook uitgerust met een bypass, zoals weergegeven in Figuur 2.2 [PIVA,2007], om in de zomer koeling mogelijk te maken via nachtventilatie.



Figuur 2.2: ventilatiesysteem met warmterecuperatie en bypass

De koele buitenlucht wordt dan rechtstreeks ingeblazen in de woning zonder eerst door de warmtewisselaar te passeren.

Een potentieel gevaar van dit ventilatiesysteem is beschadiging door bevroren condensatievocht in de winter. Hiervoor zijn een aantal mogelijke oplossingen waarvan de meest toegepaste in passiefhuizen de aardwarmtewisselaar is. Dit is een eenvoudig systeem waarbij een buis wordt voorzien op bepaalde diepte in de tuin waardoor de verse lucht wordt aangezogen. De aangevoerde buitenlucht wordt hierbij respectievelijk opgewarmd of afgekoeld in winter of zomer dankzij de constante temperatuur die heerst vanaf een bepaalde diepte onder de grond.

Om tijdens de koudste winterdagen de eventueel resterende warmtebehoefte te leveren wordt meestal een bijverwarming voorzien. In de reeds gerealiseerde passiefhuizen wordt meestal warm water of een elektrische weerstand aangewend om de ventilatielucht net na de warmtewisselaar bij te verwarmen. Een nadeel van deze toepassing is dat er geen

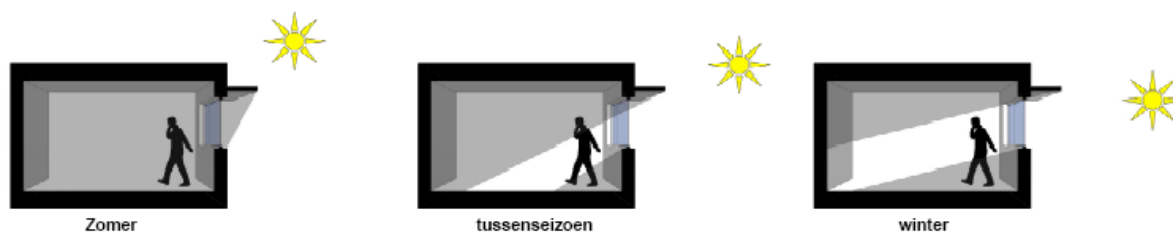
afzonderlijke temperatuurregeling mogelijk is voor verschillende ruimtes. Bovendien wordt bijvoorbeeld in de badkamer de lucht afgevoerd terwijl bijvoorbeeld in de slaapkamer de verse, en dus op bepaalde momenten verwarmde, lucht wordt toegevoerd. Dit kan aanleiding geven tot temperatuursverschillen. Om dit te vermijden kan op plaatsen waar het gewenst is een afzonderlijke bijverwarming geplaatst worden.

2.2.4 Passieve warmtewinsten

Eenzijds is een goed georiënteerde beglazing noodzakelijk om de warmtewinsten in de woning te maximaliseren. Anderzijds worden de transmissieverliezen van de beglazing en het schrijnwerk beperkt, zoals besproken in paragraaf 2.2.1, zodat de ramen kunnen beschouwd worden als passieve zonnecollectoren. Hun totale energiewinst is immers groter dan het verlies. Voor de maximalisatie van de warmtewinsten wordt volgende streefwaarde gebruikt voor de beglazing:

- g-waarde van beglazing $> 50 \%$

Om het zomercomfort te garanderen moet bij het ontwerp van de beglazing ook voldoende aandacht besteedt worden aan beschaduwing door bijvoorbeeld externe zonwering. Omwille van de eenvoud en lage kostprijs wordt vaak de voorkeur gegeven aan een vaste zonwering in de vorm van bijvoorbeeld een grote dakoversteek, een luifel enz. Zoals op Figuur 2.3 [PIVA,2007] te zien is biedt deze vorm van zonwering het voordeel dat in het winter- en tussenseizoen nog steeds beroep kan gedaan worden op zonne-energie omwille van de lagere stand van de zon. Een nadeel is de beperking van het daglicht bij een bewolkte dag.



Figuur 2.3: Zontoetreding bij een vaste zonwering

Er is een uitgebreid gamma aan mogelijke zonweringen beschikbaar, elk systeem met specifieke voor- en nadelen. Bij het ontwerp ervan dient dan ook met verschillende factoren rekening gehouden te worden. Voor een overzicht van de mogelijke systemen en de verschillende aandachtspunten wordt verwezen naar [PIVA,2007].

De totale energieconsumptie van een woning kan verder gereduceerd worden door het gebruik van zuinige huishoudtoestellen zoals bvb spaarlampen, toestellen met een energielabel, warm water aansluitingen voor was- en vaatwasmachine enz.

Zoals eerder reeds werd aangehaald is de energieprestatie-eis die het primair energieverbruik beperkt niet opgenomen in de criteria voor certificatie. De certificatie richt zich met andere woorden dus enkel tot de constructie en installaties en houdt geen rekening met het gebruik van zuinige toestellen, het gebruikersgedrag, enz.

Tenslotte kan gesteld worden dat, als gevolg van de lage energiebehoefte van een passiefhuis, het zinvol is om gebruik te maken van hernieuwbare energiebronnen zoals thermische zonnecollectoren, fotovoltäische zonnepanelen, windturbines, enz.

3 Houtskeletbouw algemeen

3.1 Inleiding

Bij de bouw van een passiefhuis zijn er verschillende manieren van opbouw mogelijk, daar het passiefhuisconcept geen verplichtingen oplegt betreffende de keuze van materialen. Het moet wel gezegd worden dat sommige materialen het milieu meer belasten tijdens de productie dan andere. Aangezien de toepassing van het passiefhuis-concept zorgt voor een minimaal energieverbruik wordt dus ook de milieu-impact van de woning drastisch verminderd ten opzichte van de gemiddelde woning. Daarom wordt de toepassing van het concept vaak gecombineerd met het gebruik van materialen met een zo gering mogelijke milieu-impact. Dit is echter geen vereiste om de passiefhuis-standaard te bereiken.

Hieronder gaan we kort de verschillende opbouw mogelijkheden weergeven.

3.2 Soorten opbouw

3.2.1 Traditionele wandopbouw met spouwmuur

Deze opbouw wordt het meest in België toegepast voor het bouwen van een traditionele woning. Hier wordt gebruikt gemaakt van een steenachtige draagconstructie, het binnenspouwblad. De isolatie wordt door middel van een extra laag in de spouw aangebracht. Indien men volgens deze methode een passief huis wil bouwen, zal dit aanleiding geven tot zeer dikke muren, dit doordat de isolatie als een extra laag toegevoegd wordt. De wanddikte kan al snel oplopen tot een halve meter.

3.2.2 Houtskeletbouw

Houtskeletbouw is een bouwsysteem dat zowel in België als in het buitenland steeds vaker toegepast wordt voor het optrekken van energiezuinige gebouwen en passiefhuizen. Het voordeel van houtskeletbouw is dat de isolatie in de draagconstructie kan geplaatst worden, hierdoor zullen de muren een kleinere dikte hebben dan de hiervoor besproken methode. Beter en meer isoleren wordt dus gemakkelijker. Dit is ook de reden waarom de meeste lage-energie woningen in hout zijn opgetrokken.

Er bestaan verschillende manieren om de houten draagstructuur te construeren. De belangrijkste worden hierna toegelicht.

3.2.2.1 Traditionele houtskeletbouw

Houtskeletbouw is een bouwmethode waarbij de volledige draagstructuur is opgebouwd uit een geraamte van houten stijlen en balken, verstijft met plaatmateriaal. Tussen de stijlen kan isolatie geplaatst worden.

Een houtskelet bestaat uit kepers met een standaarddoorsnede, die op vaste afstand van elkaar verticaal geplaatst zijn en onderling verbonden worden door horizontaal bevestigde kepers van dezelfde doorsnede. Zo worden kaders gevormd. Gezien de standaardafmetingen van de gebruikte panelen (120 cm) en van de isolatierollen (40 of 60 cm breed) worden de verticale stijlen van het skelet meestal om de 40 of 60 cm geplaatst. Kenmerkend voor houtskeletbouw is de laagsgewijze opbouw van de draagstructuur.

De stabiliteit en stijfheid van de hele structuur wordt verzekerd door de panelen die op de houten kaders worden vastgespijkerd. De binnenzijde wordt meestal afgewerkt met gips-kartonplaat. Voor de buitenbekleding bestaat er een brede waaier van mogelijkheden: bakstenen, steen of een houten buitenbetimmering.

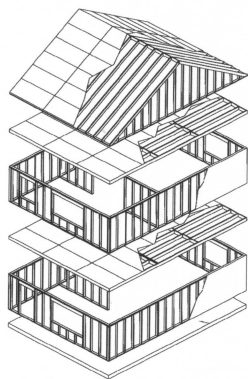
Houtskeletbouw is flexibel en heeft uitstekende prefabricage mogelijkheden. Vooral daardoor is het vandaag in België de meest gebruikte techniek voor houten woningen.

Er bestaan twee types: de **platformmethode** en de **balloonmethode** [IHHH,2005].

A. Platformmethode

Dit is de methode die momenteel het meeste in België wordt toegepast. Hier worden verdiepingshoge wandelementen gebruikt welke op elke bouwlaag onderbroken worden door een vloer, zoals weergegeven in Figuur 3.1.

De opbouw bij de platformmethode bestaat uit een onderregel waarop stijlen staan en welke afgedekt wordt met een bovenregel. Dit frame wordt stabiel gemaakt door er een plaatmateriaal op te timmeren. De frames worden onderling gekoppeld door een koppelregel

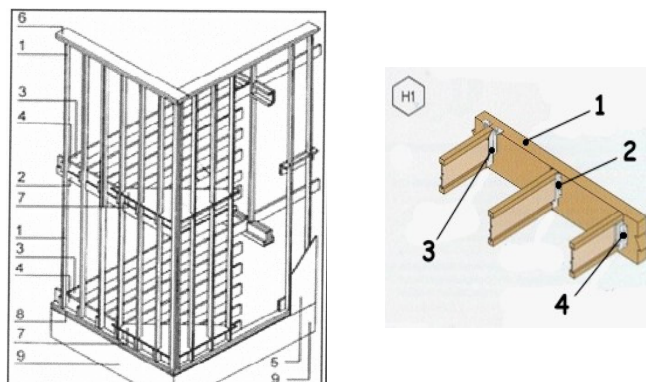


waarna de vloer er overheen gelegd wordt. De vloerelementen bestaan uit vloerbalken met langs de randen een randbalk. De vloer wordt met plaatmateriaal afgetimmerd en vormt het platform voor de volgende bouwlaag. Voor de geluidsisolatie en brandwerendheid kan men een vulling van isolatiemateriaal tussen de vloerbalken aanbrengen. Een voordeel van deze methode is dat er altijd een werkvloer aanwezig is voor de montage van de volgende elementen [DUGE,2006].

Figuur 3.1: Platformmethode

B. Balloonmethode

Anders dan bij de platformmethode worden de muurstijlen niet onderbroken door de verdiepingsvloeren, maar lopen ze door van de fundering tot het dak zoals weergegeven in Figuur 3.2. Dit heeft als grote voordeel dat de isolatie niet onderbroken wordt ter plaatse van de verdiepingsvloeren. Men dient dus een andere manier te vinden om de vloeren te plaatsen, hiervoor zal men aan de binnenzijde een steunbalk bevestigen op de muurstijlen. Op deze steunbalk worden dan de vloerbalken bevestigd. De vloeren “zweven” dus als het ware tussen de wanden.



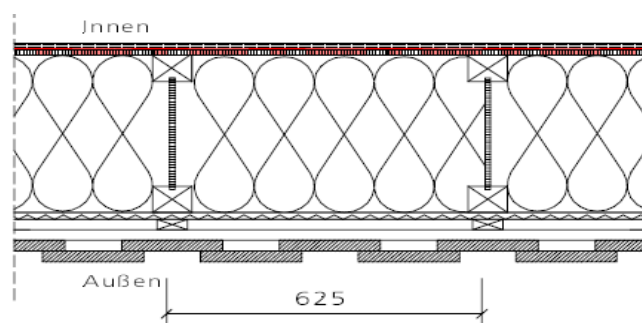
Figuur 3.2: Balloonmethode

3.2.2.2 Ontdubbelde draagstructuur

Er kan gebruik gemaakt worden van een driedubbel draagskelet. Dergelijke opbouw bestaat uit een dragend houtskelet van meestal 14 cm dik, volledig gevuld met isolatie en een tweede houtskelet van variabele dikte, opnieuw opgevuld met isolatie. Tussen deze twee skeletten zit een doorlopende isolatielaag. Daardoor wordt de koudebrug tot een minimum gereduceerd [OVEP,2006].

3.2.2.3 FJI-liggers of TJI-liggers

De FJI-ligger of TJI-ligger is een samengestelde houten ligger, weergegeven Figuur 3.3, en is te vergelijken met een I-ligger uit staal, maar dan in hout. Het lijf bestaat uit OSB-plaat, de flenzen bestaan uit LVL-liggers. De geringe houtsectie van de lijfplaat laat een



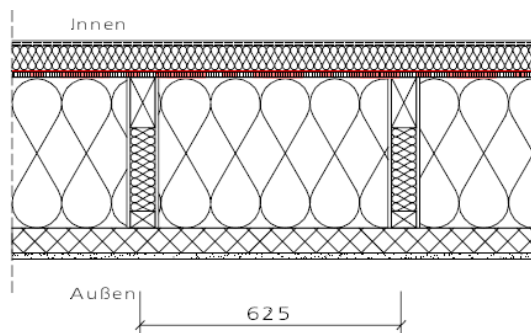
Figuur 3.3: Wandopbouw met FJI- of TJI-liggers

koudebrugvrije opbouw toe en men kan de benodigde isolatie tussen deze liggers plaatsen dit in tegenstelling tot de tijdrovende laagsgewijze opbouw van klassieke houtskeletbouwsystemen. Bovendien zijn deze draagstijlen veel lichter dan de gewone stijlen en blijft de wandopbouw beperkt tot één laag.

Doordat deze draagstructuur grote overspanningen aankan, zijn deze balken ook geschikt voor het gebruik in vloeren en daken. Een snelle plaatsing op de werf is mogelijk. Deze constructiemethode kent de laatste jaren meer en meer opgang in ons land. Een nadeel van deze liggers is de hoge kostprijs in vergelijking met de traditionele liggers.

3.2.2.4 Boxdragers

Een variant op de TJI- of FJI-liggers zijn boxdragers, zoals weergegeven in Figuur 3.4. Hierbij wordt het dunne lijf vervangen door een isolatiekern zodanig dat de



Figuur 3.4: Wandopbouw met boxdragers

koudebrugwerking zo goed als onbestaande is. De versterkte isolatiekern vervult hier de functie van het lijf. Het systeem van boxdragers wordt vooral in Duitsland toegepast.

3.2.3 Voordelen van houtskeletbouw bij het bouwen van een passiefhuis

Hout blijkt in veel opzichten één van de meest milieuvriendelijke materialen te zijn. De energie-inhoud is laag, de vervuiling bij de productie minimaal, de voorraad groot en beheersbaar en de duurzaamheid van hout als bouw materiaal goed bij voldoende aandacht voor de detaillering.

Een houtskeletbouwwoning heeft een lager eigengewicht, namelijk 25 à 30% van een steenachtige woning. Hierdoor zal er een minder zware fundering moeten berekend en geplaatst worden, wat een gunstige invloed heeft op de kostprijs van het totale project.

Een ander voordeel van houtskeletbouw is dat deze methode uitstekende prefabricage mogelijkheden biedt. De verschillende elementen kunnen vrij van weersinvloeden en onder voortdurende kwaliteitscontrole geproduceerd worden in een atelier. Hierdoor kan een goede controle op de details uitgeoefend worden. De geprefabriceerde elementen hebben een relatief laag eigengewicht en kunnen daardoor op de werf snel geplaatst worden. Door deze snelle plaatsing zal op de werf minimale hinder ondervonden worden omwille van weersomstandigheden zoals regen en vorst, men spreekt hier van een droge bouw methode. Een bijkomend voordeel is dat ook de bouwtermijn aanzienlijk verkort zodat bespaard wordt op de loonkost.

3.3 Thermische inertie

Het zomercomfort is een belangrijk aandachtspunt in een passiefwoning. Er wordt immers getracht de passieve zonnewinsten optimaal te benutten wat in de zomer aanleiding kan geven tot oververhitting. Er moeten dus gepaste maatregelen getroffen worden om dit risico uit te sluiten of te beperken. Eén van de maatregelen, de zonwering, werd in hoofdstuk 2 al besproken. Een tweede belangrijke factor is de thermische inertie van de woning, welke afhankelijk is van de volledige thermische massa die aanwezig is binnen het beschermd volume.

Elk materiaal bezit een bepaalde warmteopslagcapaciteit of inertie. Over het algemeen hebben zware materialen zoals baksteen, beton enz. een grote inertie. Hierdoor zijn ze in staat tijdens piekmomenten warmte op te slaan en deze vervolgens traag weer af te geven. Op die manier blijft de temperatuur in de woning stabiel wat een gunstige invloed heeft op het comfort.

In traditionele woningen met een binnenspouwblad uit baksteen is er dus meestal voldoende thermische massa aanwezig. Dit is echter niet het geval bij woningen met een houten skelet die over het algemeen veel lichter zijn. Om oververhitting in de zomer te vermijden is het dus belangrijk extra massa te voorzien binnen het beschermd volume.

Een eerste mogelijkheid is het voorzien van een voldoende dikke dekvloer met daarop een massieve vloerafwerking. Dit is een eenvoudige en vaak voorkomende toepassing. De invloed ervan is echter gering vanwege de relatief kleine massa.

Een tweede mogelijkheid is het voorzien van binnenmuren uit baksteen. De thermische massa van de woning wordt hierdoor aanzienlijk verhoogd en kan makkelijk worden aangepast in functie van de wanddikte. Een nadeel van deze toepassing is de potentiële koudebrug ter plaatse van de aansluiting met de draagvloer. Er moeten in dit geval isolerende bouwblokken uit bijvoorbeeld cellenglas of cellenbeton bovenop de funderingsmuren geplaatst worden.

Een derde mogelijkheid om de thermische massa fors te verhogen is de betonnen draagvloer binnen het beschermd volume te plaatsen, afgewerkt met een massieve vloer. Dit kan gerealiseerd worden door, in het geval van een vloer op volle grond, de vloerisolatie onder deze draagvloer te plaatsen. Ook het probleem met de koudebrug in de aansluiting tussen de binnenmuren en de vloer is in dit geval opgelost, op voorwaarde dat een algemene funderingsplaat kan worden toegepast.

Ook de overige materialen in de woning hebben een invloed op de thermische massa ervan. Vooral de isolatiematerialen zijn hierin belangrijk omwille van de grote hoeveelheid die aanwezig is een passiefhuis. Hierop wordt in hoofdstuk 5 teruggekomen bij de bespreking van de isolatiematerialen.

4 Marktonderzoek

4.1 Algemeen

In België worden nog maar zeer weinig passiefhuizen gebouwd, dit in tegenstelling tot landen als Duitsland en Oostenrijk. Daarom werd, in samenwerking met het cluster energie en duurzaam bouwen van de firma BECO, een marktonderzoek uitgevoerd onder Vlaamse architecten. Via een enquête werd onder andere gepeild naar wat volgens hen de voornaamste barrières zijn in de toepassing van het passiefhuis-concept, zowel voor zichzelf als voor de bouwheer. Er werden twee vragenlijsten opgesteld om een onderscheid te kunnen maken tussen architecten die reeds ervaring hebben met de toepassing van het passiefhuis-concept en deze zonder ervaring.

4.2 Resultaten

In totaal werden ca. 3000 enquêtes verstuurd. De respons vanwege architecten zonder ervaring met het passiefhuis-concept bleef beperkt tot 95 ingevulde vragenlijsten. Daarnaast waren er 18 reacties vanwege architecten met ervaring met het concept. Gelet op het beperkte aantal reeds gerealiseerde passiefhuizen is dit een relatief grote respons.

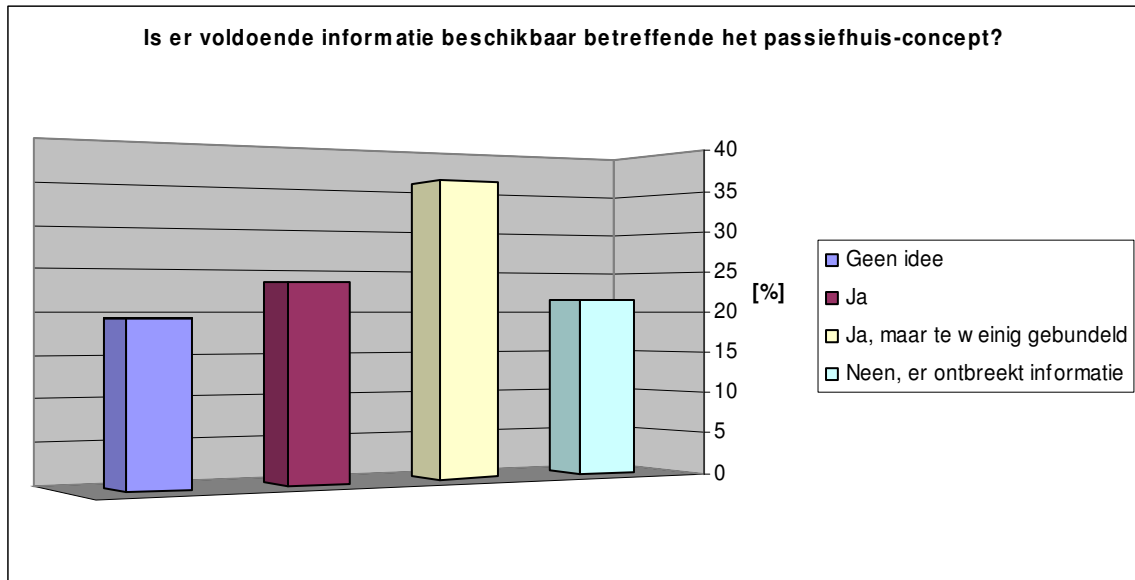
In het eerste deel van de enquête hebben we gepeild naar wat architecten een energiezuinige woning vinden en naar hun standpunt ten opzichte van de bestaande energieprestatieregelgeving. De meeste architecten zijn voorstander van de energieprestatieregelgeving, de helft van de ondervraagden is zelfs voor een verhoging van de eisen.

Wat zij zelf zien als een energiezuinige woning loopt uiteen van de huidige eisen K45 en E100 tot K35 en E50. Het valt op dat velen het gebruik van energiezuinige installaties samen met een verhoging van de isolatiegraad zien als de belangrijkste elementen om tot een energiezuinige woning te komen.

In het tweede deel van de enquête werd gepeild naar hun kennis en eventuele ervaring omtrent de passiefhuis-standaard en waarom deze volgens hen in België zo weinig toegepast wordt.

Op Figuur 4.1 is te zien dat de meerderheid van de architecten die geen ervaring heeft met het passiefhuisconcept vindt dat er wel voldoende informatie bestaat over het passiefhuisconcept, maar dat deze beschikbare informatie onvoldoende gebundeld is. Dit vindt ook een groot deel

van de architecten die al ervaring heeft met het passiefhuisconcept. Ongeveer 20% van alle ondervraagden vindt echter dat er ook informatie ontbreekt betreffende het passiefhuisconcept. Meer bepaald naar de uitvoering, de beschikbare materialen en technieken en het ontwerpen van de details toe.

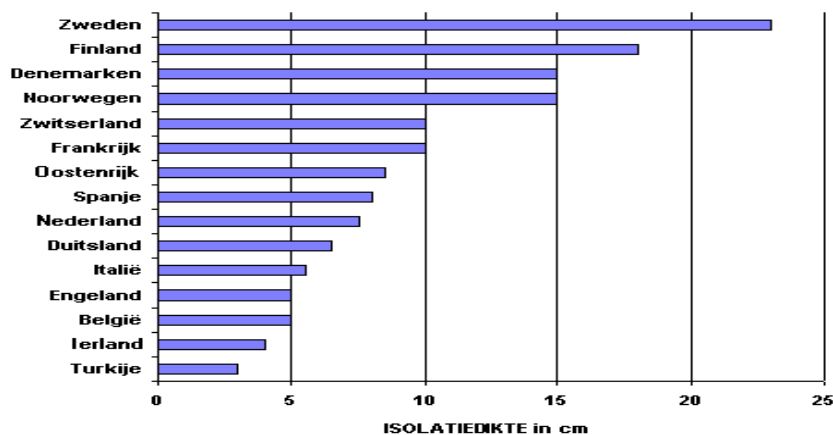


Figuur 4.1: Resultaten omtrent de beschikbaarheid van informatie over het passiefhuis-concept

Daarnaast blijkt uit de bevraging dat meer dan de helft van de architecten beweert ervaring te hebben met houtskeletbouw. Dit lijkt ons toch enigszins verwonderlijk, aangezien er toch niet zo veel woningen volgens het houtskeletbouwprincipe gebouwd worden in België. Een mogelijke verklaring is misschien te zoeken bij de specifieke groep van architecten die aan de enquête heeft deelgenomen.

Verder valt nog op te merken dat 66% van de architecten een afwerking met hout verkiest, hetzij beplanking of plaatsing van gevelplaten op basis van houtproducten op een houtskeletwoning.

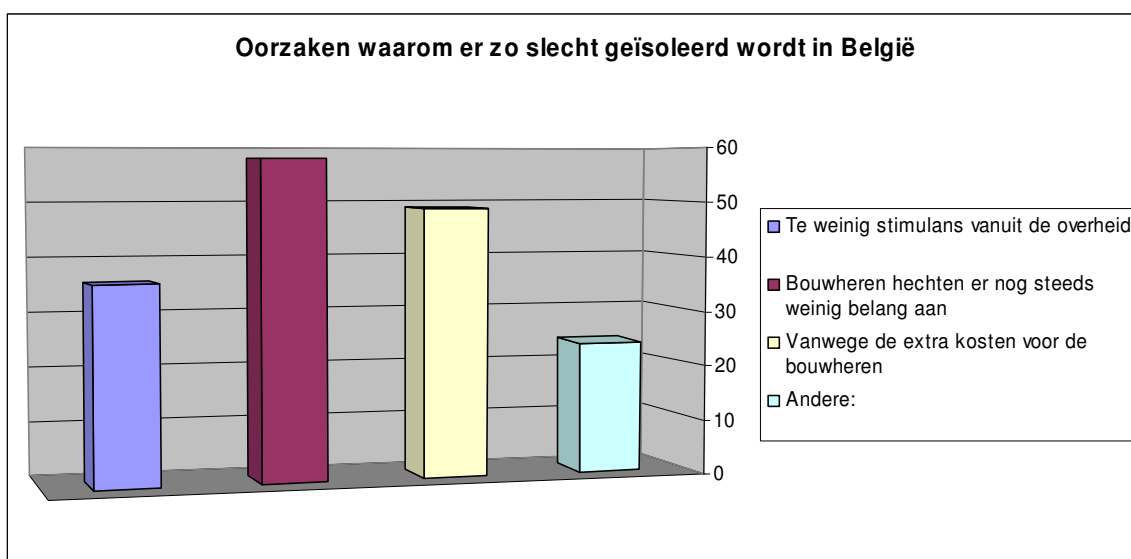
Het is opvallend dat de isolatiegraad van de woningen in België beduidend lager ligt dan deze in de ons omringende landen. Dit is goed te zien op Figuur 4.2.



Figuur 4.2: Vergelijking isolatiegraad Europese landen

Deze grafiek is opgesteld in 2001 door Eurima, een toonaangevende Europese vereniging van isolatiefabrikanten. Hierop is te zien dat de gemiddelde isolatiedikte in België voor buitenmuren 5 cm bedraagt. Hierdoor eindigen we bij de laatste van Europa, en laten zelfs de zuiderse landen voorgaan. Ook tonen de cijfers aan dat de isolatiediktes beduidend lager liggen dan deze in landen met eenzelfde klimaattype.

Het leek ons daarom interessant na te gaan wat volgens de architecten de oorzaken hiervan kunnen zijn. Op Figuur 4.3 is te zien dat de belangrijkste oorzaak volgens hen is dat de bouwheren weinig belang hechten aan voldoende isolatie van hun woning.

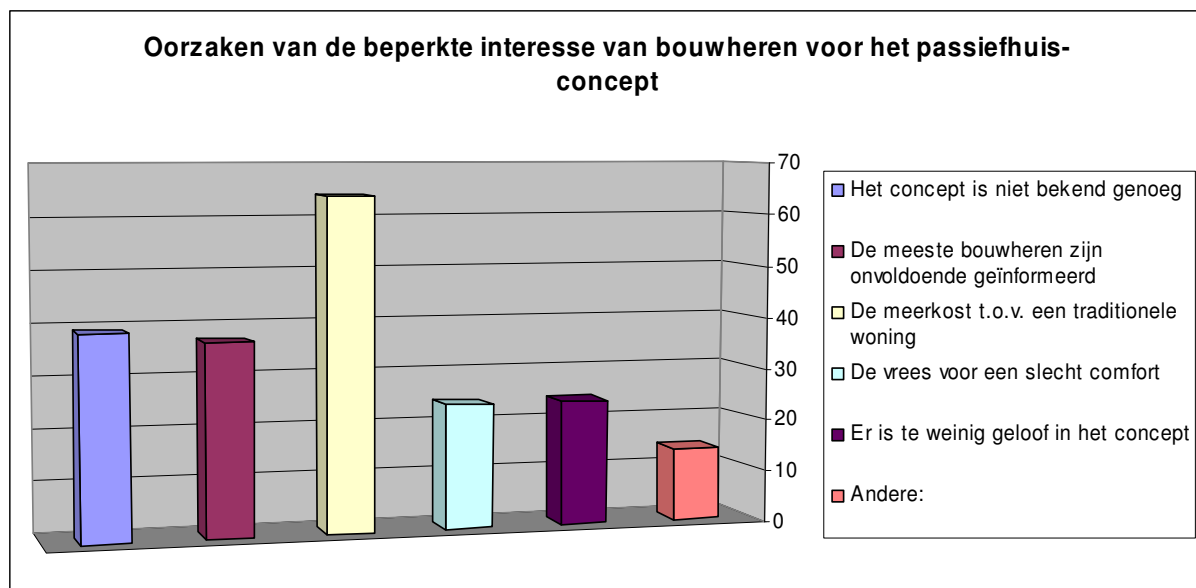


Figuur 4.3: Oorzaken waarom er volgens de ondervraagden zo slecht geïsoleerd wordt in België

Dit komt volgens hen enerzijds omdat we een bouwtraditie hebben met de spouwmuur, welke maar een beperkte isolatiedikte toelaat, anderzijds omdat de meeste bouwheren isoleren niet zien als iets noodzakelijk. De Belgen weten hun verwarmingskost niet en beseffen dus niet hoeveel ze kunnen besparen door een betere geïsoleerde woning te bouwen. Volgens 78% van de ondervraagden is hierin wel een taak weggelegd voor de architect om de bouwheer te overtuigen van de voordelen van energiezuinig bouwen. De overige architecten vinden dat deze taak voornamelijk voor de overheid is weggelegd.

Een andere oorzaak waarom er zo slecht geïsoleerd wordt is volgens enkele architecten dat vele nieuwe woningen gebouwd worden door grote bouwpromotoren en dat deze niet altijd een goede keuze aanbieden naar beter geïsoleerde woningen. Hun intentie is eerst en vooral een zo groot mogelijk winst op de projecten te realiseren. Hierbij is het makkelijker een woning uiterlijk te verfraaien en op die manier de meerkost verantwoorden ten opzichte van de bouwheer, dan op basis van grotere isolatiediktes.

Op de vraag waarom in België minder passiefhuizen gebouwd worden dan in de ons omringende landen geven de meeste architecten de meerkost ten opzichte van een traditionele woning als belangrijkste oorzaak. Uit Figuur 4.4 blijkt dat volgens hen het concept ook nog niet genoeg bekend is in België.

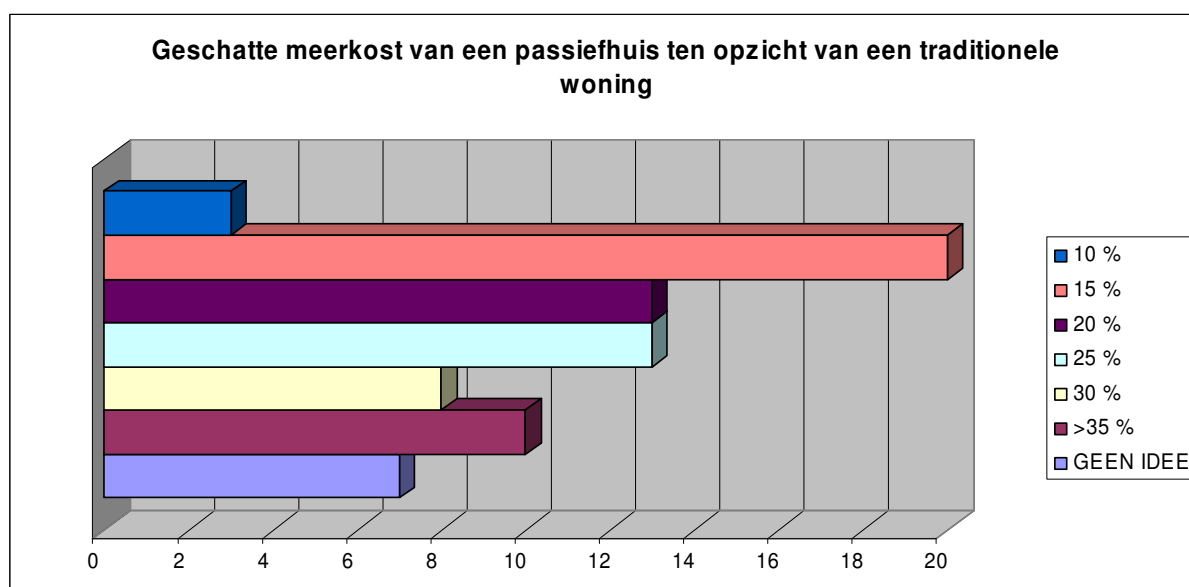


Figuur 4.4: Belangrijkste oorzaken waarom het passiefhuis-concept zo weinig wordt toegepast in België volgens de ondervraagde architecten

Voor zichzelf zien de ondervraagde architecten vooral hun beperkte kennis betreffende de uitvoering en het gebrek aan ervaring als belangrijkste barrière. Daarnaast bleek nog uit hun antwoorden dat er een tekort is aan specifieke aannemers die voldoende kennis hebben omtrent het bouwen volgens het passiefhuisconcept.

Wat er zou moeten gebeuren om de Belgische bouwheren te overtuigen van de noodzaak om energiezuinige woningen, zoals passiefhuizen, te bouwen, geven zij aan dat er veel meer publiciteit dient gemaakt worden. Bovendien moet er correcte informatie verspreid worden over hoeveel er kan bespaard worden op de energiefactuur indien men een woning bouwt volgens de passiefhuis-standaard. Om de meerkost, die een grote barrière blijkt te zijn, te beperken stellen de architecten voor om specifieke subsidies te geven. Een alternatief voor de subsidies is volgens een aantal architecten het principe van derde partij financiering. Hierbij komt het er op neer dat de initiële meerkost van een passieve woning door een derde partij gefinancierd wordt, dit kan bijvoorbeeld de overheid zijn. Deze ontvangen som kan dan in de loop van de jaren terugbetaald worden door gebruik te maken van de besparing die gerealiseerd wordt op de energiefactuur. Zo kan de meerkost van een passieve woning beperkt blijven.

Ten slotte werd er gevraagd naar hoeveel volgens hen een passiefhuis meer kost ten opzichte van een traditionele woning. Uit hun antwoorden, weergegeven in Figuur 4.5, blijkt dat meer dan de helft van degenen die antwoorden op deze vraag de meerkost relatief hoog schatten, meer dan 15 % meer dan een traditioneel gebouwde woning. Volgens het passiefhuis-platform ligt de meerkost echter rond de 10 %. Natuurlijk is dit nog afhankelijk van het project, maar toch kan gesteld worden dat de meerkost overschat wordt.



Figuur 4.5: Geschatte meerkost van een passiefhuis ten opzichte van een traditionele woning

4.3 Conclusies

Eerst en vooral kan worden opgemerkt dat 41% van de ondervraagde architecten voorstander is om energieprestatieregelgeving te verstrengen. Uit de antwoorden van de overige architecten kan bovendien worden afgeleid dat een groot deel onder hen voornamelijk tegen de regelgeving en bijhorende administratie op zich is.

Om de bouw van passiefhuizen in België te stimuleren moet volgens de ondervraagden eerst en vooral de bekendheid van het concept toenemen. Een grootschalige en objectieve informatiecampagne is volgens de meesten dan ook noodzakelijk. Hierin dienen vooral de algemene besparingskosten ten opzichte van de initiële meerkost benadrukt te worden. Daarnaast dient de overheid het goede voorbeeld te geven door zelf meer passiefhuisprojecten te realiseren, al dan niet toegankelijk voor het grote publiek.

Verder zou de overheid, mits een goede subsidieregeling, de meerkost ten opzichte van een traditionele woning kunnen opvangen om op die manier de drempel voor bouwheren te verlagen.

Als voornaamste barrière in de toepassing van het passiefhuis-concept voor architecten zelf wordt vooral het gebrek aan kennis en ervaring betreffende de uitvoering naar voor geschoven. Bovendien is er volgens de ondervraagden een groot gebrek aan geschikte aannemers die vertrouwd zijn met het bouwen volgens passiefhuis-concept, en zelfs energiezuinig bouwen in het algemeen. Hieruit kan dan ook besloten worden dat er dringend nood is aan specifieke opleidingen voor iedereen die bij het bouwproces betrokken is. Dit wil zeggen zowel architecten, ingenieurs enz. als aannemers. Bovendien zou ook in de opleidingen in scholen meer aandacht moeten besteed worden aan de materie van energiezuinig bouwen. Op die manier kunnen er reeds een aantal belangrijke barrières weggenomen worden voor de toekomstige generatie bouwprofessionelen.

Omtrent de beschikbare informatie over het passiefhuis-concept zijn de meningen sterk verdeeld. 36% van de ondervraagden vindt dat er reeds voldoende informatie beschikbaar is, maar dat deze te weinig gebundeld is. Hierin kunnen bepaalde organisaties, zoals het Passiefhuis-Platform en het WTCB, een belangrijke rol spelen. Volgens 21% van de architecten is er te weinig informatie beschikbaar en dit voornamelijk op het vlak van de uitvoering, de beschikbare materialen en technieken en het ontwerpen van de details.

5 Materialenstudie

5.1 Inleiding

Zoals in de definitie al gesteld werd kan de passiefhuis-standaard bereikt worden met een verscheidenheid aan materialen; de ontwerper is dus volledig vrij in zijn materiaalkeuze. Dit betekend uiteraard niet dat alle materialen zomaar overal kunnen worden toegepast. Op verschillende plaatsen in een constructie zijn immers bepaalde eigenschappen vereist waardoor telkens moet worden nagegaan welke materialen hiervoor in aanmerking komen.

In hoofdstuk 6 worden de verschillende schildelen ontworpen die moeten voldoen aan een aantal vooropgestelde criteria. Daarom worden in dit hoofdstuk de meest gebruikte materialen per toepassing kort besproken en wordt een overzicht gegeven van alle relevante eigenschappen.

Eerst wordt een korte bespreking gegeven van de eigenschappen die voor elk materiaal belangrijk zijn in het kader van dit werk, namelijk de warmtegeleidingscoëfficiënt en het vochtgedrag.

5.2 Warmtegeleidingscoëfficiënt

De λ -waarde of warmtegeleidingscoëfficiënt is voornamelijk van belang bij de vergelijking van de isolatiematerialen. Voor de berekening van de U-waarden van de schildelen in volgend hoofdstuk en de koudebrugberekeningen in hoofdstuk 7 zal deze echter van elk materiaal gekend moeten zijn. Elk materiaal in de constructie beïnvloedt immers in bepaalde mate de warmtestroom.

De berekeningen vereisen de rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ_U . Deze rekenwaarde is de waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal of een product in gespecificeerde binnen- of buitencondities, die als typisch voor het gebruik van dat materiaal of product kan beschouwd worden bij de verwerking in een gebouwonderdeel.

Als rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt 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 buitenvoorwaarden de volgende rekenwaarden gedefinieerd:

De $\lambda_{U,i}$ -waarde stemt overeen met de binnenvoorwaarden en moet in beginsel 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 λ_{Ui} -waarde mag niet gebruikt worden voor materialen die dampdicht ingebouwd worden en die vocht kunnen bevatten (bijvoorbeeld bouwvocht of neerslagwater).

De λ_{Ue} -waarde stemt overeen met de buitenvoorwaarden en moet in beginsel worden gebruikt voor alle materialen in buitenwanden, die door regeninslag, blijvende inwendige- of oppervlaktecondensatie of door opstijgend grondvocht nat kunnen worden. De λ_{Ue} -waarde moet eveneens gebruikt worden voor dampdicht ingebouwde materialen die tijdens de uitvoering nat zijn [BWEV,2000].

5.3 Vochthuishouding

Vocht is een belangrijk aandachtspunt in een woning aangezien een teveel aan vocht zowel op de constructie als op de bewoners een nadelige invloed kan hebben. Voor de constructie zijn er een aantal mogelijke vochtproblemen die extra aandacht vereisen bij het ontwerp ervan. Vooraleer deze worden besproken wordt eerst dieper ingegaan op de mogelijke vormen waaronder vochttransport plaatsvindt met bijhorende mechanismen. Daarna worden dan de voornaamste vochtproblemen kort besproken waarbij aandacht besteedt wordt aan zowel de oorzaak als de mogelijke oplossing.

5.3.1 Transportmechanismen

5.3.1.1 Waterdamptransport

Lucht bestaat uit een mengsel van droge lucht en waterdamp. De maximale hoeveelheid waterdamp die de lucht kan opnemen is echter beperkt en afhankelijk van de temperatuur. Hoe hoger de temperatuur, hoe meer waterdamp de lucht kan bevatten.

De verhouding tussen de werkelijke gemeten dampconcentratie van de lucht en de bij dezelfde temperatuur behorende maximale dampconcentratie noemt men de relatieve vochtigheid ϕ (R.V.). Dit is een dimensieloos getal dat wordt uitgedrukt in %.

Voor een gezond en comfortabel binnenklimaat wordt geëist dat de relatieve vochtigheidsgraad van de lucht in een woning tussen de 30% - 70% blijft terwijl er gestreefd moet worden naar een relatieve vochtigheidsgraad van 40% - 60% [ECEB,2002]. Omwille van de grote vochtproductie in een woning is voldoende ventilatie dus een noodzaak. In een passiehuys is steeds een mechanische ventilatie aanwezig waardoor zich op dit vlak, in normale omstandigheden, geen problemen voordoen.

Er zijn twee mechanismen die waterdamptransport veroorzaken, namelijk convectie en diffusie. Convectie is een verschijnsel waarbij lucht, en dus ook de daarin aanwezige

waterdamp, zich verplaatst ten gevolge van verschillen in totale luchtdruk. Diffusie daarentegen doet zich voor bij verschillen in dampdruk en heeft dus enkel de verplaatsing van waterdamp tot gevolg. Hieruit volgt dat er een luchtdichte en een dampremmende laag geplaatst moeten worden aan de binnenzijde van een schildeel om het damptransport doorheen de constructie te beperken. De materialen die hiervoor gebruikt kunnen worden komen in paragraaf 5.6 aan bod.

Elk materiaal werkt dampremmend, zij het in meer of mindere mate. De dampdoorlatendheid van een materiaal wordt gekarakteriseerd door het diffusieweerstandsgetal μ . Dit is een dimensieloze grootheid en geeft aan hoeveel maal moeilijker de waterdamp doorheen het betreffende materiaal gaat dan door de lucht.

De eigenlijke dampdiffusieweerstand van een bepaalde materiaallaag is echter ook afhankelijk van de laagdikte en wordt als volgt bepaald [VIDA,2004]:

$$Z = \frac{\mu d}{\delta_1} \quad [\text{m/s}]$$

Waarin:

- μ = diffusieweerstandsgetal van het toegepaste materiaal [-]
- d = dikte van de materiaallaag [m]
- δ_1 = waterdampgeleidingscoëfficiënt van lucht [s] = $0,185 \times 10^{-9}$ s

Aangezien elk materiaal dampremmend werkt is het noodzakelijk dat de dampdoorlatendheid van alle toegepaste materialen in een constructie gekend zijn om het totale vochtgedrag ervan te kunnen bepalen en dus problemen te vermijden. Daarom wordt voor alle materialen die in dit hoofdstuk aan bod komen het dampdiffusieweerstandsgetal vermeld zodat later bij het ontwerp van de verschillende schildelen, wanneer dus de dikte van de toegepaste materialen gekend is, ook de dampdiffusieweerstand gekend is.

5.3.1.2 Watertransport

Terwijl waterdamptransport meestal het gevolg is van de vochtproductie in de woning gaat het bij watertransport vaak om water afkomstig van externe bronnen, bijvoorbeeld regenwater en grondwater. De mechanismen die hiervoor beschouwd moeten worden zijn capillariteit en zwaartekracht.

Capillair vochttransport is een mechanisme waarbij water wordt opgezogen door een capillair materiaal onder invloed van cohesie en adhesie. Capillariteit maakt in materialen ook opwaarts vochttransport mogelijk.

De zwaartekracht is een mechanisme dat weinig toelichting vereist. Het is duidelijk dat water onder invloed van de zwaartekracht de makkelijkste weg naar beneden zoekt. Belangrijk bij het ontwerp van een constructie is dat al het water, afkomstig van bijvoorbeeld neerslag, probleemloos kan worden afgevoerd. De mogelijkheid tot vochtindringing in de constructie dient overal vermeden te worden, alsook plaatsen waar water zich kan verzamelen en op die manier voor problemen kan zorgen.

5.3.2 Mogelijke vochtproblemen

5.3.2.1 Opstijgend vocht

Opstijgend vocht is het fenomeen waarbij meestal grondwater of zakwater (in de grond gesijpeld regenwater) capillair in een wand omhoog wordt gezogen. Dit probleem kan makkelijk voorkomen worden door de plaatsing van een waterdichte laag of vochtschermb in alle wanden, net boven het maaiveld en op plaatsen waar regenwater kan blijven staan. Aan de buitenzijde is aanaarding tot een niveau boven dit vochtschermb niet toegelaten [BWEV,2000]. Hieraan zal de nodige aandacht besteedt worden bij de detaillering.

5.3.2.2 Schimmelvorming en oppervlaktecondensatie

Schimmelvorming en schimmelgroei treden op wanneer de relatieve vochtigheid van de binnenlucht boven de 80% uitstijgt. Schimmelvorming komt vooral voor op koudebruggen of op plaatsen waar de luchtstroming beperkt is (achter wandkasten, in muurkasten of in hoeken van een ruimte).

Oppervlaktecondensatie is het fenomeen waarbij waterdamp condenseert tegen een koud oppervlak. Het is een gevolg van een te hoge dampdruk in de woning of een te lage oppervlaktetemperatuur. Een te hoge dampdruk wordt vermeden door voldoende te ventileren, het voorkomen van een te lage oppervlaktetemperatuur hangt in een goed geïsoleerde woning samen met het vermijden van koudebruggen. In hoofdstuk 2 werden reeds de streefwaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt van koudebruggen en de oppervlaktetemperatuur besproken. Deze zullen beide bij de detaillering geverifieerd worden aan de hand van koudebrugberekeningen.

5.3.2.3 Inwendige condensatie

Inwendige condensatie is het fenomeen waarbij waterdamp binnenin een constructiedeel condenseert. Het transport van waterdamp in een constructiedeel gebeurt, zoals in paragraaf 5.3.1.1 reeds werd besproken, via dampdiffusie en convectie. De condensatiehoeveelheden tengevolge van dampdiffusie zijn meestal klein en de vochttopstapeling is in dit geval een traag fenomeen. Bij convectieve dampstromen kunnen de condensatiehoeveelheden groot zijn

en is de reactie op veranderende klimaatomstandigheden veel sneller. Hieruit volgt dat convectieve dampstromen in de constructie vermeden dienen te worden. Dit wordt gerealiseerd door een luchtdichte laag aan de binnenzijde aan te brengen. Door hiervoor een materiaal aan te wenden met voldoende dampremmendheid kan tegelijkertijd ook de dampdiffusie beperkt worden.

Aangezien een luchtdichte en dampremmende laag nooit perfect kan worden uitgevoerd is het noodzakelijk de constructie dampopen uit te voeren. Vocht dat via eventuele lekken de constructie binnendringt kan op die manier naar buiten toe ontsnappen zodat vochttopstapeling wordt vermeden. Een constructie is dampopen wanneer de diffusieweerstand van de toegepaste materialen daalt naar buiten toe.

Indien er toch inwendige condensatie zou optreden in de constructie kunnen de gevolgen ervan beperkt worden door de toepassing van capillaire isolatiematerialen. Deze zorgen er immers voor dat het gecondenseerde vocht dankzij de capillaire werking verdeeld wordt over een groter gebied. Gecondenseerd vocht dat op deze manier naar een warmere zone getransporteerd wordt heeft daardoor de kans om opnieuw uit te drogen. De isolatiematerialen worden besproken in paragraaf 5.4.4.2.

Om te controleren of er al dan niet inwendige condensatie optreedt kunnen bepaalde rekenmethodes worden toegepast zoals bijvoorbeeld die van Glaser of simulaties worden uitgevoerd met behulp van softwareprogramma's. Een gedetailleerde berekening van alle mogelijke opbouwen komt echter niet aan bod in dit werk.

5.3.2.4 Regendoorslag

Regendoorslag is het nat worden van bepaalde lagen in de constructie waarvoor dit niet gewenst is, bijvoorbeeld de isolatie. Een constructie kan regendicht worden gemaakt door het toepassen van een ééntraps- of tweetrapsdichting.

Een voorbeeld van een ééntrapsdichting is een enkelschalige buitenwand, voorzien van een buitenbepleistering. Wanneer deze bepleistering gescheurd is bestaat de kans dat er vocht in de wand dringt. In dat geval is er sprake van regendoorslag. Om in dit geval schade te voorkomen moet het vocht snel genoeg kunnen uitdrogen, wat normaal gezien het geval is bij een dampopen constructie.

Bij de toepassing van een spouwmuur is er sprake van een tweetrapsdichting. De regendichtheid van het buitenspouwblad hoeft niet gegarandeerd te zijn. Vocht dat onder invloed van de capillaire werking en winddruk de binnenzijde van het buitenspouwblad bereikt wordt in de spouw afgevoerd. Onderaan moeten open stootvoegen voorzien worden die de afvoer mogelijk maken via waterkeringen. Het is hierbij ook noodzakelijk om aan de

spouwzijde van het binnenspouwblad of eventuele spouwisolatie een wind- en regendicht scherm te plaatsen.

5.3.2.5 *Bouwvocht*

Onder bouwvocht wordt al het vocht verstaan dat tijdens de bouwfase in de constructie terecht is gekomen. De hoeveelheid bouwvocht kan in sommige gevallen aanzienlijk groot zijn. Uitdroging van de constructie kan in dat geval zelfs jaren duren. Om deze uitdroging mogelijk te maken dient de constructie opnieuw dampopen te zijn. Het insluiten van bouwvocht tussen twee relatief dampdichte materialen dient ten allen tijde vermeden te worden.

5.4 *Isolatiematerialen*

Omdat het gamma aan isolatiematerialen zo uitgebreid is, worden enkel de voornaamste ervan met elkaar vergeleken. De warmtegeleidingscoëfficiënt en het diffusieweerstandsgetal zijn echter onvoldoende voor deze vergelijking want de keuze voor een bepaald isolatiemateriaal zal immers door meerdere factoren worden beïnvloed. Daarom worden in deze vergelijking ook de NIBE-classificatie, de brandreactie en de kostprijs beschouwd. Deze bijkomende eigenschappen worden hieronder kort besproken.

Bij de overige materialen worden deze bijkomende eigenschappen niet vermeld omdat enkel de meest toegepaste materialen aan bod komen. Er wordt dus geen vergelijking gemaakt van alle mogelijke materialen. Dit zou enerzijds te ver leiden en anderzijds zou de keuze voor onconventionele materialen de kloof met de traditionele bouwwijze enkel vergroten, wat ingaat tegen de doelstellingen van dit werk.

5.4.1 *NIBE-classificatie*

Door toepassing van het passiefhuis-concept wordt de energiebehoefte van een gebouw geminimaliseerd waardoor ook de milieu-impact sterk zal dalen. Maar als de totale milieu-impact van een gebouw beschouwd wordt is niet alleen het energieverbruik een bepalende factor, ook de toegepaste materialen spelen hierin een belangrijke rol.

Verschillende materialen objectief met elkaar vergelijken op vlak van milieubelasting is echter niet eenvoudig en er bestaan dan ook verschillende methodes. Eén van de meest toegepaste methodes is de NIBE-classificatie (NIBE = Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie).

Tabel 5-1 geeft de milieuklassen indeling volgens NIBE met bijhorende milieubelastingsfactoren [OVEP,2006]. Deze milieubeoordeling is gebaseerd op levenscyclusanalyses (LCA).

De NIBE milieuklasse is een relatieve schaalverdeling; ze wordt gegenereerd door de milieubelasting van een product te delen door de milieubelasting van het meest milieuvriendelijke product. Hieruit volgt dat de NIBE-classificatie van een bepaald materiaal kan variëren naargelang de toepassing. Zo kan bijvoorbeeld een bepaald isolatiemateriaal een goede keuze zijn voor de toepassing in het dak, terwijl hetzelfde materiaal slechts een minder goede keuze is wanneer het in een wand zou worden toegepast.

klasse	subklasse	omschrijving	milieubelastingsfactor
1	a	Beste keuze	1 - 1,1
	b		> 1,1 - 1,32
	c		> 1,32 - 1,9
2	a	Goede keuze	> 1,9 - 2,28
	b		> 2,28 - 2,74
	c		> 2,74 - 3,28
3	a	Aanvaardbare keuze	> 3,28 - 3,94
	b		> 3,94 - 4,73
	c		> 4,73 - 5,68
4	a	Minder goede keuze	> 5,68 - 6,81
	b		> 6,81 - 8,17
	c		> 8,17 - 9,81
5	a	Af te raden keuze	> 9,81 - 11,77
	b		> 11,77 - 14,12
	c		> 14,12 - 16,95
6	a	Slechte keuze	> 16,95 - 20,34
	b		> 20,34 - 24,40
	c		> 24,40 - 29,29
7	a	Onaanvaardbare keuze	> 29,29 - 35,14
	b		> 35,14 - 42,17
	c		> 42,17 - 50,61
> 7c			> 50,61

Tabel 5-1:NIBE-indeling in milieuklassen

De vergelijking van deze materialen op basis van enkel de NIBE-classificatie is echter niet volledig objectief. De classificatie maakt namelijk gebruik van weegfactoren die aan bepaalde effecten, bijvoorbeeld de productie, worden toegekend. Hierdoor kunnen verschillen ontstaan met andere methodes die andere weegfactoren hanteren. De NIBE-classificatie wordt hier dan ook enkel gebruikt als indicatie voor de milieuprestatie van een bepaald materiaal zodat deze vergeleken kunnen worden.

5.4.2 Brandreactie

De vergelijking van de brandreactie van verschillende isolatiematerialen gebeurt op basis van de Europese classificatie, welke is vastgelegd in EN 13501-1.

De indeling van de Euroklassen en hun bijhorende bijdrage aan brand zijn weergegeven in Tabel 5-2¹.

Euroklasse	Bijdrage aan brand	Praktijk
Klasse A1	Geen enkel bijdrage	Niet-brandbaar
Klasse A2	Nauwelijks bijdrage	Praktisch niet-brandbaar
Klasse B	Erg beperkte bijdrage	Heel moeilijk brandbaar
Klasse C	Geen bijdrage	Brandbaar
Klasse D	Hoge bijdrage	Goed brandbaar
Klasse E	Zeer hoge bijdrage	Zeer brandbaar
Klasse F	Niet bepaald	

Tabel 5-2: indeling Euroklassen voor brandreactie

5.4.3 Kostprijs

De kostprijs van isolatie zal in de praktijk meestal één van de belangrijkste factoren zijn. Door de grote isolatiediktes die vereist zijn zal de isolatiekost immers een belangrijk deel uitmaken van de totale bouwkost.

Er moet worden opgemerkt dat de vermelde prijzen enkel mogen beschouwd worden als richtprijzen, en dit enkel voor het specifiek geselecteerde product. Tussen verschillende merken en types kunnen belangrijke prijsverschillen optreden. Ook de keuze van leverancier kan de kostprijs beïnvloeden.

Om isolatiematerialen op een objectieve manier met elkaar te kunnen vergelijken op basis van hun kostprijs dient echter rekening gehouden te worden met hun bijhorende warmtegeleidingscoëfficiënt. Een isolatiemateriaal met een lage warmtegeleidingscoëfficiënt vereist immers een minder dikke isolatielaag om dezelfde warmteweerstand te bereiken dan wanneer men een isolatiemateriaal met hogere warmtegeleidingscoëfficiënt zou gebruiken. Daarom werden de kostprijzen omgerekend in functie van hun warmtegeleidingscoëfficiënt. Alle vermelde prijzen zijn geldig voor een variërende isolatiedikte maar met constante warmteweerstand, namelijk $R = 4 \text{ m}^2\text{K/W}$.

Verder moet nog opgemerkt worden dat alle prijzen in de vergelijkingstabellen exclusief BTW zijn en de prijzen voor ingeblazen cellulose en gespoten PUR inclusief de plaatsing zijn.

¹ Bron: www.rockwool.be

5.4.4 Vergelijking

Omdat er een eindeloos gamma aan isolatiematerialen beschikbaar is worden per toepassingsgebied, namelijk wand-, vloer- en dakisolatie, enkel de meest toegepaste soorten beschouwd. Deze indeling naar toepassingsgebied is belangrijk aangezien in de verschillende delen van de constructie andere eigenschappen vereist zijn. Een vloer bijvoorbeeld vereist een drukvast isolatiemateriaal, terwijl het aangewezen is om in een houtskeletstructuur een flexibel isolatiemateriaal toe te passen.

Om in het volgende hoofdstuk over een eenduidige λ -waarde te beschikken voor de berekeningen van de U-waarden werd telkens één specifiek product (merk en type) geselecteerd¹.

Om met deze waarden te kunnen rekenen werden enkel producten beschouwd die beschikken over een Belgische(ATG) of Europese(CE-markering) goedkeuring.

Van de materialen wordt telkens de gedeclareerde warmtegeleidingscoëfficiënt λ_D opgegeven. Deze gedeclareerde waarde is de te verwachten waarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt van een materiaal of een product dat [BWEV,2000]:

- Ontleend is aan gemeten waarden in referentiecondities met een gegeven temperatuur en vochtigheid;
- Gegeven is met een vastgesteld fractiel met een vertrouwensniveau;
- Overeenkomt met een redelijke levensduur, in normale omstandigheden.

Zoals in paragraaf 5.2 reeds besproken werd moet voor berekeningen de rekenwaarde λ_U gebruikt worden. De afleiding van de rekenwaarde uit de gedeclareerde waarde is afhankelijk van de omstandigheden. Er wordt een onderscheid gemaakt tussen [BWEV,2000]:

- producten en/of materialen die gekend zijn naar aard, merknaam en type, en die gecertificeerd zijn
- producten en/of materialen die enkel gekend zijn naar aard en die gecertificeerd zijn
- producten en/of materialen die niet-gecertificeerd zijn

In dit geval gaat het om producten die gekend zijn naar aard, merknaam en type, en die gecertificeerd zijn. De rekenwaarde van de warmtegeleidingscoëfficiënt λ_U wordt dan afgeleid uit de gedeclareerde waarde λ_D waarbij bepaalde condities worden aangenomen.

Maar in het specifieke geval van producten voor thermische isolatie stemt de gedeclareerde waarde λ_D overeen met de rekenwaarde λ_{Ui} voor binnentoepassingen [PVTI,2006].

¹ Mogelijke alternatieven zijn onder andere terug te vinden op www.butgb.be en www.eota.be

Aangezien de isolatiematerialen enkel worden toegepast in binnencondities wordt er dus gerekend met de gedeclareerde waarde en zijn er geen omzettingen vereist.

5.4.4.1 Tabellen

Zoals hierboven al werd aangehaald worden de isolatiematerialen vergeleken per toepassingsgebied.

WANDISOLATIE					
Type	λ_D -waarde [W/mK]	Diffusieweer- standsgetal μ	NIBE- classificatie	Brandreactie	Kostprijs [€/m ²]
glaswol <i>URSA 34</i>	0,038	1	1c	A2	10,12
steenwol <i>rockwool 201 VARIO</i>	0,037	1,3	2b	A1	13,17
steenwol <i>rockwool 433 MONO</i>	0,035	1,3	2b	A1	13,02
EPS <i>Kemisol EPS 60</i>	0,036	20-40	2b	F	9,94
XPS <i>BASF Styrodur 3035 CN</i>	0,034	150-100	2b	E	19,31
PUR <i>Recticel Eurowall</i>	0,023	100-50	4c	F	22,11
PF <i>Kingspan Kooltherm K8</i>	0,021	110	1c	F	23,27
cellulose <i>isofloc (ingeblazen)</i>	0,039	1 - 2	1a	A1	10,14
cellulose <i>Homatherm FlexCL (platen)</i>	0,039	2 - 3	3c	E	26,60
vlasvezels <i>Isovlas PL</i>	0,038	1 - 2	1c	C	11,96
houtvezels <i>pavatex pavatherm</i>	0,038	5	3a	E	36,40
houtvezels <i>Unger-diffutherm Udiflex</i>	0,038	1	3a	E	16,80
houtvezels <i>pavatex diffutherm</i>	0,044	5	3a	E	67,41
houtvezels <i>Celit 3D</i>	0,049	5	3a	E	54,49

Tabel 5-3: Vergelijking soorten wandisolatie

VLOERISOLATIE					
Type	λ_D-waarde [W/mK]	Diffusieweer- standsgetal μ	NIBE- classificatie	Brandreactie	Kostprijs [€/m²]
steenwol <i>rockwool 501 vloerplaat</i>	0,035	1,3	4b	A1	36,75
EPS <i>isobouw EPS 150 SE</i>	0,036	30-70	4a	E	12,10
XPS <i>BASF Styrodur 3035 CS</i>	0,034	150-50	4a	E	19,31
PUR <i>Recticel Eurofloor</i>	0,023	100-50	6c	F	22,43
PUR <i>gespoten hardschuim PUMP & MIXING SERVICE</i>	0,029	50	6c	F	26,10
PF <i>Kingspan Koltherm K3</i>	0,021	110	4a	F	21,66
cellenglas <i>foamglas floor board T4</i>	0,042	∞	5a	F	87,07
houtvezels <i>Pavatex Pavaboard</i>	0,046	5	3a	E	53,82

Tabel 5-4: Vergelijking soorten vloerisolatie

DAKISOLATIE					
Type	λ_D-waarde [W/mK]	Diffusieweer- standsgetal μ	NIBE- classificatie	Brandreactie	Kostprijs [€/m²]
glaswol <i>URSA HOMETEC</i>	0,036	1	4a	A2	9,58
steenwol <i>rockwool 212 DELTA</i>	0,036	1,3	4c	A1	12,89
steenwol <i>rockwool Rhinox</i>	0,04	1,3	4c	B	33,18
EPS <i>Kemisol EPS 60</i>	0,036	20-40	4c	F	9,94
XPS <i>BASF Styrodur 3035 CN</i>	0,034	150-100	4c	E	19,31
PUR <i>Recticel Eurothane Bi3</i>	0,027	100-50	7a	F	29,27
PF <i>Kingspan Kooltherm K1</i>	0,021	110	4b	C	26,59
cellulose <i>isofloc (ingeblazen)</i>	0,039	1 à 2	3a	A1	10,14
cellulose <i>Homatherm FlexCL (platen)</i>	0,039	2 à 3	3c	E	26,60
vlasvezels <i>Isovlas PL</i>	0,038	1 à 2	3c	C	11,96
houtvezels <i>pavatex pavatherm</i>	0,038	5	3a	E	36,40
houtvezels <i>Unger-diffutherm Udiflex</i>	0,038	1	3a	E	16,80
houtvezels <i>Celit 4D</i>	0,049	5	3a	E	57,02

Tabel 5-5: Vergelijking soorten dakisolatie

5.4.4.2 Bespreking

Hierna volgt een korte bespreking van de isolatiematerialen die in de tabellen worden vergeleken. De materialen worden hierbij onderverdeeld op basis van hun grondstoffen.

Isolatiematerialen op basis van minerale grondstoffen: glas- en steenwol, cellenglas



Figuur 5.1: Minerale wol in platen (links) of rollen (rechts)

De minerale wollen glas- en steenwol zijn isolatiematerialen op basis van minerale vezels. Ze zijn verkrijgbaar in de vorm van rollen, halfharde of harde platen, zoals weergegeven in Figuur 5.1.

De halfharde platen of rollen zijn zeer geschikt voor het isoleren

tussen de stijlen van een houtskelet. Door de vervormbaarheid van het materiaal kan een goede aansluiting verzekerd worden. Op het vlak van warmtegeleidbaarheid scoren ze over het algemeen minder goed dan isolatiematerialen op basis van petrochemische grondstoffen maar beter dan de materialen op basis van nagroeibare grondstoffen. Dankzij de relatief lage energieproductie van deze materialen scoren ze vrij goed in de NIBE-classificatie, afhankelijk van het soort toepassing. Zowel glas- als steenwol kunnen als dampopen beschouwd worden dankzij hun laag diffusieweerstandsgetal. De materialen hebben ook een goede brandreactie en zijn over het algemeen relatief goedkoop.

Steenwol is ook verkrijgbaar in de vorm van harde platen, geschikt voor vloerisolatie. De productie van deze platen vraagt echter veel meer energie wat duidelijk merkbaar is in de NIBE-classificatie en de kostprijs.

Cellenglas wordt gemaakt van oud glas of glasgrondstoffen. Door zijn gesloten cellenstructuur is het materiaal dampdicht en ongevoelig voor vocht, waardoor het zeer geschikt is voor het isoleren van kelderwanden of vloeren. Wanneer echter een dampopen gebouwschil wordt nagestreefd zal dit product dus niet in aanmerking komen. Omwille van de hoge kostprijs wordt het materiaal praktisch amper gebruikt voor het isoleren van volledige vlakken. Door zijn hoge drukvastheid wordt het voornamelijk gebruikt als isolerend bouwblok onderaan dragende muren om zo koudebruggen te vermijden.

Het is duidelijk dat de brandreactie van het specifiek product in de tabel nog niet werd bepaald. Cellenglas kan in het algemeen immers als niet-brandbaar worden beschouwd. Op vlak van milieubelasting is dit materiaal echter af te raden volgens de NIBE-classificatie.

Isolatiematerialen op basis van petrochemische grondstoffen

EPS, XPS, PUR en PF



Figuur 5.2: Harde kunststof isolatie

harde platen goed te laten aansluiten tegen een houtskelet waardoor makkelijk kieren kunnen ontstaan. Deze kieren hebben een zeer nadelige invloed op de totale warmteweerstand, maar dit effect is echter moeilijk in te schatten bij de berekeningen. De platen worden dan ook voornamelijk toegepast voor het isoleren van vloeren en platte daken.

Al deze kunststof isolatiematerialen zijn standaard verkrijgbaar in de vorm van harde platen, zoals weergegeven in Figuur 5.2, meestal voorzien van tand- en groef en met verschillende densiteiten. Over het algemeen bezitten deze producten een lage warmtegeleidbaarheid. Het is echter moeilijk om de

Aangezien het gaat om kunststof isolatiematerialen scoren ze over het algemeen slecht op het gebied van milieubelasting en brandreactie. In vergelijking met de overige isolatiematerialen bezitten ze allemaal een relatief hoge dampdiffusieweerstand wat problemen kan opleveren wanneer een dampopen constructie wordt nagestreefd.

Geëxpandeerde polystyreen (EPS) en geëxtrudeerd polystyreen (XPS) zijn vooral op vlak van kostprijs de beste keuze voor dit soort materialen. Bovendien is XPS een vochtbestendig isolatiemateriaal, wat voor bepaalde toepassingen vereist kan zijn. Hierop wordt later nog teruggekomen bij het ontwerp van de vloer- en plat dakopbouw.

Resolschuim (PF) bezit de laagste warmtegeleidbaarheid waardoor de constructiedikte van de schildelen in bepaalde gevallen beperkt kan blijven. De toepassing ervan is echter enkel aan te raden in gevallen waarin dit echt noodzakelijk is. Daarnaast scoort het materiaal ook relatief goed in de NIBE-classificatie.

Polyurethaan (PUR) is op het vlak van warmtegeleidbaarheid en kostprijs vergelijkbaar met PF maar scoort het slechts in de NIBE-classificatie door de schadelijke en giftige stoffen die gebruikt worden voor de productie ervan. Deze stoffen komen ook vrij bij de ter plaatse gespoten PUR hardschuim waardoor deze toepassing sterk wordt afgeraden vanuit ecologisch standpunt.

Isolatiematerialen op basis van nagroeibare grondstoffen

Cellulose, houtvezels, vlas

Er zijn zeer veel isolatiematerialen op basis van nagroeibare grondstoffen beschikbaar zoals schapenwol, stro, pluimen, kurk, hennep, kokos enz. Het aantal dat werd opgenomen in de vergelijking is echter beperkt tot de voornaamste.

Een bijzondere eigenschap van materialen op basis van nagroeibare grondstoffen, in tegenstelling tot de overige soorten isolatiemateriaal, is hun vochtregulerend vermogen. De meeste natuurlijke isolatiematerialen zijn namelijk capillair en hygroscopisch. De voordelen van een capillair isolatiemateriaal werden reeds in paragraaf 5.2.3.3 besproken. Er dient wel opgemerkt te worden dat capillaire materialen niet mogen toegepast worden in zones waar deze in contact kunnen komen met externe vochtbronnen. Bijvoorbeeld ter plaatse van de funderingsaansluiting moet ten allen tijde vermeden worden dat deze materialen in aanraking komen met grondwater.

De hygroscopiciteit van deze materialen heeft tot gevolg dat ze in staat zijn een bepaalde hoeveelheid vocht uit de lucht op te nemen zonder daling van hun isolerende werking. Deze hoeveelheid vocht kan achteraf, bij een gewijzigd klimaat, opnieuw worden afgegeven aan de omgevingslucht, of naar de buitenomgeving worden afgevoerd. Hierdoor worden pieken in de luchtvochtigheid van de binnenomgeving opgevangen waardoor deze meer constant blijft. Natuurlijke materialen bezitten over het algemeen ook een grotere warmteopslagcapaciteit en hebben dus een gunstige invloed op het zomercomfort.



Figuur 5.3: Inblazen cellulose

Cellulose is een isolatiemateriaal op basis van krantenpapier. Er worden producten aan toegevoegd die enerzijds brandvertragend werken en anderzijds de cellulose beschermen tegen schimmel en ongedierte. De papiervlokken kunnen rechtstreeks worden ingeblazen in compartimenten zoals weergegeven in Figuur 5.3, los geblazen op bijvoorbeeld een zoldervloer of samengeperst in platen. Omdat de grondstof voor cellulose gerecycleerd krantenpapier is, scoort het zeer goed in de NIBE-classificatie en is ook de kostprijs laag wanneer de vlokken worden ingeblazen (prijs in de tabellen is inclusief het inblazen).

De cellulose platen zijn veel duurder dan ingeblazen cellulose maar hebben het voordeel dat ze makkelijk door een doe-het-zelver geplaatst kunnen worden.

De vlasvezel isolatie is op de meeste vlakken vergelijkbaar met minerale wol. Er is weinig verschil merkbaar tussen de eigenschappen van beide materialen. Vanuit ecologisch standpunt is vlas uiteraard te verkiezen boven minerale wol aangezien het een nagroeibare grondstof is. Bovendien bezit vlas een vochtregulerend vermogen.

Ook de flexibele houtvezelisolatie (Udiflex) is op het vlak van warmtegeleidbaarheid vergelijkbaar met vlas en minerale wol, de prijs en brandreactie zijn echter minder gunstig.

De toepassing van harde houtvezelplaten is zeer duur in vergelijking met de overige isolatiematerialen. Hierbij moet worden opgemerkt dat deze platen meestal aangewend worden voor specifieke toepassingen waarbij ze ook andere functies vervullen. Zo wordt Diffutherm gebruikt als bepleisterbare plaat, Celit 3D doet meestal dienst als wind- en regendichting in de wand en Celit 4D wordt voornamelijk toegepast als onderdak. Overige merken van dit type houtvezelproducten zijn onder andere Gutex en Steico¹.

5.5 Luchtdichting

Zoals eerder al werd besproken eist de passiefhuis-standaard een extreme luchtdichtheid. Een slechte luchtdichtheid heeft immers niet alleen een negatieve invloed op het energieverbruik en het comfort, er bestaat ook gevaar voor condensatie in de constructie. Via de luchtlekken kan immers vochtige binnenlucht in de schildelen terecht komen waar deze kan afkoelen.

Om een goede luchtdichting te bereiken dient een luchtdichte laag ontworpen te worden die doorloopt over de volledige gebouwschil. Voor dit ontwerp moet op het volgende gelet worden [PGVC,2007]:

- De laag heeft een luchtdoorlatendheid van maximaal $1 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{m}^2 \text{ s Pa}$, inclusief alle verbindingenaden
- De dampremmende laag of de bouwfolie aan de binnenzijde van de isolatie fungeert als de luchtdichting, er vanuit gaande dat de naden goed worden dichtgetaped.
- De luchtdichting loopt overal continue door, zeker daar waar meerdere bouwdelen samenkomen.
- Elektrische installaties zouden oppervlakte aansluitingen moeten zijn, of in ieder geval binnen de luchtdichte laag. Om de installatie van elektrische voorzieningen te vergemakkelijken kan de luchtdichte laag tussen de isolatie liggen, tot maximaal 50mm er binnen. In het algemeen kan het gebruik van een leidingenspouw voor de luchtdichte laag aanbevolen worden (geïsoleerd of niet).
- Raam en deur aansluitingen met de gevel moeten gevuld worden met isolatie, en vanuit beiden kanten afgedicht worden. Een goede detaillering is vereist bij de raam en deur aansluitingen met de isolatie. Een veel gebruikte techniek voor het luchtdicht afwerken van ramen en deuren is het gebruik van een multiplex kader rondom het

¹ Zie ook www.gutex.de en www.steico.de

raamkader. Het multiplex kader met het raam wordt in de dagopening geschoven en moet enkel langs de randen afgetaped worden.

- Ventilatiekanalen zouden binnen de luchtdichte laag moeten liggen. Alleen de toe- en afvoerkanalen mogen de luchtdichte laag doorbreken.
- De doorvoeren in de luchtdichting voor bijvoorbeeld leidingen van het ventilatiesysteem, het sanitair en de nutsvoorzieningen moeten afgedicht worden om luchtdichtheid te behouden.
- Beplating of betonnen elementen met afgedichte naden of gepleisterd gemetseld binnenblad kunnen fungeren als luchtdichte lagen.

5.6 Damprem

Zoals hiervoor wordt gesteld zal een goed uitgevoerde dampremmende laag fungeren als luchtdichte laag. Een goede uitvoering wil zeggen dat de aansluitingen, eventuele doorboringen, naden enz. zorgvuldig en dus luchtdicht worden afgedicht met bijvoorbeeld geschikte tape.

De meest toegepaste dampremmen zijn OSB platen, verschillende soorten folies en een binnenpleister. Een binnenpleister wordt echter weinig toegepast in houtskeletbouw. Aangezien de afmetingen van hout kunnen variëren onder invloed van schommelende temperaturen en vochtgehaltes bestaat het gevaar dat de pleister gaat scheuren waardoor de luchtdichtheid niet meer kan gegarandeerd worden. De toepassing van een binnenpleister zal in dit werk dan ook niet beschouwd worden.

5.6.1 OSB

OSB staat voor Oriented Strand Board en bestaat meestal uit drie lagen verlijmde houtsnippers. Een nadeel van OSB is dat de lijm, net als bij de meeste plaatmaterialen, formaldehyde bevat. Deze stof is giftig en kan irritatie en zelfs ademhalingsproblemen veroorzaken.

Door het beperkte gebruik aan lijm beantwoorden de meeste OSB platen wel aan de geldende Europese normen voor kwalificatie E1 in verband met de formaldehyde uitwasemingen.

OSB platen worden onderverdeeld in verschillende klassen:

- OSB/1: voor algemeen gebruik in droge omstandigheden en decoratieve toepassingen;
- OSB/2: voor last dragende constructies in droge omstandigheden;
- OSB/3: voor last dragende constructies in vochtige omstandigheden;
- OSB/4: voor zware last dragende constructies in droge of vochtige constructies.

In een houtskeletbouw is, zoals in hoofdstuk 3 al werd besproken, steeds een plaatmateriaal nodig aan minstens één zijde van het skelet ter verstijving van het geheel. Door de toepassing van OSB platen aan de binnenzijde kunnen deze tegelijkertijd ook dienst doen als luchtdichting en damprem. Bij de praktische uitvoering is het belangrijk dat alle naden tussen de platen worden afgetaped en/of verlijmd.

OSB platen zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen en diktes waardoor ook de eigenschappen kunnen variëren. Voor de berekeningen wordt de warmtegeleidingscoëfficiënt gelijk gesteld aan $0,13 \text{ W/mK}^1$. Dit is de rekenwaarde voor binnentoepassing $\lambda_{U,i}$, OSB zal in dit werk niet gebruikt worden voor buitentoepassingen. Het diffusieweerstandsgetal μ bedraagt 200^2 .

De platen zijn standaard verkrijgbaar in diktes van 12, 15, 18 of 22mm. De dikte wordt gekozen afhankelijk van de lasten die deze zal moeten dragen. In dit werk zal steeds een leidingenspouw voorzien worden aan de binnenzijde van de luchtdichte laag. Bovendien wordt bij een passiefhuis de leidingenspouw meestal geschrinkt geplaatst ten opzichte van het houtskelet en zal de plaat dus de volledige last van de binnenafwerking moeten overdragen. Daarom zal in de volgende hoofdstukken gerekend worden met een dikte van 18mm.

5.6.2 Folies

De meest toegepaste soorten folies bestaan uit kunststof, bijvoorbeeld PE-folie, of verstevigt papier. Vanwege de verwaarloosbare dikte heeft de folie geen invloed op de U-waarden van de verschillende constructiedelen. De enige belangrijke eigenschap is het diffusieweerstandsgetal maar deze is afhankelijk van de specifieke materiaalkeuze.

Naast de traditionele dampremmen wordt tegenwoordig ook vaak gekozen voor een damprem met variabele diffusieweerstand. De dampdoorlatendheid van deze membranen is afhankelijk van de luchtvochtigheid van de omgeving. In de winter, wanneer het temperatuurverschil tussen binnen- en buitenomgeving groot is, bezit het membraan een hoge diffusieweerstand waardoor het damptransport beperkt wordt. In de zomer daarentegen, wanneer het temperatuurverschil kleiner is, daalt de diffusieweerstand en laat de damprem waterdamp uit de constructie ontsnappen. Op die manier kan de constructie in de zomer uitdrogen. Een uitgebreide studie hieromtrent is terug te vinden in [STVD,2004].

¹ Bron: EPB-software

² Bron: www.egger.com

5.7 Gevelafwerking

Voor de gevelafwerking van een houtskeletbouw zijn er tal van mogelijkheden. Er is geopteerd om er slechts enkele te bespreken, namelijk gevelsteen, buitenbepleistering en een afwerking in hout.

Uit het marktonderzoek valt af te leiden dat verder vooral een afwerking met diverse plaatmaterialen, leien of gevelpannen en sidings de voorkeur genieten. Voor verdere berekeningen in de volgende hoofdstukken is echter vooral de bevestiging van de afwerkingsmaterialen en hun invloed op de rest van de constructie van belang. Aangezien de bevestiging van deze afwerkingsmaterialen vergelijkbaar is met deze van een afwerking in hout zal enkel deze laatste hierna aan bod komen.

5.7.1 Gevelsteen

Door de Belgische baksteencultuur wordt vaak geopteerd voor, onafhankelijk van de stedenbouwkundige voorschriften, een traditioneel buitenspouwblad in gevelsteen. Tussen het gevelmetselwerk en het houtskelet moet dan een spouw voorzien worden om de regendichtheid te garanderen. Net als bij een traditionele spouwmuur, met stenen binnen- en buitenspouwblad, kan deze spouw geheel of gedeeltelijk gevuld worden met isolatie, zoals weergegeven in Figuur 5.4.



Figuur 5.4: Gedeeltelijke spouwvulling (links) en volledige spouwvulling (rechts)

Indien een stijf isolatiemateriaal in de spouw wordt voorzien is het in principe noodzakelijk een gedeeltelijke spouwvulling toe te passen. Er is immers voldoende ruimte vereist voor het metselen van de gevel. Ook wanneer de gevel langs de buitenzijde met een relatief dampdicht materiaal wordt afgewerkt is een luchtsouw noodzakelijk, dit om uitdroging van het

metselwerk langs de binnenzijde mogelijk te maken. De luchtspouw dient in dat geval voldoende geventileerd te worden.

Bij het gebruik van zachte isolatieplaten kan een volledige spouwvulling worden toegepast, op voorwaarde er geen dampdichte afwerking wordt gebruikt. Op die manier kan er meer isolatie voorzien worden in de spouw zonder toename van de wanddikte. Om regendoorslag te beperken kan er ook voor gezorgd worden dat de gevel minder aan slagregen wordt blootgesteld door bijvoorbeeld een voldoende grote dakoversteek te voorzien.

Bij een volledig gevulde spouw moet de isolatie, indien deze zelf niet waterafstotend is, aan de buitenzijde voorzien zijn van een waterafstotende laag (bitumen, folie, ...). Ook bij een gedeeltelijke spouwvulling is dit aan te raden. Belangrijk hierbij is dat de dampopenheid van de constructie verzekerd blijft.

Voor de berekeningen in volgende hoofdstukken wordt gerekend met een λ_{Ui} -waarde van 0,69 W/mK en een λ_{Ue} -waarde van 1,35 W/mK¹. Het diffusieweerstandsgetal kan sterk variëren tussen verschillende types van gevelsteen.

De warmteweerstand van een eventuele luchtspouw is afhankelijk van de dikte en de mate van ventilatie en wordt in volgend hoofdstuk besproken.

5.7.2 Buitenbepleistering

Buitenbepleisteringen kunnen zowel op steenachtige ondergronden als op warmte-isulerende plaatmaterialen worden aangebracht. Enkel deze laatste optie zal verder worden besproken omdat deze het meest van toepassing is bij houtskeletbouw.

Een buitenbepleistering op een isolerend plaatmateriaal bestaat uit twee delen:

- een grondpleisterlaag met een ingewerkt versterkingsnet, uitgevoerd in één of twee lagen, die de mechanische sterkte verzekerd
- een afwerkpleister die, samen met de andere lagen, voor de nodige bescherming en voor het esthetisch uitzicht zorgt

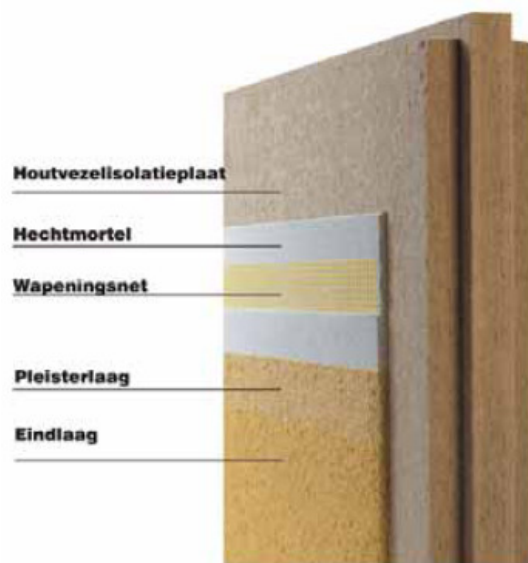
Het afwerkpleister kan een synthetisch sierpleister, een dikker mineraal pleister of een silicaat- of siliconenpleister zijn [BBTV,1998].

Meestal wordt deze toepassing door fabrikanten als geheel aangeboden, een zogenaamd “buitenisolatiesysteem”. Een belangrijk voordeel hiervan is dat de eigenschappen van het systeem op elkaar afgestemd zijn.

¹ Bron:EPB-software voor stenen van gebakken aarde en een volumemassa < 2000kg/m³

De voornaamste functie van een buitenbepleistering is het verzekeren van de waterdichtheid van de constructie. Wanneer een dampopen constructie wordt nagestreefd is het uiteraard ook belangrijk dat de pleister voldoende dampdoorlatend is.

In vergelijkingstabel Tabel 5-3 is enkel een bepleisterbare houtvezelplaat (Pavatex Diffutherm) opgenomen, zoals weergegeven in Figuur 5.5, omdat dit een vaak toegepast materiaal is voor deze uitvoering vanwege zijn dampdoorlatendheid. Mogelijke varianten werden reeds vermeld in paragraaf 5.4.4.2. Ook voor andere isolatiematerialen bestaan er vaak bepleisterbare varianten maar deze komen niet aan bod in dit werk.



Figuur 5.5: Bepleisterbare houtvezelisolatie

Een andere belangrijke eigenschap van houtvezelisolatie is, zoals eerder in dit hoofdstuk al werd besproken, het vochtregulerend vermogen. Het nadeel is de hoge kostprijs waardoor het aangewezen is een houtvezelplaat met een zo klein mogelijke dikte te gebruiken en deze te combineren met andere isolatiematerialen.

Voor de berekeningen wordt voor de pleister een warmtegeleidingscoëfficiënt van $\lambda_{Ui} = 0,7$ W/mK en $\lambda_{Ue} = 1,2$ W/mK¹ gebruikt. De dikte varieert afhankelijk van het type pleister maar voor de berekeningen en tekeningen wordt een dikte van 1cm verondersteld.

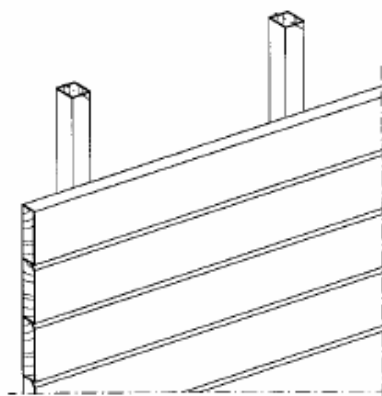
¹ Bron: EPB-software voor bepleisteringen met kalkmortel

5.7.3 Afwerking in hout

Uit de resultaten van de enquête blijkt dat een groot deel van de ondervraagde architecten o.a. een houten afwerking verkiest voor een houtskeletbouw. Op ecologisch vlak scoort hout zeer goed aangezien het een natuurlijk en nagroeibaar product is. De NIBE-classificatie varieert sterk, afhankelijk van de toegepaste houtsoort en eventuele behandelingen.

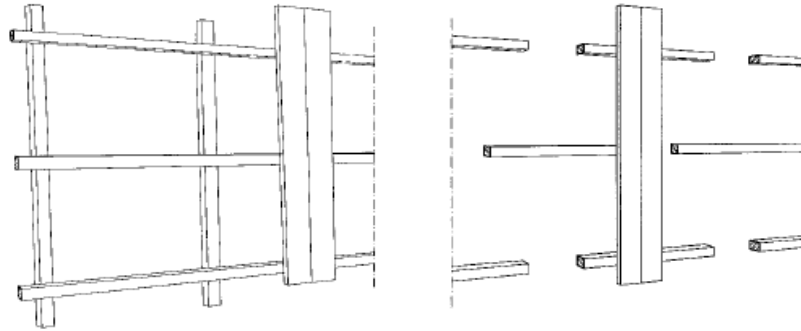
Het is belangrijk om voor niet-afgeschermd gevelbekledingen, die blootstaan aan weersinvloeden, gebruik te maken van duurzame houtsoorten en deze eventueel te behandelen om verwerking en verkleuring tegen te gaan. Meestal wordt in het geval van een houten gevelbekleding een voldoende dakoversteek voorzien die voor een extra constructieve bescherming zorgt.

Achter een houten gevelbekleding dient steeds een verluchtingsspouw van minstens 15mm gecreëerd te worden die een snelle uitdroging van het hout toelaat en vochtophoping achter de bekleding voorkomt. Aan boven- en onderzijde moeten ventilatieopeningen voorzien worden. De oppervlakte van deze openingen is afhankelijk van de totale oppervlakte van de gevel en de toegepaste bekleding. Hieruit volgt dat het voorziene regelwerk, waarop de bekleding moet bevestigd worden, een verticale luchtstroom moet toelaten om ventilatie mogelijk te maken. Aangezien gevelplanken steeds loodrecht op de richting van de regels worden aangebracht stelt er zich geen probleem bij de toepassing van horizontale gevelplanken, zoals weergegeven op Figuur 5.6.



Figuur 5.6: Horizontale gevelplanken

Indien echter verticale gevelplanken geplaatst worden moeten speciale maatregelen getroffen worden om een verticale luchtstroom mogelijk te maken. Er zijn twee mogelijkheden, zoals weergegeven in Figuur 5.7. Ofwel worden er achter de horizontale regels extra verticale regels geplaatst ofwel worden de horizontale regels op vaste afstanden onderbroken met, ten opzichte van elkaar, verspringende openingen.



Figuur 5.7: Verticale gevelplanken

Achter de luchtspouw is steeds een waterwerende laag vereist om de isolatie en het houtskelet te beschermen tegen eventuele regendoorslag. In het verder verloop van dit werk wordt steeds gebruik gemaakt van een dampdoorlatende, gebitumineerde houtvezelplaat, meer bepaald de Celit 3D die opgenomen werd in de vergelijkingstabel voor wandisolatie. Ook hiervoor bestaan varianten, onder andere van producenten Pavatex en Steico¹. Dankzij de relatief lage warmtegeleidingscoëfficiënt wordt door de toepassing van houtvezelplaten de koudebrugwerking gereduceerd. Een andere mogelijkheid voor de waterwerende laag is het aanbrengen van een geschikte folie. Een aandachtspunt is ook hier de dampdoorlatendheid van het materiaal.

Vermist de houten gevelbekleding niet winddicht is en er een verluchte spouw wordt voorzien achter deze bekleding wordt bij de berekening van de U-waarde van de wanden geen rekening gehouden met deze bekleding. In dit geval moet ook de overgangscoëfficiënt van binnen worden toegepast. De dampdiffusieweerstand van dit soort bekleding is verwaarloosbaar.

¹ Voor meer informatie: www.pavatex.nl en www.steico.de

5.8 Dakafwerking

5.8.1 Hellend dak

De afwerking van een hellende dakstructuur bestaat steeds uit een onderdak en een dakbedekking. Net zoals bij de wanden is ook in het dak een wind- en regendichting vereist die de isolatie beschermt tegen weersinvloeden. Deze functie wordt vervuld door het onderdak.

Om het risico op condensatie aan de onderzijde van het onderdak te vermijden is het belangrijk dat een zeer dampdoorlatend en bij voorkeur capillair onderdak wordt geplaatst. Volgende vaak voorkomende types worden aanbevolen door het WTCB:

- Stijve onderdaken
 - Vezelcement
 - Houtvezels
- Soepele onderdaken
 - Ongeweven polyethyleenvezels
 - Geweven of ongeweven polypropyleenfilm
 - Meerlagig polyolefinemembraan
 - Met Polyurethaan omhulde polyesterfilm

De voorkeur gaat naar dampdoorlatende, capillaire en stijve onderdaken, omdat [DTOU,1992]

- deze gemakkelijker correct kunnen worden geplaatst
- de ruimte boven het onderdak niet beïnvloed wordt door het aandrukken van de isolatie
- het onderdak niet klappert bij wind
- het afdruppelen beperkt of zelfs vermeden wordt bij gebeurlijke condensatie op de onderzijde van het onderdak.

De capillariteit van het onderdak is vooral van belang voor de hellende dakconstructies die in het verleden werden toegepast. Het was vroeger immers gebruikelijk om de ruimte tussen de houten dakstructuur slechts gedeeltelijk te vullen. Indien er in dit geval condensatie zou optreden aan de onderzijde van het onderdak kan dit vocht capillair worden opgenomen. Op die manier wordt het afdruppelen van vocht dus beperkt of vermeden. Een nadeel hiervan is natuurlijk dat vocht dat, ondanks de dakafwerking, op de bovenzijde van het onderdak terecht komt hierdoor ook zal worden opgenomen.

Tegenwoordig wordt de dakstructuur meestal volledig gevuld met isolatie, waardoor de isolatie in direct contact staat met het onderdak. Een vochtig onderdak dient dan ook te allen tijde vermeden te worden. Daarom zal in dit werk gebruik gemaakt worden van een water- en luchtdicht maar dampdoorlatend onderdak dat niet capillair is. Daarnaast dient ook inwendige condensatie vermeden te worden door een zorgvuldig aangebrachte luchtdichte laag en damprem.

Voor een houtskeletbouw, en vooral bij passiehuizen, wordt meestal een onderdak van houtvezels voorzien omdat deze platen eveneens een thermisch isolerende werking hebben. Hierdoor wordt de koudebrugwerking van de spanten of kepers gereduceerd. De platen zijn ook goed beloopbaar, dit in tegenstelling tot de soepele onderdaktypes.

Het voordeel ten opzichte van vezelcement is dat de houtvezelplaten meestal worden uitgevoerd met tand en groef waardoor een volledig gesloten onderdak ontstaat. Dit is een voordeel in de zomer op vlak van warmtedoorslag. Traditionele onderdaken, die niet volledig gesloten zijn, laten immers toe dat warme lucht, die onder de dakbedekking zeer hoge temperaturen kan bereiken, zich onder het onderdak verplaatst. Op die manier wordt de isolatie opgewarmd en versterkt zo de warmtedoorslag. Het voornaamste nadeel van dit type onderdak is de slechte brandreactie.

Omwille van bovenstaande redenen zal bij de verschillende dakopbouwen in het volgende hoofdstuk enkel de houtvezelplaat worden toegepast als onderdak. Hierbij worden de eigenschappen van de houtvezelplaat Celit 4D uit Tabel 5-5 gebruikt. Mogelijke varianten werden in paragraaf 5.4.4.2 vermeld.

Op het onderdak worden respectievelijk tengel- en panlatten geplaatst waarop dan uiteindelijk de dakbedekking wordt aangebracht. Traditioneel bestaat deze dakbedekking uit pannen of leien. De tengellatten zorgen voor ventilatie tussen het onderdak en de dakbedekking. Hierdoor heeft de dakbedekking dus geen invloed op de thermische prestaties of de dampopenheid van het dak en zal deze verder buiten beschouwing worden gelaten.

5.8.2 Plat dak

In het platte dak is geen onderdak aanwezig, enkel een dakafdichting. De plaats van deze dakafdichting is afhankelijk van toegepaste type plat dak. Deze types worden in volgend hoofdstuk besproken.

De meest voorkomende dakafdichtingen zijn de bitumineuze en kunststofafdichtingen. Door de beperkte dikte hebben ze echter geen invloed op de thermische prestatie van het platte dak waardoor deze ook niet verder worden besproken. In volgend hoofdstuk zal enkel aandacht worden besteed aan de correcte plaatsing van deze afdichtingen, afhankelijk van het type plat

dak. Het nadeel van deze afdichtingen is dat ze als dampdicht beschouwd kunnen worden, waardoor een dampopen constructie uitgesloten is voor een plat dak.

5.9 Binnenafwerking

5.9.1 Wand en dak

Voor de binnenafwerking zijn tal van mogelijkheden beschikbaar. Veelal wordt gebruik gemaakt van gipskarton- of gipsvezelplaten. Een aantal andere mogelijkheden zijn bijvoorbeeld binnenbepleistering of een houten binnenbekleding. Omwille van de beperkte toepassing van deze materialen en de geringe invloed van de binnenafwerking op de thermische prestaties worden deze buiten beschouwing gelaten.

Gipskartonplaten bestaan uit een kern van zuiver gips, omhuld met een dunne kartonlaag.

Gipsvezelplaten bestaan uit een mengsel van gips en papiervezels.

Op vlak van warmtegeleiding en diffusieweerstand is het verschil tussen beide materialen klein. Daarom werd besloten om voor de berekeningen gebruik te maken van een warmtegeleidingscoëfficiënt van $0,25 \text{ W/mK}^1$ en een plaatdikte van 12,5mm.

Het diffusieweerstandsgetal varieert tussen beide producten en merken onderling. Er kan worden aangenomen dat $\mu = 10\text{-}15$.

5.9.2 Vloer

Een houtskeletbouw legt geen beperkingen op aan de vloerafwerking. Een belangrijk aandachtspunt bij de keuze van de vloerafwerking is de akoestische prestatie. Hiermee wordt in dit werk echter geen rekening gehouden omdat deze materie te complex is en dus teveel aandacht zou vereisen.

Er werd voor de berekeningen één type vloerafwerking geselecteerd dat in elke opbouw wordt toegepast. Enerzijds is op die manier een betere vergelijking mogelijk tussen de verschillende opbouwen, anderzijds heeft de vloerafwerking slechts een geringe invloed op de thermische prestatie van de volledige vloeropbouw. Er werd geopteerd om te rekenen met een vloerafwerking met een warmtegeleidingscoëfficiënt van $\lambda_{\text{Ui}} = 1,2 \text{ W/mK}^2$ en een dikte van 1cm. Er wordt geen rekening gehouden met plaatsing van de tegels (verlijmd of in een mortelbed).

¹ Dit stemt overeen met de warmteweerstand van $0,05 \text{ m}^2\text{K/W}$ uit de EPB-software voor gipskarton

² Dit stemt overeen met de grèstegel uit de EPB-software

6 Ontwerp schildelen

6.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden een aantal mogelijke opbouwen gedimensioneerd voor de verschillende schildelen. In hoofdstuk 2 werden de criteria al besproken waaraan deze moeten voldoen om de passiefhuis-standaard te bereiken.

Een eerste criterium is de maximale U-waarde van $0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$. In dit werk zullen echter de gemiddelde U-waarden van de reeds gecertificeerde passiefhuizen gehanteerd worden als richtwaarden. Deze bedragen ca. $0,12 - 0,13 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor de wand, ca. $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor het dak en ca. $0,14 \text{ W/m}^2\text{K}$ voor de vloer.

Een tweede belangrijk aandachtspunt is de luchtdichtheid van de schildelen. Dit is echter een globale eis die van toepassing is op de gehele constructie waardoor geen specifieke eisen worden opgelegd aan de afzonderlijke schildelen. Daarom wordt in elke opbouw een luchtdichte laag voorzien die continu kan worden aangebracht.

Bijkomend wordt er getracht telkens een dampopen opbouw te ontwerpen zodat vochtproblemen ten gevolge van inwendige condensatie worden vermeden. Dit werd reeds besproken in paragraaf 5.3.2.3.

Eerst wordt de berekening van de U-waarden in het algemeen toegelicht: zowel de gebruikte methode en formules als de gemaakte veronderstellingen komen hierin aan bod. Daarna volgt per schildeel een overzicht van een aantal mogelijke opbouwen en bijhorende U-waarde.

6.2 Berekening U-waarde

6.2.1 Formules

Voor de berekeningen van de U-waarden wordt gebruik gemaakt van volgende formule:

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

waarin:

- R_T = de totale warmteweerstand van het bouwelement (m^2K/W)
- R_{si} = de warmteovergangsweerstand aan het binnenoppervlak (m^2K/W)
- R_{tot} = de som van alle warmteweerstanden van elke bouwlaag in het bouwelement (m^2K/W)
- R_{se} = de warmteovergangsweerstand aan het buitenoppervlak (m^2K/W)

Voor het bepalen van de totale warmteweerstand van een bouwelement bestaan verschillende methodes. In het PHPP-rekenpakket, dat gebruikt wordt voor de certificatie van passiehuizen, wordt de combinatiemethode aangewend. Ook de EPB-software maakt gebruik van deze methode. De totale warmteweerstand van een bouwelement, opgebouwd uit thermisch homogene en thermisch niet-homogene lagen die loodrecht staan op de warmtestroom, wordt hierbij bepaald als het rekenkundig gemiddelde van de boven- en onderwaarde van de warmteweerstand:

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

Waarin:

- R'_T = de bovenwaarde van de warmteweerstand
- R''_T = de onderwaarde van de warmteweerstand

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.

De bovenwaarde wordt als volgt bepaald:

$$\frac{1}{R'_T} = \frac{f_a}{R_{Ta}} + \frac{f_b}{R_{Tb}} + \dots + \frac{f_n}{R_{Tn}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Waarin:

- $R_{Ta}, R_{Tb}, \dots, R_{Tn}$ = totale warmteweerstanden (van omgeving tot omgeving) van elke sectie
- f_a, f_b, \dots, f_n = de deelopervlaktes (fracties) van elke sectie

Voor de bepaling van de onderwaarde van een bouwdeel wordt voor elke thermisch niet-homogene laag een equivalente warmteweerstand R_j bepaald:

$$\frac{1}{R_j} = \frac{f_a}{R_{aj}} + \frac{f_b}{R_{bj}} + \dots + \frac{f_n}{R_{nj}} \quad [\text{W/m}^2\text{K}]$$

Waarin:

- $R_{aj}, R_{bj}, \dots, R_{nj}$ = totale warmteweerstanden van elke sectie van de niet-homogene laag
- f_a, f_b, \dots, f_n = de deelopervlaktes (fracties) van elke sectie

Zodat de onderwaarde eenvoudig kan bepaald worden:

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

Er werd echter geopteerd om in de berekeningen enkel de onderwaarde van de warmteweerstand te bepalen om de berekeningen eenvoudig controleerbaar en vooral overzichtelijk te houden. Als gevolg van deze keuze zijn alle berekende U-waarden, voor opbouwen die een niet-homogene laag bevatten, groter dan wanneer deze met het PHPP-rekenpakket bepaald zouden worden. De U-waarde wordt met andere woorden overschat wat uiteraard veilig is. Uit controleberekeningen blijkt de fout te schommelen rond de 5%.

Voor de warmteovergangsweerstanden R_{si} (binnencondities) en R_{se} (buitencondities) aan de oppervlakken worden de ontwerpwaarden uit Tabel 6-1 [TRRD,2006] gebruikt. Deze waarden zijn geldig voor oppervlakken in contact met de lucht.

	Richting van de warmtestroom		
	opwaarts	horizontaal (*)	neerwaarts
R_{si} (m²K/W)	0,10	0,13	0,17
R_{se} (m²K/W)	0,04	0,04	0,04

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

Tabel 6-1: Warmteovergangsweerstanden R_{si} en R_{se}

6.2.2 Warmteweerstand van niet-homogene lagen

Zoals hiervoor reeds vermeld wordt voor niet-homogene lagen een equivalente warmteweerstand bepaald. Voor deze berekening moeten de deeloppeervlaktes of fracties gekend zijn. Deze houtfractie wordt als volgt berekend:

$$\text{houtfractie} = \frac{\text{breedte van de houten elementen}}{\text{gemiddelde tussenafstand (hoh)}} \times 100 \quad [\%]$$

Deze afmetingen volgen uit een stabiliteitsstudie en kunnen dus afhankelijk van het project sterk variëren. Om toch met eenduidige waarden te kunnen rekenen wordt gebruik gemaakt van waarden bij ontstentenis, weergegeven in Tabel 6-2. Dit zijn bovenwaarden van de meest voorkomende waarden [TRRD,2006].

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 6-2: Houtfracties (waarden bij ontstentenis)

6.2.3 Warmteweerstand van luchtlagen

De warmteweerstand van een luchtlaag is afhankelijk van zeer veel factoren en vraagt dan ook uitgebreide proeven of berekeningen om nauwkeurig bepaald te worden. Er kunnen echter ook waarden bij ontstentenis gekozen worden uit tabellen. Hiervoor wordt eerst een onderscheidt gemaakt tussen niet-, matig- of sterk 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 mm² per meter lengte (verticale luchtlagen) of 500 mm² per m² luchtlaag (horizontale luchtlagen).

De warmteweerstanden van gewone niet-geventileerde luchtlagen, begrensd door oppervlakken met hoge emissiviteit, zijn gegeven in Tabel 6-3 [TRRD,2006] 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 (*)	neerwaarts
$0 < d < 5$	0,00	0,00	0,00
$5 \leq d < 7$	0,11	0,11	0,11
$7 \leq d < 10$	0,13	0,13	0,13
$10 \leq d < 15$	0,15	0,15	0,15
$15 \leq d < 25$	0,16	0,17	0,17
$25 \leq d < 50$	0,16	0,18	0,19
$50 \leq d < 100$	0,16	0,18	0,21
$100 \leq d < 300$	0,16	0,18	0,22
300	0,16	0,18	0,23
(*) : voor warmtestroom die niet meer dan $\pm 30^\circ$ afwijkt van het horizontaal vlak			

Tabel 6-3: Warmteweerstand (in $\text{m}^2\text{K/W}$) van ongeventileerde 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 voldoet aan de volgende voorwaarden:

- $> 500 \text{ mm}^2$ maar $< 1500 \text{ mm}^2$ per m lengte (verticale luchtlagen);
- $> 500 \text{ mm}^2$ maar $< 1500 \text{ mm}^2$ per m^2 luchtlaag (horizontale luchtlagen).

De ontwerpwaarden van de warmteweerstand van matig geventileerde luchtlagen zijn gelijk aan de helft van de corresponderende waarden in Tabel 6-3 (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 ($0,15 \text{ m}^2\text{K/W}$).

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 mm^2 per m lengte (verticale luchtlagen);
- 1500 mm^2 per 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} .

6.3 Wand

Hier worden de verschillende opbouw mogelijkheden die gebruikt kunnen worden bij de constructie van een wand voor een passief huis besproken. Zoals eerder vermeld wordt in dit werk enkel aandacht besteed aan constructieopbouwen met een traditionele houtskeletstructuur. Er wordt standaard een draagstructuur met een breedte van 18 cm gebruikt. Deze afmeting is groter dan de gebruikelijke afmetingen van klassieke houtskeletbouwwoningen, welke afhankelijk van de producent 12 of 14 cm bedragen. Deze grotere afmetingen worden toegepast om gebruik van grotere diktes van extra isolatie te vermijden.

Langs de binnenzijde van de wanden wordt steeds een geïsoleerde leidingenspouw voorzien. Het is niet verplicht om deze leidingenspouw te isoleren, maar omdat deze er toch is kan er gemakkelijk een extra laag isolatie in geplaatst worden. Op die manier wordt ook vermeden dat de leidingenspouw gaat werken als een klankkast en wordt het holle geluid bij het kloppen op de wand beperkt.

De wandopbouwen worden opgesplitst naar de verschillende mogelijke buitenafwerkingen.

6.3.1 Wand met gevelbepleistering

Bij deze opbouw dient er een materiaal voorzien te worden waarop de buitenpleister kan aangebracht worden. Hiervoor worden isolerende houtvezelplaten gebruikt zoals besproken werd in hoofdstuk 5. Ook de mogelijke alternatieven werden er reeds besproken.

Opbouw 1

Een eerste mogelijkheid is om tegen het dragende skelet houtvezelplaten te voorzien waarop de gevelbepoistering wordt aanbracht. Bij deze opbouw is het mogelijk om tussen de stijlen van het skelet ofwel cellulose in te blazen, ofwel flexibele isolatiematerialen zoals bijvoorbeeld steen- of glaswol aan te brengen. Ook de natuurlijke en flexibele isolatiematerialen die in vorig hoofdstuk aan bod kwamen, zoals vlas- of flexibele houtvezelisolatie, zijn een goed alternatief.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,167
Gipskaronplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Cellulose ingeblazen in houtskelet	0,180	0,039	4,62
Houtvezelplaten	0,160	0,044	3,64
Buitenpleister	0,010	1,200	0,01
warmteovergangscoefficiënt R _{se}	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,127

Indien er gekozen wordt om tussen de stijlen van het dragende skelet steen- of glaswol aan te brengen in plaats van de cellulose zoals weergegeven in voorgaande opbouw, zal dit weinig invloed hebben op de totale U-waarde van de wand omdat de lambda-waarden van deze materialen weinig verschillen van elkaar. Het voordeel van steen- of glaswol is dat deze materialen zelf kunnen aangebracht worden.

Uit de berekeningen blijkt dat voor deze opbouw een zeer grote dikte van de houtvezelplaten vereist is. Dit heeft een hoge kostprijs tot gevolg aangezien deze houtvezelplaten vrij duur zijn tegenover andere isolatiematerialen.

Opbouw 2

Een alternatieve mogelijkheid om de dikte van de houtvezelplaten te beperken, is om langs de buitenzijde van het dragende skelet nog een extra houtskelet aan te brengen. Dit skelet wordt best geschrinkt aangebracht ten opzichte van het dragende skelet om zo koudebruggen te vermijden. Tegen dit tweede skelet worden dan de houtvezelplaten bevestigd waarop de gevelbepleistering aangebracht wordt. Voor de houtfractie van het bijkomende skelet wordt eveneens met 15% gerekend.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,167
Gipskartonplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Cellulose in houtskelet (ingeblazen)	0,180	0,039	4,62
2de houtskelet	0,100	0,180	0,56
Cellulose in 2de houtskelet (ingeblazen)	0,100	0,039	2,56
Houtvezelplaten	0,060	0,044	1,36
Buitenpleister	0,010	1,200	0,01
warmteovergangscoefficiënt R _{se}	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,137

Ook hier kunnen beide skeletten zonder problemen gevuld worden met zachte isolatiematerialen zoals steen- of glaswol. Een nadeel van deze toepassing is het tijdsverlies aangezien cellulose in één keer in beide skeletten kan worden ingeblazen.

6.3.2 Wand met gevelsteen als gevelafwerking

Er kan ook voor een gevelsteen als afwerking gekozen worden. In dit werk wordt er geopteerd om steeds een luchtsponw van 3 cm te voorzien tussen de gevelsteen en de eventuele sponwisolatie, ook wanneer een zacht isolatiemateriaal in de sponw wordt geplaatst, om de isolatie bijkomend te beschermen. Een volledige sponwvulling is in dat geval ook mogelijk, indien er rekening wordt gehouden met de in hoofdstuk 5 vermelde voorwaarden.

Voor de berekeningen wordt aangenomen dat de luchtsponw matig geventileerd is waardoor de bijhorende warmteweerstand overeenstemt met de helft van de in Tabel 6-3 vermelde

waarden. Ook moet de gevelsteen verbonden worden met de houtstructuur. Hiervoor worden net als bij de traditionele bouwmethode spouwankers gebruikt. De invloed van deze spouwankers mag verwaarloosd worden bij de berekening van de U-waarde, omdat deze een verbinding vormen tussen het gemetste buitenspouwblad en het houtskelet [TRRD,2006]. Ook hier zijn weer enkele verschillende wandopbouwen mogelijk.

Opbouw 1

Als eerste opbouw kiezen we voor steenwol als spouwisolatie. De steenwol kan hier eveneens vervangen worden door glaswol zonder veel invloed te hebben op de U-waarde van de constructie. Er dient een wind- en regenscherm voorzien te worden om de isolatie te beschermen. Bij deze opbouw dient ook in het dragende skelet steenwol geplaatst te worden, aangezien er geen gesloten volume is waar men de cellulose kan inblazen. Dit resulteert in volgend opbouw.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,167
Gipskartonplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Steenwol in houtskeletstructuur	0,180	0,037	4,86
Steenwol (spouwisolatie)	0,100	0,035	2,86
Wind en regenscherm			
Luchtspouw	0,030	0,350	0,09
Gevelsteen	0,090	1,350	0,07
warmteovergangscoefficiënt R _{se}	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,136

Indien er toch geopteerd wordt om gebruik te maken van cellulose in de houtskeletstructuur, dient dampopen plaatmateriaal aan de buitenzijde van de structuur geplaatst te worden om zo toch tot gesloten compartimenten te komen. Dit verschil in opbouw heeft echter weinig invloed op de totale U-waarde van de wand.

Opbouw 2

Er kan ook gekozen worden voor andere materialen die in de traditionele woningbouw gebruikt worden als spouwisolatie, zoals EPS, XPS, PUR of PF. Een nadeel van deze materialen is dat deze een vrij groot diffusieweerstandsgetal hebben wat aanleiding geeft tot een grote diffusieweerstand. Dit is af te raden aangezien er gestreefd wordt naar een dampopen constructie.

De opbouw met PF als spouwisolatie wordt toch weergegeven om het verschil in dikte van de constructie aan te tonen met de overige opbouwen. Dit is te wijten aan de lage lambda-waarde van het materiaal. Ook heeft dit materiaal een zeer goede NIBE classificatie. De kostprijs zal echter sterk toenemen als gevolg van deze toepassing.

Het gebruik van PUR is af te raden omdat dit een zeer slechte NIBE classificatie heeft.

Ook het gebruik van EPS en XPS is niet aan te raden aangezien zij een vergelijkbare lambda-waarde hebben als cellulose of glas/steenwol maar een slechtere NIBE classificatie.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoëfficiënt R _{si}	-	-	0,167
Gipskartonplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Steenwol in houtskelet	0,180	0,037	4,86
PF spouwisolatie	0,064	0,021	3,05
Wind en regenscherm			
Luchtspouw	0,030	0,350	0,09
Gevelsteen	0,090	1,350	0,07
warmteovergangscoëfficiënt R _{se}	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,133

Een derde mogelijke opbouw zou, net als bij de gevelbepleistering, een tweede houtskelet kunnen zijn, dat geschrant ten opzichte van het eerste wordt geplaatst. Deze wordt echter niet beschouwd aangezien uit berekeningen bleek dat het tweede houtskelet even breed moet worden uitgevoerd als het eerste, namelijk 18 cm, om de streefwaarde te bereiken. Vanaf een breedte van 30 cm kunnen echter TJI- of FJI-liggers worden toegepast, welke besproken werden in hoofdstuk 3. Hiermee kan de streefwaarde makkelijker bereikt worden omwille van

de beperkte houtfractie. Daarnaast maakt de beperkte afstand tussen houtskelet en gevelsteen deze toepassing praktisch onmogelijk. Deze bedraagt immers maar 3 cm vanwege de luchtsponw. Het probleem situeert zich in de optredende temperatuursverschillen; in de zomer zal het gevelmetselwerk, dat blootstaat aan directe zonnestraling, sterk opwarmen in vergelijking met het houtskelet waarmee het verbonden is. Hiermee gaan belangrijke zettingsverschillen gepaard die aanleiding geven tot spanningen en dus eventueel ook scheurvorming. In de vorige opbouwen waarbij sponwisolatie wordt aangebracht hebben de sponwankers voldoende lengte om deze zettingsverschillen op te vangen en zullen er dus geen scheuren ontstaan, of slechts in beperkte mate.

6.3.3 Wand met houten beplanking als gevelafwerking

Uit de bevraging van de architecten blijkt dat velen de voorkeur geven aan een houten gevelafwerking bij een houtskeletwoning. Om deze gevelafwerking te kunnen bevestigen en de benodigde luchtsponw te creëren is een extra regelwerk nodig. Deze luchtsponw moet, zoals in hoofdstuk 5 reeds besproken werd, minsten 1,5 cm zijn om een snelle uitdroging van het hout toe te laten en vochtophoping achter de bekleding te voorkomen. Vermits de houten gevelbekleding niet winddicht is en er een verluchte sponw wordt voorzien achter deze bekleding wordt bij de berekening van de U-waarde van de wanden geen rekening gehouden met het regelwerk en de bekleding. In dit geval wordt de overgangscoëfficiënt van binnen toegepast.

Opbouw 1

Een eerste mogelijkheid bestaat erin om tegen het dragende skelet houtvezelplaten aan te brengen. Deze platen dienen wel voldoende drukvast te zijn, aangezien de regels voor de bevestiging van de gevelafwerking hierdoor bevestigd worden aan het dragende skelet. Dit wordt verduidelijkt in Figuur 6.1. Langs de buitenzijde moet er een materiaal komen dat waterafstotend en dampopen is. In hoofdstuk 5 werd reeds vermeld dat hiervoor enkel gebruik gemaakt van de gebitumineerde houtvezelplaat die werd opgenomen in de vergelijkingstabel voor wandisolatie, namelijk de Celit 3D plaat. Mogelijke varianten zijn terug te vinden in paragraaf 5.4.4.2. Deze kan ook vervangen worden door een dampopen folie.



Figuur 6.1: Bevestiging regels voor gevelafwerking

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,167
Gipskartonplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Cellulose ingeblazen in houtskelet	0,180	0,039	4,62
Houtvezelplaat Pavatex pavatherm	0,120	0,038	3,16
Houtvezelplaat celit 3D	0,018	0,049	0,37
Verticaal regelwerk thv stijlen houtskelet			
Horizontale beplanking			
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,17
U-waarde totaal =			0,127

Aangezien hier weer een aanzienlijke dikte van houtvezelplaten dient toegepast te worden, zal dit een grote invloed op de kostprijs van deze opbouw hebben.

Opbouw 2

Er kan hier weer een extra skelet toegevoegd worden, maar ook hier blijkt dat de dikte van het extra skelet zeer groot wordt om de streefwaarde van 0,12 à 0,13 W/m²K te halen. Hier is dan ook het gebruik van TJI- of FJI-liggers aan te raden. Dankzij de beperkte houtfractie van de liggers kan het skelet dan met een kleinere breedte worden uitgevoerd.

OPBOUW 5	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,167
Gipskartonplaat	0,0125	0,250	0,05
Regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,28
Steenwol in leidingenspouw	0,050	0,037	1,35
OSB plaat	0,018	0,130	0,14
Houtskeletstructuur	0,180	0,180	1,00
Steenwol in houtskelet	0,180	0,039	4,62
2de houtskelet	0,120	0,180	0,67
Steenwol in 2de houtskelet	0,120	0,039	3,08
Houtvezelplaten	0,018	0,049	0,37
Verticaal regelwerk thv stijlen houtskelet			
Horizontale beplanking			
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,17
U-waarde totaal =			0,149

Indien de cellulose in beide houtskeletten vervangen wordt door een flexibel isolatiemateriaal kan de houtvezelplaat aan de buitenzijde vervangen worden door een wind- en waterdichte maar dampopen folie.

6.4 Vloer

Er zijn verschillende vloeropbouwen mogelijk, afhankelijk van de plaats waar de isolatie zal geplaatst worden. Bij de berekening van de U-waarden wordt er gestreefd naar een waarde van 0,14 W/m²K.

Een eerste mogelijkheid is om de isolatie onder de vloerplaat te plaatsen. Het voordeel hiervan is dat de betonnen vloerplaat nog steeds tot het beschermde volume behoort, wat de thermische inertie van het gebouw ten goede komt. Een tweede mogelijkheid is om boven op de draagvloer te isoleren. Hierdoor zal de draagvloer niet meer behoren tot het beschermde volume, en kan dus geen bijdrage meer leveren tot de thermische inertie van het gebouw.

6.4.1 Isolatie boven de vloerplaat

Hier kan nog een onderscheid gemaakt worden naar welk type van fundering gebruikt zal worden, namelijk een gehele plaatfundering of een strokenfundering met een kruip- of kelderruimte.

6.4.1.1 Plaatfundering

Opbouw 1

Een eerste mogelijkheid is om gebruik te maken van natuurlijke isolatiematerialen zoals houtvezelplaten. Deze platen worden bovenop de betonnen vloerplaat geplaatst. Bij deze opbouw zal er een vrij dikke laag isolatie voorzien moeten worden omdat de lamda-waarde van de isolatie vrij hoog is. Aangezien deze isolatie vrij duur is zal dit leiden tot een hoge kostprijs.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,167
vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
houtvezels	0,300	0,046	6,52
betonnen vloerplaat	0,250	2,200	0,11
U-waarde totaal =			0,142

Opbouw 2

Een alternatief is om geen gebruik te maken van natuurlijke isolatiematerialen. Deze materialen scoren niet zo goed op vlak van de NIBE-classificatie maar zijn wel veel goedkoper. EPS is in dit geval de beste keuze, zowel naar kostprijs als naar NIBE-classificatie. Dit kan worden afgeleid uit Tabel 5-4.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,167
Vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
EPS	0,240	0,036	6,67
betonnen vloerplaat	0,250	2,200	0,11
U-waarde totaal =			0,139

6.4.1.2 Fundering op staal met kruip- of kelderruimte

Bij de opbouw met kruipruimte dient deze voldoende verlucht te worden. Er kan gebruik gemaakt worden van welfsels of een houten roostering als draagvloer. Indien er welfsels worden toegepast zullen dezelfde opbouwen kunnen gebruikt worden als hiervoor vermeld bij de gehele plaatfundering. Daarom worden hierna enkel de opbouw mogelijkheden bij gebruik van een houten roostering als draagvloer besproken.

Opbouw 1

Een eerste mogelijkheid is om de balken zo te kiezen dat ze een voldoende hoogte hebben om, wanneer er tussen de balken geïsoleerd wordt, zonder bijkomende isolatiematerialen de streefwaarde voor de U-waarde te behalen. Een voordeel van deze opbouw is dat in de roostering cellulose kan ingeblazen worden en dat zo de benodigde isolatie in één maal geplaatst wordt.

Aan de onderkant van de roostering dient een materiaal voorzien te worden dat de houten constructie beschermt tegen vocht. Er bestaat immers een risico dat de kruip- of kelderruimte vochtig is ten gevolge van grondwater.

Vanwege het capillaire gedrag van cellulose dient er voldoende aandacht besteedt te worden aan een goede waterdichting ter plaatse van de aansluitingen met de fundering.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoëfficiënt R _{si}	-	-	0,167
vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
OSB platen	0,018	0,130	0,14
cellulose (ingeblazen)	0,360	0,039	9,23
houten balken	0,360	0,180	2,00
OSB platen	0,018	0,130	0,14
warmteovergangscoëfficiënt R _{se}	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,136

Opbouw 2

Een andere mogelijkheid is dat er isolatiematerialen extra toegevoegd worden aan de opbouw. De afmetingen van de balken worden gekozen aan de hand van de belastingen die erop aangrijpen. In dit werk wordt uitgegaan van een hoogte van 25 cm. Een eerste opbouw die wordt weergegeven is dat er gebruik gemaakt wordt van een natuurlijk isolatiemateriaal zoals houtvezelplaten.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,167
Vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
houtvezels	0,060	0,046	1,30
OSB platen	0,018	0,130	0,14
cellulose (ingeblazen)	0,280	0,039	7,18
houten balken	0,280	0,180	1,56
OSB platen	0,018	0,130	0,14
warmteovergangscoefficiënt Rse	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,139

Om de kostprijs te beperken kunnen de houtvezelplaten ook hier vervangen worden door kunststof isolatiematerialen.

OPBOUW 2bis	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,167
Vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
EPS	0,040	0,036	1,11
OSB platen	0,018	0,130	0,14
cellulose (ingeblazen)	0,280	0,039	7,18
houten balken	0,280	0,180	1,56
OSB platen	0,018	0,130	0,14
warmteovergangscoefficiënt Rse	-	-	0,04
U-waarde totaal =			0,143

6.4.2 Isolatie onder de vloerplaat

In het geval van een kruip- of kelderruimte is de toepassing van isolatie onder de vloerplaat niet aangewezen. Er zullen immers koudebruggen ontstaan ter plaatse van de opleggingen van de draagstructuur op de funderingsmuren. Een mogelijke oplossing bestaat erin de funderingsmuren bovenaan uit te voeren in isolerend metselwerk zoals bvb cellenbeton of cellenglas. Maar als gevolg hiervan zal de kostprijs sterk toenemen en bovendien is er nog steeds sprake van een koudebrug omwille van de hogere lambda-waarde van deze materialen. Daarom zullen enkel opbouwen beschouwd worden welke gebruik maken van een gehele plaatfundering.

Opbouw 1

Een voordeel van de isolatie onder de vloerplaat te plaatsen is dat koudebruggen bij de aansluiting van de wanden met de vloerplaat vermeden worden. Een nadeel van deze vloeropbouw is dat enkel gebruik kan worden gemaakt van vochtbestendige isolatiematerialen aangezien de isolatie steeds in contact met de grond staat. In Tabel 5-4 is dit enkel voor XPS en cellenglas het geval. Vanwege de hoge kostprijs van cellenglas wordt daarom in dit werk enkel de mogelijkheid met XPS beschouwd.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,167
Vloertegels	0,010	1,200	0,01
dekvloer	0,070	0,290	0,24
betonnen vloerplaat	0,250	1,700	0,15
XPS	0,220	0,034	6,47
U-waarde totaal =			0,142

6.5 Dak

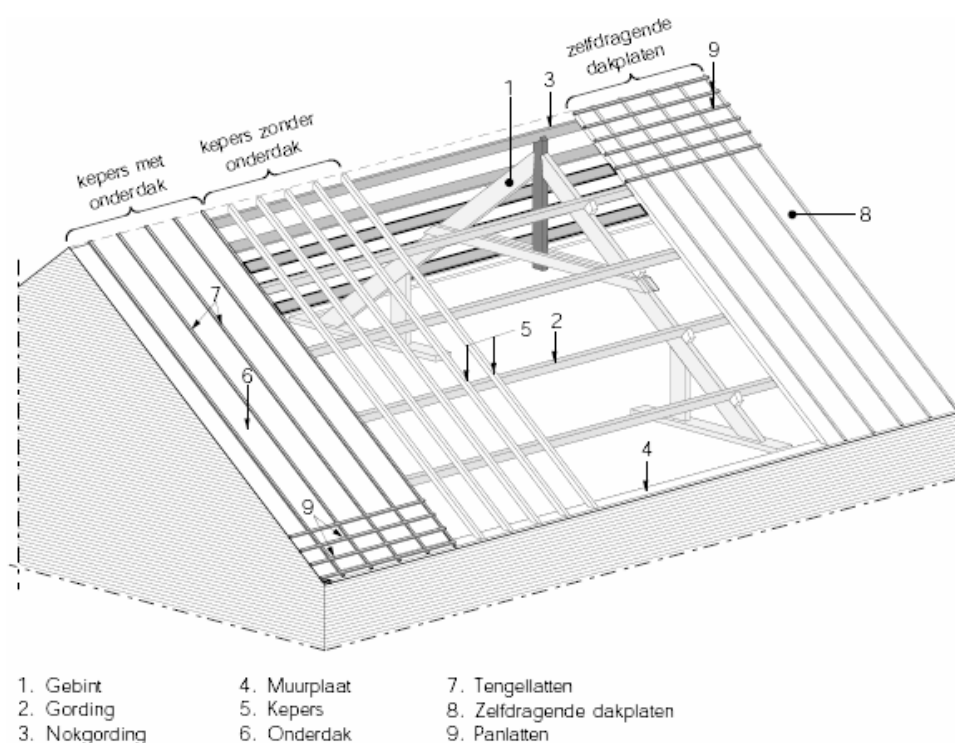
6.5.1 Hellend dak

6.5.1.1 Algemeen

Er bestaan verschillende soorten hellende dakstructuren; de meest toegepaste zijn het gordingendak, het spantendak en het sarking-dak.

Bij een sarking-dak bestaat de isolatie uit harde platen welke bovenop de kepers of spanten worden aangebracht. Dit wordt weergegeven in Figuur 6.2 (rechts) [DTOU,1992]. Bij de toepassing van de passiefhuis-standaard is het aan te raden ook de ruimtes tussen de draagstructuur te isoleren om de vereiste constructiedikte enigszins te beperken.

Traditioneel worden kunststof isolatiematerialen gebruikt om bovenop de dakstructuur te plaatsen. Dit is echter niet mogelijk indien een dampopen constructie wordt nagestreefd. Er bestaan alternatieven waarbij deze materialen vervangen worden door stijve houtvezelisolatie. Door de relatief grote dikte waarmee deze moeten worden toegepast zal de bevestiging ervan echter zeer moeilijk zijn. Deze toepassing wordt daarom niet beschouwd in dit werk.



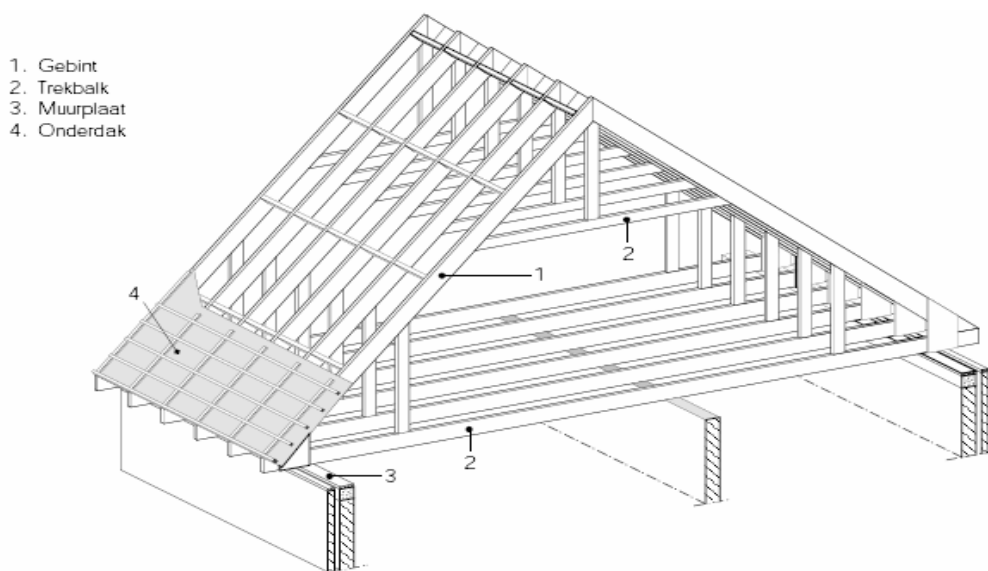
Figuur 6.2: Opbouw van een gordingendak (links op de figuur) en sarking-dak (rechts op de figuur)

Een gordingendak, weergegeven in Figuur 6.2 (links) [DTOU,1992], bestaat uit kepers die de lasten van het dak overdragen naar de gordingen, die op hun beurt de lasten naar de twee puntgevels afleiden. Tussen zowel de kepers als de gordingen kan isolatie geplaatst worden.

Een spantendak, weergegeven in Figuur 6.3 [DTOU,1992], bestaat vaak uit geprefabriceerde spanten welke op een regelmatige tussenafstand van elkaar worden geplaatst. Het is ook mogelijk een spantendak volledig te prefabriceren en in zijn geheel te plaatsen.

Een belangrijk aandachtspunt bij de toepassing van een spantendak zijn de optredende spatkrachten. Om deze op te nemen wordt bij voorkeur een verdiepingsvloer geplaatst ter hoogte van de aansluiting tussen hellend dak en wand. De vloerbalken kunnen in dat geval dienst doen als trekbalen. Daarnaast is het aan te raden om, zoals weergegeven in Figuur 6.3, driehoeken te vormen, zowel in de nok als ter plaatse van de aansluiting met de wand. Op die manier worden de krachten beter gespreid. Het nadeel hiervan is dat deze de luchtdichte en dampremmende laag onderaan de spanten onderbreken. Mogelijke oplossingen hiervoor komen in volgend hoofdstuk aan bod.

Indien het niet mogelijk is een verdiepingsvloer te voorzien moeten andere maatregelen getroffen worden om de spatkrachten op te nemen, bijvoorbeeld het plaatsen van een houten balk, welke over een bepaalde afstand doorloopt over de binnenmuren. Afhankelijk van de optredende krachten zijn grote afmetingen vereist voor de balk waardoor belangrijke koudebruggen ontstaan.



Figuur 6.3: Mogelijke opbouw van een spantendak

In vorig hoofdstuk werden de verschillende soorten onderdak besproken en werd besloten om enkel gebruik te maken van het onderdak uit houtvezels. De dakbedekking heeft geen invloed op de U-waarde omwille van de sterk geventileerde luchtlaag tussen deze bedekking en het onderdak. De dakbedekking wordt dus buiten beschouwing gelaten en aan de buitenzijde van het onderdak wordt gerekend met de warmteovergangsweerstand volgens binnencondities.

6.5.1.2 Dakopbouwen

In dit werk zullen enkel geïsoleerde dakstructuren worden ontworpen. Het is ook mogelijk om de ruimte onder het dak niet op te nemen in het beschermd volume en bovenop en/of tussen de zoldervloer te isoleren. Dit is een eenvoudige methode maar gaat gepaard met veel ruimteverlies. De dakstructuur kan in dat geval op de traditionele manier worden uitgevoerd. Deze toepassing wordt in dit werk buiten beschouwing gelaten.

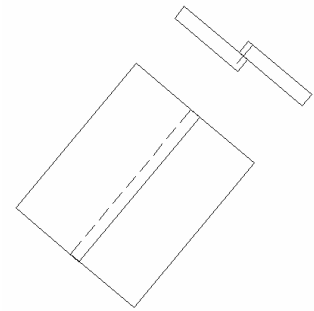
Voor de dakstructuren wordt gestreefd naar een U-waarde van $0,09 \text{ W/m}^2\text{K}$. Aan de binnenzijde van het dak zal meestal ook een leidingenspouw vereist zijn. Voor de houtfractie van het bijhorende regelwerk wordt gebruik gemaakt van hetzelfde percentage als de wanden, namelijk 15%. Aan de binnenzijde van het hellende dak is geen stijf plaatmateriaal vereist. Daarom wordt hierna telkens een dampremmende folie voorzien. Het regelwerk moet dan wel loodrecht op de draagstructuur geplaatst worden. In de praktijk kan echter zonder problemen beslist worden om hiervoor toch gebruik te maken van OSB platen.

Voor de berekeningen wordt elke dakstructuur gevuld met ingeblazen cellulose isolatie omwille van de lage kostprijs en de makkelijke plaatsing. Er kan uiteraard ook geopteerd worden om een ander isolatiemateriaal aan te wenden. De toepassing van harde isolatieplaten wordt echter afgeraden vanwege de moeilijke aansluiting met de dakstructuur. Flexibele isolatieplaten vormen dus het beste alternatief. Om het vochtregulerende vermogen te behouden wordt best gekozen voor de overige natuurlijke materialen zoals vlas- of houtvezel. In de traditionele bouw wordt meestal steen- of glaswol gebruikt welke op het vlak van kostprijs iets voordeliger zijn.

Opbouw 1

Volgens Tabel 6-2 moet voor het spantendak gerekend worden met een houtfractie van 0,12.

Een eerste mogelijkheid om voldoende isolatie te kunnen plaatsen bestaat erin om de reeds aanwezige spanten aan de binnenzijde uit te vullen met extra spanten, zoals weergegeven in Figuur 6.4. Beide spanten kunnen makkelijk worden vernageld. Deze methode werd toegepast in het passiefhuis van Dhr. Ivan Demeyer dat we bezochten.



Figuur 6.4: Extra spanten

Het voordeel van deze uitvoering is dat over de volledige dikte van de opbouw één ruimte behouden blijft zodat deze makkelijk kan geïsoleerd worden. Het nadeel is dan weer de koudebrugwerking van de spanten die over de volledige dikte doorlopen.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ -waarde [W/mK]	R [m ² K/W]
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,100
onderdak Celit 4D	0,022	0,049	0,449
spanten	0,460	0,180	2,556
cellulose (ingeblazen)	0,460	0,039	11,795
damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,0125	0,250	0,050
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,102

Gelet op de grote dikte die vereist is, vormen de eerder besproken TJI- of FJI-liggers in dit geval waarschijnlijk een beter alternatief. De houtfractie van deze liggers is immers beperkt alsook de koudebrugwerking.

Opbouw 2

Om de koudebrugwerking van de doorlopende spanten uit vorige opbouw te reduceren kunnen de extra spanten ook vervangen worden door regels die loodrecht op de reeds aanwezige spanten bevestigd worden. Deze dienen aan de onderzijde bevestigd te worden.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,100
onderdak	0,022	0,049	0,449
spanten	0,240	0,180	1,333
cellulose (ingeblazen)	0,240	0,039	6,154
regels	0,220	0,180	1,222
cellulose (ingeblazen)	0,220	0,039	5,641
damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,0125	0,250	0,050
warmteovergangscoëfficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,102

De bevestiging van de grote regels onderaan de spanten zal praktisch zeer moeilijk zijn. Daarom kan beter overwogen worden een gordingendak toe te passen. Dit wordt in de volgende opbouw toegelicht. Indien er toch geopteerd wordt voor een spantendak wordt het gebruik van TJI- of FJI-liggers aangeraden.

Opbouw 3

Volgens Tabel 6-2 moet voor het gordingendak gerekend worden met een houtfractie van 0,11 voor de gordingen en 0,20 voor de kepers. Voor de leidingenspouw wordt nog steeds met een houtfractie van 0,15 gerekend.

Een eerste mogelijkheid is om kepers en gordingen met voldoende grote afmetingen te gebruiken zodat eenvoudig tussen deze houtstructuur geïsoleerd kan worden. Deze methode werd toegepast in het passiefhuis van architect Bert Schellekens.

OPBOUW 3	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
onderdak	0,022	0,049	0,449
kepers	0,140	0,180	0,778
cellulose (ingeblazen)	0,140	0,039	3,590
gordingen	0,320	0,180	1,778
cellulose (ingeblazen)	0,320	0,039	8,205
damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,0125	0,250	0,050
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,105

Ook voor deze dakstructuur zijn grote houtsecties vereist die de praktische toepassing ervan bemoeilijken.

Opbouw 4

In onderstaande berekening werd de gording uit de vorige berekening verkleind en werden extra kepers toegevoegd. Indien, zoals in onderstaande berekening het geval is, de extra kepers aan de buitenzijde worden aangebracht moet er rekening gehouden worden met de plaatsing van de tengellatten. Deze moeten immers over hun volledige lengte ondersteund worden waardoor de uiterste kepers steeds van de gevels naar de nok moeten lopen. Een andere mogelijkheid bestaat erin om enkel aan de binnenzijde een extra regelwerk aan te brengen.

OPBOUW 4	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
onderdak	0,022	0,049	0,449
kepers	0,080	0,180	0,444
cellulose (ingeblazen)	0,080	0,039	2,051
kepers	0,080	0,180	0,444
cellulose (ingeblazen)	0,080	0,039	2,051
kepers	0,080	0,180	0,444
cellulose (ingeblazen)	0,080	0,039	2,051
gordingen	0,280	0,180	1,556
cellulose (ingeblazen)	0,280	0,039	7,179
damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,0125	0,250	0,050
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,097

Het aanbrengen van de verschillende lagen kepers zal extra tijd vergen en dus ook de kostprijs nadelig beïnvloeden.

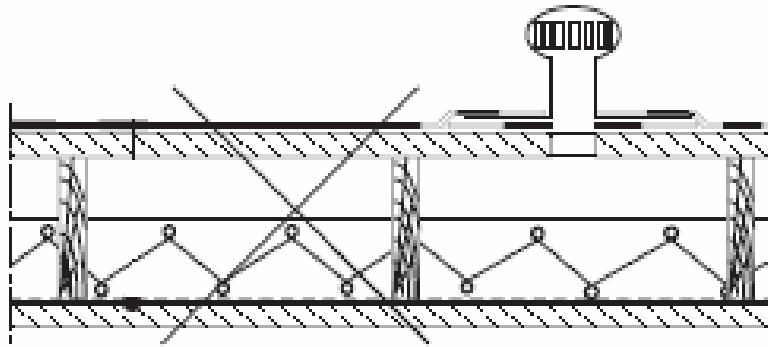
6.5.2 Plat dak

6.5.2.1 Algemeen

Zoals in paragraaf 5.8.2 al werd vermeld kunnen dakafdichtingen voor een plat dak beschouwd worden als dampdicht. Voor platte daken is een dampopen constructie dan ook uitgesloten.

De traditioneel toegepaste dakstructuren zijn het warm-, koud- en omgekeerde dak.

Een koud plat dak wordt vaak op verschillende manieren gedefinieerd. Bij dit type wordt in principe enkel tussen de houten draagstructuur geïsoleerd terwijl de dakafdichting aan de bovenzijde wordt geplaatst. Volgens [TVPD,2000] van het WTCB wordt tussen de isolatie en deze dakafdichting een geventileerde spouw voorzien, zoals weergegeven op Figuur 6.5.



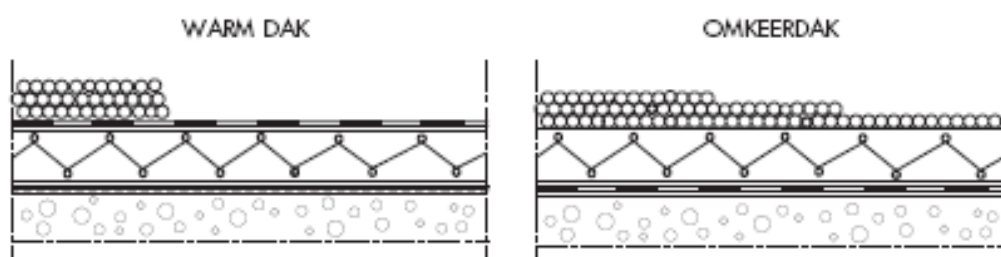
Figuur 6.5: Koud dak (met geventileerde spouw)

Deze opbouw wordt sterk afgeraden door het WTCB omwille van de vele problemen met condensatie die zich in het verleden hebben voorgedaan.

Toch wordt een koud dak nog steeds toegepast, maar dan zonder de spouw tussen isolatie en afdichting. Om condensatie te voorkomen moet daarom voldoende aandacht besteed worden aan een goede luchtdichting en dampremming, om vochtindringing te vermijden. Daarnaast is ook de toepassing van een vochtregulerend isolatiemateriaal aan te raden in combinatie met een variabele damprem. Zoals reeds werd toegelicht in hoofdstuk 5 kunnen natuurlijke isolatiematerialen een bepaalde hoeveelheid vocht opslaan zonder daarbij hun isolerende werking te verliezen. Een beperkte hoeveelheid vocht, die via onvermijdelijke lekken in de aansluitingen van de luchtdichting in de constructie binnendringt, kan dus worden opgeslagen. Tijdens periodes waarin de diffusieweerstand van de variabele damprem daalt kan het vocht opnieuw worden afgegeven aan de binnenomgeving. De eigenschappen van een variabele damprem werden reeds toegelicht in paragraaf 5.6.2.

In de opbouwen die later in dit hoofdstuk aan bod komen zal enkel cellulose worden toegepast om tussen de dakliggers te isoleren. Er wordt geopteerd voor cellulose omwille van de lage kostprijs maar ook andere natuurlijke, en dus vochtregulerende, isolatiematerialen zoals vlas- of houtvezels zijn mogelijke alternatieven.

Een omgekeerd dak, weergegeven in Figuur 6.6 [TVPD,2000], wordt gekenmerkt door de afdichting die zich onder de isolatie bevindt. Op de isolatie wordt meestal een ballastlaag aangebracht om deze op zijn plaats te houden en te beschermen tegen UV-straling. De isolatie die zich boven de dakafdichting bevindt dient uiteraard vochtbestendig te zijn. Van alle materialen die in Tabel 5-5 worden vergeleken is enkel het XPS hiervoor geschikt. Over het algemeen zijn de overige kunststof isolatiematerialen niet geschikt voor deze toepassing.



Figuur 6.6: Warm dak (links) en omgekeerd dak (rechts)

In een warm dak, weergegeven in Figuur 6.6 [TVPD,2000], wordt de afdichting bovenop de isolatie geplaatst en hoeft de isolatie dus niet vochtbestendig te zijn. Bij beide methodes wordt in principe niet tussen de houten draagstructuur geïsoleerd. Rekening houdend met de grote vereiste isolatiediktes zal de constructiehoogte zeer groot worden. Daarom is het aangewezen om bij de toepassing van het passiefhuisconcept toch isolatie te plaatsen tussen de draagstructuur. Ook hier bestaat dan, net zoals bij het koud dak, het risico dat er zich vocht opstapelt tussen de dampdichte dakafdichting bovenop de draagstructuur en de dampremmende en luchtdichte laag onderaan de draagstructuur. Er worden dan ook dezelfde maatregelen aangeraden zoals bij de toepassing van een koud dak, zoals hierboven reeds werd besproken.

Om de beloopbaarheid van het plat dak te verzekeren moet op de draagbalken een plaatmateriaal, bijvoorbeeld OSB, geplaatst worden. Hierop kan dan de dakafdichting worden aangebracht.

Belangrijke aandachtspunten zijn verder nog de opstand aan de randen en het afschot. Deze komen in volgend hoofdstuk aan bod bij de detaillering. Met het afschot wordt geen rekening gehouden bij de berekening van de U-waarde, de gebruikte isolatiedikte wordt hierbij beschouwd als de minimale.

6.5.2.2 Dakopbouwen

Ook voor platte daken streven we naar een U-waarde van 0,09 W/m²K. Voor de houtfractie van de houten draagstructuur wordt gebruik gemaakt van de waarde voor houten vloeren uit Tabel 6-2, namelijk 0,11. Indien aan de binnenzijde een leidingenspouw aanwezig is wordt voor het bijhorende regelwerk dezelfde houtfractie aangenomen als in de voorgaande berekeningen, namelijk 0,15.

De plaats van zowel de damprem als de dakafdichting wordt aangegeven in de berekeningstabellen maar heeft geen invloed op de thermische prestaties. Om de beloopbaarheid te garanderen wordt in dit werk steeds een OSB plaat voorzien bovenop de draagstructuur.

Opbouw 1

In onderstaande berekening worden twee loodrecht op elkaar geplaatste balkenlagen voorzien als draagstructuur.

OPBOUW 1	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rse	-	-	0,040
dakafdichting			
OSB	0,018	0,130	0,138
houten draagstructuur	0,220	0,180	1,222
cellulose (ingeblazen)	0,220	0,039	5,641
houten draagstructuur	0,280	0,180	1,556
cellulose (ingeblazen)	0,280	0,039	7,179
variabele damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,013	0,250	0,050
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,096

Door de grote invloed van de houtfractie op de U-waarde is een grote constructiehoogte vereist om de streefwaarde te bereiken. Bovendien zal het aanbrengen van de tweede balkenlaag de kostprijs verhogen. Daarom is voor deze opbouw het gebruik van TJI- of FJI-liggers aan te raden. Deze kunnen immers in één keer geplaatst worden, zonder koudebruggen te veroorzaken. Er worden op die manier ook volledig gesloten compartimenten gecreëerd, wat het inblazen van cellulose vergemakkelijkt.

Opbouw 2

Een andere mogelijke opbouw bestaat erin één van de houten draagstructuren uit voorgaande berekening te vervangen door een homogene isolatielaag, bovenop de OSB plaat. Om de kostprijs te minimaliseren wordt in dat geval best geopteerd voor EPS. Hieruit volgt dat het “warm dak”-principe moet worden toegepast.

OPBOUW 2	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt Rse	-	-	0,040
dakafdichting			
EPS	0,180	0,036	5,000
OSB	0,018	0,130	0,138
houten draagstructuur	0,220	0,180	1,222
cellulose (ingeblazen)	0,220	0,039	5,641
variabele damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,013	0,250	0,050
warmteovergangscoefficiënt Rsi	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,098

De toepassing van EPS kan, net als de toepassing van PF, PUR of harde steenwolplaten, enkel op voorwaarde dat het “warm dak”-principe gebruikt wordt en de dakafdichting dus bovenop de isolatielaag wordt aangebracht.

De toepassing van EPS isolatie in deze opbouw vergroot echter het risico op vochtproblemen. Deze isolatielaag bevindt zich immers onder de dakafdichting waardoor vocht, dat aan de onderzijde van de constructie binnendringt in de vorm van damp, eventueel ook in deze laag terecht kan komen. Hierdoor bestaat het risico op inwendige condensatie met als gevolg dat de isolerende werking van deze isolatielaag sterk afneemt. Om dit te vermijden is ook hiervoor een goed uitgevoerde dampremmende en luchtdichte laag essentieel. Daarnaast kan de reeds aanwezige OSB plaat op de draagstructuur dienst doen als extra damprem. De aansluiting van deze platen onderling en aan de randen vraagt dan wel extra aandacht. Later kunnen er echter nog steeds problemen ontstaan met deze aansluitingen ten gevolge van de krimp van hout.

Wanneer het gewenst is het “omgekeerd dak”-principe toe te passen op voorgaande dakopbouw, en dus de extra isolatielaag bovenop de dakafdichting aan te brengen, is enkel XPS hiervoor geschikt, zoals eerder reeds werd besproken.

OPBOUW 2 bis	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{se}	-	-	0,040
XPS	0,180	0,034	5,294
dakafdichting			
OSB	0,018	0,130	0,138
houten draagstructuur	0,220	0,180	1,222
cellulose (ingeblazen)	0,220	0,039	5,641
variabele damprem			
regelwerk leidingenspouw	0,050	0,180	0,278
steenwol leidingenspouw	0,050	0,036	1,389
gipskarton	0,013	0,250	0,050
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,095

Opbouw 3

Ook bij een houten draagstructuur is het mogelijk om een traditioneel warm- of omgekeerd dak te realiseren, m.a.w. zonder isolatie tussen de draagstructuur. Deze opbouw leidt echter tot zeer grote constructiehoogtes. Daarnaast bestaat ook bij deze opbouw het risico op vochtproblemen, zoals hierboven reeds beschreven werd voor opbouw 2.

OPBOUW 3	Dikte [m]	λ-waarde [W/mK]	R [m²K/W]
warmteovergangscoefficiënt R _{se}	-	-	0,040
dakafdichting			
EPS	0,380	0,036	10,556
OSB	0,018	0,130	0,138
balkenlaag	0,220		
warmteovergangscoefficiënt R _{si}	-	-	0,100
U-waarde totaal =			0,092

7 Ontwerp van de constructiedetails

7.1 Inleiding

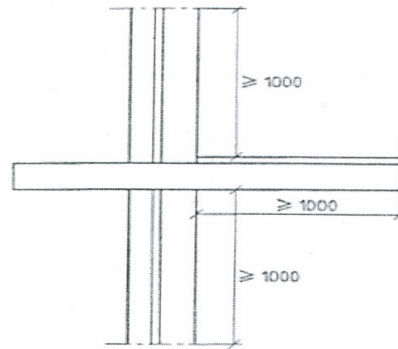
In hoofdstuk 2 werd reeds een overzicht gegeven van de eisen waaraan de constructie moet voldoen om de passiefhuis-standaard te bereiken. Hierbij werd opgemerkt dat een koudebrugvrije detaillering van groot belang is. Daarom wordt eerst de berekening van koudebruggen algemeen besproken zoals deze op de uitgewerkte constructiedetails later in dit hoofdstuk wordt toegepast. Vervolgens worden de overige aandachtspunten toegelicht waarmee tijdens het ontwerp van de constructiedetails rekening wordt gehouden. Daarna worden de eigenlijke constructiedetails uitgewerkt en kort besproken. Tenslotte wordt voor elk type aansluiting een algemene en praktische opbouwvolgorde opgesteld.

De materialen die in de details worden toegepast volgen uit het ontwerp van de schildelen in hoofdstuk 6. Mogelijke alternatieven voor bepaalde materialen zijn terug te vinden in hoofdstuk 5.

7.2 Koudebrugberekening

Bij het ontwerp van een passiefhuis is het belangrijk dat het totale warmteverlies gekend is. Ondanks de goed geïsoleerde gebouwschil is het transmissieverlies hierin nog steeds een belangrijke factor. Daarnaast zal het aandeel van koudebruggen in dit warmteverlies sterk stijgen vanwege de goed geïsoleerde schildelen. Hieruit volgt dat voor elke aansluiting tussen verschillende delen een koudebrugberekening moet worden uitgevoerd, waarbij de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt wordt bepaald.

De koudebrugberekeningen in dit werk worden uitgevoerd volgens de norm NBN EN ISO 10211. Deze legt aan het beschouwde constructiedetail minimale dimensies op zoals weergegeven in Figuur 7.1 (dimensies in millimeters).



**Figuur 7.1: Minimale dimensies
detailtekening**

De aansluitende schildelen moeten dus over een lengte van minstens één meter beschouwd worden, gemeten vanaf het centrale element.

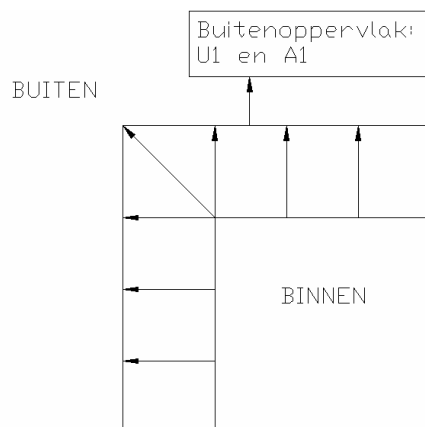
In het PHPP-rekenpakket wordt gebruik gemaakt van de buitenafmetingen van een gebouw om het totale transmissieverlies ervan te bepalen. Hieruit volgt dat ook voor de berekening van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ψ de buitenafmetingen gebruikt moeten worden. Voor hoekaansluitingen wordt deze waarde in dit werk bepaald met behulp van volgende basisformule:

$$\psi \times L = U_1 \times A_1 - (U_2 \times A_2 + U_3 \times A_3) \quad [\text{W/mK}]$$

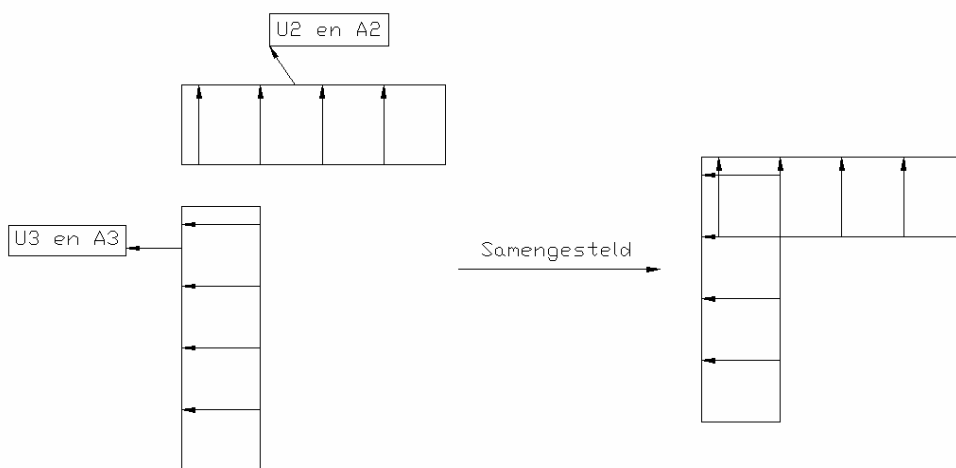
Waarin:

- L = de lengte van de koudebrug
- $U_1 \times A_1$ = de warmtestroom door de constructie met de koudebrug
- $U_2 \times A_2 + U_3 \times A_3$ = de warmtestroom door de samengestelde constructie zonder de koudebrug

De oppervlaktes in deze berekening worden dus bepaald met behulp van buitenafmetingen. Dit heeft tot gevolg dat voor een goed uitgewerkt constructiedetail, waarin dus een beperkte koudebrug aanwezig is, de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt negatief zal zijn. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van Figuur 7.2 en Figuur 7.3. De pijlen in de figuren stellen de warmtestroom voor.



Figuur 7.2: Reëel warmteverlies doorheen een hoekaansluiting



Figuur 7.3: Warmteverlies doorheen de referentieconstructie

Figuur 7.2 toont het reële warmteverlies doorheen een constructiedetail, dit wil zeggen met koudebrug. De berekening van dit warmteverlies dient te gebeuren met behulp van een softwareprogramma. In dit werk wordt hiervoor gebruik gemaakt van de Therm-software. De detailtekening van een aansluiting kan hierin worden ingevoerd waarna het programma de U-waarde ervan berekend. Ook het oppervlak waarop deze betrekking heeft wordt door het programma weergegeven. In de formule wordt deze warmtestroom weergegeven als $U_1 \times A_1$.

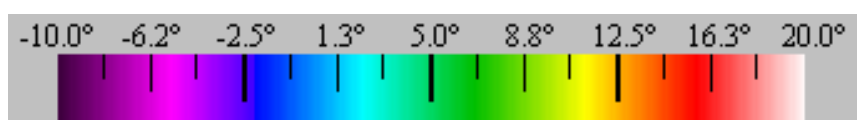
Om het warmteverlies van hetzelfde constructiedetail te kunnen bepalen maar dan zonder koudebrug wordt een referentieconstructie beschouwd, zoals weergegeven in Figuur 7.3. Deze wordt samengesteld uit de twee afzonderlijke schildelen die samenkomen in de beschouwde aansluiting. De warmtestroom doorheen deze afzonderlijke delen wordt in de formule weergegeven door respectievelijk $U_2 \times A_2$ en $U_3 \times A_3$.

Voor de berekening van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt moeten de oppervlakken van de reële en de referentieconstructie echter gelijk zijn aan elkaar. Door het gebruik van de buitenoppervlakken ontstaat in de samengestelde referentieconstructie bijgevolg een overlapping ter plaatse van de hoek, zoals weergegeven in Figuur 7.3. Het warmteverlies in de referentie wordt met andere woorden overschat. Hierdoor zal voor een koudebrugvrije constructie de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt negatief zijn, aangezien deze bepaald wordt door het verschil in warmteverlies.

Zoals in hoofdstuk 2 reeds vermeld wordt in de passiefhuis-standaard gestreefd naar een lineaire warmtedoorgangscoefficiënt kleiner dan 0,01 W/mK. Indien hieraan niet voldaan is moet aangetoond worden dat de oppervlaktetemperatuur in de aansluiting condensatievrij is bij een binnentemperatuur van 20°C en relatieve vochtigheid van 60% en een buitentemperatuur van -10°C. Het extra warmteverlies in de aansluiting dient in dat geval ook in rekening te worden gebracht bij de bepaling van de transmissieverliezen.

Tenslotte dient er nog opgemerkt te worden dat ook de U-waarden van de afzonderlijke schildelen, waarmee de referentieconstructie wordt samengesteld, bepaald werden met behulp van het softwareprogramma Therm. Aangezien dit een tweedimensionaal programma is kunnen er immers geen niet-homogene lagen worden ingevoerd. Het gebruik van de in hoofdstuk 6 bepaalde U-waarden voor deze schildelen zou dan ook leiden tot verschillen met het reële constructiedetail. Hiervoor kan de U-waarde immers alleen met Therm bepaald worden. Aangezien de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt bepaald wordt door het verschil tussen de warmtestromen wordt op die manier de correcte waarde bepaald.

Om na te gaan of de oppervlaktetemperatuur van de constructiedetails voldoende hoog is wordt voor elke aansluiting ook het isothermenverloop weergegeven dat bepaald werd met behulp van Therm. De isothermen geven zones van gelijke temperatuur aan in het constructiedetail. Figuur 7.4 toont de bijhorende kleurlegende van deze isothermen in graden Celsius.



Figuur 7.4: Kleurlegende isothermen

Uit de berekeningen blijkt dat de oppervlaktetemperaturen in de uitgewerkte constructiedetails steeds beperkt blijven. De minimale oppervlaktetemperatuur die zich in de hierna volgende constructiedetails voordoet bedraagt ca. 18,6°C. Hieruit kan besloten worden dat zich nergens problemen zullen voordoen op vlak van oppervlaktecondensatie.

7.3 Aandachtspunten

Op vlak van detaillering moet vanuit de passiefhuis-standaard, naast het vermijden van koudebruggen, enkel nog aandacht besteedt worden aan de luchtdichtheid van de constructie. In het vorige hoofdstuk werd reeds een luchtdichte laag voorzien in elke constructieopbouw. De grootste moeilijkheid van een luchtdichte constructie bevindt zich echter in de aansluitingen tussen de luchtdichte lagen van de verschillende constructieonderdelen. Indien mogelijk lopen beide lagen door tot op de plaats waar ze elkaar snijden zodat de aansluiting luchtdicht kan worden afgetaped. Dit is echter niet altijd mogelijk. In dat geval moet bijvoorbeeld een extra luchtscherp aangebracht worden dat de twee luchtdichte lagen verbindt. Deze luchtdichtingswerken gebeuren best in één keer en zo laat mogelijk op de werf om beschadigingen tijdens de werken te voorkomen. Net na de luchtdichtingswerken kan dan de luchtdichtheidstest worden uitgevoerd. Deze moet wel vroeg genoeg gebeuren zodat eventuele fouten of lekken eenvoudig bereikbaar zijn.

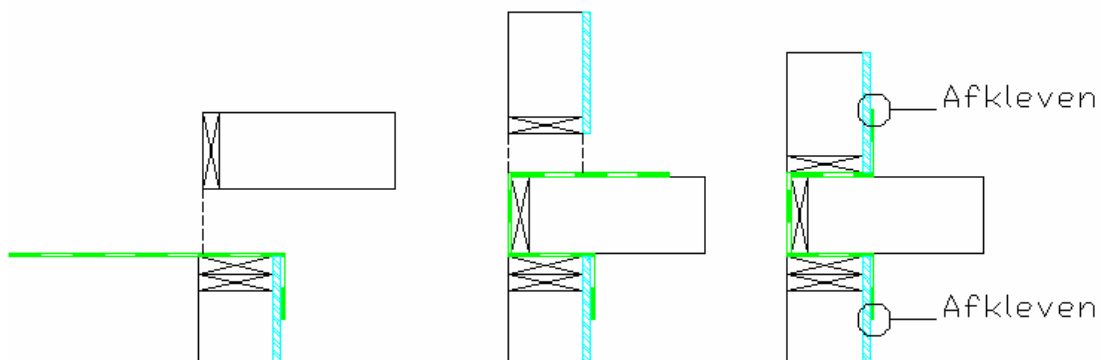
Er zijn ook een aantal algemene aandachtspunten waarmee altijd rekening moet worden gehouden bij het construeren van een gebouw. Eén daarvan is het vochtgedrag van de constructie. Hierbij dient rekening gehouden te worden met alle mogelijke vochtproblemen die zich kunnen voordoen. Deze werden reeds besproken in hoofdstuk 5.

7.4 Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer

7.4.1 Luchtdichtheid

Bij dit type aansluiting is het belangrijk een onderscheid te maken naar de toegepaste houtskeletbouwwijze, meer bepaald de platform- of de ballonmethode. Dit zijn de meest toegepaste methodes en werden reeds in hoofdstuk 3 besproken.

Bij de platformmethode wordt het dragend skelet van de wand onderbroken voor de oplegging van de verdiepingsvloer. Dit betekent dat ook de luchtdichte laag, die zich aan de binnenzijde van dit skelet bevindt, onderbroken wordt. Figuur 7.5 toont de meest eenvoudige oplossing in opeenvolgende stappen, namelijk het aanbrengen van een luchtdicht scherm rondom de randbalk van de verdiepingsvloer. Dit scherm moet op beide wandelementen luchtdicht worden afgekleefd.



Figuur 7.5: Continuïteit luchtdichte laag bij de platformmethode

Aangezien de luchtdichte laag aan de binnenzijde van de wand eveneens de functie van damprem vervult ontstaat het risico op inwendige condensatie. Door de onderbreking ervan kan vochtige binnenlucht immers de geïsoleerde schil binnendringen. Om dit risico te beperken moeten er een aantal maatregelen getroffen worden.

Eerst en vooral is het noodzakelijk het damptransport, toegelicht in paragraaf 5.3.1.1, te beperken. Hieruit volgt dat de verdiepingsvloer aan boven- en onderzijde zo luchtdicht en dampremmend mogelijk wordt afgewerkt. Aan de bovenzijde van de vloerbalken is een beloopbaar materiaal vereist dat, mits een goede plaatsing, als voldoende luchtdicht kan worden beschouwd. In dit werk wordt hiervoor een OSB plaat toegepast welke in combinatie met de dekvloer en de vloerafwerking als voldoende dampremmend beschouwd kan worden. Voor de afwerking aan de onderzijde zijn er verschillende mogelijkheden maar de meest toegepaste is deze met gipskartonplaten. Deze kunnen ook als luchtdicht beschouwd worden op voorwaarde dat de aansluitingen zorgvuldig worden afgewerkt. Ook de dampremmendheid ervan is voldoende om het damptransport in belangrijke mate te beperken. Tenslotte kunnen

de gevolgen van de eventuele inwendige condensatie beperkt worden door de toepassing van een natuurlijk isolatiemateriaal. Voor de precieze invloed van deze toepassing wordt verwezen naar paragraaf 6.5.2 waar dit reeds werd toegelicht voor het plat dak.

Daarnaast is het luchtdichte scherm best dampopen zodat de damp die toch in de geïsoleerde schil terechtkomt zich niet kan opstapelen. Wanneer er toch inwendige condensatie optreedt zorgt deze dampopenheid er ook voor dat het vocht naar buiten toe kan uitdrogen.

De koudebrug die ontstaat bij de toepassing van de platformmethode wordt beperkt door de vloerbalken slechts gedeeltelijk op te leggen. Ook op het vlak van geluidsisolatie heeft dit een gunstige invloed [FUAH,2004].

Bij de balloonmethode wordt het dragend skelet van de wand niet onderbroken en kan dus ook de luchtdichte laag gewoon doorlopen. Dit wordt verduidelijkt aan de hand van detailtekeningen in de hierna volgende paragrafen. Deze methode zorgt ook voor minimale koudebruggen.

De platform- en balloonmethode kunnen ook gecombineerd worden zodat de voordelen van beide methodes behouden blijven. Dit kan door de verdiepingsvloer aan het onderste wandelementen te bevestigen. Vervolgens kan het dragende skelet van de verdieping bovenop het eerste skelet worden geplaatst. Op die manier blijven de afmetingen van de wandelementen beperkt zodat prefabricage mogelijk blijft. Daarnaast kan ook de luchtdichte laag gewoon doorlopen.

7.4.2 Koudebrugberekening

In paragraaf 7.2 werd de koudebrugberekening toegelicht voor een hoekaansluiting. Deze methode wordt ook toegepast op de aansluiting tussen een buitenwand en een verdiepingsvloer. De referentieconstructie, die voor een hoekaansluiting gevormd wordt door de afzonderlijke schildelen, bestaat nu enkel uit de wand. Hieruit volgt dat de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voor de hierna volgende constructiedetails niet negatief kan worden. Er is immers geen overlapping in de referentieconstructie.

De voorgestelde formule uit paragraaf 7.2 voor de berekening van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt moet vereenvoudigd worden:

$$\psi \times L = U_1 \times A_1 - U_2 \times A_2 \quad [\text{W/mK}]$$

Waarin:

- L = de lengte van de koudebrug
- $U_1 \times A_1$ = de warmtestroom door de constructie met de koudebrug
- $U_2 \times A_2$ = de warmtestroom door de constructie zonder de koudebrug, in dit geval dus de wand

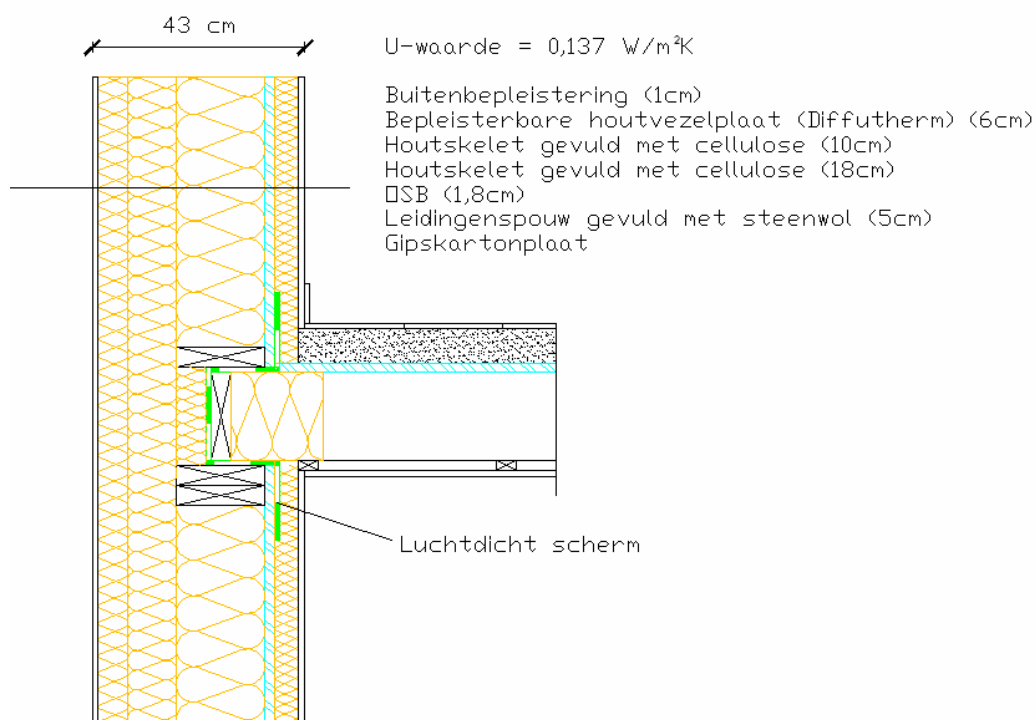
Ook hier moet met de buitenafmetingen gerekend worden.

In de volgende paragrafen worden de constructiedetails voor de aansluiting tussen een buitenwand en een verdiepingsvloer uitgewerkt en besproken. Deze worden onderverdeeld op basis van de gevelafwerking.

7.4.3 Wand met gevelbepleistering

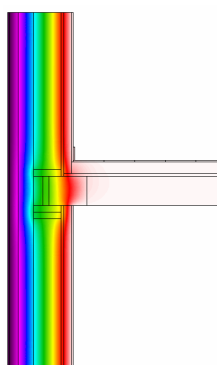
Voor dit type gevelafwerking wordt enkel wandopbouw 2 van de in hoofdstuk 6 ontworpen wandopbouwen beschouwd. Deze wandopbouw bestaat uit twee houtskeletten waardoor, bij de toepassing van de platformmethode, alleen het binnenste onderbroken hoeft te worden. Hierop wordt de verdiepingsvloer opgelegd zodat enkel dit skelet als dragend moet beschouwd worden. Het buitenste skelet kan doorlopen zodat de koudebrug in deze aansluiting beperkt blijft.

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met pleister en een verdiepingsvloer bij toepassing van de platformmethode. De verdiepingsvloer wordt tot in het midden van het dragend skelet opgelegd.



Het is noodzakelijk om langs de binnenzijde van de randbalk isolatie aan te brengen tussen de vloerbalken. De ruimte die ontstaat aan de buitenzijde van de randbalk, door de balken slechts gedeeltelijk op te leggen, wordt mee opgevuld door het inblazen van de cellulose.

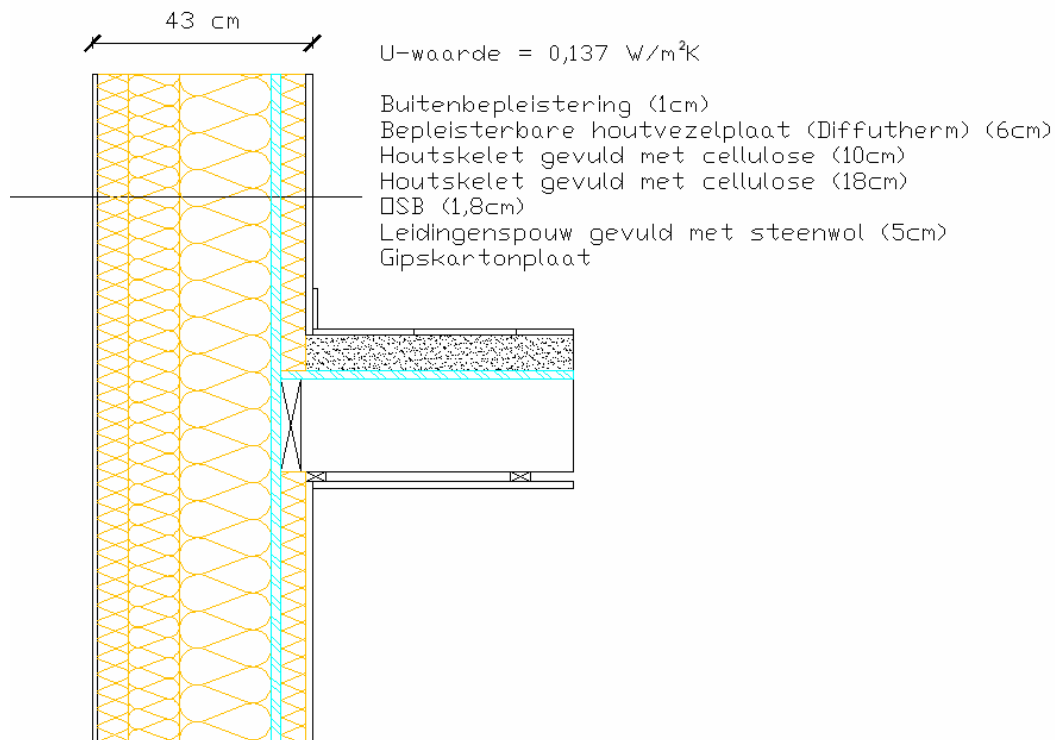
Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,1016	2,180
wand	0,0939	2,180
ψ =		0,0168

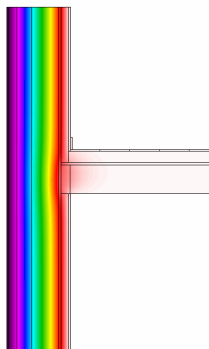
De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt bedraagt 0,0168 W/mK en is daarmee groter dan de streefwaarde van 0,01 W/mK. Uit berekeningen blijkt echter dat deze waarde zeer moeilijk bereikt kan worden. Dit betekent dat bij de berekening van het totale warmteverlies doorheen de gebouwschil rekening moet gehouden worden met deze koudebrug.

Wanneer de ballonmethode wordt toegepast gebeurt de aansluiting zoals weergegeven op onderstaande tekening.



De OSB platen kunnen gewoon doorlopen van de fundering tot het dak waardoor er geen problemen ontstaan met de luchtdichting en damprem. De bevestiging van de verdiepingsvloer kwam reeds in hoofdstuk 3 aan bod. Een meer eenvoudige methode bestaat erin de vloerbalken gewoon op de tegen het houtskelet bevestigde balk te leggen. Dit heeft wel een grotere onderbreking van de geïsoleerde leidingenspouw tot gevolg.

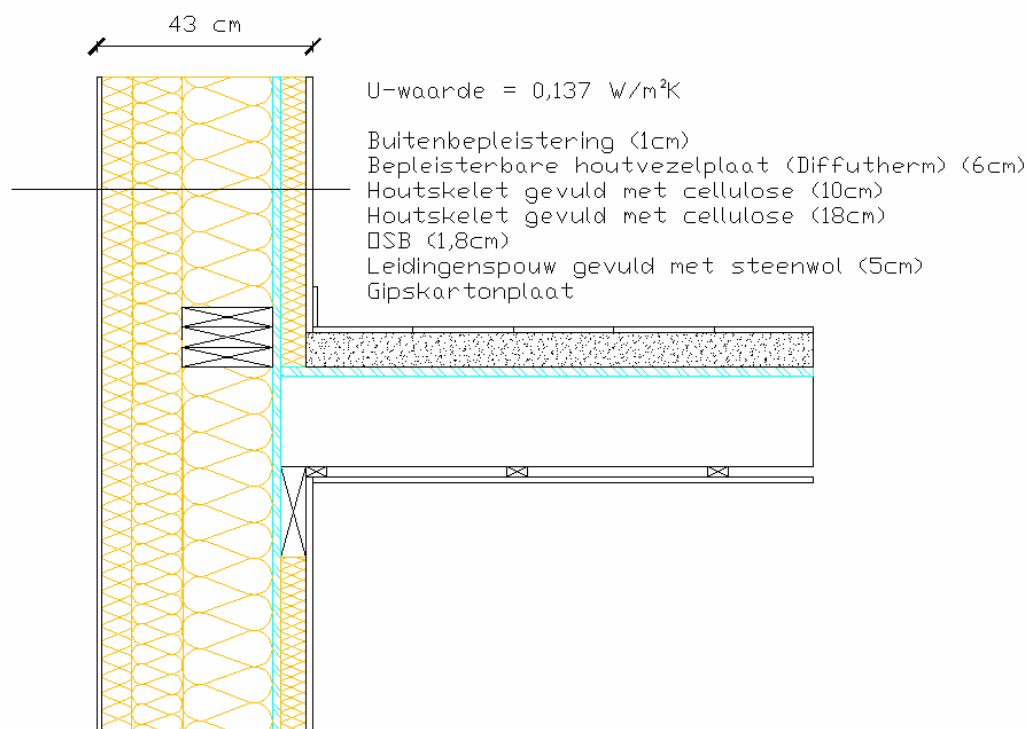
Resultaten Therm:



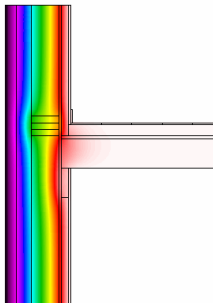
Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0980	2,180
wand	0,0939	2,180
ψ =		0,0089

Er is duidelijk een verschil merkbaar met het isothermenverloop van de platformmethode ter plaatse van de verdiepingsvloer. Deze wijken in dit geval immers nauwelijks van hun normale patroon af wat betekend dat de koudebrug zeer beperkt is. Dit blijkt ook uit de berekening van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt. Door de toepassing van de ballonmethode wordt de streefwaarde van 0,01 W/mK wel bereikt, zonder extra isolatie te moeten plaatsen.

Wanneer de platform- en ballonmethode gecombineerd worden ontstaat het constructiedetail zoals weergegeven op onderstaande tekening. De voordelen van beide methodes kunnen nu benut worden. De verdiepingvloer wordt aan het onderste dragende skelet bevestigd vooraleer het bovenste skelet geplaatst wordt. Op die manier ontstaat een werkplatform, dat de werkzaamheden vergemakkelijkt. Daarnaast blijven de afmetingen van beide elementen beperkt zodat prefabricage mogelijk blijft. Door vervolgens het tweede skelet bovenop het eerste te plaatsen kan de luchtdichting net als bij de ballonmethode gewoon doorlopen.



De bevestiging van de verdiepingvloer gebeurt best net onder de bovenzijde van het onderste wandelement. Op die manier kunnen de luchtdichte lagen van beide elementen, OSB platen in dit geval, achteraf makkelijk afgetaped worden. De vloerbalken kunnen ook, zoals bij de toepassing van de ballonmethode in voorgaande tekening werd voorgesteld, tegen de zijkant van de balk bevestigd worden.

Resultaten Therm:

Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,1035	2,180
wand	0,0939	2,180
ψ =		0,0209

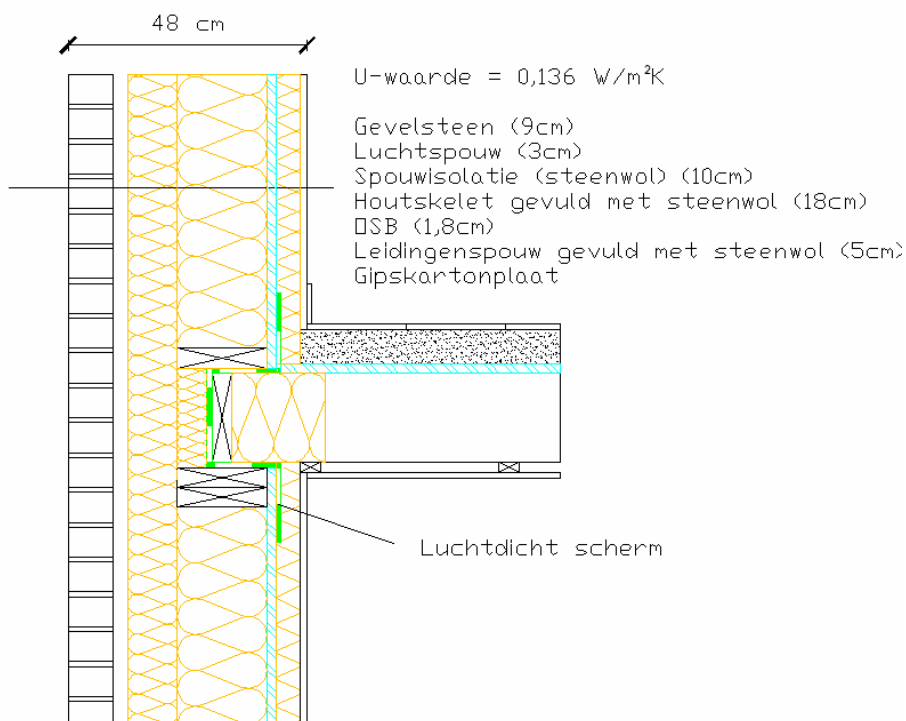
Door de drie boven elkaar liggende houtsecties is de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt groter dan bij de toepassing van de platformmethode. Er zal dus rekening moeten gehouden worden met het extra warmteverlies doorheen deze koudebrug.

Voor de hierna volgende constructiedetails zal enkel de platformmethode nog beschouwd worden om herhaling te vermijden. De toepassing van de ballonmethode heeft immers geen invloed op de rest van de constructie en kan bij elke wandopbouw toegepast worden.

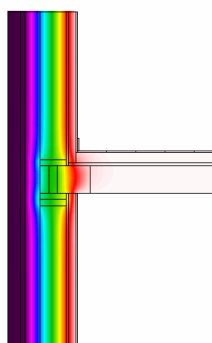
7.4.4 Wand met gevelsteen

Voor dit type gevelafwerking wordt enkel wandopbouw 1 van de in hoofdstuk 6 ontworpen wandopbouwen beschouwd. Aan de buitenzijde van het houtskelet is in deze opbouw een homogene laag spouwisolatie voorzien. Deze laag hoeft niet onderbroken te worden ter plaatse van de oplegging van de verdiepingsvloer waardoor de koudebrug beperkt blijft. De spouwisolatie wordt met behulp van de spouwankers, welke noodzakelijk zijn voor de verankering van het gevelmetselwerk, aan het houtskelet bevestigd. Indien de spouwisolatie aan de buitenzijde niet voorzien is van een waterafstotende laag dient een waterdichte maar dampopen folie aangebracht te worden.

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met gevelsteen en een verdiepingsvloer bij toepassing van de platformmethode. De verdiepingsvloer wordt ook hier tot in het midden van het dragend skelet opgelegd.



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,1104	2,180
wand	0,1043	2,180
ψ =		0,0133

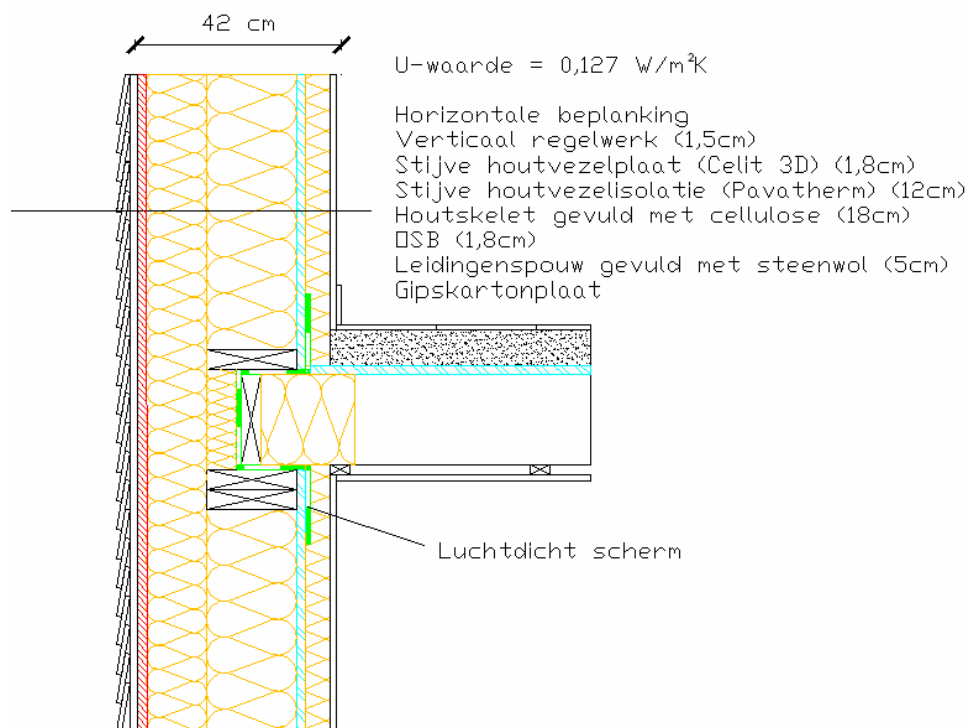
Het isothermenverloop is gelijkaardig aan dit van het vorige constructiedetail waarbij de platformmethode werd toegepast. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt daarentegen is iets kleiner maar overschrijdt ook hier de streefwaarde van 0,01 W/mK.

Indien het houtskelet met cellulose wordt ingeblazen moet aan de buitenzijde ervan een stijve en dampopen houtvezelplaat worden bevestigd, zoals besproken werd in hoofdstuk 6. De spouwisolatie, in dit geval steenwol, is immers onvoldoende stijf. Dit heeft noch op de

aansluiting noch op de thermische prestatie van het constructiedetail weinig invloed. De kostprijs zal ten gevolge van de noodzakelijke houtvezelplaat wel sterk toenemen. Zoals in hoofdstuk 6 werd besproken is het vervangen van het plaatmateriaal door een stevige folie (om cellulose te kunnen inblazen) echter geen aan te raden optie.

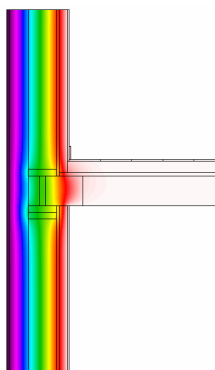
7.4.5 Wand met houten beplanking

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een verdiepingvloer bij toepassing van de platformmethode. De verdiepingvloer wordt ook hier tot in het midden van het dragend skelet opgelegd.



De homogene laag houtvezelisolatie aan de buitenzijde hoeft niet onderbroken te worden zodat de koudebrug gereduceerd wordt. Zoals in hoofdstuk 6 reeds vermeld werd kan de stijve houtvezelplaat aan de buitenzijde vervangen worden door een folie om de kostprijs te reduceren.

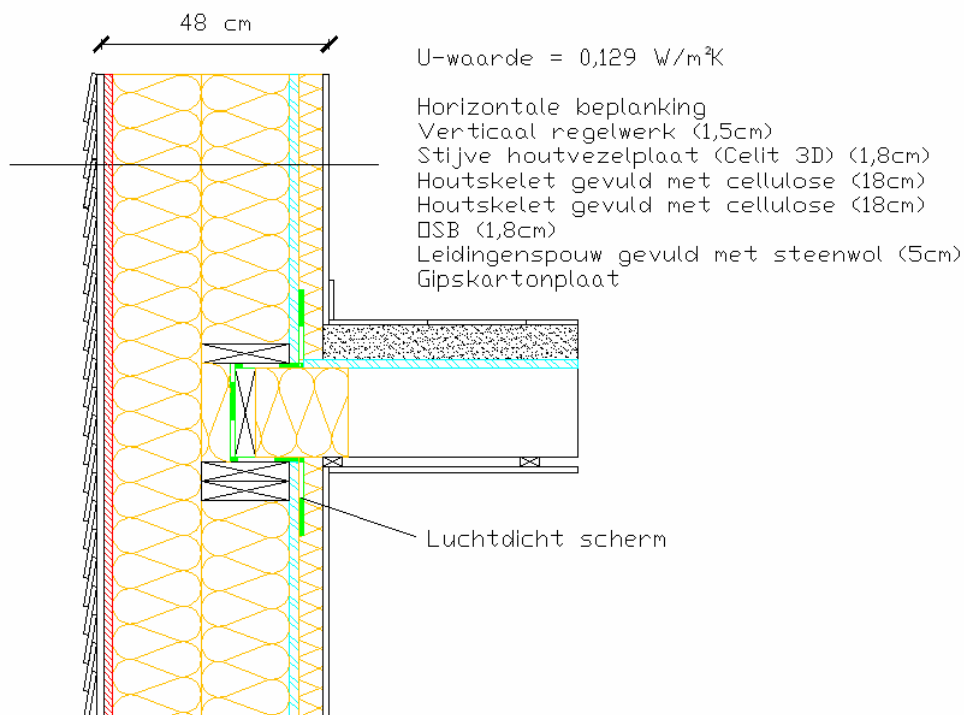
Resultaten Therm:



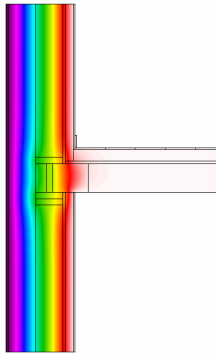
Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,1047	2,180
wand	0,1002	2,180
ψ =		0,0098

Uit de berekening blijkt dat de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt in dit constructiedetail wel kleiner blijft dan de streefwaarde van 0,01 W/mK.

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een verdiepingsvloer bij toepassing van de platformmethode. De verdiepingsvloer wordt ook hier tot in het midden van het dragend skelet opgelegd.



Om in deze aansluiting de koudebrug te beperken kan het buitenste houtskelet opnieuw doorlopen. Aan de buitenzijde is de stijve houtvezelplaat in dit geval wel vereist voor het inblazen van cellulose.

Resultaten Therm:

Aansluiting buitenwand - verdiepingsvloer		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0909	2,180
wand	0,0819	2,180
ψ =		0,0196

De streefwaarde van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt wordt opnieuw niet bereikt waardoor rekening moet gehouden worden met het extra warmteverlies.

7.4.6 Algemene opbouwvolgorde

Voor de toepassing van de platformmethode wordt volgende algemene opbouwvolgorde voorgesteld:

1. De onderste dragende wandelementen worden geplaatst, inclusief de stijve beplating aan de binnenzijde. In dit werk wordt gebruik gemaakt van OSB platen welke ook de functie van luchtdichte en dampremmende laag vervullen. Bovenaan worden deze elementen verbonden met behulp van een koppelregel.
2. Er wordt reeds een luchtdicht maar dampopen scherm aangebracht bovenop de elementen. Dit scherm dient voldoende breed te zijn zodat het in een latere fase rechtstreeks met de luchtdichte lagen van beide wandelementen verbonden kan worden. Alvorens de binnenwanden van de onderste verdieping worden geplaatst moet dit scherm luchtdicht worden afgetaped op de luchtdichtingslaag van de buitenwanden. Ter plaatse van deze binnenwanden is dit achteraf immers niet meer mogelijk.
3. De draagbalken van de verdiepingsvloer worden geplaatst en aan de buitenzijde verbonden met behulp van de randbalk. De liggers worden tot ongeveer in het midden van het dragende houtskelet opgelegd.
4. De liggers worden aan de bovenzijde voorzien van een beloopbaar plaatmateriaal, bijvoorbeeld OSB. Zo ontstaat een werkplatform dat de verdere werkzaamheden vergemakkelijkt.

5. De bovenste dragende wandelementen kunnen geplaatst worden, inclusief de stijve beplating aan de binnenzijde. Bovenaan wordt opnieuw een koppelregel voorzien die zorgt voor de verbinding van de elementen. Voor de wandelementen geplaatst worden moet het luchtdicht scherm omgeplooid worden.
6. Het luchtdichte scherm wordt opnieuw afgetaped op de luchtdichtingslaag van de buitenwanden alvorens de binnenwanden geplaatst worden.
7. Om de draagstructuur niet te lang bloot te stellen aan de weersinvloeden moet de wind- en regendichting aan de buitenzijde zo snel mogelijk aangebracht worden. Deze is echter afhankelijk van de toegepaste buitenafwerking en het isolatiemateriaal.

Indien een gevelbepleistering wordt aangebracht op een bepleisterbare houtvezelplaat vervult de pleister de functie van wind- en waterdichte laag. Deze kan echter pas in een latere fase worden aangebracht. De bepleisterbare houtvezelplaten kunnen echter maar zes weken onbeschermd worden gelaten. Wanneer deze termijn overschreden wordt dienen de platen tijdelijk beschermd te worden door bijvoorbeeld een onderdakfolie. Het houtskelet moet gevuld worden met isolatie ofwel voor het aanbrengen van de houtvezelplaten, indien een flexibel plaatmateriaal wordt gebruikt, ofwel achteraf indien de isolatie wordt ingeblazen.

Wanneer de buitenafwerking bestaat uit gevelmetselwerk kan deze best zo snel mogelijk geplaatst worden. Dit om de spouwisolatie en isolatie in het skelet, waarvoor in dit werk steenwol verondersteld wordt, niet langdurig bloot te stellen aan de weersinvloeden.

In het laatste geval, voor een houten beplanking als gevelafwerking, is aan de buitenzijde van het skelet een wind- en waterdichte folie of plaatmateriaal noodzakelijk, afhankelijk van het toegepaste isolatiemateriaal. Indien flexibele isolatieplaten worden gebruikt dient het isoleren vooraf te gebeuren. Bij het inblazen van isolatie kan dit achteraf gebeuren.

8. Na de ruwbouwfase worden de luchtdichtingswerken uitgevoerd. Hierbij dienen alle naden tussen de OSB platen met luchtdichte tape afgekleefd te worden. Deze luchtdichtingswerken gebeuren enerzijds best in één keer en zo laat mogelijk om

beschadiging tijdens de werken te vermijden. Anderzijds moeten deze vroeg genoeg worden uitgevoerd zodat eventuele lekken eenvoudig bereikbaar zijn.

9. Het regelwerk van de leidingenspouw wordt aan de binnenzijde van het houtskelet aangebracht. Hierna kunnen alle leidingen geplaatst worden. Alle doorvoeren die de luchtdichte laag onderbreken dienen luchtdicht afgetaped te worden.
10. Nadat alle leidingen zijn geplaatst wordt de luchtdichtheidstest uitgevoerd. Dit dient te gebeuren voor de binnenafwerkingen starten zodat eventuele lekken makkelijk opgespoord en gecorrigeerd kunnen worden.
11. De leidingenspouwen worden opgevuld met isolatiemateriaal waarna de binnenafwerking kan gebeuren. Vooraleer de afwerking aan de onderzijde van de verdiepingsvloer wordt aangebracht dient isolatiemateriaal geplaatst te worden aan de binnenzijde van de randbalk.

Indien de balloonmethode wordt toegepast vervallen stap 1 tot en met stap 7. De wandelementen, welke doorlopen van fundering tot dak, worden dan in één keer geplaatst. Vervolgens wordt de verdiepingsvloer bevestigd en voorzien van een plaatmateriaal. Er hoeven geen speciale luchtdichtingswerken te gebeuren. De rest van de opbouw verloopt identiek als de platformmethode.

Wanneer beide methodes gecombineerd worden, worden eerst de onderste wandelementen geplaatst. Vervolgens wordt de verdiepingsvloer bevestigd aan deze element en voorzien van een beloopbaar plaatmateriaal. Tenslotte worden de bovenste wandelementen geplaatst waarna de opbouwvolgorde van de platformmethode opnieuw kan gevolgd worden. Ook hier moeten geen extra luchtdichtingswerken worden uitgevoerd.

7.5 Aansluiting buitenwand - hellend dak

In hoofdstuk 6 werden reeds de voornaamste types hellende dakstructuren toegelicht. De types die voor de detaillering worden beschouwd zijn het spantendak en het gordingendak. Zoals in hoofdstuk 6 ook reeds werd opgemerkt is het gebruik van TJI- of FJI-liggers aan te raden bij de toepassing van een spantendak.

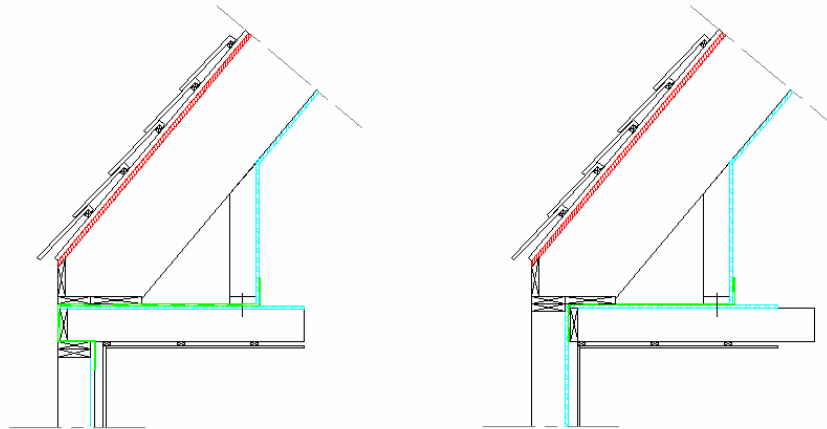
7.5.1 Spantendak

Omdat bij een spantendak spatkrachten moeten opgenomen worden zal er in dit werk steeds een tussenvloer voorzien worden ter hoogte van de aansluiting tussen de buitenwand en het hellende dak. De draagbalken van deze vloer vervullen dan de functie van trekbalken. Koudebruggen ten gevolge van een zware, houten ringbalk worden op die manier vermeden.

Een aansluiting tussen spanten en tussenvloer zoals op Figuur 6.3 wordt weergegeven is niet mogelijk omwille van de luchtdichte lagen van wand en dak die moeilijk verbonden kunnen worden. Hierdoor zijn er, net als bij de aansluiting tussen een buitenwand en een verdiepingsvloer, twee methodes voor het plaatsen van de tussenvloer, namelijk de platform- en de balloonmethode. Voor meer uitleg omtrent deze methodes wordt verwezen naar paragraaf 7.4. Indien de balloonmethode wordt toegepast moet voor de bevestiging van de tussenvloer wel rekening gehouden worden met de op te nemen spatkrachten.

Zoals in Figuur 6.3 ook wordt weergegeven kan er een verticale stijl geplaatst worden op een bepaalde afstand uit de hoek. Enerzijds vergemakkelijken deze stijlen de afwerking in de hoek. Anderzijds hebben deze ook een invloed op de krachtsoverdracht. Er wordt immers een driehoek gevormd onderaan de spanten waardoor de spatkrachten beter verdeeld worden en niet op één plaats op de tussenvloer worden overgedragen.

Door de toepassing van deze constructie ontstaan echter problemen op vlak van de luchtdichting. De luchtdichte laag onderaan de spanten wordt immers door elke verticale stijl onderbroken. Al deze onderbrekingen dienen achteraf luchtdicht afgetaped te worden waardoor de kans op lekken sterk toeneemt. Een mogelijke oplossing hiervoor wordt in Figuur 7.6 weergegeven voor zowel de platformmethode (links) als de balloonmethode (rechts).



Figuur 7.6: Luchtdichting bij de toepassing van een spantendak met onderaan verticale stijlen

Het luchtdichte scherm dat rondom de tussenvloer wordt geplaatst, loopt door tot voorbij de verticale stijlen. Hier wordt het scherm luchtdicht afgetaped op de luchtdichting van het dak. De ruimtes tussen de spanten worden in dit geval beter niet ingeblazen met cellulose omdat dan ook de ruimte achter deze stijlen wordt volgeblazen.

In de uitgewerkte details worden deze verticale stijlen niet getekend. Of deze in een specifieke constructie noodzakelijk zijn moet volgen uit een stabiliteitsstudie. Indien dit het geval is kunnen deze op de hierboven beschreven manieren worden toegepast. Bovendien wordt enkel de platformmethode toegepast op de constructiedetails. Dit om herhaling van alle details te voorkomen. De ballonmethode kan uiteraard wel voor elk detail praktisch worden aangewend.

7.5.2 Gordingendak

Wanneer een gordingendak wordt toegepast moeten er geen spatkrachten opgenomen worden. Daarom wordt er in dit werk geen tussenvloer voorzien ter hoogte van de aansluiting met de wand. Indien er toch een tussenvloer geplaatst wordt ter hoogte van de aansluiting met de wand wordt de luchtdichting uitgevoerd volgens de methodes die in vorige paragraaf werden besproken.

7.5.3 Dakoversteek

Vaak wordt bij passiefhuizen een dakoversteek voorzien die dienst doet als vaste zonwering. Daarnaast beschermt een dakoversteek de gevels tegen slagregen waardoor regendoorslag vermeden of beperkt wordt. Vooral voor gevels met gevelbeplanking kan dit belangrijk zijn, afhankelijk van het type beplanking.

De meest toegepaste uitvoering van een dakoversteek is het laten doorlopen van de spanten of kepers van de aanwezige dakstructuur. Het is echter belangrijk dat de wind- en regendichting van de wand- en dakopbouw goed op elkaar kunnen aansluiten. Ter plaatse van de doorlopende spanten of kepers zal deze dichting telkens onderbroken en afgedicht moeten worden, waardoor de kans op lekken toeneemt. Daarom zal, in de aansluitingen tussen buitenwand en hellend dak die in dit werk beschouwd worden, indien mogelijk een aparte dakoversteek aan de wand bevestigd worden, onafhankelijk van de dakstructuur. De specifieke uitwerking is afhankelijk van de wandopbouw en zal voor elk detail afzonderlijk worden toegelicht. Een bijkomend voordeel van deze methode is het vermijden van koudebruggen ten gevolge van een uitstekende dakstructuur [SULP,2004].

In dit werk wordt steeds een stijve houtvezelplaat aangewend als onderdak. Zowel de voordelen hiervan als de mogelijke alternatieven werden in hoofdstuk 5 beschreven. Het belangrijkste nadeel is de kostprijs, welke in tabel 5-5 werd opgenomen.

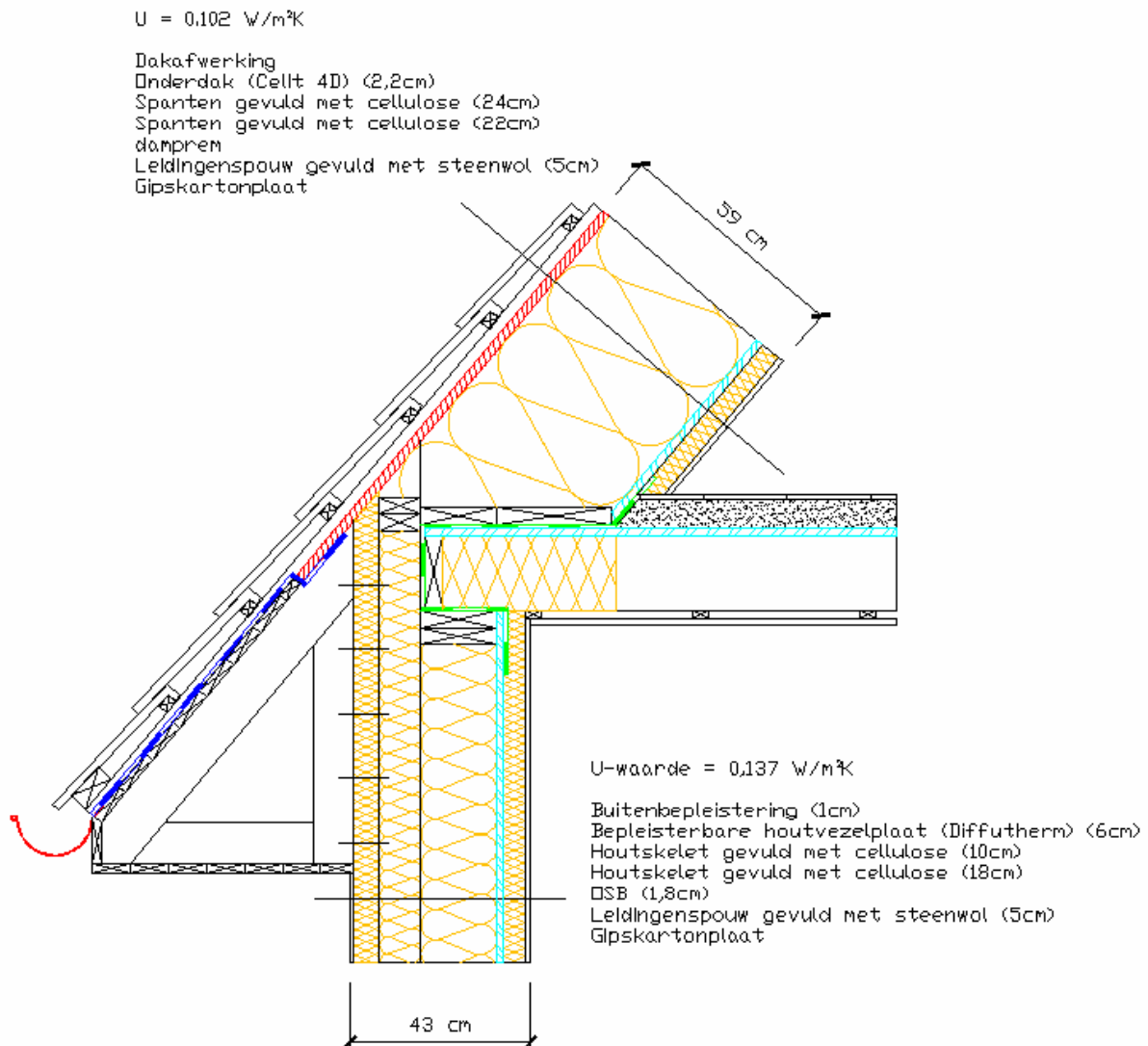
Onderaan de dakoversteek is de afwerking afhankelijk van de bevestigingsmethode van de goot. In dit werk wordt onderaan de oversteek een beplanking voorzien. Over deze beplanking wordt een waterdichte folie aangebracht die bovenaan onder het eigenlijke onderdak bevestigd wordt en onderaan tot net aan de goot wordt geplaatst. Op die manier wordt water, dat door de dakafwerking op het onderdak terecht komt, naar de goot afgeleid. Aangezien de specifieke eigenschappen van het onderdak niet vereist zijn boven de dakoversteek kan de beplanking over de ganse oversteek doorlopen. Dit is uiteraard niet noodzakelijk.

De constructiedetails die in volgende paragrafen worden uitgewerkt zijn opnieuw onderverdeeld op basis van de gevelafwerking. De koudebrugberekeningen worden uitgevoerd zoals eerder beschreven in paragraaf 7.2.

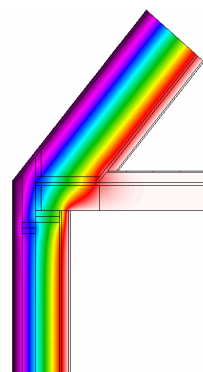
7.5.4 Wand met gevelbepleistering

Voor dit type gevelafwerking wordt enkel wandopbouw 2 van de in hoofdstuk 6 ontworpen wandopbouwen beschouwd. Deze wandopbouw bestaat uit twee houtskeletten waardoor, bij de toepassing van de platformmethode alleen het binnenste onderbroken hoeft te worden. Hierop wordt de verdiepingsvloer opgelegd zodat enkel dit skelet als dragend moet beschouwd worden. Door de aanwezigheid van een tweede houtskelet is het mogelijk de dakoversteek voor zowel een spanten- als een gordingendak aan de wand te bevestigen. De bepleisterbare houtvezelplaat kan hierdoor ononderbroken doorlopen tot tegen het onderdak. Deze aansluiting moet worden afgekleefd om de winddichtheid te garanderen.

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met pleister en een spantendak volgens dakopbouw 1.



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - hellend dak		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0846	2,922
wand	0,0939	1,362
hellend dak	0,0713	1,560
ψ =		0,0081

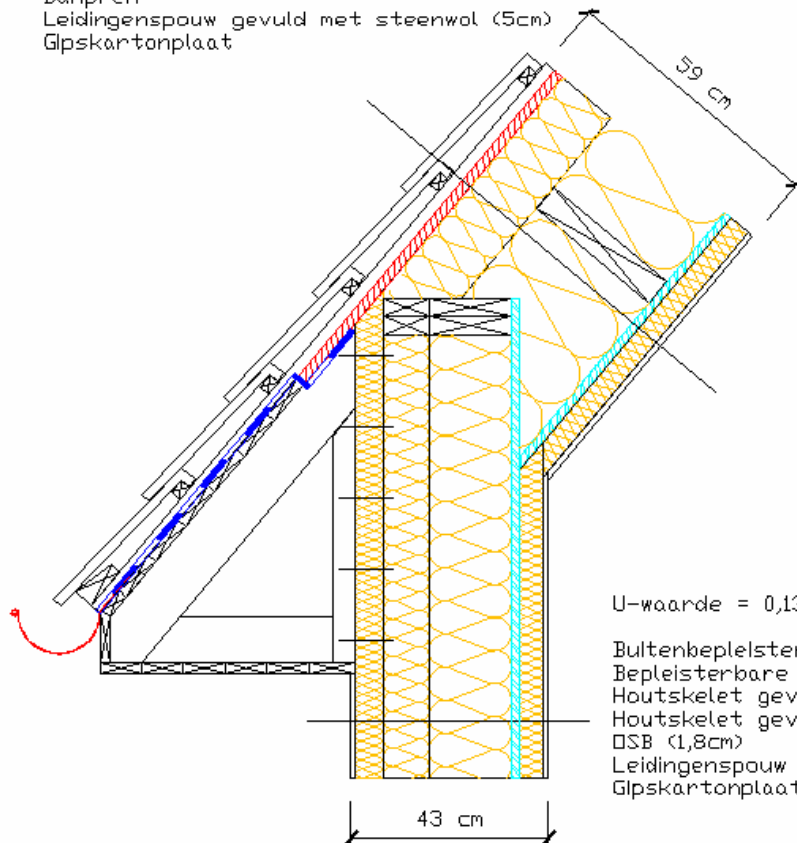
De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voldoet aan de streefwaarde van 0,01 W/mK wat betekend dat het extra warmteverlies door deze aansluiting beperkt zal zijn.

Het voornaamste warmteverlies in deze aansluiting zal plaatsvinden via de doorlopende houtsectie onderaan de spanten. Dit is af te leiden uit het afwijkende patroon van de isothermen op deze plaats.

Wanneer een gordingendak wordt toegepast moeten er geen spatkrachten opgenomen worden. Het is dus ook niet noodzakelijk een tussenvloer te voorzien ter plaatse van de aansluiting met de buitenwand. Onderstaande tekening toont de aansluiting tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met pleister en een gordingendak volgens dakopbouw 3.

U-waarde = 0,105 W/m²K

Dakafwerking
Onderdak (Celit 4D) (2,2cm)
Kepers gevuld met cellulose (14cm)
Gordingen gevuld met cellulose (32cm)
Damprem
Leidingenspouw gevuld met steenwol (5cm)
Gipskartonplaat



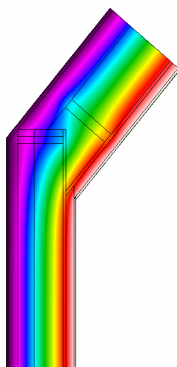
U-waarde = 0,137 W/m²K

Buitenbepleistering (1cm)
Bepleisterbare houtvezelplaat (Diffutherm) (6cm)
Houtskelet gevuld met cellulose (10cm)
Houtskelet gevuld met cellulose (18cm)
OSB (1,8cm)
Leidingenspouw gevuld met steenwol (5cm)
Gipskartonplaat

De luchtdichting wordt hier gerealiseerd door de aansluiting van de luchtdichte lagen van wand en dak onderling af te tapen.

Indien toch een verdiepingsvloer wordt voorzien ter hoogte van deze aansluiting is het aan te raden de dakafwerking gewoon schuin te laten doorlopen tot in de hoek. De constructie met verticale stijlen die eerder werd voorgesteld is immers niet meer mogelijk omdat deze stijlen bovenaan moeilijk bevestigd kunnen worden aan de dakstructuur.

Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - hellend dak		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0828	2,362
wand	0,0939	1,362
hellend dak	0,0779	1,000
ψ =		-0,0102

Bovenstaand isothermenverloop is veel regelmatiger dan bij de aansluiting met het spantendak. Ook de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is veel kleiner in vergelijking met voorgaand constructiedetail. Dit is te wijten aan het ontbreken van doorlopende houtsecties in dit geval.

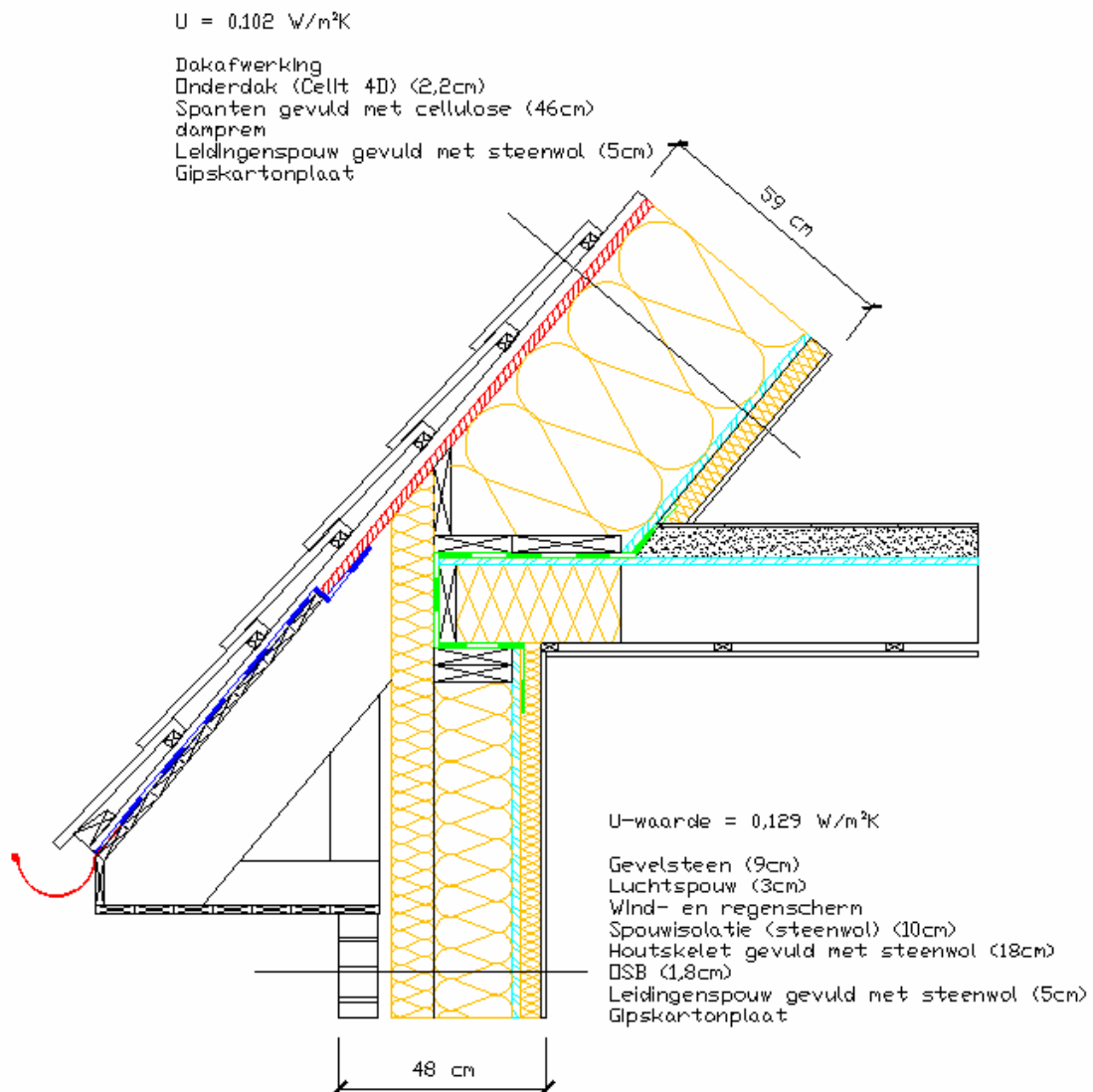
De koudebrug in de aansluiting tussen een wand en een gordingendak zal steeds beperkter zijn dan in het geval van een spantendak. Daarom wordt bij de volgende constructiedetails voor een gordingendak geen berekening meer uitgevoerd van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt, op voorwaarde dat in het geval van een spantendak voldaan is aan de streefwaarde van 0,01 W/mK.

7.5.5 Wand met gevelsteen

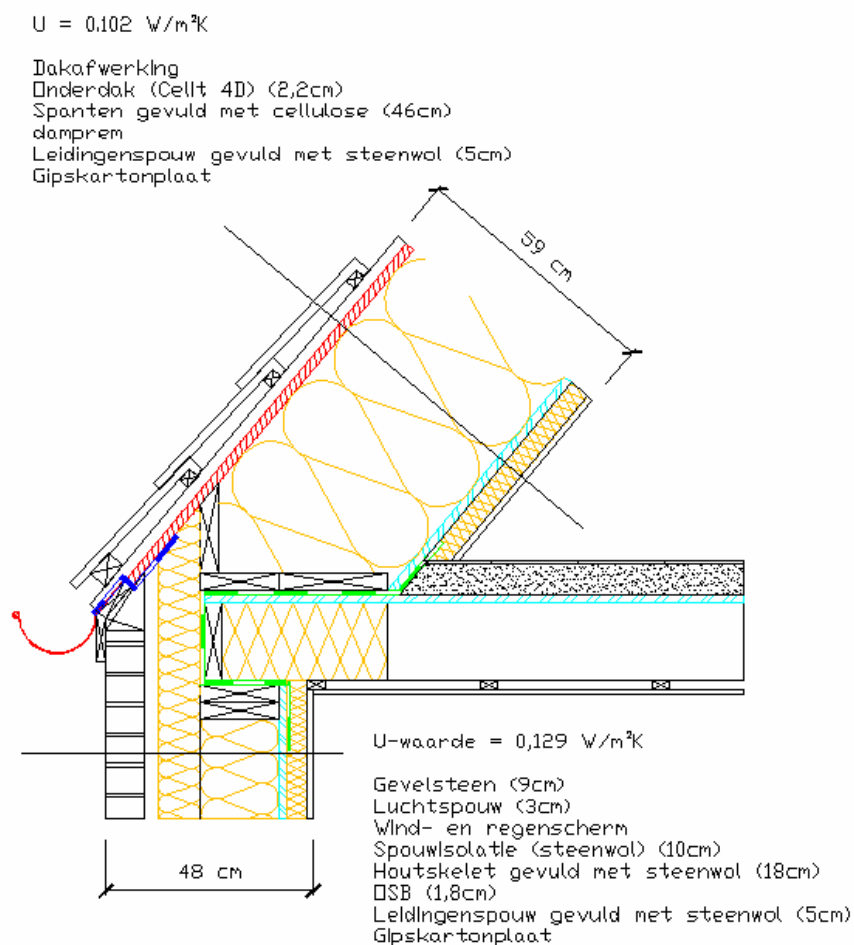
Voor dit type gevelafwerking wordt enkel wandopbouw 1 van de in hoofdstuk 6 ontworpen wandopbouwen beschouwd. Aan de buitenzijde van het houtskelet is in deze opbouw een homogene laag spouwisolatie voorzien. Hierdoor wordt geen onafhankelijke dakoversteek bevestigd aan de wand. Deze zou isolatie en bijhorende wind- en regendichting aan de spouwzijde immers ook onderbreken. Indien er dus een dakoversteek gewenst is, wordt deze best gerealiseerd door de kepers of spanten te laten uitsteken. Zowel de spouwisolatie als het wind- en regenscherm worden hiertussen aangebracht en aan de randen afgekleefd. Ook de aansluiting met het onderdak dient afgekleefd te worden.

Doordat de spouwisolatie meestal bestaat uit zachte platen moet, om cellulose in het dak te kunnen inblazen, tussen de spanten of kepers onderaan een verticale houtsectie aangebracht worden die de ruimte tussen onderdak en vloerbalken afsluit.

Onderstaande tekening toont het aansluitingsdetail tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met gevelsteen en een spantendak volgens dakopbouw 1.

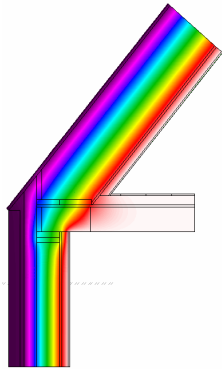


De makkelijkste oplossing omtrent de dakoversteek is uiteraard het weglaten ervan, zoals weergegeven op volgende tekening. Ook hier dient het wind- en regenscherm langs de spouwzijde afgetaped te worden tegen het onderdak.



Bovenop het gevelmetselwerk dient een houten balk of dergelijke geplaatst te worden waaraan de goot bevestigd kan worden. De luchtdichting kan op dezelfde manier gebeuren als bij de vorige aansluitingen met een spantendak.

Indien de spanten doorlopen veroorzaken deze koudebruggen. Dit effect heeft echter geen invloed op de koudebrugberekening die in dit werk wordt uitgevoerd aangezien deze tweedimensionaal is.

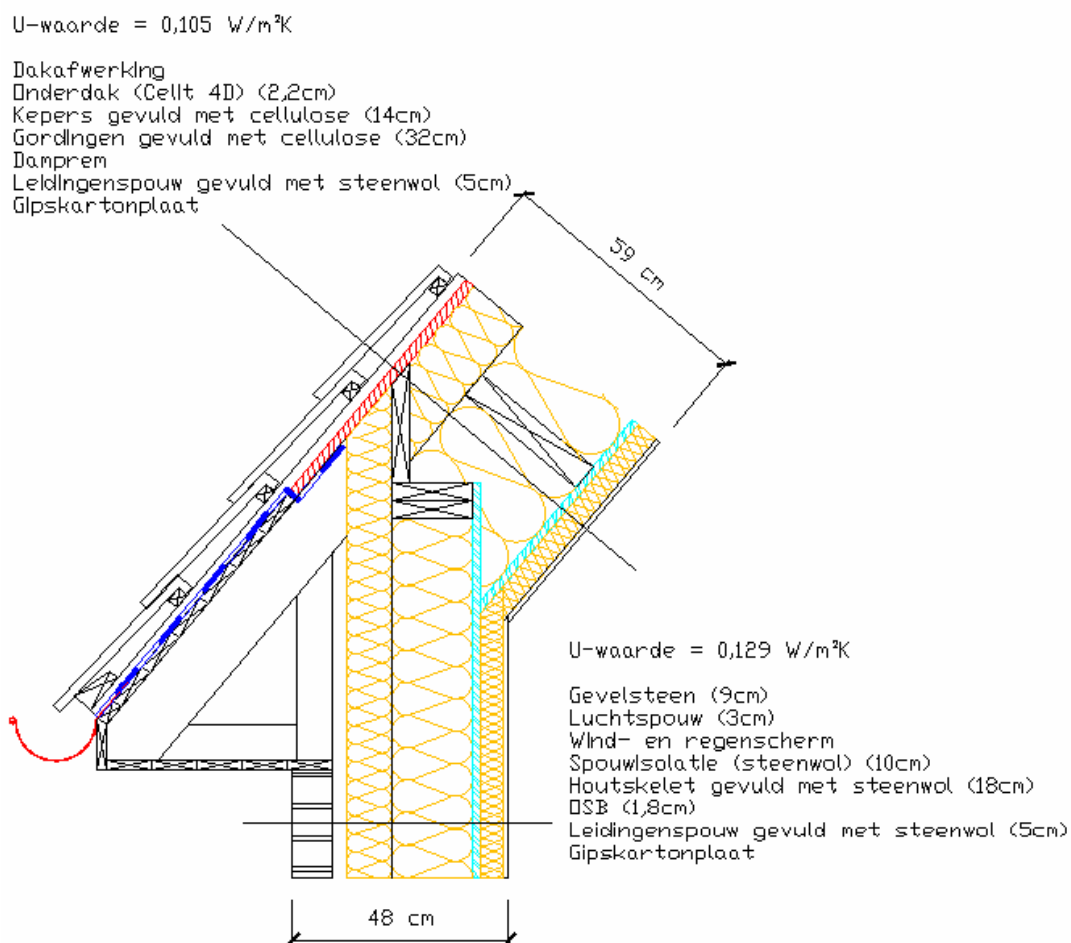
Resultaten Therm:

Aansluiting buitenwand - hellend dak		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0828	3,160
wand	0,1043	1,168
hellend dak	0,0713	1,983
ψ =		-0,0016

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is negatief waardoor er zeker voldaan is aan de streefwaarde.

Zoals in hoofdstuk 6 vermeld werd bij het ontwerp van deze wandopbouw is het mogelijk cellulose in te blazen in het houtskelet van de wand. Er moet dan een stijve maar dampopen houtvezelplaat aan de buitenzijde bevestigd te worden. Dit heeft weinig invloed op de thermische prestaties van deze constructiedetails en wordt daarom niet beschouwd voor deze aansluitingen.

Onderstaande tekening toont de aansluiting tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met gevelsteen en een gordingendak volgens dakopbouw 3.

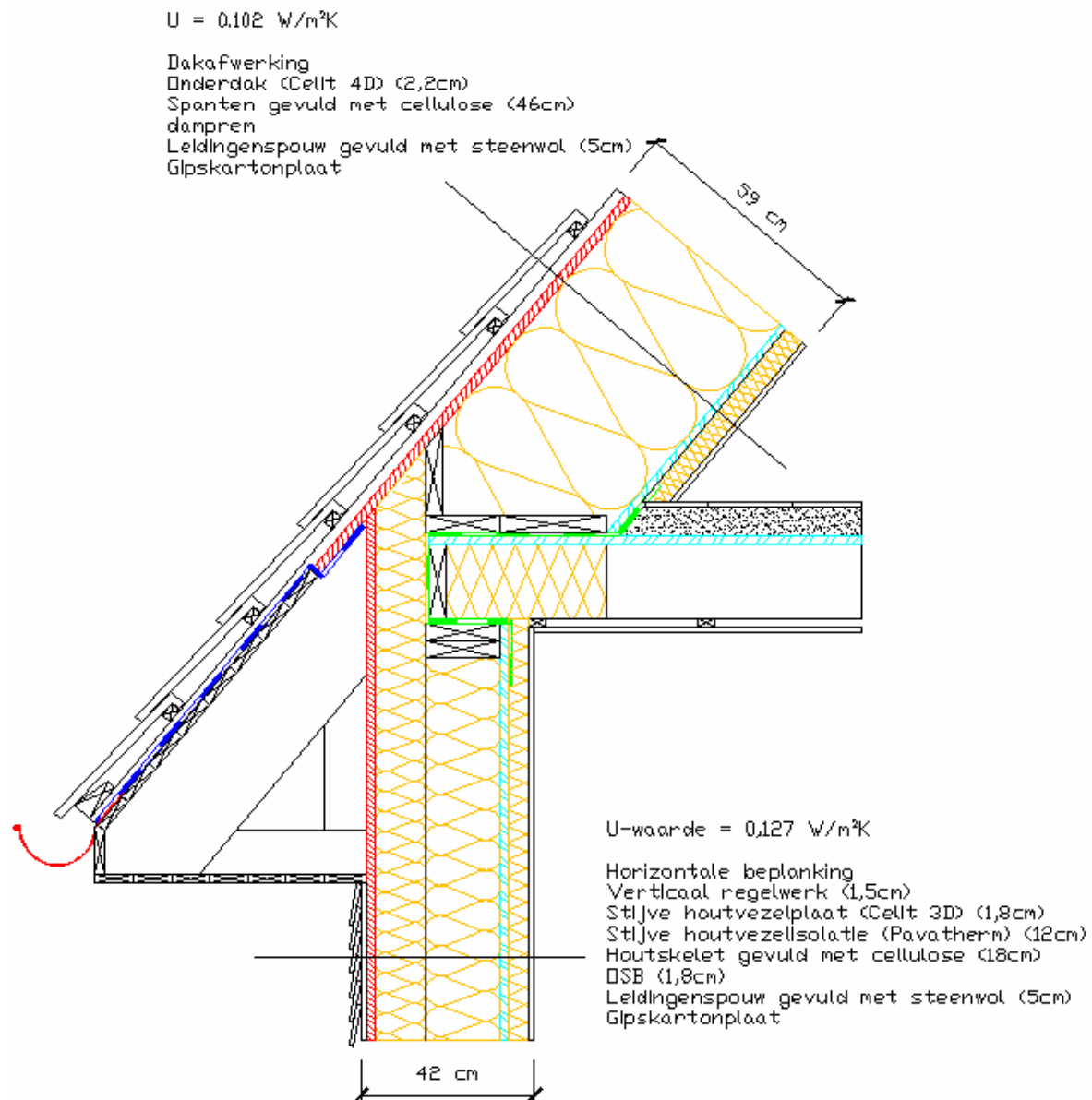


Omdat voor de aansluiting tussen deze wandopbouw en het spantendak, die hiervoor werd beschouwd, voldaan is aan de streefwaarde van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt zal er voor dit constructiedetail geen koudebrugberekening worden uitgevoerd. Op basis van voorgaande resultaten kan immers gesteld worden dat ook voor deze aansluiting hieraan voldaan zal zijn.

7.5.6 Wand met houten beplanking

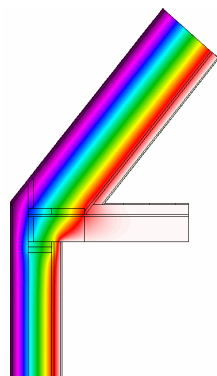
In deze aansluitingen moet de houten gevelafwerking op voldoende afstand van de onderzijde van dakoversteek geplaatst worden. De gecreëerde opening moet immers ventilatie van de luchtspouw achter de bekleding mogelijk maken. De exacte tussenafstand is afhankelijk van het type afwerking en wordt meestal door de producent opgegeven.

Onderstaande tekening toont de aansluiting tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een spantendak volgens dakopbouw 1.



Net als bij de wandopbouw met gevelmetselwerk is het niet mogelijk een dakoversteek onafhankelijk van het dak aan de wand te voorzien. Er is immers geen tweede houtskelet aan de buitenzijde waaraan deze bevestigd kan worden. De houtvezelplaat aan de buitenzijde die de functie van wind- en regenscherm vervult zal dus ter plaatse van elke doorlopende spant onderbroken en nadien afgekleefd moeten worden. Ook de houtvezelisolatie moet telkens onderbroken worden.

In tegenstelling tot de vorige wandopbouw met gevelmetselwerk is het voor deze aansluiting ook zeer moeilijk om de dakoversteek weg te laten omdat dit voor problemen zorgt met de bevestiging van de goot. Aangezien de gevels afgewerkt zijn met een beplanking is een dakoversteek ook steeds aan te raden omdat deze bescherming biedt tegen slagregen.

Resultaten Therm:

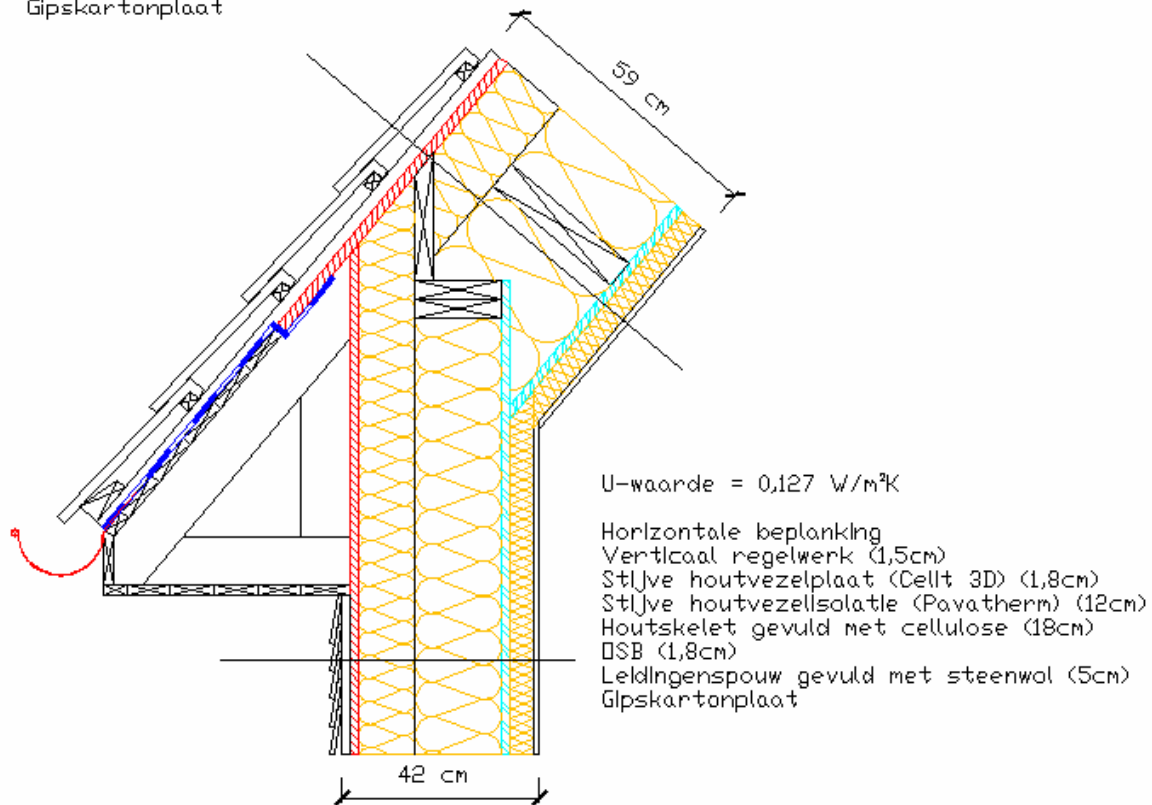
Aansluiting buitenwand - hellend dak		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0830	3,116
wand	0,1002	1,286
hellend dak	0,0713	1,829
ψ =		-0,0006

Ook in deze aansluiting blijft de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt kleiner dan de streefwaarde van 0,01 W/mK. Het patroon van de isothermen vertoont hetzelfde verloop als bij de vorige aansluitingen waarin het spantendak werd toegepast.

Onderstaande tekening geeft de aansluiting tussen wandopbouw 1 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een gordingendak volgens dakopbouw 3 weer.

U-waarde = 0,105 W/m²K

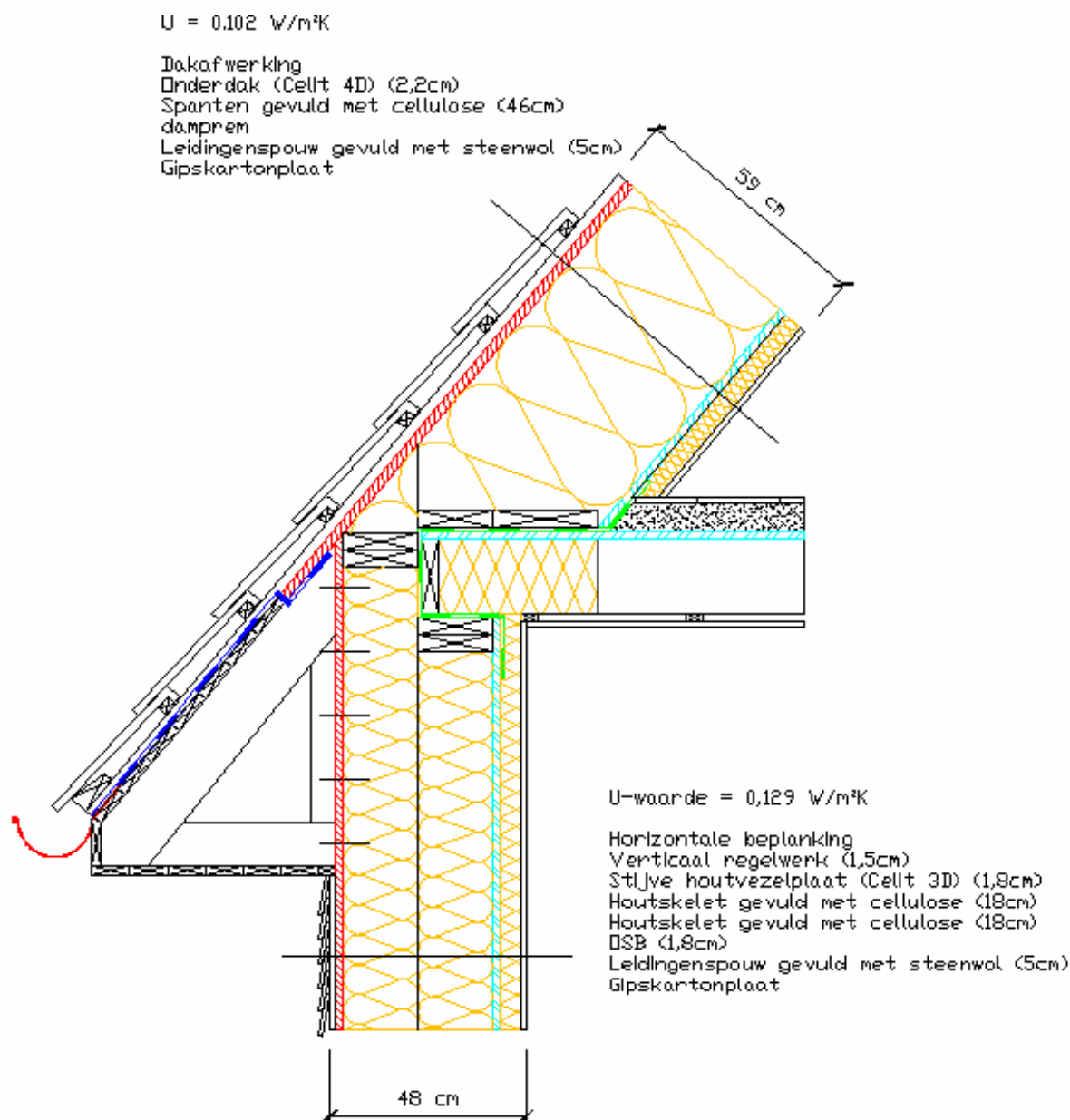
Dakafwerking
 Onderdak (Celit 4D) (2,2cm)
 Keper gevuld met cellulose (14cm)
 Gordingen gevuld met cellulose (32cm)
 Damprem
 Leidingenspouw gevuld met steenwol (5cm)
 Gipskartonplaat



De dakoversteek wordt opnieuw gerealiseerd door de kepers te laten uitsteken. Het wind- en regenscherm aan de spouwzijde dient tussen deze kepers bevestigd en afgekleefd te worden, alsook tegen het onderdak.

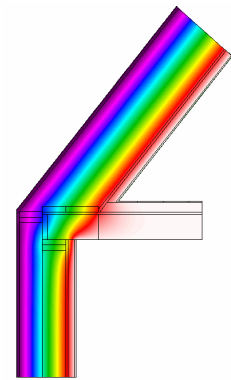
Een koudebrugberekening wordt niet uitgevoerd maar op basis van de resultaten van voorgaand constructiedetail kan aangenomen worden dat de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt zeer beperkt zal zijn.

Onderstaande tekening toont de aansluiting tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een spantendak volgens dakopbouw 1.



Er bevindt zich een tweede houtskelet aan de buitenzijde waardoor het mogelijk is de dakoversteek onafhankelijk van de dakstructuur aan de wand te bevestigen.

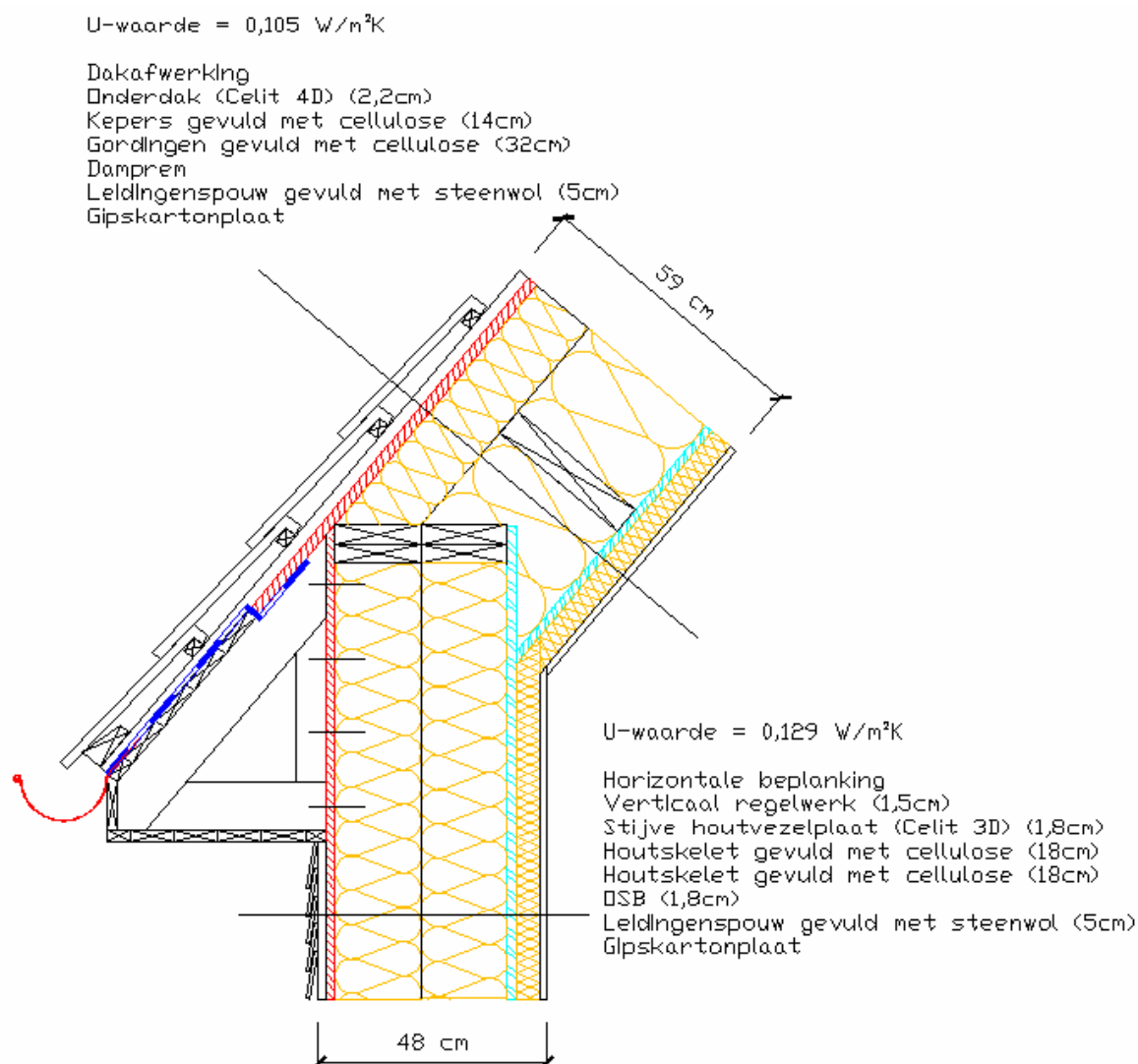
De wind- en regendichting kan daardoor opnieuw tot tegen en het onderdak doolopen. Deze aansluiting dient te worden afgetaped om de winddichtheid te garanderen alsook om het inblazen van cellulose in het dak mogelijk te maken. De overige aandachtspunten zijn dezelfde als bij voorgaande constructiedetails.

Resultaten Therm:

Aansluiting buitenwand - hellend dak		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0782	3,138
wand	0,0819	1,215
hellend dak	0,0713	1,922
ψ =		0,0088

Bovenstaand isothermenverloop vertoont opnieuw hetzelfde patroon als voorgaande constructiedetails aangezien de aansluiting identiek is. De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voldoet in dit geval maar net aan de streefwaarde van 0,01 W/mK.

Onderstaande tekening toont de aansluiting tussen wandopbouw 2 voor een gevelafwerking met houten beplanking en een gordingendak volgens dakopbouw 1.



Het buitenste houtskelet van de wand wordt tot op dezelfde hoogte geplaatst als dit aan de binnenzijde. Dit is noodzakelijk om de houtvezelplaat bovenaan voldoende te kunnen bevestigen. Hierop kunnen dan de kepers met daarop het onderdak aansluiten. De aansluiting tussen onderdak en wind- en regendichting van de wand moet worden afgetaped zodat de winddichting gegarandeerd is en cellulose kan worden ingeblazen in de dakstructuur. De aansluiting van de luchtdichte lagen aan de binnenzijde wordt eveneens met tape afgekleefd.

7.5.7 Algemene opbouwvolgorde

Voor de aansluiting tussen een buitenwand en een spantendak, zoals deze in de constructiedetails werd uitgewerkt, wordt volgende algemene praktische opbouwvolgorde voorgesteld:

1. De dragende wandelementen worden geplaatst, inclusief de stijve beplating aan de binnenzijde. In dit werk wordt gebruik gemaakt van OSB platen welke ook de functie van luchtdichte en dampremmende laag vervullen. Bovenaan worden deze elementen verbonden met behulp van een koppelregel.
2. Indien er een tussenvloer wordt voorzien ter hoogte van de aansluiting tussen wand en dak wordt er reeds een luchtdicht maar dampopen scherm aangebracht bovenop de elementen. Dit scherm dient voldoende breed te zijn zodat het in een latere fase rechtstreeks met de luchtdichte lagen van wand en dak verbonden kan worden. Alvorens de binnenwanden worden geplaatst moet dit scherm luchtdicht worden afgetaped op de luchtdichte laag van de buitenwanden. Ter plaatse van deze binnenwanden is dit achteraf immers niet meer mogelijk.
3. De draagbalken van de verdiepingsvloer worden geplaatst en aan de buitenzijde verbonden met behulp van een randbalk. De liggers worden volledig op het dragende skelet opgelegd.
4. Aan de bovenzijde worden deze liggers voorzien van een beloopbaar plaatmateriaal zoals OSB.
5. Indien de wand uit twee skeletten is opgebouwd kunnen de wandelementen aan de buitenzijde worden geplaatst. Bovenaan worden de elementen verbonden met behulp van een koppelregel.
6. Bovenop de tussenvloer worden twee onderregels bevestigd. Het luchtdicht scherm dient tussen deze regels en de vloer geplooid te worden.
7. De spanten kunnen nu geplaatst worden en via de onderregels met de tussenvloer verbonden worden. Indien nodig moeten de buitenste spanten ingekeept worden en met een bepaalde oversteek geplaatst worden.
8. Om de draagstructuur niet te lang bloot te stellen aan de weersinvloeden moet de wind- en regendichting aan de buitenzijde zo snel mogelijk aangebracht worden. Deze is echter afhankelijk van de toegepaste buitenafwerking en het isolatiemateriaal.

Indien een gevelbepleistering wordt aangebracht op een bepleisterbare houtvezelplaat vervult de pleister de functie van wind- en waterdichte laag. Deze kan echter pas in een latere fase worden aangebracht. De bepleisterbare houtvezelplaten kunnen echter maar zes weken onbeschermd worden gelaten. Wanneer deze termijn overschreden wordt dienen de platen tijdelijk beschermd te worden door bijvoorbeeld een onderdakfolie. Het houtskelet moet gevuld worden met isolatie ofwel voor het aanbrengen van de houtvezelplaten, indien een flexibel plaatmateriaal wordt gebruikt, ofwel achteraf indien de isolatie wordt ingeblazen.

Wanneer de buitenafwerking bestaat uit gevelmetselwerk kan deze best zo snel mogelijk geplaatst worden. Dit om de spouwisolatie en isolatie in het skelet, waarvoor in dit werk steenwol verondersteld wordt, niet langdurig bloot te stellen aan de weersinvloeden.

In het laatste geval, voor een houten beplanking als gevelafwerking, is aan de buitenzijde van het skelet een wind- en waterdichte folie of plaatmateriaal noodzakelijk, afhankelijk van het toegepaste isolatiemateriaal. Indien flexibele isolatieplaten worden gebruikt dient het isoleren vooraf te gebeuren. Bij het inblazen van isolatie kan dit achteraf gebeuren.

9. Vervolgens kan het onderdak aangebracht worden. Indien een onafhankelijke dakoversteek voorzien is dient deze eerst tegen de wand bevestigd te worden. Onderaan wordt gestart met de beplanking. Hierover wordt een waterkerende folie aangebracht die doorloopt tot onder het uiteindelijke onderdak. Eventueel aflopend water wordt op die manier afgevoerd naar de goot. Het type onderdak dat in dit werk wordt toegepast, namelijk Celit 4D, wordt door de fabrikant gedurende minimaal zes weken waterdicht gegarandeerd. Binnen deze termijn moet dus de dakbedekking aangebracht worden. Voor mogelijke alternatieven voor het onderdak wordt naar hoofdstuk 5 verwezen.
10. De aansluiting tussen de wind- en regendichting van de wand en de onderzijde van het onderdak moet winddicht worden afgekleefd.
11. Aan de binnenzijde van het dak wordt een damprem aangebracht. De ruimtes tussen de spanten moeten eerst opgevuld worden met isolatie, ofwel later worden ingeblazen. Ter plaatse van de aansluiting met de vloer moet deze damprem luchtdicht worden afgetaped op het luchtscherm dat rondom de vloerbalken werd geplaatst.

12. Na de ruwbouwfase worden de luchtdichtingswerken uitgevoerd. Hierbij dienen alle naden tussen de OSB platen met luchtdichte tape afgekleefd te worden. Hetzelfde geldt voor de luchtdichte laag onderaan de spanten. Deze luchtdichtingswerken gebeuren enerzijds best in één keer en zo laat mogelijk om beschadiging tijdens de werken te vermijden. Anderzijds moeten deze vroeg genoeg worden uitgevoerd zodat eventuele lekken eenvoudig bereikbaar zijn.
13. Het regelwerk van de leidingenspouw wordt aan de binnenzijde van zowel de wand als het dak aangebracht. Hierna kunnen alle leidingen geplaatst worden. Alle doorvoeren die de luchtdichte laag onderbreken dienen luchtdicht afgetaped te worden.
14. Nadat alle leidingen zijn geplaatst wordt de luchtdichtheidstest uitgevoerd. Dit dient te gebeuren voor de binnenafwerkingen starten zodat eventuele lekken makkelijk opgespoord en gecorrigeerd kunnen worden.
15. De leidingenspouwen worden opgevuld met isolatiemateriaal waarna de binnenafwerking kan gebeuren. Vooraleer de afwerking aan de onderzijde van de tussenvloer wordt aangebracht dient isolatiemateriaal geplaatst te worden aan de binnenzijde van de randbalk.

Dezelfde opbouwvolgorde kan gehanteerd worden indien een gordingendak wordt toegepast. In het geval er geen tussenvloer wordt voorzien, zoals ook in de uitgewerkte constructiedetails werd verondersteld voor het gordingendak, kunnen stappen 2, 3, 4 en 6 geschrapt worden.

7.6 Aansluiting buitenwand - plat dak

Van de in paragraaf 6.5.2.2 ontworpen platte dakstructuren zullen enkel opbouw 1 en 2 worden toegepast voor de detaillering. Het alternatief voor opbouw 2, waarbij het “omgekeerd dak”- principe wordt toegepast, heeft enkel een andere plaatsing van de dakafdichting tot gevolg. De rest van de constructie is voor beide hetzelfde.

7.6.1 Algemeen

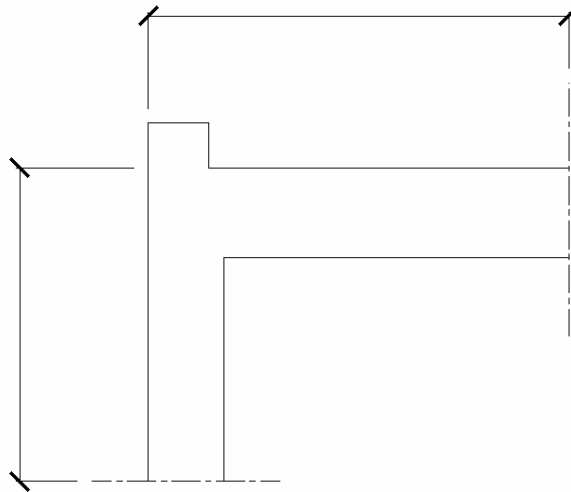
De opstand van de dakrand van een plat dak moet minstens 150 mm hoger zijn dan het afgewerkte dakvlak [TVAA,1994]. Indien de wand opgebouwd is met twee skeletten kan deze dakopstand makkelijk gerealiseerd worden door het buitenste skelet iets hoger te maken. Indien de wand slechts met één houten skelet en een homogene isolatielaag is opgebouwd moet een bijkomende constructie voorzien worden om de opstand te creëren.

De nominale helling van het dakvlak bedraagt minstens 2% of meer [TVAA,1994]. Deze helling kan op verschillende manieren gerealiseerd worden en kan, afhankelijk van de afvoer, in één of twee richtingen voorzien worden. In dit werk zal enkel een helling in één richting beschouwd worden.

De makkelijkste methode om een helling te realiseren is het gebruik van afschotisolatie die bovenop de dakstructuur wordt gelegd. Deze afschotisolatie is echter duurder en is niet voor elk product beschikbaar. Het is ook mogelijk de dakliggers onder de gewenste helling te leggen. Om toch een horizontale plafondafwerking te bekomen dient in dat geval het plafond opgehangen te worden aan profielen met variabele lengte, wat ook weer de kostprijs zal verhogen. Daarom wordt in dit werk gebruik gemaakt van hellingsspieën die, al dan niet loodrecht, op de dakliggers bevestigd kunnen worden. Een eenvoudiger alternatief bestaat erin rechthoekige planken onder de gewenste helling aan de zijkant van de dakliggers te bevestigen. Hierdoor neemt echter het houtaandeel in de constructie toe wat de thermische prestaties nadelig beïnvloed.

In de hierna volgende constructiedetails wordt enkel aandacht besteedt aan de aansluiting tussen de buitenwand en het plat dak. Voor gedetailleerde informatie en tekeningen over de aansluiting en afwerking van platte daken wordt daarom verwezen naar [TVAA,1994]. Voor de afwerking van de dakrand wordt in de tekeningen een algemeen dakrandprofiel voorzien.

De koudebrugberekeningen kunnen uitgevoerd worden zoals in paragraaf 7.2 werd toegelicht. Voor de oppervlakken van de referentieconstructie moeten in dit geval de afmetingen zoals weergegeven in Figuur 7.7 gebruikt worden.



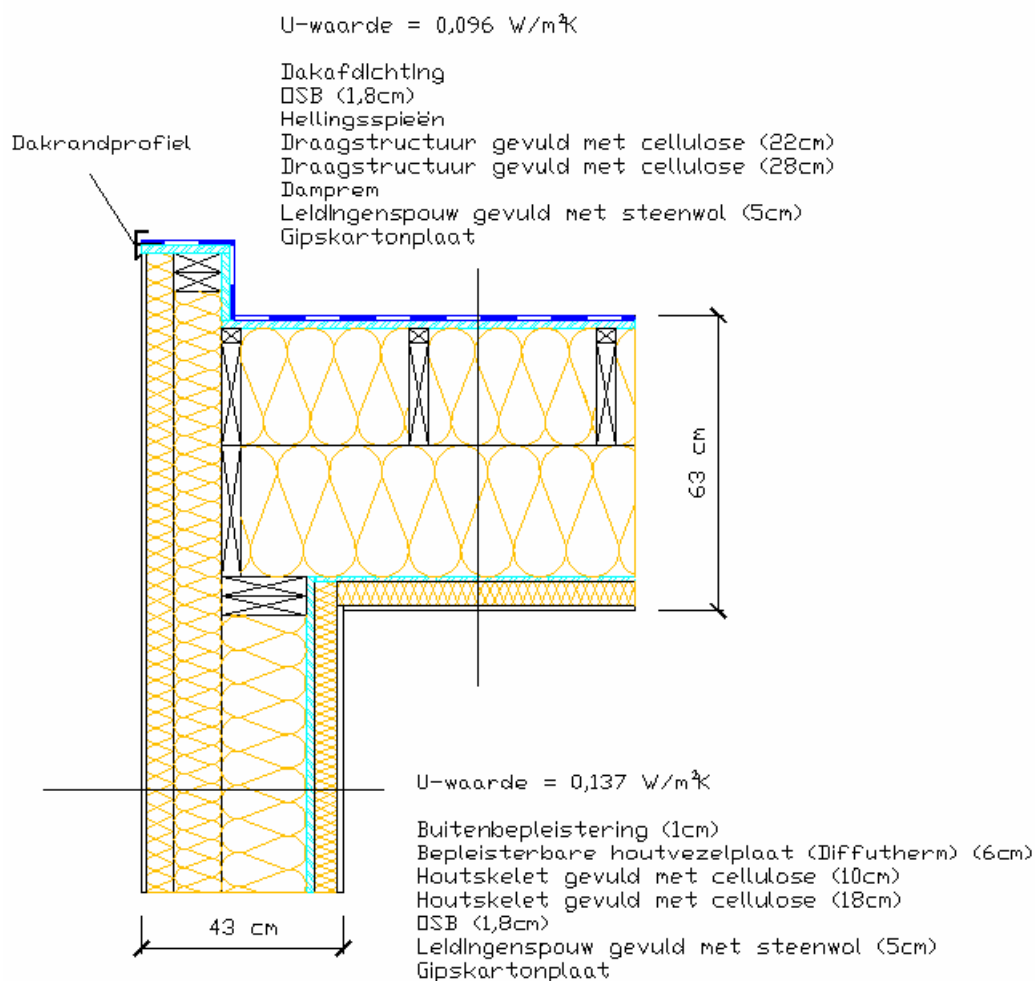
Figuur 7.7: afmetingen referentieconstructie

De oppervlakte van de dakopstand wordt voor de referentieconstructie dus buiten beschouwing gelaten. Stel dat dit wel zou worden opgenomen in de berekening dan wordt er eigenlijk verondersteld dat de dikte van het plat dak in de referentieconstructie gelijk is aan de reële constructiehoogte vermeerderd met de hoogte van deze dakopstand. Hieruit volgt dan een verschil in overlapping met de berekening van de reële constructie wat leidt tot een onderschatte lineaire warmtedoorgangscoefficiënt. Het niet opnemen van deze oppervlakte in de koudebrugberekening daarentegen leidt tot een overschatting en is dus nadelig. Uit de latere berekeningen zal blijken dat er desondanks toch ruimschoots aan de streefwaarde van $0,01 \text{ W/mK}$ voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt voldaan is.

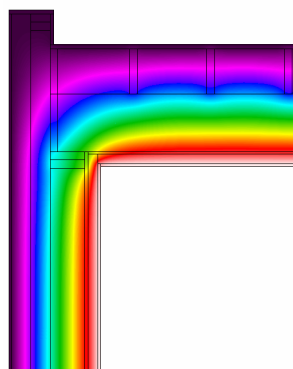
7.6.2 Wand met gevelbepkeistering

Het buitenste hoeskelet moet voor deze aansluitingen voldoende hoog zijn zodat een dakopstand gecreëerd wordt. De bepleisterbare houtvezelplaten die in deze wandopbouwen worden toegepast moeten bovenaan afgekleefd worden tegen het plaatmateriaal op de dakopstand om de winddichtheid te garanderen.

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 2 voor een wand met gevelbep leistering en opbouw 1 voor het platte dak.



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - plat dak

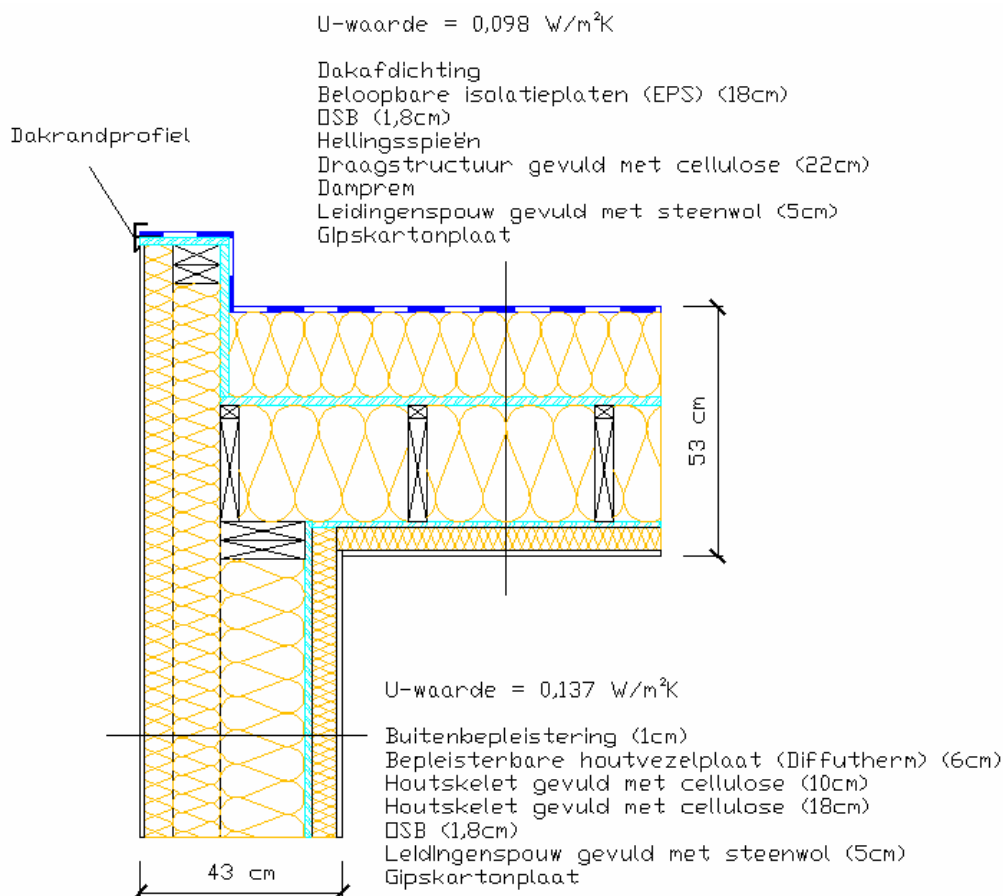
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0578	3,397
wand	0,0939	1,590
plat dak	0,0762	1,470
ψ =		-0,0650

Bovenstaand isothermenverloop voor deze aansluiting vertoont een regelmatig patroon. De boven- en koppelregel bovenaan het dragende skelet veroorzaken de voornaamste afwijking ter plaatse van de hoek. Deze zijn echter noodzakelijk en de oppervlaktetemperatuur in deze

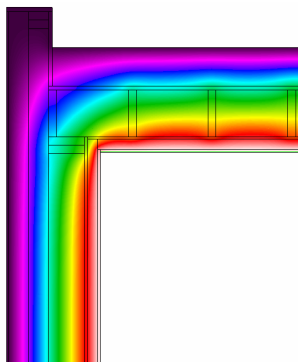
hoek bedraagt ca. $18,5^{\circ}\text{C}$ waardoor er zich geen problemen zullen voordoen met oppervlaktecondensatie.

De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is zeer klein in vergelijking met andere aansluitingen. Dit is voornamelijk te wijten aan de grote constructiehoogte van het plat dak. Hierdoor neemt immers de overlapping in de hoek toe waardoor het verschil tussen de warmtestromen vergroot. Hieruit kan ook worden afgeleid dat het warmteverlies in deze aansluiting sterk overschat wordt door het warmteverlies te bepalen aan de hand van de buitenafmetingen.

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 2 voor een wand met gevelbepreistering en opbouw 2 voor het platte dak.



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0634	3,339
wand	0,0939	1,490
plat dak	0,0913	1,470
$\psi =$		-0,0624

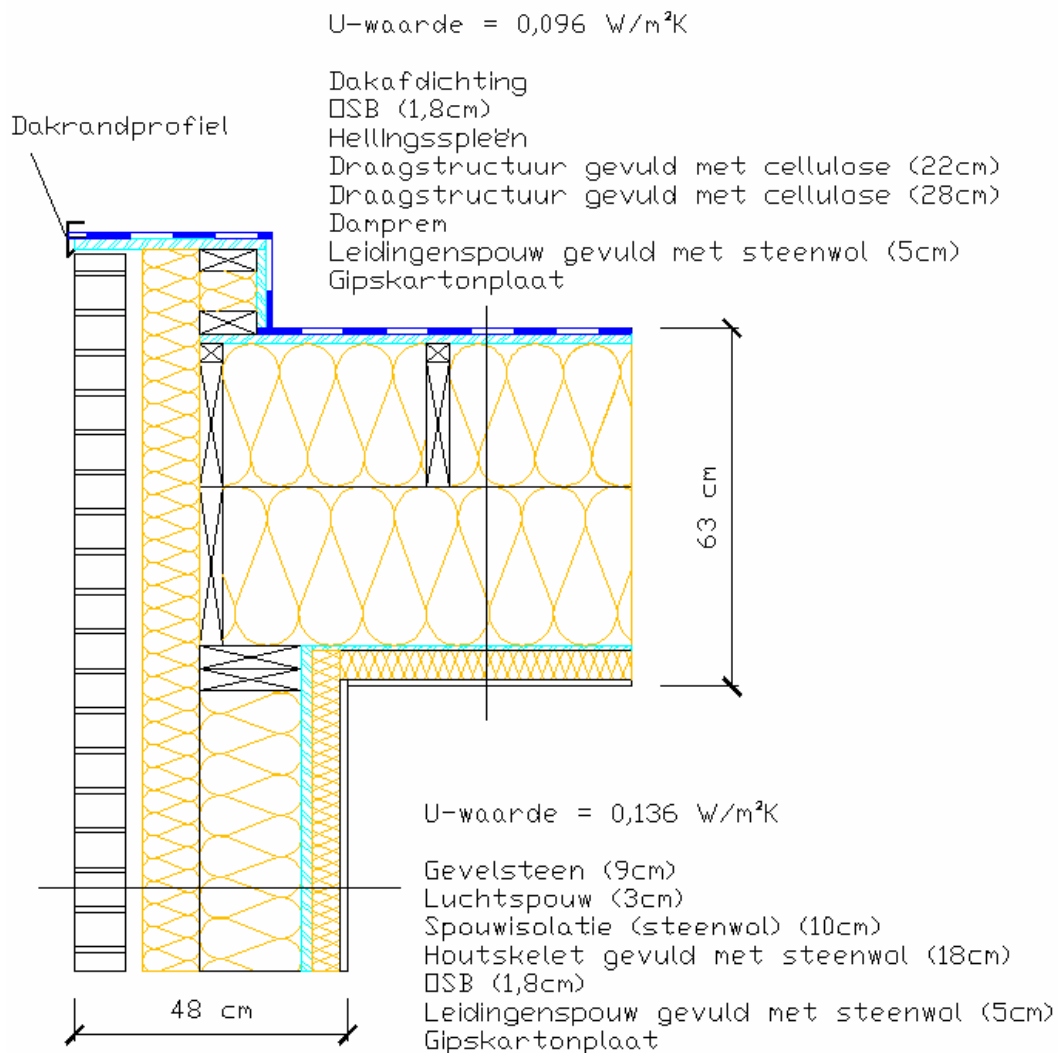
De lineaire warmtedoorgangscoefficiënt is ongeveer gelijk aan deze van het vorige constructiedetail, ondanks de doorlopende isolatielaag bovenop het platte dak. Dit is te verklaren door de kleinere constructiehoogte van het plat dak waardoor de overlapping in de hoek verkleint.

7.6.3 Wand met gevelsteen

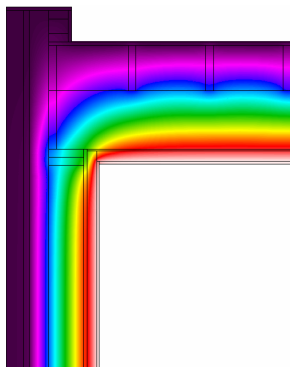
Aangezien er in deze wandopbouwen geen tweede houtskelet aanwezig is moet een bijkomende constructie voorzien worden om de dakopstand te realiseren. De homogene laag spouwisolatie moet tot bovenaan de dakopstand geplaatst worden.

Het wind- en regenscherm aan de spouwzijde van de isolatie moet bovenaan afgekleefd worden tegen het plaatmateriaal op de dakopstand om de winddichtheid te garanderen.

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 1 voor een wand met gevelmetselwerk en opbouw 1 voor het platte dak.



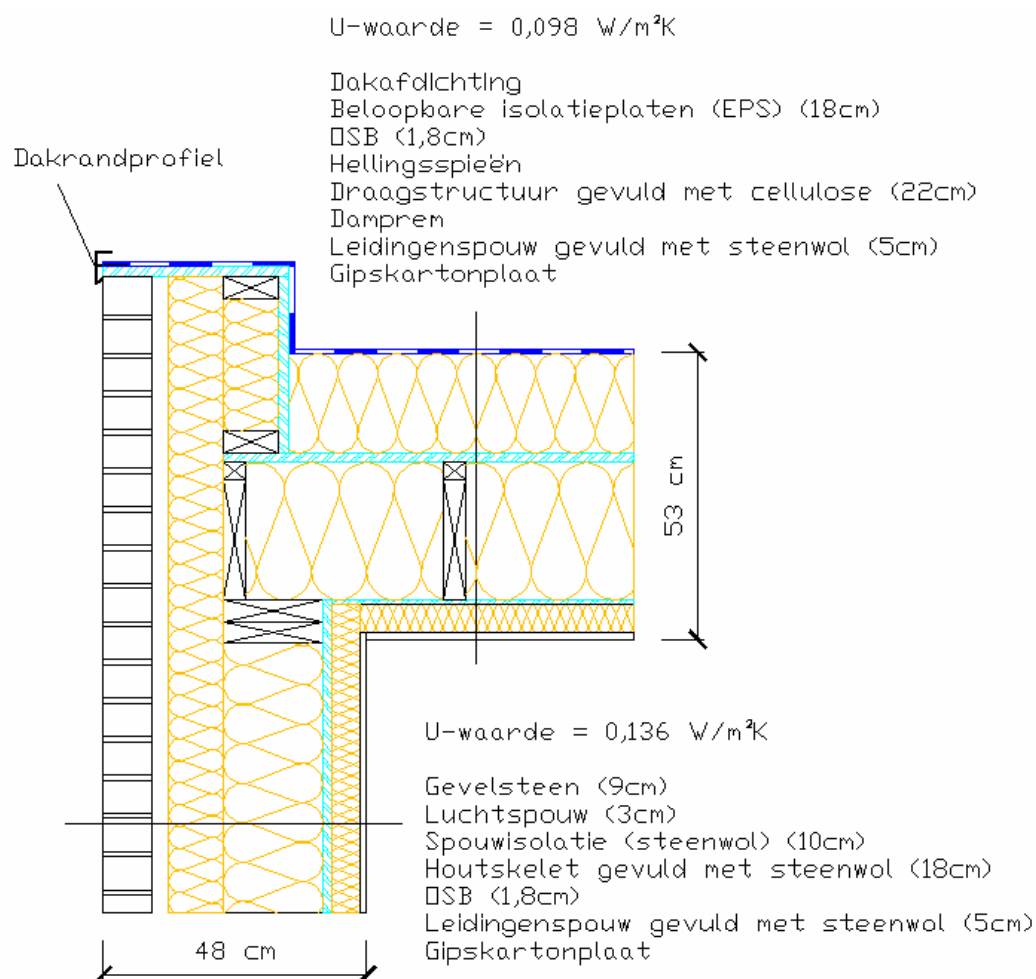
Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0622	3,407
wand	0,1043	1,590
plat dak	0,0762	1,480
ψ =		-0,0667

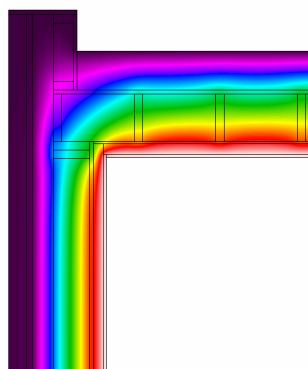
Zowel het isothermenverloop als de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt zijn vergelijkbaar met vorige aansluitingen en stellen dus geen problemen.

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 1 voor een wand met gevelmetselwerk en opbouw 2 voor het platte dak.



Deze dakopbouw vereist een groter skelet ter plaatse van de dakrand in vergelijking met vorig constructiedetail om de vereiste dakopstand te realiseren. De rest van de constructie is vergelijkbaar met voorgaand detail.

Resultaten Therm:

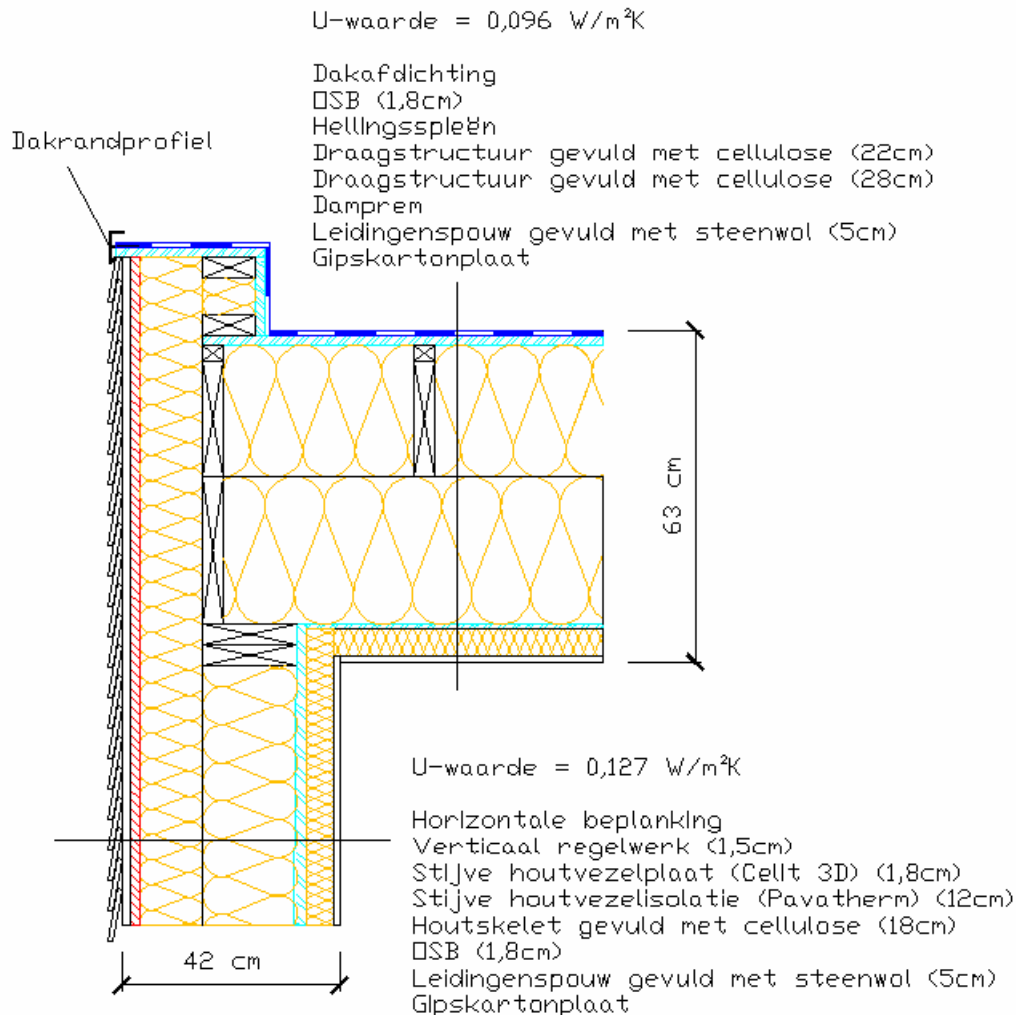


Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0680	3,349
wand	0,1043	1,490
plat dak	0,0913	1,480
ψ =		-0,0628

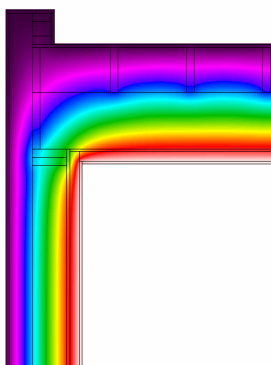
7.6.4 Wand met houten beplanking

Voor de hieronder uitgewerkte constructiedetails gelden dezelfde aandachtspunten als voor de constructiedetails die hiervoor werden besproken.

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 1 voor een wand met houten gevelbeplanking en opbouw 1 voor het platte dak.

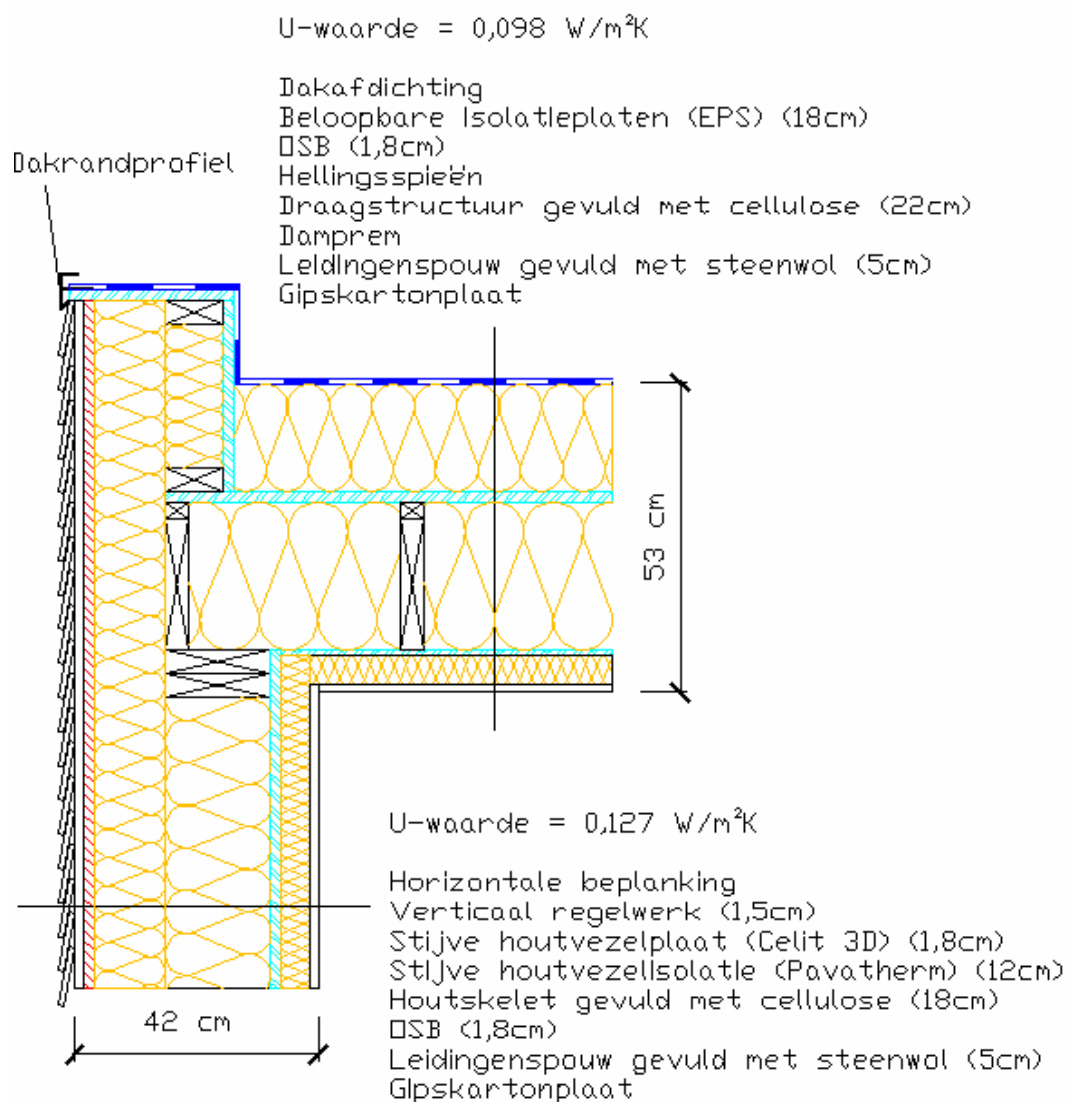


Resultaten Therm:

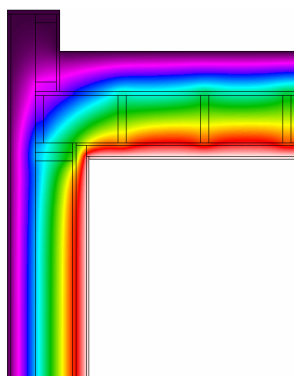


Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0627	3,325
wand	0,1002	1,590
plat dak	0,0762	1,399
$\psi =$		-0,0574

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 1 voor een wand met houten gevelbeplanking en opbouw 2 voor het platte dak.

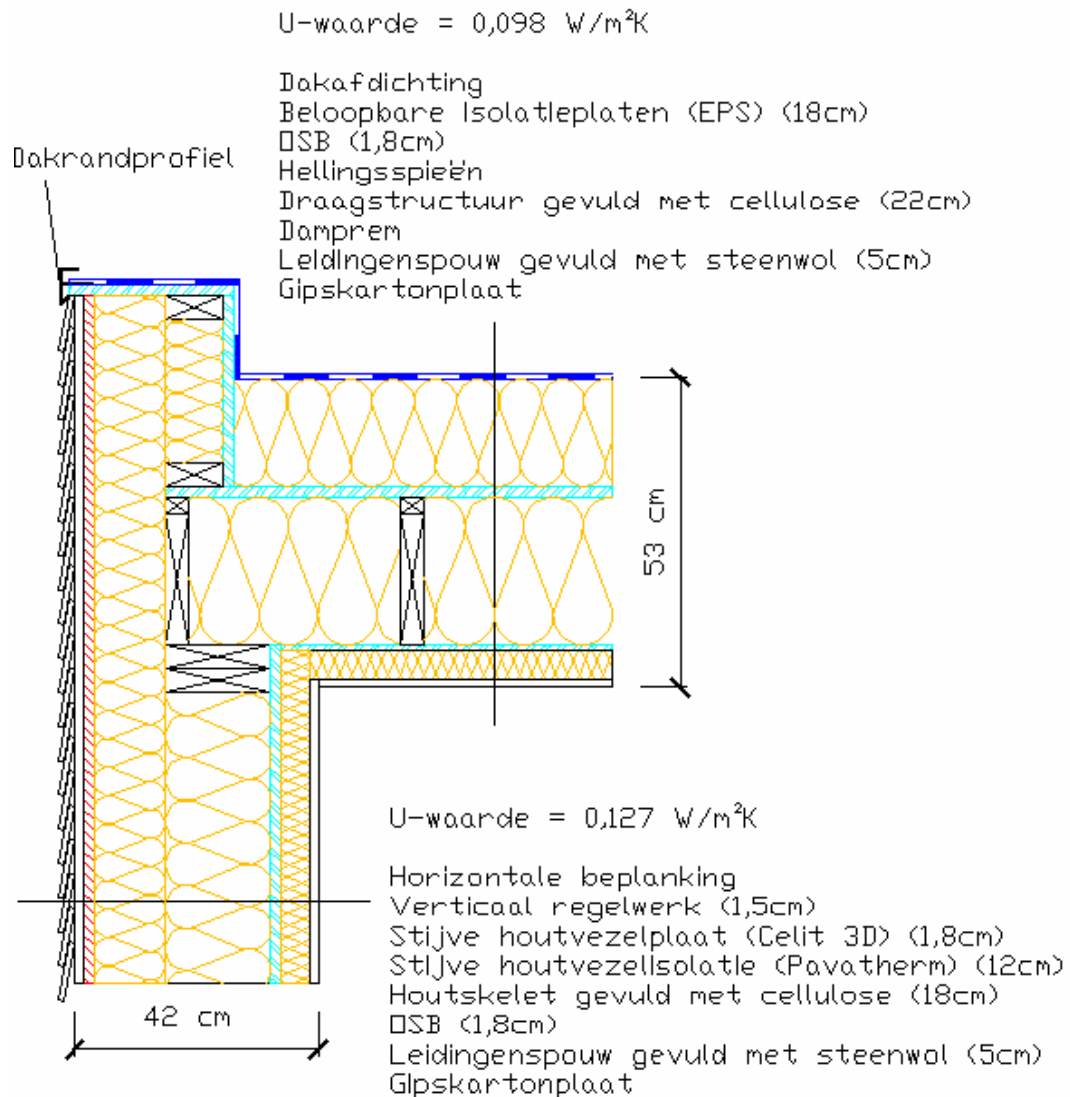


Resultaten Therm:

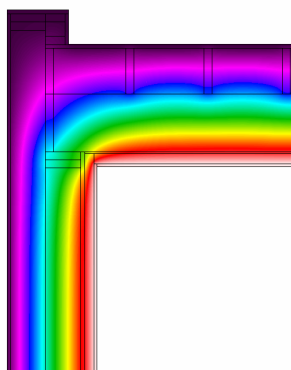


Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0687	3,267
wand	0,1002	1,490
plat dak	0,0913	1,398
ψ =		-0,0525

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 2 voor een wand met houten gevelbeplanking en opbouw 1 voor het platte dak.

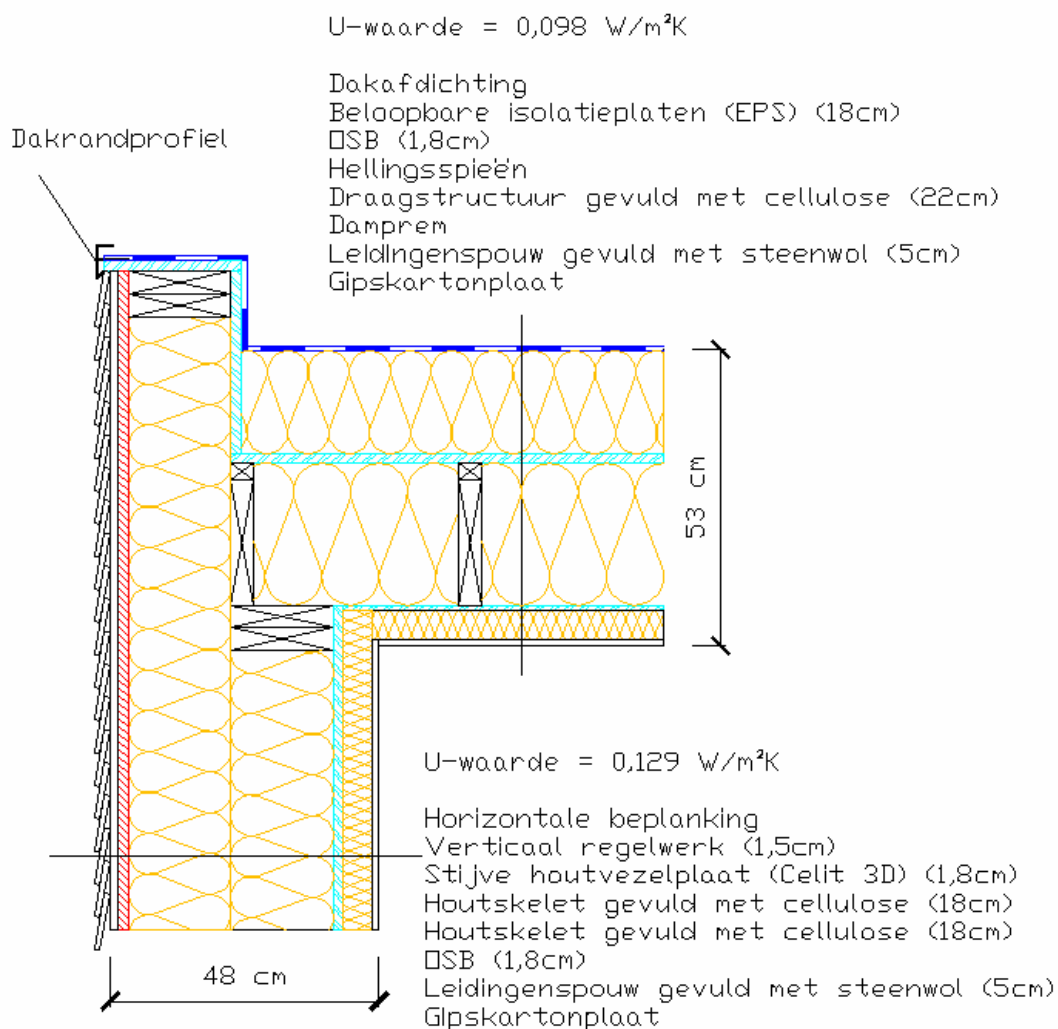


Resultaten Therm:

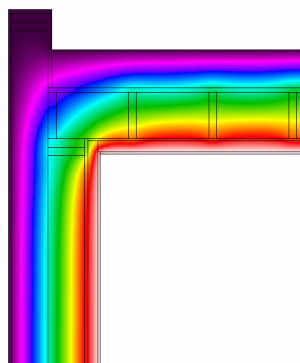


Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0574	3,385
wand	0,0819	1,590
plat dak	0,0762	1,458
$\psi =$		-0,0470

Onderstaande figuur toont het aansluitingsdetail tussen opbouw 2 voor een wand met houten gevelbeplanking en opbouw 2 voor het platte dak.



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand - plat dak		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
aansluiting	0,0631	3,327
wand	0,0819	1,490
plat dak	0,0913	1,458
ψ =		-0,0452

7.6.5 Algemene opbouwvolgorde

Voor de aansluiting tussen een buitenwand en plat dak wordt volgende algemene praktische opbouwvolgorde voorgesteld:

1. De dragende wandelementen worden geplaatst, inclusief de stijve beplating aan de binnenzijde. In dit werk wordt gebruik gemaakt van OSB platen welke ook de functie van luchtdichte en dampremmende laag vervullen. Bovenaan worden deze elementen verbonden met behulp van een koppelregel.
2. De dakliggers worden geplaatst en aan de buitenzijde verbonden met behulp van de randbalk. De liggers worden volledig op het dragende houtskelet opgelegd. In het geval van dakopbouw 1 worden de bovenste dakliggers loodrecht op de onderste aangebracht.
3. Aan de bovenzijde worden de liggers voorzien van hellingsspieën waarna een beloopbaar plaatmateriaal zoals OSB geplaatst kan worden.
4. Indien de wandopbouw bestaat uit twee houtskeletten, wordt vervolgens het tweede houtskelet aan de buitenzijde aangebracht. Dit moet voldoende hoog zijn zodat het bovenaan de dakopstand vormt.

Indien er geen tweede skelet aanwezig is in de wand moet ter plaatse van de dakrand een aparte dakopstand voorzien worden, bijvoorbeeld in de vorm van een klein houtskelet.

5. Om de draagstructuur niet te lang bloot te stellen aan de weersinvloeden moet de wind- en regendichting aan de buitenzijde zo snel mogelijk aangebracht worden. Deze is echter afhankelijk van de toegepaste buitenafwerking en het isolatiemateriaal.

Indien een gevelbepleistering wordt aangebracht op een bepleisterbare houtvezelplaat vervult de pleister de functie van wind- en waterdichte laag. Deze kan echter pas in een latere fase worden aangebracht. De bepleisterbare houtvezelplaten kunnen echter maar zes weken onbeschermd worden gelaten. Wanneer deze termijn overschreden wordt dienen de platen tijdelijk beschermd te worden door bijvoorbeeld een onderdakfolie. Het houtskelet moet gevuld worden met isolatie ofwel voor aanbrengen van de houtvezelplaten, indien een flexibel plaatmateriaal wordt gebruikt, ofwel achteraf indien de isolatie wordt ingeblazen.

Wanneer de buitenafwerking bestaat uit gevelmetselwerk kan deze best zo snel mogelijk geplaatst worden. Dit om de spouwisolatie en isolatie in het skelet, waarvoor in dit werk steenwol verondersteld wordt, niet langdurig bloot te stellen aan de weersinvloeden.

In het laatste geval, voor een houten beplanking als gevelafwerking, moet aan de buitenzijde van het skelet sowieso een wind- en waterdichte folie of plaatmateriaal worden aangebracht, afhankelijk van het toegepaste isolatiemateriaal. Indien flexibele isolatieplaten worden gebruikt dient het isoleren vooraf te gebeuren. Bij het inblazen van isolatie kan dit achteraf gebeuren.

6. Vervolgens wordt de dakopstand aan de binnenzijde en bovenaan voorzien van een plaatmateriaal. Dit moet doorlopen tot net voorbij de uiteindelijke gevelafwerking. Aan het uiteinde wordt hierop het dakrandprofiel bevestigd.
7. De dakafdichting kan nu worden aangebracht. Indien er op de dakliggers nog een isolatielaag vereist is, is de volgorde afhankelijk van het aangewende plat dak principe. Indien het “warm dak”-principe wordt toegepast moet eerst de isolatie worden geplaatst en vervolgens de dakafdichting. Bij de toepassing van het “omgekeerd dak”-principe dient deze volgorde omgekeerd te worden en moet aan de bovenzijde een ballastlaag worden voorzien. Deze moet de isolatie beschermen tegen UV-straling.
8. Aan de binnenzijde van het dak wordt een damprem aangebracht die tevens de luchtdichtheid zal garanderen. Zoals in hoofdstuk 6 reeds werd besproken wordt voor een plat dak bij voorkeur een damprem met variabele diffusieweerstand aangewend. De ruimtes tussen de dakliggers moeten eerst opgevuld worden met isolatie, ofwel later worden ingeblazen. Ter plaatse van de aansluiting met de wand moet deze damprem luchtdicht worden afgetaped op de luchtdichte laag van de wand. Dit moet gebeuren voor de binnenwanden geplaatst worden.
9. Na de ruwbouwfase worden de luchtdichtingswerken uitgevoerd. Hierbij dienen alle naden tussen de OSB platen met luchtdichte tape afgekleefd te worden. Hetzelfde geldt voor de luchtdichte laag onderaan het dak. Deze luchtdichtingswerken gebeuren enerzijds best in één keer en zo laat mogelijk om beschadiging tijdens de werken te vermijden. Anderzijds moeten deze vroeg genoeg worden uitgevoerd zodat eventuele lekken eenvoudig bereikbaar zijn.
10. Het regelwerk van de leidingenspouw wordt aan de binnenzijde van zowel de wand als het dak aangebracht. Hierna kunnen alle leidingen geplaatst worden.

Alle doorvoeren die de luchtdichte laag onderbreken dienen luchtdicht afgetaped te worden.

11. Nadat alle leidingen zijn geplaatst wordt de luchtdichtheidstest uitgevoerd. Dit dient te gebeuren voor de binnenaafwerkingen starten zodat eventuele lekken makkelijk opgespoord kunnen worden.
12. De leidingenspouwen worden opgevuld met isolatiemateriaal waarna de binnenaafwerking kan gebeuren.

7.7 Aansluiting buitenwand - fundering

Een belangrijk detail is de aansluiting van de buitenwand met de fundering. Er zijn verschillende mogelijkheden om de fundering van een woning uit te voeren. Het type van fundering wordt gekozen in functie van de bodemgesteldheid. Deze keuze bepaald mede hoe de isolatie van de vloerplaat geplaatst zal worden.

Hierna worden de meest toegepaste aansluitingswijzen tussen buitenwand en fundering besproken.

Een belangrijk gegeven bij de bouw van een houten woning is dat het hout beschermd dient te worden tegen water. Hierdoor wordt geëist dat er een minimale afstand van 15 cm is tussen het maaiveld en de aanzet van de houten constructie.

7.7.1 Algemene plaatfundering

Een eerste mogelijkheid van funderen bestaat erin van een gewapende betonplaat als fundering te gebruiken. Deze betonplaat doet dan eveneens dienst als vloerplaat. Deze methode van funderen wordt toegepast indien de voldoende draagkrachtige grond te diep zit en/of de grondslag te gering is. Een voordeel van deze methode is dat de isolatie onder de vloerplaat kan geplaatst worden.

In deze paragraaf zal enkel de toepassing van isolatie onder de vloerplaat besproken worden. Als de isolatie boven de betonplaat geplaatst wordt kan de aansluiting tussen de wand en de vloerplaat op dezelfde manier gerealiseerd worden als bij een fundering op staal met een draagvloer uit welfsels. Deze aansluiting wordt in paragraaf 7.7.2 besproken.

Doordat hier enkel isolatie onder de vloerplaat geplaatst wordt zal het niet mogelijk zijn om een continue isolatieschil te realiseren indien er als buitenafwerking een gevelsteen geplaatst wordt. Dit gevelmetselwerk zal immers steeds de isolatieschil onderbreken en hierdoor zal dus altijd een koudebrug optreden.

Hierna zal de aansluiting van de wandopbouw met een gevelafwerking uit gevelbepleistering en houtafwerking besproken worden.

7.7.1.1 Koudebrugberekening.

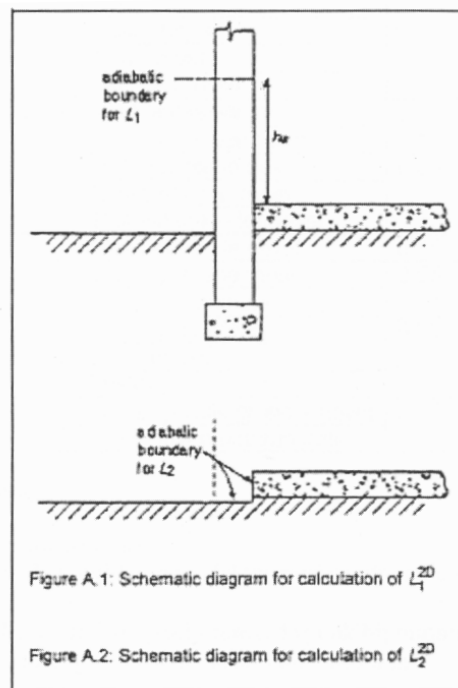
Voor de berekening van de koudebrug van deze aansluiting is het niet meer mogelijk om de methode die besproken is in paragraaf 7.2 toe te passen. Dit omdat de vloer in contact staat met de grond, zodat de er niet meer met de buitenafmetingen kan gerekend worden.

Daarom wordt de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt (psi-waarde) van het funderingdetail berekend volgens NBN EN ISO 13370.

Voor de berekening wordt er als volgt te werk gegaan.

Er worden twee simulaties uitgevoerd:

- De detailaansluiting zoals ze zich werkelijk voordoet (figuur 7-8)
- Een aangepaste simulatie met volgende eigenschappen (figuur 7-8):
 - De funderingsmassieven worden vervangen door grond
 - De gevel wordt vervangen door een adiabatische constructie. Concreet wil dit zeggen dat de raakvlakken van de gevel met de grond en de vloerplaat adiabatisch worden gesteld.



Figuur 7-8:

Geheel detail (bovenaan) referentiedetail (onderaan)

De eerste simulatie van het volledige detail geeft het totale warmteverlies van de aansluiting. De tweede aangepaste simulatie geeft het warmteverlies door de vloerplaat.

De psi-waarde van de funderingsaansluiting wordt dan met volgende formule berekend:

$$\psi = \frac{Q_1}{\Delta T} - \frac{Q_2}{\Delta T} \frac{(L_{vloer} + w_{muur})}{L_{vloer}} - H_{muur} U_{muur} \quad [\text{W/mK}]$$

met:

- Q_1 : warmteverlies van de binnenomgeving in de eerste simulatie
- Q_2 : warmteverlies van de binnenomgeving in de aangepaste simulatie
- ΔT : temperatuursverschil binnen buiten
- H_{muur} : hoogte van de buitenmuur (buitenafmetingen, inclusief vloerdikte)
- U_{muur} : U-waarde van de buitenmuur
- w_{muur} : dikte van de buitenmuur
- L_{vloer} : lengte van de vloer

Aangezien het temperatuursverschil constant is kan deze formule omgevormd worden tot volgende formule:

$$\psi = U_{tot} L_{tot} - U_{vloer} L_{vloer} \frac{(L_{vloer} + w_{muur})}{L_{vloer}} - H_{muur} U_{muur} \quad [\text{W/mK}]$$

met:

- U_{tot} : U-waarde van de binnenomgeving in de eerste simulatie
- U_{vloer} : U-waarde van de binnenomgeving in de aangepaste simulatie
- H_{muur} : hoogte van de buitenmuur (buitenafmetingen, inclusief vloerdikte)
- U_{muur} : U-waarde van de buitenmuur
- w_{muur} : dikte van de buitenmuur
- L_{vloer} : lengte van de vloer binnen

De gevonden psi-waarden zullen bij elke afzonderlijke aansluitingen weergegeven worden.

7.7.1.2 Algemene aandachtspunten

Alvorens de isolatie te plaatsen zal de natuurlijke ondergrond (eventueel verdicht) voorbereid worden met behulp van steenslag, indien dit nodig blijkt.

Vervolgens wordt een egalisatielaag perfect genivelleerd aangebracht om een optimaal contact tussen de drager en de isolatie te bekomen. Deze egalisatielaag kan verwezenlijkt worden met behulp van een zandbed, gestabiliseerd zandbed, fijn grind of een zuiverheidsbeton.

In dit werk wordt er gekozen voor XPS als isolatie onder de funderingsplaat. Omdat deze platen bestand zijn tegen langdurig contact met de grond moet er geen folie geplaatst worden onder de isolatieplaten. Indien er een ander materiaal gebruikt zou worden kan het zijn dat er wel een folie dient geplaatst te worden. Dit dient men na te vragen bij de producent.

De isolatieplaten worden op deze egalisatielaag geschrinkt geplaatst tot de gewenste dikte is behaald. Tussen de isolatiepanelen en de funderingsplaat wordt een geschikte folie aangebracht. Deze folie zorgt ervoor dat het beton niet tussen de voegen van de isolatie kan lopen. Dit zou immers nadelig zijn voor de kwaliteit van de betonplaat en zal een koudebrug vormen. De folie dient aan de zijkanten van de betonplaat een voldoende lengte te hebben zodat deze later naar boven kan omgeplooid worden en bevestigd kan worden aan de houten draagstructuur. Hierna zal de betonplaat gestort kunnen worden.

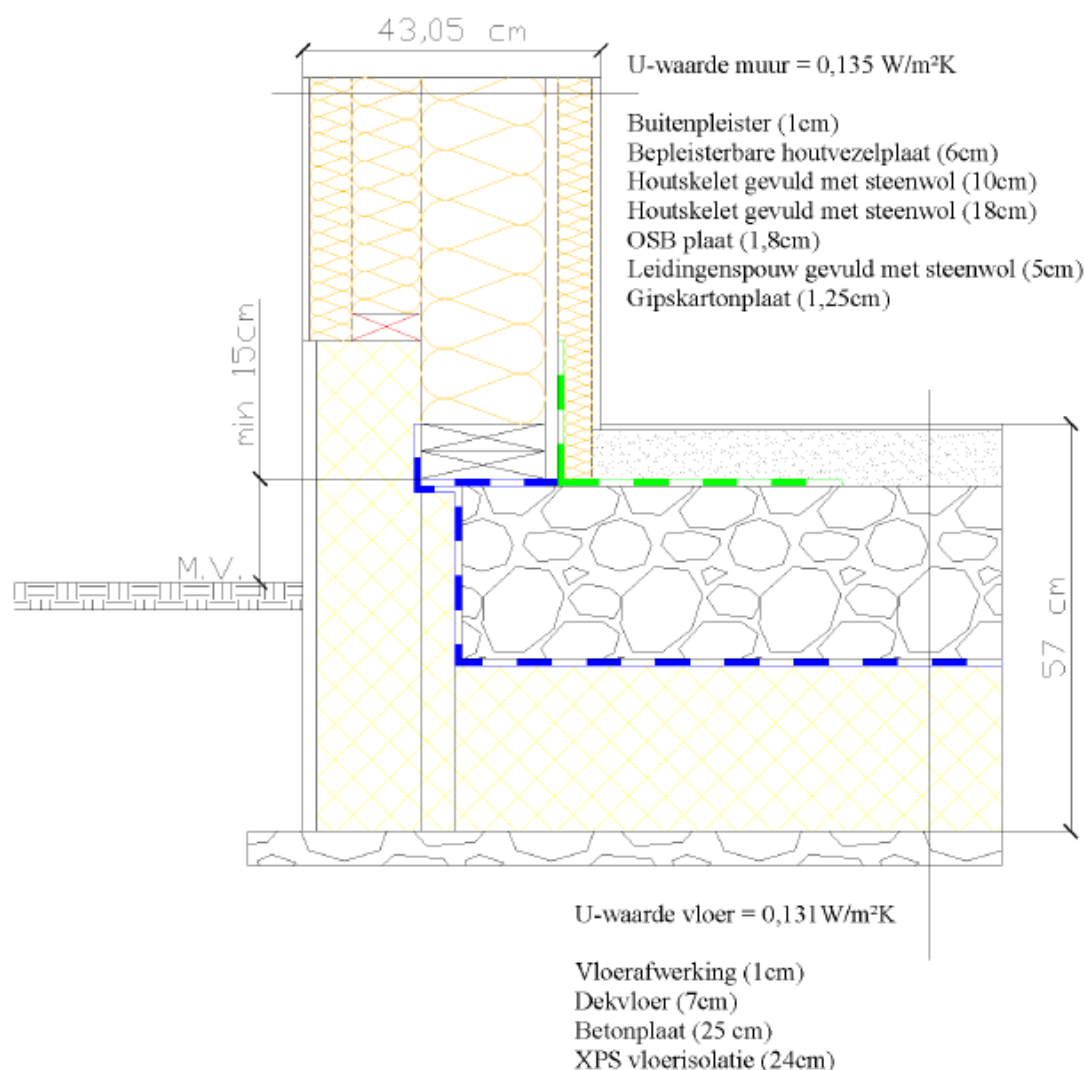
Om voldoende isolatie aan de zijkant van de funderingsplaat te hebben, wordt er gekozen om het dragende skelet 6 cm in uitkraging ten opzichte van de rand van de betonplaat te plaatsen. Hieronder wordt een vochtbestendig isolatiemateriaal met een dikte van 6 cm geplaatst.

Onder de muurplaat wordt steeds een vochtscherm aangebracht om te beletten dat vocht uit de betonplaat de constructie kan aantasten.

Voor de luchtdichting te realiseren tussen de buitenwand en de vloer zal een luchtdichte folie aangebracht worden over de volledige lengte van de wand. Deze folie wordt via speciale tape op de betonplaat en de OSB beplating die dienst doet als luchtdichting van de wand aangebracht. Ter plaatse van de aansluiting van een buitenwand met een binnenwand dient eerst deze luchtdichte folie aangebracht te worden alvorens de binnenwand te plaatsen. Hierdoor is het veel makelijker om een goede continue luchtdichting te bekomen.

7.7.1.3 Wand met buitenbepleistering

Onderstaande tekening geeft de aansluiting weer van een wand met gevelbepleistering.



Er dient rekening gehouden te worden met enkele bijkomende aandachtspunten:

Om te voorkomen dat opspattend (regen)water de houtvezelplaten kan beschadigen, zal de houtvezelplaat op minimaal 25 cm boven het maaiveld aangevat worden. Ter plaatse van de onderste 25 cm wordt er gebruikt gemaakt van vochtbestendig isolatiemateriaal.

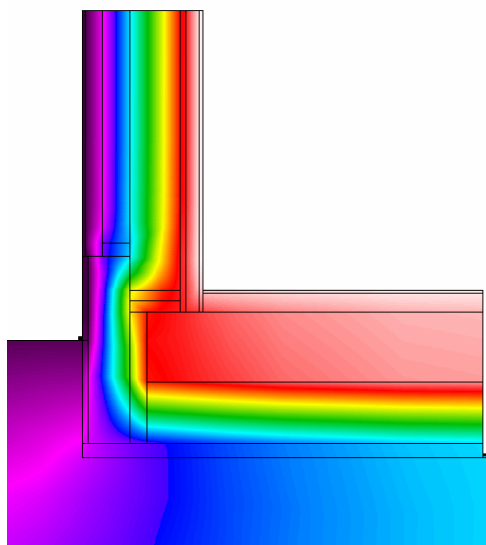
Ter plaatse van een aansluiting tussen de houtvezelplaten en de vochtbestendige isolatie dient een afdichtingsband aangebracht te worden om de lucht- en winddichting te verzekeren.

Het buitenste skelet wordt niet ter plaatse van de onderregel van het dragende skelet aangebracht maar circa 20 cm hoger. Dit om de koudebrug die anders veroorzaakt zou worden tegen te gaan.

Bij deze wandopbouw is er gebruik gemaakt van steenwol als isolatie van de beide skeletten. Indien er gekozen wordt om cellulose in beide skeletten in te blazen dient er onder het 2^{de} skelet een strook plaatmateriaal voorzien te worden tegen het dragende skelet om zo gesloten compartimenten te bekomen.

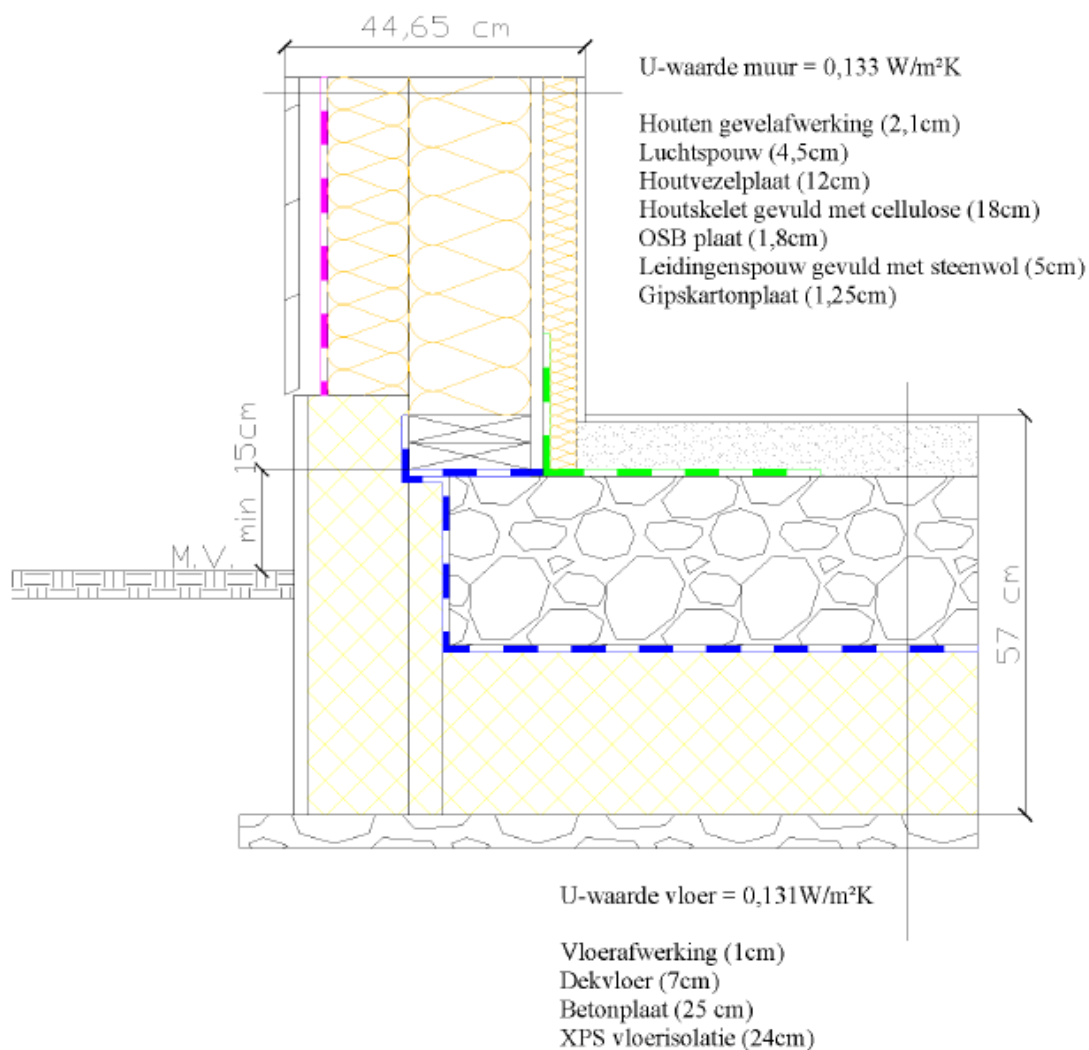
Zoals eerder vermeld zal de gevelbepoistering niet tot op het maaiveld mogen doorlopen, om de gevel onderaan af te werken zal er een plint tegen het vochtbestendige isolatiemateriaal geplaatst worden.

Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1350	2,000
Vloer	0,1422	1,000
Wand	0,0939	1,180
	$\psi =$	-0,0442

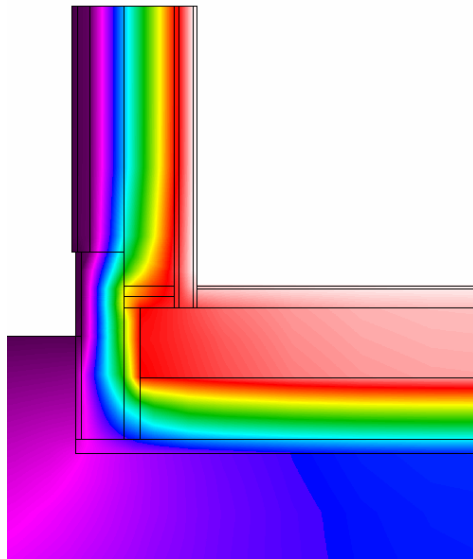
7.7.1.4 Wand met houten beplanking



Net zoals bij de gevelafwerking met een buitenpleister, dient ook de houten gevelafwerking beschermd te worden tegen opspattend (regen)water. Er wordt ook hier een minimale afstand van 25 cm behouden tussen de houten gevelafwerking en het maaiveld. Om de gevel onderaan af te werken zal er ook een plint tegen het vochtbestendige isolatiemateriaal geplaatst worden.

Om de houtvezelisolatie te beschermen tegen water en wind wordt er een regen- en windscherm geplaatst op de buitenzijde van de houtvezelplaten. Dit scherm dient wel dampopen te zijn, aangezien er steeds gestreefd wordt naar een dampopen constructie.

Om de houten gevelbekleding snel te laten uitdrogen en schimmelvorming te voorkomen wordt een geventileerde luchtspouw voorzien achter de gevelbekleding.

Resultaten Therm:

Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m ² K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1343	2,000
Vloer	0,1367	1,000
Wand	0,1002	1,180
	$\psi =$	-0,0474

7.7.1.5 Fundering op staal met kruipruimte

Een tweede methode is funderen op staal, deze methode wordt frequent toegepast in België. Bij funderen op staal worden traditioneel sleuven gegraven tot op voldoende draagkrachtige grond, ten minste 80 cm beneden het maaiveld. Deze diepte wordt vorstvrij verondersteld. Daar worden de funderingsmuren aangezet.

Ter hoogte van het maaiveld zal dan op deze funderingsmuren de vloerplaat geplaatst worden. Deze vloerplaat kan bestaan uit welfsels of een houten roostering. Bij het isoleren wordt in dit werk steeds gekozen om de isolatie boven de vloerplaat te plaatsen.

Omdat de muren van een passiefhuis breder zijn dan deze van een traditionele woning is het nodig dat ook de funderingen breder worden uitgevoerd, zodat ook de gevelafwerking voldoende steun kan vinden op de ondergrondse constructie. In dit werk is steeds gekozen voor een breedte van 40 cm voor het funderingsmetselwerk.

Hierna zal de aansluiting van de verschillende wandopbouwen, welke besproken zijn in hoofdstuk 6, met de fundering besproken worden.

Er wordt hierbij nog een onderscheid gemaakt tussen vloerplaten uit welfsels en vloerplaten opgebouwd uit een houten roostering.

7.7.1.6 Koudebrugberekening

Voor de berekening van de koudebrug van deze aansluiting is het niet meer mogelijk om de methode die besproken is in paragraaf 7.7.1.1 toe te passen. Dit omdat in de kruipruimte een andere temperatuur heerst dan buiten. Deze rekenmethode wordt niet beschouwd in dit werk, er wordt verwezen naar de norm NBN EN ISO 13370. Om toch een beeld te geven van de

grootte van de koudebrug wordt hier de methode toegepast zoals uitgelegd in paragraaf 7.2. In plaats van de buitenafmetingen zal hier echter met de binnenafmetingen gerekend worden. Hierdoor wordt in plaats van een overschatting een onderschatting gemaakt van het totale warmteverlies in de referentieconstructie, zoals weergegeven in figuur 7.3.

Voor de berekening van de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt wordt er als volgt te werk gegaan:

Het totale warmteverlies van de aansluiting wordt berekend. Daarna zal het warmteverlies van de vloerplaat en van de wand berekend worden.

Het verschil tussen het warmteverlies van het gehele detail en van de wand en de vloer geeft dan een waarde voor het warmteverlies in de aansluiting.

7.7.2 Fundering op staal met kruipruimte bij de toepassing van welfsels

7.7.2.1 Algemene aandachtspunten

Om te verhinderen dat het opstijgende vocht uit de funderingsmuren tot in de vloerconstructie kan dringen, wordt steeds een vochtscherm onder de vorm van een EPDM-folie of bitumen aangebracht tussen de funderingsmuren en de vloerconstructie.

Om te voorkomen dat vocht uit de welfsels de vloerisolatie of de houtskeletconstructie kan aantasten wordt er een folie over het hele vloeroppervlak aangebracht. Aan de buitenmuren wordt een overlengte voorzien zodat deze in een volgende fase kan omgeplooid en bevestigd kan worden tegen de houtconstructie.

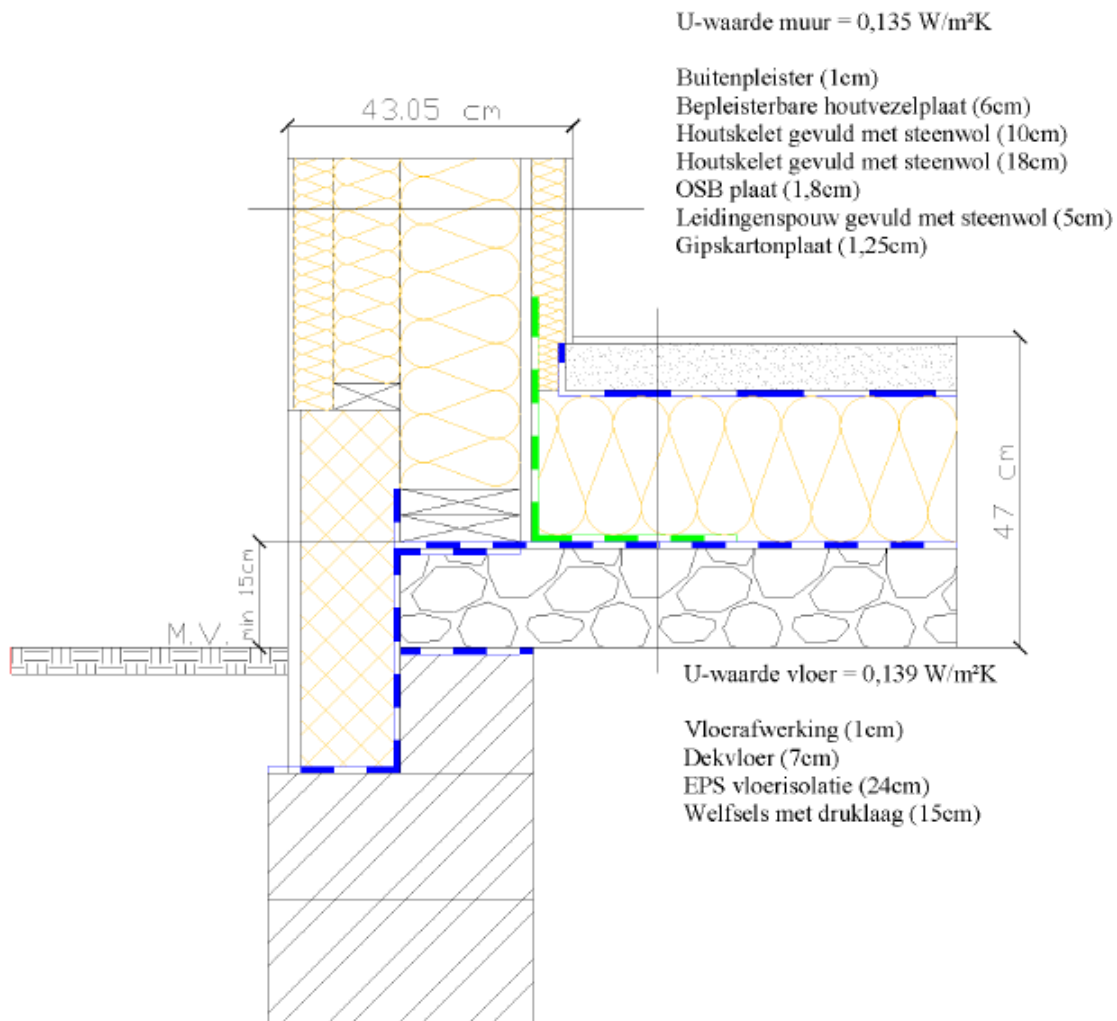
Ook wordt onder de muurplaat nog een vochtwerende folie met voldoende breedte aangebracht. Deze folie zal steeds aangebracht worden, daarom wordt de plaatsing ervan hier al vermeld. Deze folie zal verderop in de opbouw nog gebruikt worden, de functie ervan is verschillend voor de verschillende wandopbouwen. De exacte functie zal bij de verschillende aansluitingen verduidelijkt worden.

Voor de luchtdichting te realiseren tussen de buitenwand en de vloer zal een luchtdichte folie aangebracht worden over de volledige lengte van de wand. Deze folie wordt via speciale tape op de betonplaat en de OSB beplating die dienst doet als luchtdichting van de wand aangebracht. Ter plaatse van de aansluiting van een buitenwand met een binnenwand dient eerst deze luchtdichte folie aangebracht te worden alvorens de binnenwand te plaatsen. Hierdoor is het veel makelijker om een goede continue luchtdichting te bekomen.

Indien de isolatie die gebruikt is voor de isolatie van de wand mag niet in contact mag komen met de grond, zal ter plaatse van de aansluiting met het maaiveld steeds een vochtbestendig isolatiemateriaal aangebracht worden. Door deze isolatie tot op het funderingsmetselwerk te laten doorlopen wordt de koudebrug van het funderingsdetail bijkomend beperkt.

7.7.2.2 Wand met gevelbepkeistering

Onderstaande tekening geeft de aansluiting weer van een wand met gevelbepkeistering.



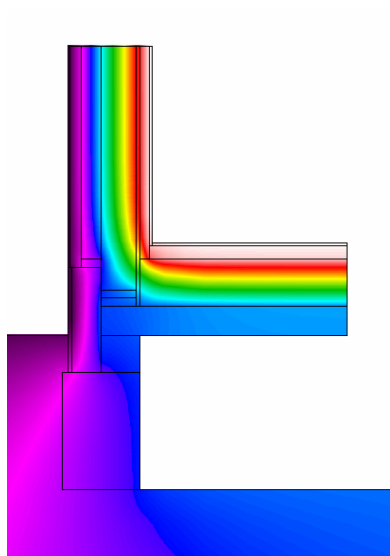
Er dient rekening gehouden te worden met enkele bijkomende aandachtspunten:

De folie, die met een overlengte geplaatst is onder de stelregel zal naar beneden omgeplooid worden wanneer de vochtbestendige isolatie geplaatst wordt. Deze folie zorgt ervoor dat er geen vocht horizontaal via de welfsels in de constructie kan komen.

Het buitenste skelet wordt niet ter plaatse van de onderregel van het dragende skelet aangebracht maar circa 20 cm hoger. Dit om de koudebrug die anders veroorzaakt zou worden tegen te gaan.

De overige aandachtspunten hebben betrekking tot de gevelafwerking met een buitenpleister en werden reeds besproken in paragraaf 7.7.1.3.

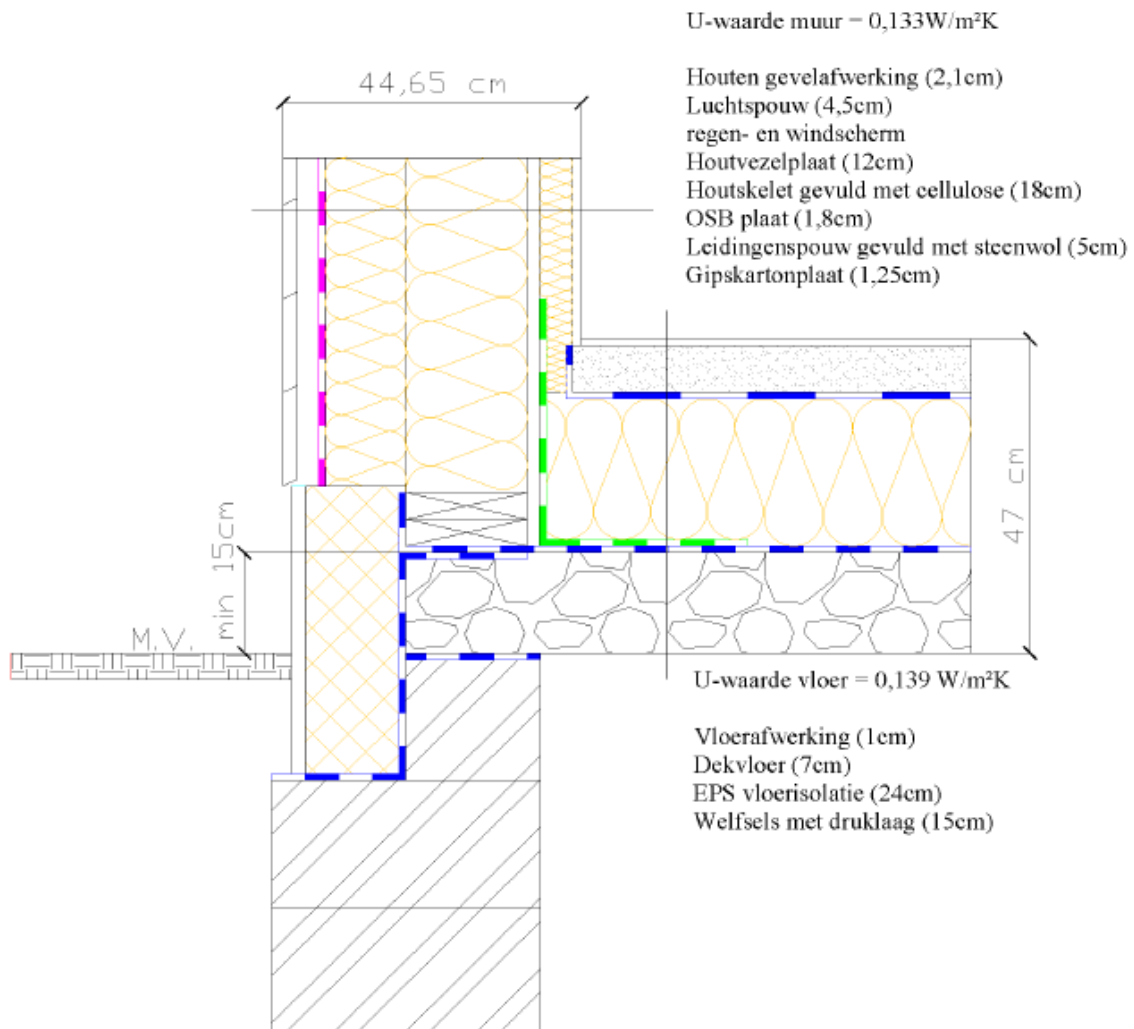
Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1071	2,010
Vloer	0,0992	1,000
Wand	0,0939	1,010
	$\psi =$	0,0212

7.7.2.3 Wand met houten beplanking

Onderstaande tekening geeft de aansluiting weer van een wand met een houtafwerking.

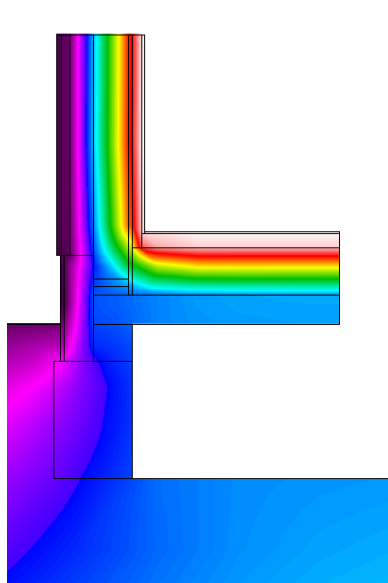


Er dient rekening gehouden te worden met enkele bijkomende aandachtspunten:

Ook hier zal de folie, die met een overlengte onder de muurplaat geplaatst werd naar beneden omgeplooid worden wanneer de vochtbestendige isolatie geplaatst wordt. Deze folie zorgt ervoor dat er geen vocht horizontaal via de welfsels in de constructie kan komen.

De overige aandachtspunten hebben betrekking tot de gevelafwerking met een houten beplanking en werden reeds besproken in paragraaf 7.7.1.4.

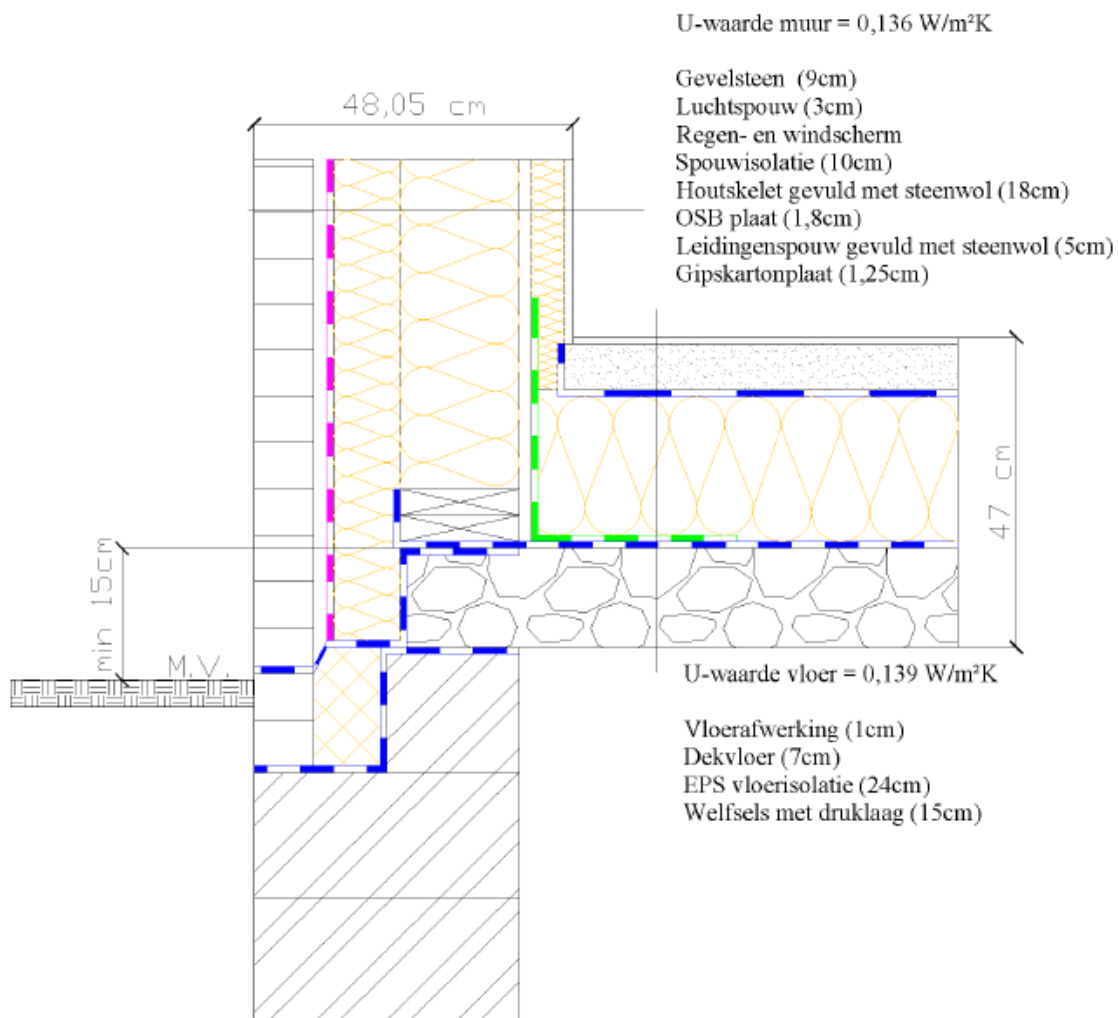
Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1121	2,010
Vloer	0,0992	1,000
Wand	0,1002	1,010
	$\psi =$	0,0249

7.7.2.4 Wand met gevelsteen

Onderstaande tekening geeft de aansluiting weer van een wand met een gevelsteen als afwerking.



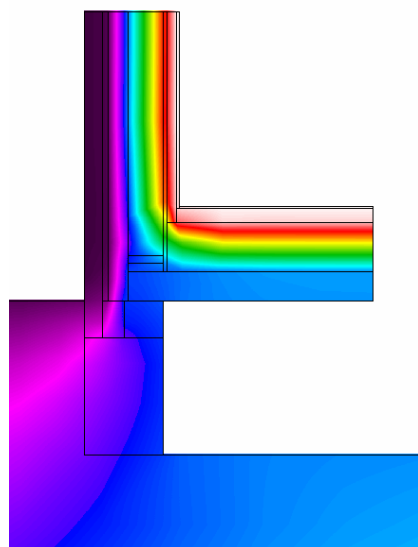
Bij deze opbouw wordt er gebruikgemaakt van spouwisolatie welke via de spouwankers bevestigd wordt tegen de houtskeletstructuur. Langs de buitenzijde van deze spouwisolatie dient er een regen- en windscherm geplaatst te worden om de isolatie te beschermen.

Aangezien hier gewerkt wordt met een gevelsteen is er een kans op regendoorslag. Om dit water uit te spouw te kunnen evacueren en zo de achterliggende spouwisolatie te beschermen dient er aan de voet van spouwmuren een continu en trapsgewijs dichtingsmembraan geplaatst te worden om het water te evacueren via de open stootvoegen onderaan het gevelmetselwerk. De folie, die met een voldoende overlengte in een vorige fase is geplaatst zal nu dienst doen als dit trapsgewijze dichtingsmembraan. Tijdens het plaatsen van de spouwisolatie en het gevelmetselwerk zal deze folie naar buiten uitgeplooid worden en bevestigd worden in het

gevelmetselwerk ter hoogte van de stootvoegen, om zo het aflopende water naar buiten te kunnen afvoeren.

Een ander verschil met vorige twee opbouwen is dat de waterkerende folie die aangebracht wordt tussen de funderingsmuur en de welfsels hier over de gehele lengte van het funderingsmetselwerk wordt aangebracht. Dit om te voorkomen dat er vocht uit de funderingen kan opstijgen in het gevelmetselwerk.

Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1114	2,010
Vloer	0,0953	1,000
Wand	0,1043	1,010
	$\psi =$	0,0233

7.7.3 Fundering op staal met kruipruimte bij de toepassing van een houten roostering

7.7.3.1 Algemene aandachtspunten

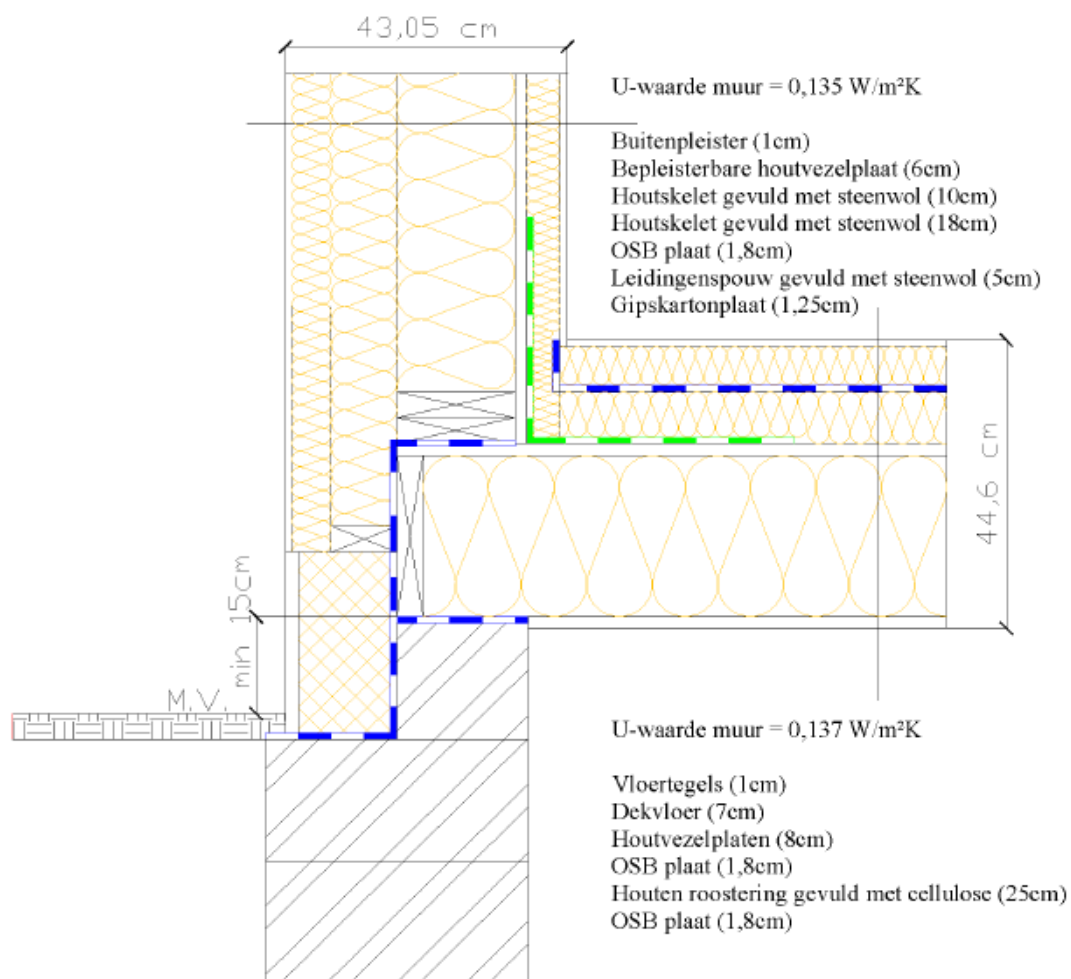
Wanneer er gebruik gemaakt wordt van een houten roostering voor de constructie van de vloer, dient er voor gezorgd te worden dat ook de onderkant van deze roostering ten minste 15 cm boven het maaiveld ligt. Door deze eis ligt de afgewerkte vloer hoger dan wanneer er gebruik gemaakt wordt van welfsels.

Net zoals bij de opbouw met welfsels wordt er steeds een vochtwerende folie aangebracht tussen de funderingsmuur en de vloerconstructie. Ook wordt er weer een extra vochtwerende folie van voldoende breedte geplaatst onder de muurplaat.

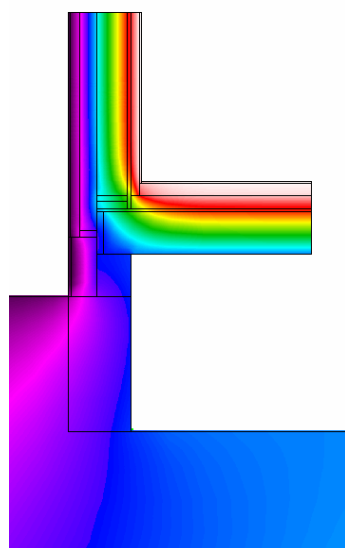
De luchtdichting van de vloerplaat bestaat net zoals de wand uit OSB platen die onderling worden afgetaped om een luchtdichte laag te realiseren. Om de luchtdichting tussen de vloer en de wand te realiseren wordt ook hier gebruik gemaakt van een luchtdichtingsfolie welke op vloer en wand wordt bevestigd met speciale tape. Waar er een aansluiting komt met een binnenwand dient eerst deze folie aangebracht te worden alvorens de binnenwand te plaatsen. Dit vergemakkelijkt het om de luchtdichting continue te laten doorlopen.

Hierna zullen de aansluitingen met de verschillende wandopbouwen toegelicht worden. De aandachtspunten zijn dezelfde als deze van de aansluitingen met een vloer opgebouwd uit welfsels en er wordt hiervoor naar daar verwezen. Hierna worden enkel de tekeningen van de verschillende aansluitingsdetails en de resultaten van de koudebrug berekening gegeven.

7.7.3.2 Wand met gevelbepleistering

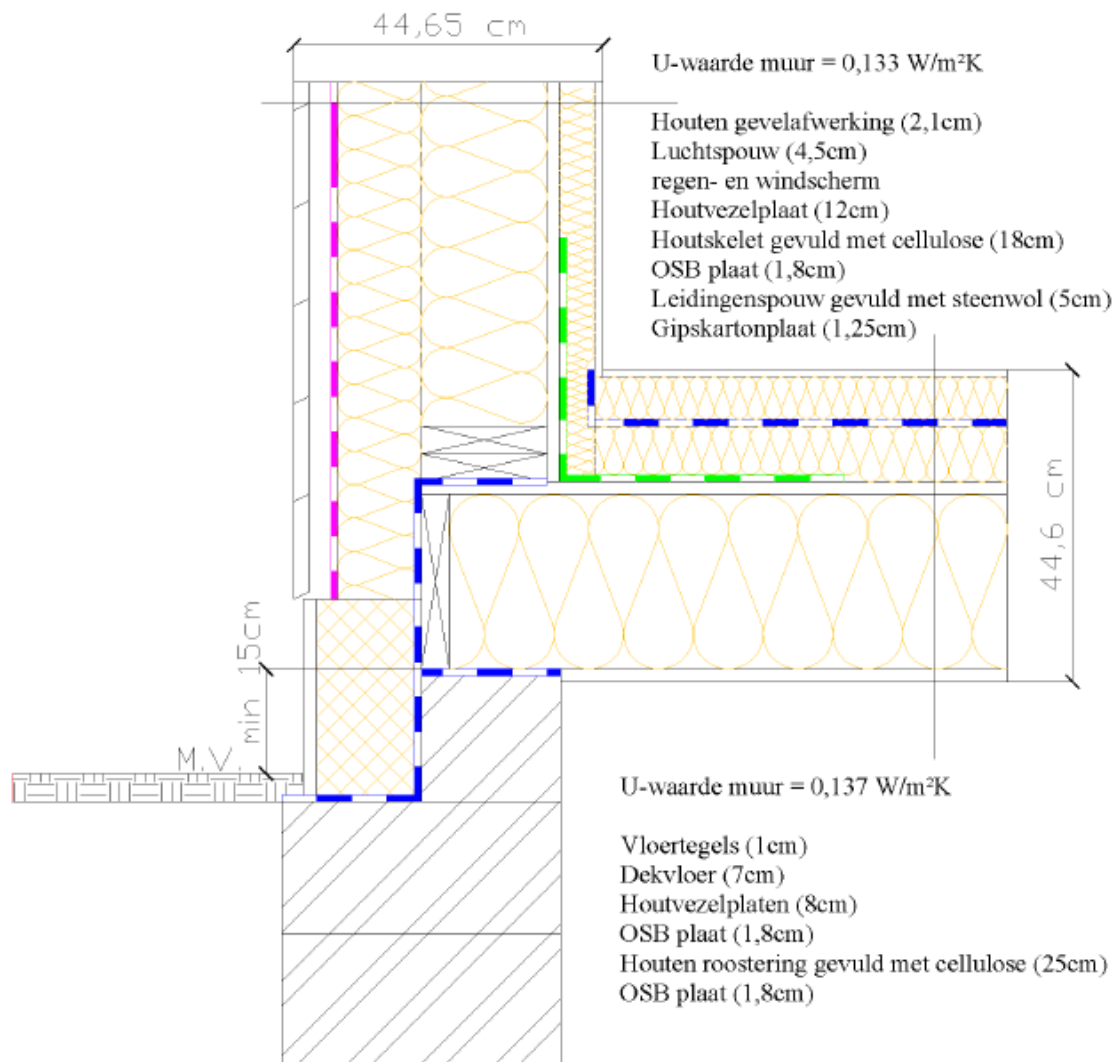


Resultaten Therm:

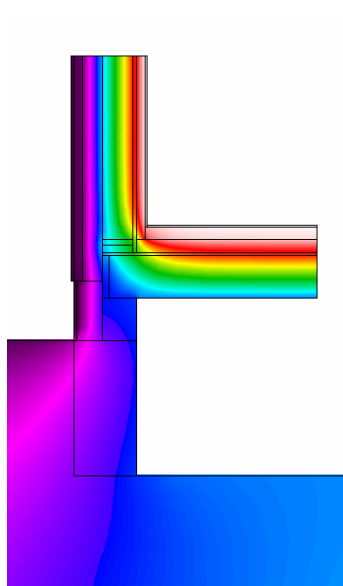


Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1019	2,000
Vloer	0,0881	1,000
Wand	0,0939	1,000
	$\psi =$	0,0218

7.7.3.3 Wand met houten beplanking

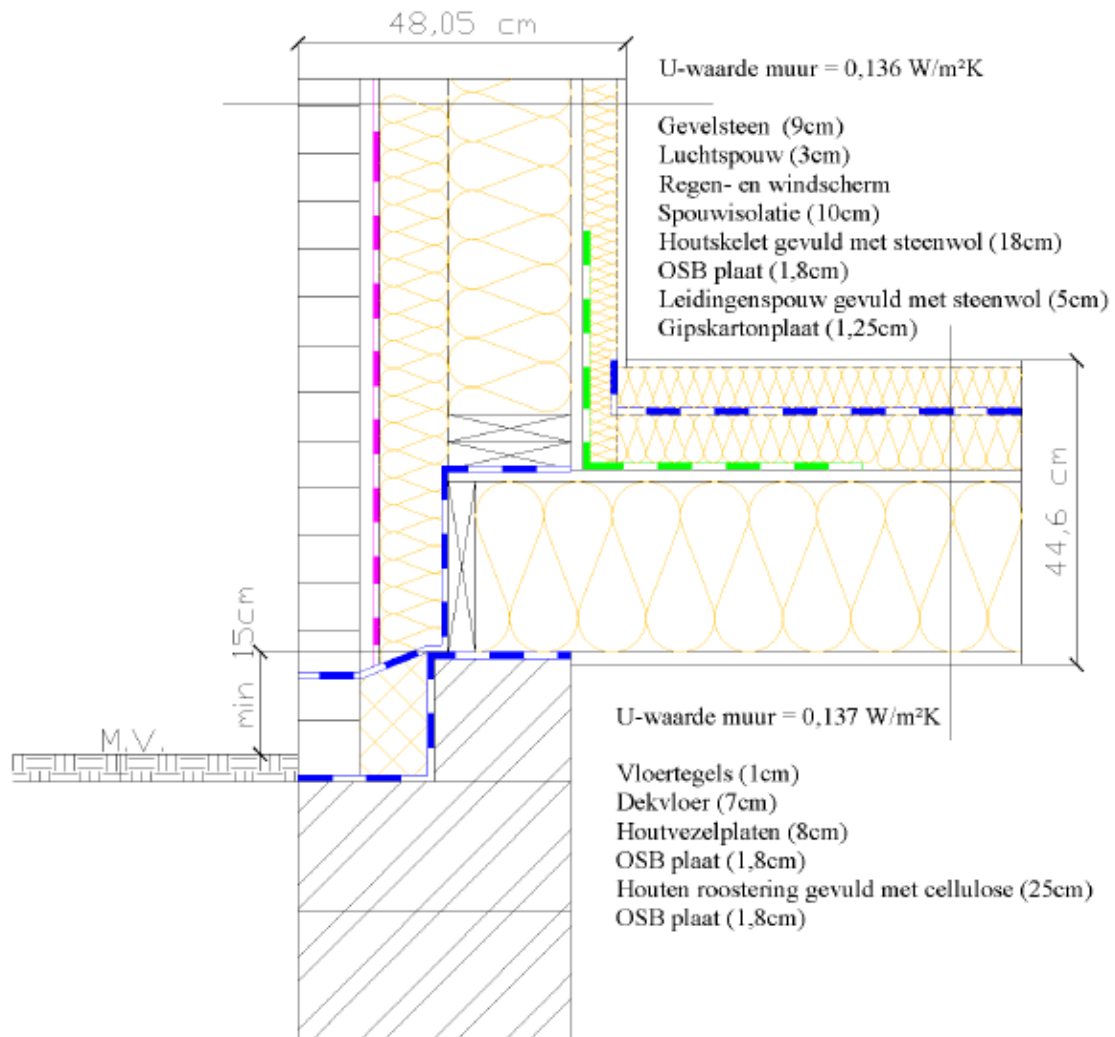


Resultaten Therm:

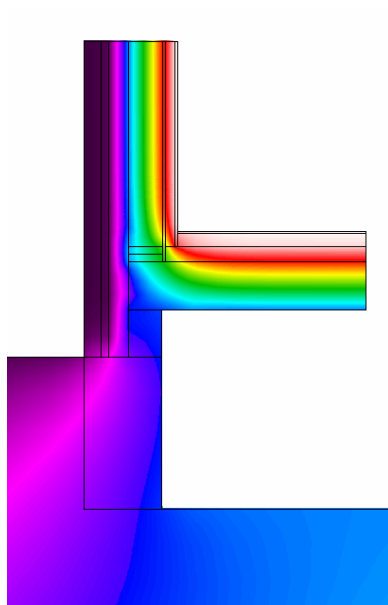


Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1067	2,000
Vloer	0,0881	1,000
Wand	0,1002	1,000
	$\psi =$	0,0251

7.7.3.4 Wand met gevelsteen



Resultaten Therm:



Aansluiting buitenwand-fundering		
Onderdeel	U-factor [W/m²K]	Lengte [m]
Samengesteld	0,1070	1,988
Vloer	0,0867	1,000
Wand	0,1043	0,988
$\psi =$		0,0227

7.7.3.5 Algemene opbouwvolgorde aansluiting buitenwand met fundering op staal

Voor de aansluiting tussen een buitenwand en fundering wordt volgende algemene praktische opbouwvolgorde voorgesteld:

1. Plaatsen van funderingsmetselwerk en welfsels gebeurt volgens de regels van de kunst. Tussen de funderingsmuren en de welfsels wordt een waterkering over de volledige breedte van de muur geplaatst om te vermijden dat het grondvocht door capillariteit zou opstijgen tot in de constructie.

Indien er gebruik gemaakt wordt van een gevelsteen als afwerking zal de waterkerende folie over de gehele breedte van het funderingsmetselwerk worden aangebracht, zodat ook onder het gevelmetselwerk een waterkerende folie zit.

2. Indien er gekozen wordt voor een vloeropbouw met welfsels wordt over de hele oppervlakte een vochtscherp aangebracht. Dit vochtscherp loopt ook onder de muurplaat door. Er wordt een overlengte voorzien zodat na het plaatsen van het dragende skelet dit naar buiten omgeplooid kan worden en bevestigd kan worden aan de houtstructuur.

Indien er gewerkt wordt met een houten roostering als vloerconstructie dient dit vochtscherp niet aangebracht te worden.

3. Alvorens de vormvaste muurplaat geplaatst wordt, zal er ter plaatse van de muurplaat nog een waterkerende folie met een voldoende breedte geplaatst worden welke in een latere fase verder gebruikt zal worden.
4. De muurplaat wordt geplaatst en verankerd aan de onderliggende structuur.
5. De dragende houtskeletwand met de OSB beplating langs de binnenzijde wordt via de onderregel op de muurplaat bevestigd.
6. Indien gebruik gemaakt wordt van een 2^{de} skelet zal dit nu aan de dragende houtskeletwand bevestigd worden. Wanneer er gebruik gemaakt wordt van flexibel isolatiemateriaal voor het isoleren van de houtstructuur zal deze isolatie ook in deze fase geplaatst worden. De isolatie in het dragende skelet wordt dan geplaatst voor het 2^{de} skelet bevestigd word.

Indien er gebruik gemaakt wordt van ingeblazen isolatie zal het skelet in een latere fase opgevuld worden.

7. Om de houtstructuur niet te lang bloot te stellen aan de weersinvloeden moet de regen- en winddichting zo snel mogelijk aangebracht worden. Voor de wand is dit afhankelijk van de toegepaste buitenafwerking en het isolatiemateriaal.

Indien een gevelbepoistering wordt aangebracht op een bepoisterbare houtvezelplaat vervult de poister de functie van wind- en waterdichte laag. Deze kan echter pas in een latere fase worden aangebracht, wanneer onder andere het schrijnwerk geplaatst is en alle noodzakelijke doorvoeren zoals bijvoorbeeld voor het ventilatiesysteem op hun plaats zitten. De bepoisterbare houtvezelplaten kunnen echter maar zes weken onbeschermd worden gelaten. Wanneer deze termijn overschreden wordt dienen de platen tijdelijk beschermd te worden door bijvoorbeeld een onderdakfolie. Het houtskelet moet gevuld worden met isolatie ofwel voor aanbrengen van de houtvezelplaten, indien een flexibel plaatmateriaal wordt gebruikt, ofwel achteraf indien de isolatie wordt ingeblazen.

Ook dient er op gelet te worden dat de houtvezelplaten ten minste 25 cm boven het maaiveld blijven om ze zo te beschermen tegen opspattend regenwater. Later zal voor de afwerking van de wand onderaan een plint geplaatst worden. Deze plint wordt bevestigd tegen een hydrofoob isolatiemateriaal aangezien dit permanent in contact staat met de bodem.

Wanneer de buitenafwerking bestaat uit gevelmetselwerk kan deze best zo snel mogelijk geplaatst worden. Dit om de spouwisolatie en isolatie in het skelet, waarvoor in dit werk steenwol verondersteld wordt, niet langdurig bloot te stellen aan de weersinvloeden.

In het laatste geval, voor een houten beplanking als gevelafwerking, moet aan de buitenzijde van het skelet sowieso een wind- en waterdichte folie of plaatmateriaal worden aangebracht, afhankelijk van het toegepaste isolatiemateriaal. Indien flexibele isolatieplaten worden gebruikt dient het isoleren vooraf te gebeuren. Bij het inblazen van isolatie kan dit achteraf gebeuren.

8. Aanbrengen van een luchtdichte folie om de aansluiting van de wand met de vloer luchtdicht te maken. Deze folie wordt op de vloerplaat en de wand getaped. Ter hoogte van de binnenwanden dienen deze folies voor het plaatsen van de binnenwanden aangebracht te worden. Dit omdat het anders veel moeilijker wordt om de folie te plaatsen.

9. Aftapen van de naden tussen de OSB platen van de wand.

Indien er gekozen werd voor een houten roostering als vloerconstructie zullen ook de naden van de OSB platen op de vloer afgetaped worden.

10. Aanbrengen van de regels voor de leidingenspouw, beginnend op het niveau waar later de bovenkant van de dekvloer zal komen. De leidingen die in de leidingenspouw

komen kunnen ook best nu geplaatst worden. Alle doorvoeren die de luchtdichte laag onderbreken moeten luchtdicht afgetapt worden.

11. Nadat al deze werken zijn uitgevoerd kan best de luchtdichtingstest uitvoert worden.

Indien er fouten zijn kunnen deze gemakkelijker opgespoord worden en verbeterd.

12. Plaatsen van de vloerisolatie (geschrant)

13. Aanbrengen van een folie op de vloerisolatie om zo de vloerisolatie te beschermen.

14. Aanbrengen van de dekvloer. Deze dient gewapend te worden omdat deze zich op isolatiemateriaal bevind.

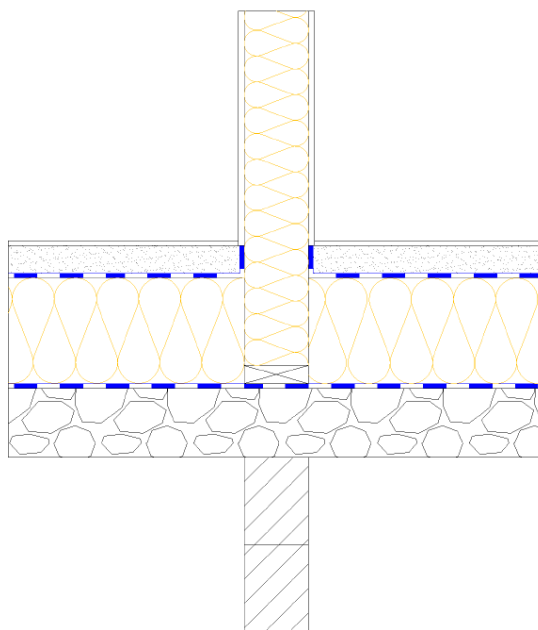
15. Vullen van de leidingenspouw met isolatiemateriaal en de gipskartonplaten of ander binnenafwerking plaatsen.

16. Plaatsen van de vloerafwerking

7.8 Aansluiting binnenwand – fundering

7.8.1 Fundering op staal met draagvloer uit welfsels

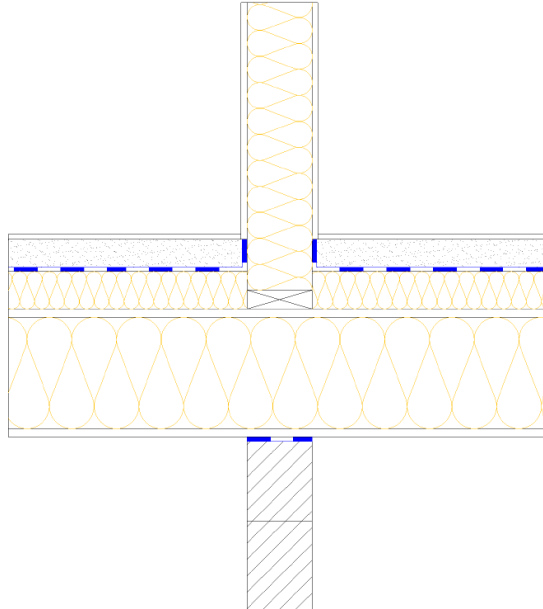
Zoals op onderstaande tekening wordt weergegeven wordt de dragende binnenwand op de welfsels aangebracht. Op deze welfsels is een vochtwerende folie aangebracht zoals besproken is bij de aansluiting van een buitenwand met de fundering op staal, zodat vocht uit de welfsels de vloerisolatie en de wand niet kan aantasten.



De dragende binnenwand wordt hier uitgevoerd in hout. Om de thermische inertie van de woning te verhogen kan ervoor gekozen worden om de binnenwanden in metselwerk op te trekken. Hiervoor moet de wand onderaan uitgevoerd worden in metselwerk van isolerend materiaal zoals cellenbeton of cellulair glas. Dit heeft echter wel een negatieve invloed op de koudebrug aangezien de lambda-waarde van het isolerend metselwerk nog steeds veel hoger is dan de gebruikte vloerisolatie.

7.8.2 Fundering op staal met draagvloer uit houten roostering

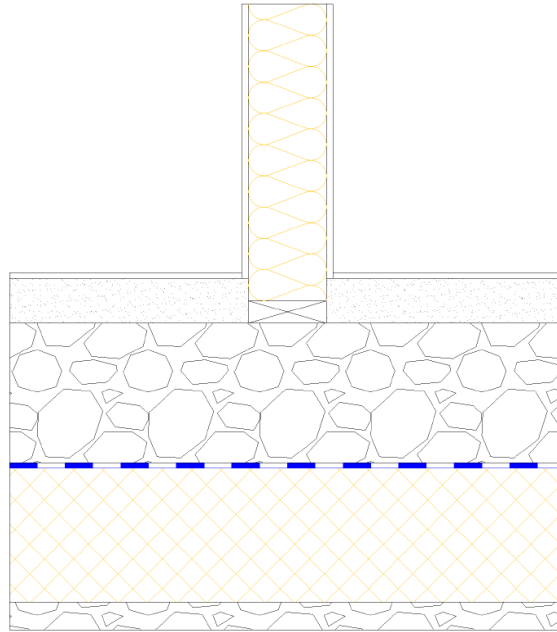
Bij de opbouw van de draagvloer uit een houten roostering, zoals weergegeven in onderstaande tekening, moet de binnenwand uitgevoerd worden in hout.



Tussen het funderingsmetselwerk en de draagvloer wordt ook een vochtwerende folie aangebracht om te voorkomen dat opstijgend vocht uit het funderingsmetselwerk de draagvloer kan indringen en beschadigen.

7.8.3 Gehele plaatfundering

Als de er gekozen wordt voor een gehele plaatfundering, zoals weergegeven in onderstaande tekening, kan de binnenwand in zowel in hout als in metselwerk uitgevoerd worden.



Het gebruik van het materiaal heeft immers geen invloed op het warmteverlies. Dit komt omdat de isolatie zich onder de betonplaat bevindt en dus niet onderbroken wordt. Om te thermische inertie van de woning te verhogen kan hier dus gemakkelijk gewerkt worden met gemetselde binnenmuren.

7.9 Inbouw raam

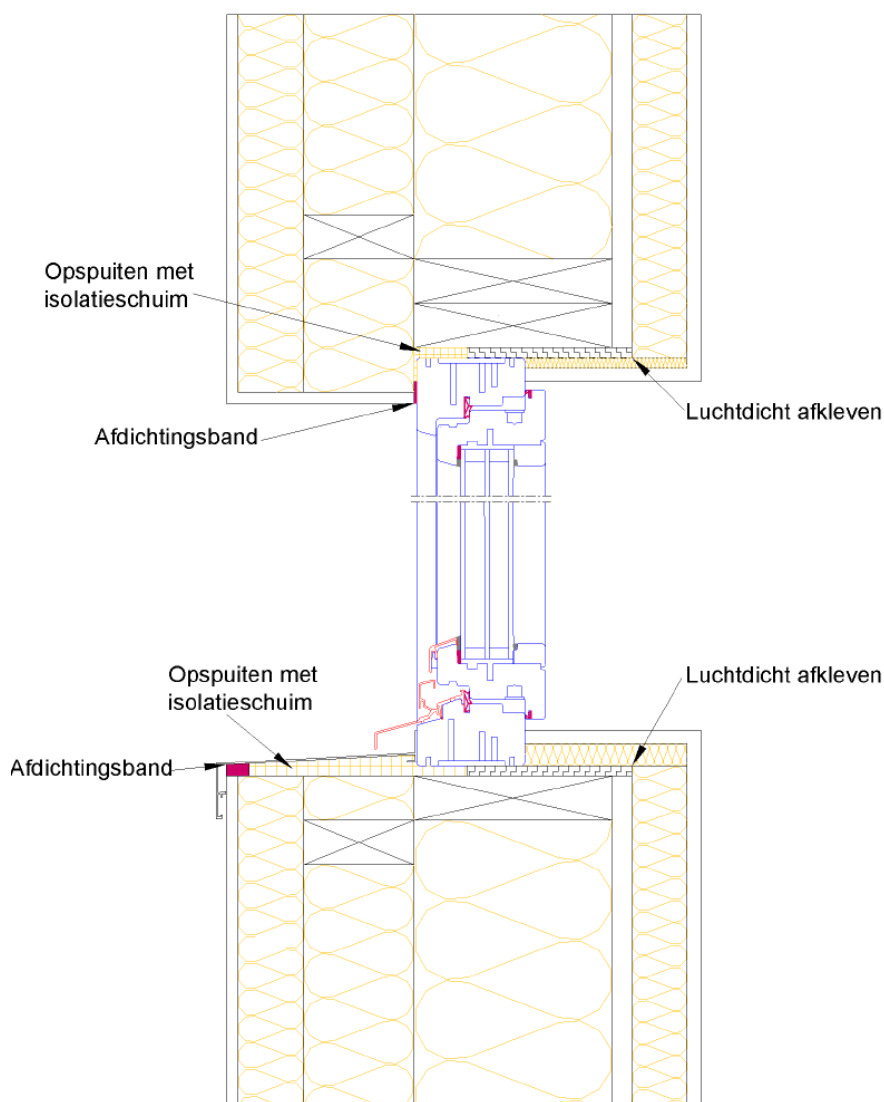
Bij de aansluiting van een raam met een wand zijn er enkele belangrijke punten waar op gelet dient te worden.

Een eerste aandachtspunt is dat de luchtdichte laag aan de binnenzijde van de wand goed aansluit op het raamkader, zodat er geen luchtlekken ontstaan. In dit werk zal om deze aansluiting gemakkelijk te kunnen uitvoeren steeds een multiplex kader rond het raamkozijn geplaatst worden. Het kader wordt over een afstand van maximaal $\frac{2}{3}$ van de dikte van het raamkader vastgeschroefd en volledig verlijmt met een geschikte, soepel blijvende luchtdichte kit, bijvoorbeeld Orcon, zodat ook deze aansluiting luchtdicht is. De dikte van het multiplex kader bedraagt 9mm wat voldoende sterk is. Onderaan kan er eventueel gekozen worden voor een dikkere multiplex aangezien hier de last van het raam gedragen moet worden. Het raam met het multiplex kader zal in zijn geheel in de wand ingebouwd worden. De aansluiting van het multiplex kader met de luchtdichte laag aan de binnenzijde kan dan gemakkelijk afgetaped worden. Indien er geen gebruik gemaakt wordt van het multiplex kader zal het aftapen van de luchtdichte laag langs de binnenzijde van de wand moeilijker zijn aangezien er weinig plaats is op het raamkader om de tape te bevestigen, zodat er een grotere kans bestaat op luchtlekken.

Een tweede aandachtspunt is dat de regen- en winddichting langs de buitenzijde van de wand goed aansluit op het raamkader, zodat de constructie afgeschermd blijft van de buitenomgeving en dus niet beschadigd kan worden door vocht. Hoe dit gedaan wordt hangt samen met de gekozen gevelafwerking en zal dus bij iedere gevelafwerking afzonderlijk besproken worden.

7.9.1 Verticale snedes van de raamdetails

7.9.1.1 Wand met gevelbepleistering

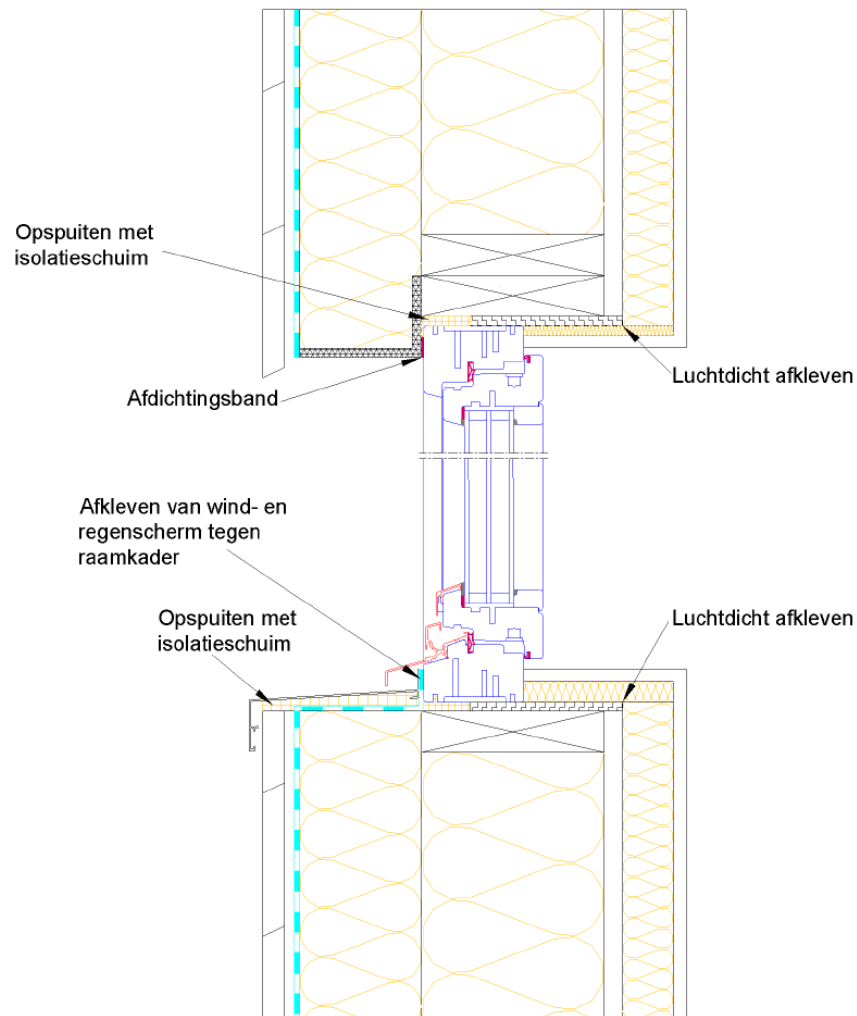


Als er gebruik gemaakt wordt van een buitenpleister als gevelafwerking doet deze pleister dienst als regen- en winddichting. Om een goede aansluiting te realiseren moet er onder- en bovenaan een afdichtingsband geplaatst worden. De plaatsing van deze afdichtingsband is weergegeven op bovenstaande tekening.

Indien de bovenregel van het tweede skelet op de zelfde hoogte zou geplaatst worden als de bovenregel van het dragende skelet zou er een koudebrug ontstaan. Om deze koudebrug te beperken zal de bovenregel van het tweede skelet iets lager bevestigd worden aan het dragende skelet. Erboven wordt een isolatiemateriaal geplaatst. Om dezelfde reden wordt hetzelfde ook aan de bovenkant van de aansluiting van het raam gedaan.

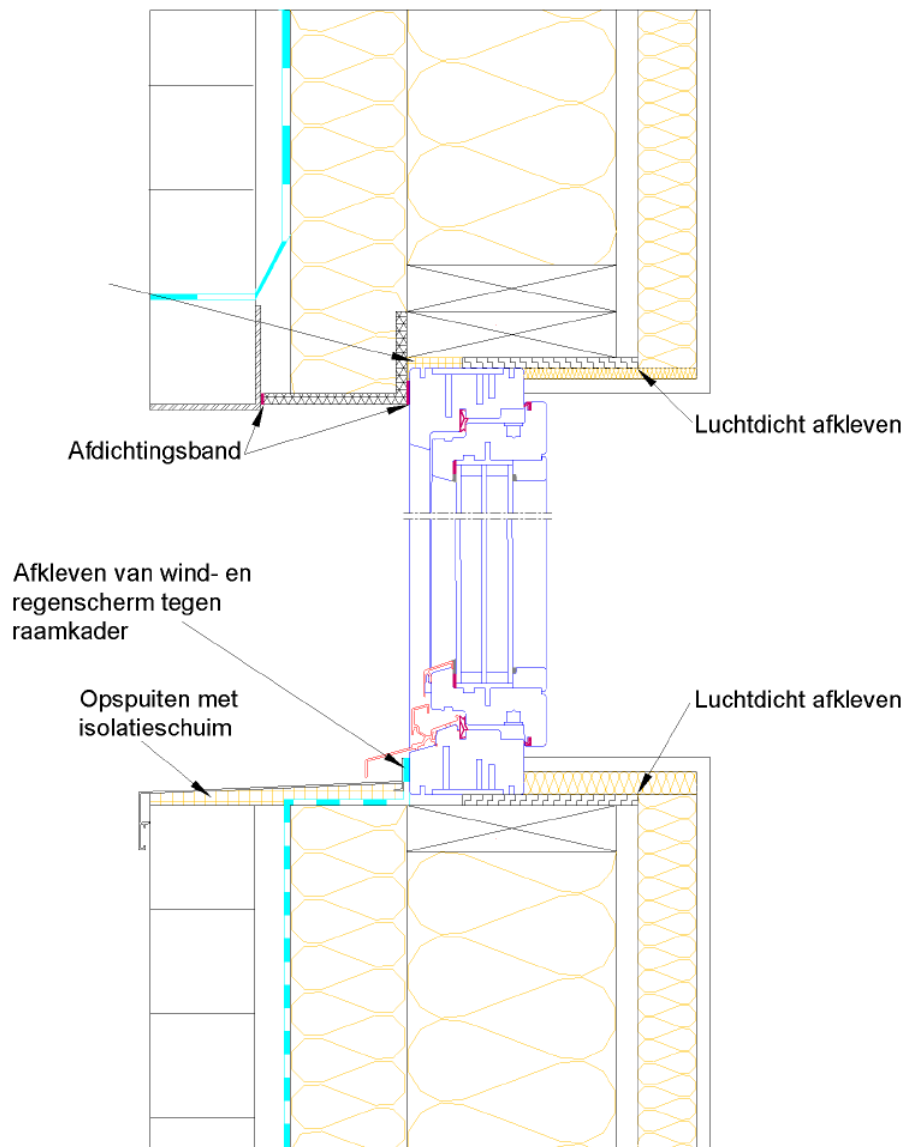
De ruimte tussen de dorpel en de wand wordt met een isolatiemateriaal opgespoten.

7.9.1.2 Wand met houten beplanking



Om de inbouw van het raam af te werken wordt er bovenaan een houten hoekprofiel geplaatst, zo wordt ook de isolatie afgeschermd. De regen- en winddichting wordt bij deze wandopbouw gerealiseerd door de plaatsing van een folie. Bovenaan wordt deze folie tegen het hoekprofiel afgetaped en tussen het hoekprofiel en het raamkader wordt een afdichtingsband geplaatst. Onderaan loopt deze folie door tot tegen het raamkader en wordt daar met een tape bevestigd. De ruimtes tussen het raamkader en de wand worden ook hier opgespoten met isolatieschuim.

7.9.1.3 Wand met gevelsteen



De regen- en winddichting wordt ook bij deze wandopbouw door de plaatsing van een folie gerealiseerd. Onderaan loopt deze folie door tot tegen het raamkader en wordt daar met een tape bevestigd. Bovenaan wordt de folie omgeplooid en in het gevelmetselwerk bevestigd. Hierdoor kan het water, dat door regendoorslag in de spouw is geïnfiltreerd naar buiten afgevoerd worden.

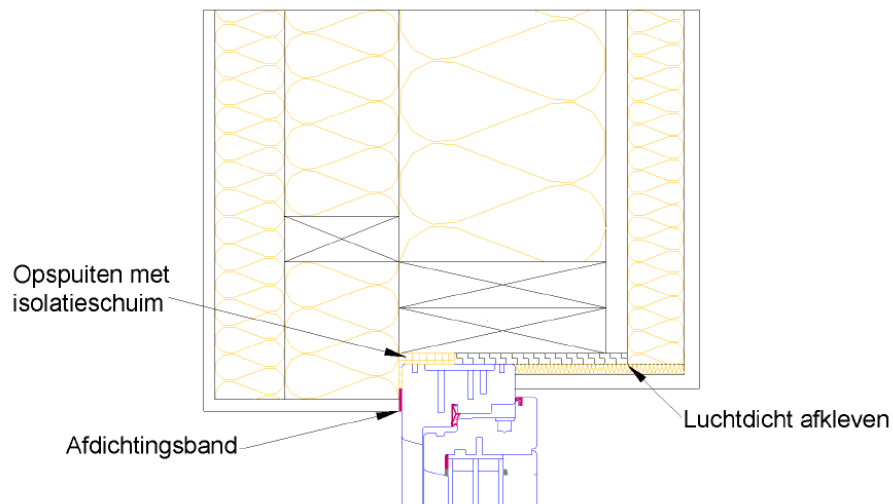
Om bovenaan toch de regen- en winddichting te kunnen realiseren wordt er langs beide zijden van het hoekprofiel een afdichtingsband geplaatst.

De ruimtes tussen het raamkader en de wand worden ook hier opgespoten met isolatieschuim. Om het gevelmetselwerk boven het raam te ondersteunen wordt er hier gebruik gemaakt van een stalen L-profiel.

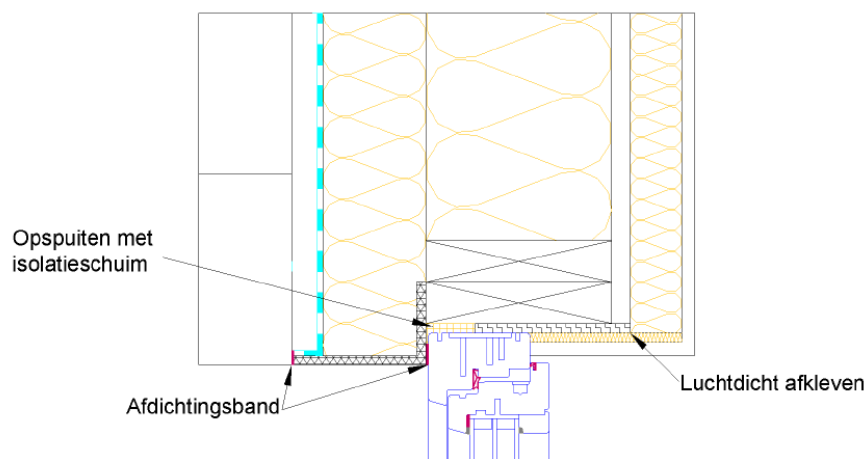
7.9.2 Horizontale snedes van de raamdetails

Hierna worden de horizontale snedes van de aansluiting van het raam met de verschillende wandopbouw weergegeven. Hier zijn geen bijkomende aandachtspunten in vergelijking met vorige aansluitingen. Daarom wordt naar de vorige besproken aandachtspunten verwezen.

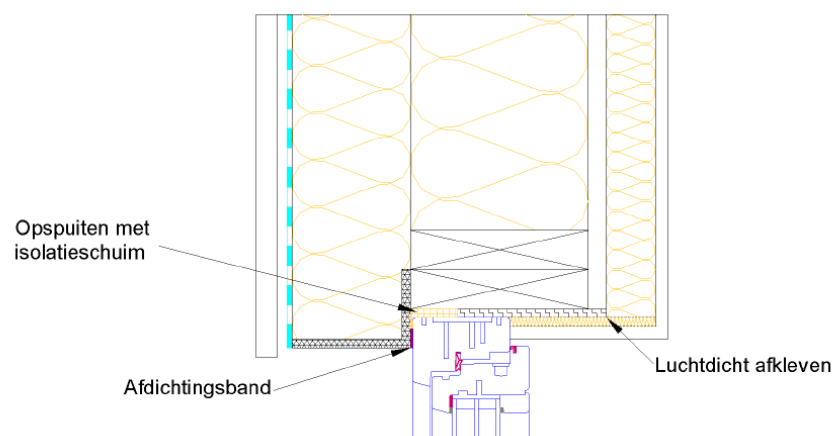
7.9.2.1 Wand met gevelbepleistering



7.9.2.2 Wand met gevelsteen



7.9.2.3 Wand met houtafwerking



8 Besluit

Doordat de energieprijzen almaar blijven stijgen, is men steeds meer en meer op zoek om te besparen op de energiekost. Aangezien het verwarmen van de woning een groot deel uitmaakt van de energiekost van een gezin wint het energiezuinig bouwen steeds meer aan interesse bij het grote publiek.

De energieprestatieregelgeving, die in januari 2006 werd ingevoerd, is al een stap in de goede richting. Maar omdat de olieprijs sinds de invoering van deze regelgeving drastisch gestegen is kan men zich afvragen of deze eisen wel streng genoeg zijn. Het blijkt immers dat vele gezinnen meer en meer problemen ondervinden om hun energiefactuur te blijven betalen.

Het passiefhuis staat voor een extreme vorm van besparen op onder andere de verwarming van de woning, aangezien er geen conventionele verwarming aanwezig is. Door enerzijds de warmteverliezen tot een minimum te beperken en anderzijds optimaal gebruik te maken van passieve zonnewinsten en interne warmtewinsten zal tijdens het grootste deel van het jaar er niet bijkomend verwarmd moeten worden om toch tot een aangenaam binnenklimaat te komen.

Ondanks dit alles wordt het bouwen van een woning volgens de passiefhuis-standaard nog maar amper toegepast in België, dit in vergelijking met de ons omringende landen. We vroegen ons daarom af wat de grootste barrières waren omtrent dit concept. Uit het marktonderzoek bleek dat vooral de initiële meerkost van een passiefhuis een grote barrière is. Aangezien de energieprijzen de komende jaren hoogstwaarschijnlijk enkel nog zullen stijgen zal deze meerkost echter sneller terugverdiend worden.

Daarnaast blijkt ook de onbekendheid van het concept bij de bouwheren een grote barrière te zijn. Een grote informatiecampagne lijkt ons dus nuttig om het concept bekender te maken en aan te tonen dat er heel wat kan bespaard worden bij de toepassing van het passiefhuis-concept.

Voor zichzelf zien de architecten vooral het gebrek aan kennis betreffende de uitvoering als belangrijkste hindernis. Er is ook een gebrek aan specifieke aannemers die vertrouwd zijn met het bouwen volgens het passiefhuis-concept. Het uitwerken van geschikte constructiedetails met voldoende aandacht voor de praktische toepassing kan dus helpen bij het wegwerken van de barrières.

Uit dit werk kunnen we besluiten dat ook met de traditionele houtskeletbouw de passiefhuis-standaard vrij makkelijk bereikt kan worden. Hierbij moet gelet worden op enkele belangrijke

aandachtspunten zoals de luchtdichte aansluiting tussen verschillende schildelen en het vermijden van koudebruggen. Er dienen geen speciale materialen of technieken toegepast te worden. Wel kan opgemerkt worden dat voor de constructie van het dak het gebruik van TJI- of FJI-liggers aan te raden is.

Voor het uitwerken van de details moest echter een keuze worden gemaakt van de aandachtspunten die bij het ontwerp in beschouwing werden genomen. Hier ligt dan ook nog ruimte voor een verdere verfijning van de uitgewerkte details. We denken dan vooral aan een gedetailleerde studie van onder andere de vochthuishouding en het akoestisch gedrag op basis van bijvoorbeeld simulaties. Gelet op de traditionele bouwwijze in België met spouwmuur zijn er ook op dat vlak nog veel mogelijkheden. Het bereiken van de passiefhuis-standaard met deze bouwmethode stelt immers een aantal belangrijke problemen.

Literatuurlijst

- [BBTV,1998] WTCB, *Buitenbepreistering, Technische Voorlichting 209*, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel, september 1998
- [BWEV,2000] F. Descamps, *Bouwfysica I Warmte- en vochttransport*, De Nayer Instituut, Sint-Katelijne-Waver, 2000-2001
- [CKRG,2008] Passiefhuis-Platform, *Criteria voor kwaliteitsverklaring residentiële gebouwen*, uitgave van Passiefhuis-Platform vzw, Berchem, januari 2008
- [DPEB,2002] Dr. W. Feist, Dr. B. Kaufmann, Dipl.-ing. M. John, cand.-ing. M. Nagel, *Das Passivhaus - Energie-Effizientes-Bauen*, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 10, uitgave van Informationsdienst Holz, Düsseldorf, oktober 2002¹
- [DTOU,1992] WTCB, *Daken met Tengelpannen, Opbouw en Uitvoering, Technische voorlichting 186*, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel, december 1992
- [DUGE,2006] X., *Duurzaam gebouwd? een inventarisatie van de gangbare bouwmethoden voor de woningbouw in Noord-Nederland*, studie als onderdeel van het EDR-“Eems-Dollard Regio” project, juli 2006
- [ECEB,2002] Cenergie cvba en Energie Duurzaam vzw, *Evaluatiecriteria ecologisch bouwen*, in opdracht van het ministerie van de Vlaamse Gemeenschap, afdeling WVC en VIPA, juni 2002
- [FUAH,2004] Dr. F. Otto, M. Ringeler, Prof. N. Nebgen, Prof. Dr. S. Winter, *Funktionsschichten und Anschlüsse für den Holzhausbau*, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 1, Folge 8, uitgave van Informationsdienst Holz, Düsseldorf, december 2004¹
- [HSKD,2003] Prof. dr.ir.arch. A. Janssens, *Hygrische studie koud dak met cellulose isolatie*, uitgave van Isoproc cvba, mei 2003

¹ www.informationsdienst-holz.de

- [IDJI,2007] VIBE vzw, *Isolatie:Duurzame jeugdwerkinfrastructuur*, uitgave van Vlaams Instituut voor Bio-Ecologisch Bouwen en wonen, Antwerpen-Berchem, 2007
- [IHHH,2005] D. Verheyen, *inHOUT, Hout & Houtbouw*, Begeleidende brochure tentoonstelling inHOUT, Kamp C - Provinciaal centrum duurzaam bouwen en wonen, Westerlo, 2005
- [LUBO,2004] B. Cobbaert, *Luchtdicht bouwen, op weg naar het passiefhuis(5)*, De Koevoet, uitgave van Dialoog vzw, Wijgmaal, lente 2004, p. 44-48
- [NPUA,1995] G. Hauser, F. Otto, *Niedrigenergiehäuser - Planungs- und Ausführungsempfehlungen*, holzbau handbuch Reihe 1, Teil 3, Folge 3, uitgave van Informationsdienst Holz, maart 1995¹
- [OVEP,2006] B. Geerinck, J. Meersschaert, *Ontwerpen van een passiefhuis*, thesis Katholieke Hogeschool Sint Lieven, Gent, 2006
- [PGVC,2007] J. Nieminen, J. Jahn, M. Airaksinen, B. de Boer, M. Elswijk, C. Boonstra, L. Joosten, E. Mlecnik, S. Van den Abeele, *Passiefhuisgids voor constructeurs*, Passiefhuis-Platform vzw, Berchem, eerste editie december 2007
- [PIVA,2007] E. Mlecnik, H. Moens, S. Van den Abeele, S. Van Loon, *Passiefhuisgids: Instrumentarium voor de architect*, Passiefhuis-Platform vzw, Berchem, eerste editie december 2007
- [PVTI,2006] Afdeling energie en klimaat van het WTCB, *Producten voor thermische isolatie*, in opdracht van het Vlaams-, Waals- en Brussels Hoofdstedelijk Gewest, uitgave in het kader van de energiestatistiekwetgeving¹
- [SULP,2004] Debusschere, L. en Moens, E., *Specifieke uitvoeringsaspecten bij "lage-energie" gebouwen en passiefhuis-concepten*, Eindwerk Katholieke Hogeschool Sint-Lieven, 2004

¹ www.epbd.be (doc_1.1_S.a_NL_isolatiemateriaal_v2.0_20070118)

- [STVD,2004] Pro Clima, *Studie; Vergelijking van de uitdrogingspotentiaal en het beperken van de kans op bouwschade bij thermische isolatie in houtbouwconstructies - vochtgestuurde dampremmen pro clima DB+ en INTELLLO*, uitgave van isoproC cvba, 2004
- [THGB,1987] B. Braeckman, N. De Cock, K. Drugmand, *Thermisch & hygrisch gedrag van bouwconstructies*, uitgave van Electrabel n.v., 1987
- [TRRD,2006] Afdeling energie en klimaat van het WTCB, *Transmissie referentie document*, in opdracht van het Vlaams-, Waals- en Brussels Hoofdstedelijk Gewest, uitgave in het kader van de energieprestatieregelgeving, versie 2 oktober 2006
- [TVPD,2000] WTCB, *Technische voorlichting 215, Het platte dak: opbouw, materialen, uitvoering en onderhoud*, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel, maart 2000
- [TVAA,1994] WTCB, *Technische voorlichting 191, Het platte dak: aansluitingen en afwerkingen*, Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf, Brussel, maart 1994
- [VIDA,2004] B.L.H. Hasselaar, *Vernieuwbare isolatie als duurzaam alternatief*, afstudeeronderzoek Technische Universiteit Delft, 2004
- [WIEP,2002] Passiefhuis-Platform vzw, *De reflex voor energiebewust bouwen, Wat is een passiefhuis*, uitgave van Passiefhuis-Platform vzw, Berchem, 2002

Internet

www.basf.be
www.biohome.be
www.butgb.be
www.ecobouw.be
www.egger.com
www.energiesparen.be
www.europeanpassivehouses.org
www.finnforest-thermowood.com
www.foamglasinsulation.com
www.hdcv.be
www.holler-fenster.de

www.homatherm.com
www.insulation.kingspan.com
www.isobouw.nl
www.isoproc.be
www.isotrie.com
www.isover.be
www.isovlas.nl
www.kemisol.be
www.passiefhuisplatform.be
www.passiv.de
www.passivhausfenster.at
www.passivhouse.com
www.pavatex.nl
www.recticelinsulation.com
www.rockwool.be
www.ursa.be
www.vibe.be
www.wtcb.be
www.xella.be