

Hoe, zo kosten-optimaal mogelijk, de energieprestatie van commerciële en industriële gebouwen verbeteren?

Mogelijkheden en antwoorden uit en voor het werkveld.

Eindverslag PWO onderzoeksproject 2014-2016.



An De Schryver, hogeschool Odisee, campus Dirk Martens, opleiding Bouwkunde.



Inhoud

1	Inleiding	4
1.1	Situering	4
1.2	Doelstelling.....	4
1.3	Methodologie.....	4
1.4	Gebruikersgroep.....	4
2	Een energiezuinig gebouw als uitgangspunt.....	5
2.1	De gebouwschil	5
2.1.1	Waterdichtheid.....	6
2.1.2	Isolatie	6
2.1.3	Wind- en luchtdichtheid	6
2.2	Nieuwbouw en EPB: complexer dan het lijkt.	7
2.2.1	Indeling en toepassingsgebied	7
2.2.2	Eisenpakket en verstrengingspad.....	8
2.2.3	Bepaling U-waarde en K-peil	9
2.2.4	Ventilatie	10
2.2.5	Bouwknopen.....	12
3	Industriële bouwmethodes in de praktijk	14
3.1	Algemeen.....	14
3.2	Luchtdichtheid.....	15
3.2.1	Inleiding	15
3.2.2	Belangrijke luchtlekken	15
3.2.3	Methoden om de luchtdichtheid te verbeteren	16
3.3	Vloer op volle grond	18
3.3.1	Inleiding	18
3.3.2	Isolatie en EPB	18
3.3.3	Statische berekening versus dynamische simulatie	19
3.4	Gevelschrijnwerk.....	20
3.4.1	Ramen en deuren	20
3.4.2	Poorten: een verhaal apart	30
3.5	Daken en dakaccessoires	35
3.5.1	Daken.....	35
3.5.2	Daglichtvoorzieningen.....	40
3.6	Betonbouw	46
3.6.1	Inleiding	46
3.6.2	Plaatsing buitenschrijnwerk	50

3.7	Staalbouw	54
3.7.1	Binnendozen met bardage	54
3.7.2	Staal sandwichpanelen	56
3.7.3	Aansluitingen met ramen en deuren.	60
3.7.4	Aansluiting met een sectionaalpoort.	69
3.8	Houtskeletbouw	72
3.8.1	Algemeen.....	72
4	Simulatie van energiebehoefte voor verwarming/koeling	77
4.1	Inleiding	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2	Typegebouwen voor simulaties	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
4.2.1	Invloed van verschillende parameters op de energiebehoefte	Fout! Bladwijzer niet gedefinieerd.
5	Kostenoptimale studie	78
5.1	Methodiek	78
5.1.1	Initiële investeringskost.....	78
5.1.2	Jaarlijkse onderhoudskost	79
5.1.3	Jaarlijkse kost voor energie	79
5.1.4	Vervangingskost en restwaarde	79
5.1.5	Verwijderingskost.....	79
5.1.6	Economische parameters: levensduur, verdisconteringsfactor.....	79
5.2	Resultaten en bespreking.....	80
5.2.1	Commercieel gebouw, beton sandwichpanelen	80
5.2.2	Commercieel gebouw, staal sandwichpanelen	81
5.2.3	Commercieel gebouw, binnendozen en bardage	83
5.2.4	Commercieel gebouw, houtskeletbouw	85
5.2.5	KMO-gebouw, vrijstaand, beton sandwichpanelen	86
5.2.6	KMO-unit in bedrijfsverzamelgebouw, beton sandwichpanelen.....	88
5.2.7	Sensitiviteitsanalyse	90
5.3	Algemeen besluit.....	92
6	Conclusie	93

1 Inleiding

1.1 Situering

De EPB-regelgeving voor nieuwbouw evolueert en verstrengt om de haverklap. In tegenstelling tot andere gebouwtypes, zijn commerciële en industriële gebouwen, tot nu toe, “vergeten” gebouwen. Hoewel de typerende bouwmethodes hun deugdelijkheid reeds lang hebben bewezen, vormen de verstrengde EPB-eisen steeds vaker een uitdaging.

Daarenboven gaat er bij de bouw van commerciële en industriële gebouwen vaak zeer weinig aandacht naar de luchtdichtheid van de gebouwschil en het vermijden van koudebruggen.

1.2 Doelstelling

Binnen het onderzoeksproject wordt nagegaan hoe, op een kostenefficiënte manier, energiezuinige commerciële en industriële gebouwen kunnen worden opgetrokken. Binnen dit onderzoek wordt uitsluitend gefocust op de gebouwschil. Een goed geïsoleerde schil vormt immers de basis voor een performant gebouw, klaar voor de toekomst.

In de praktijk betekent dit:

- een inventarisatie en analyse van gangbare bouwmethodes;
- het identificeren van bepalende factoren inzake energiebehoefte voor koeling en verwarming;
- linken van kostenbesparende maatregelen aan een investeringskost;
- bepalen van kostenoptimale oplossingen per bouwmethode.

Dit onderzoek vergelijkt geen totaalprijs van gebouwen per bouwmethode. Bovendien worden dragende constructies niet beschouwd.

1.3 Methodologie

Het uitgangspunt voor de inventarisatie en analyse van bouwmethodes is het werkveld. Via werfbezoeken, werfopvolging en overleg met vakmensen worden de mogelijkheden, aandachts- en knelpunten die verband houden met de gebruikte materialen, bouwmethodes en uitvoering geïnterpreteerd en uitgediept. Waar mogelijk worden oplossingen, verbeteringen en innovatieve producten voorgesteld.

Om de energiebehoefte voor verwarming en koeling te simuleren, wordt gebruik gemaakt van dynamische simulatie via TRNSYS. Voor de simulaties wordt rond twee representatieve types gebouwen gewerkt. Het gaat telkens om doosvormige constructies met grote binnenruimtes. Het eerste type is een grote winkel (baanwinkel) en het tweede type een polyvalent KMO-gebouw. De simulatiesoftware laat toe om inputparameters van de gebouwschil te variëren en aldus hun invloed op warmte- en koelbehoefte te analyseren.

Via de kosten-optimale methodologie (EN 15459) wordt berekend welke investeringen in energie-efficiëntie van de gebouwschil het meest rendabel zijn.

1.4 Gebruikersgroep

Gezien de sterke verbondenheid tussen het onderzoeksonderwerp en de uitvoeringspraktijk, werd een gebruikersgroep samengesteld. Tot de gebruikersgroep behoren zowel producenten en leveranciers van materialen alsook uitvoerders. Zonder hen was dit onderzoek niet mogelijk.

Een woord van dank gaat uit naar:

AG Plastics

Bolckmans

CIR Isolatieraad

Dero Construct

Ejot

Frisomat

Gijbels

Infosteel

Kingspan Panels

L-Door

Proleco

Recticel

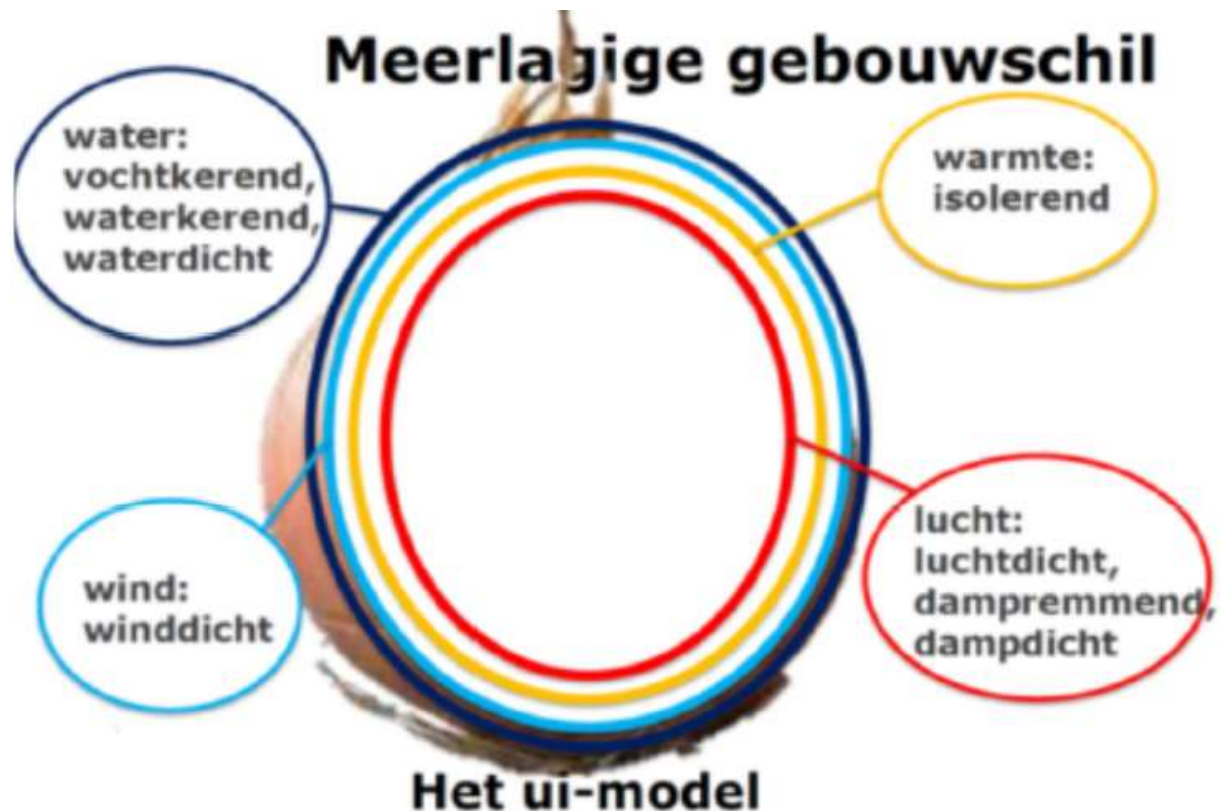
Verelst

Willy NaessensIndustriebouw.

2 Een energiezuinig gebouw als uitgangspunt

2.1 De gebouwschil

De gebouwschil moet bescherming bieden tegen velerlei invloeden van buitenaf. De belangrijkste zijn vocht, wind, koude, tocht, geluid en zon. Daarnaast is brandveiligheid een niet te minimaliseren aspect bij industriële en commerciële gebouwen. Om aan alle eisen te voldoen wordt die bouwschil nu veelal meerschallig opgevat, het zogenaamde “ui-model” (Fig. 1). Elke schil wordt hieronder toegelicht.



Figuur 1. De meerlagige gebouwschil

2.1.1 Waterdichtheid

Water kan enkel doorheen een bouwelement dringen wanneer simultaan aan 3 eisen wordt voldaan:

- water raakt tot bij het bouwelement;
- de openingen zijn voldoende groot om waterdeeltjes door te laten;
- krachten drijven het water naar binnen (stuwing of zuiging).

Water dat van een horizontaal vlak stroomt, zal in zekere mate aan de randen blijven kleven en zich zelfs langs de onderkant van de plaat verplaatsen onder de invloed van horizontale krachten (bv. wind). Dit wordt voorkomen door het plaatsen van neerwaartse randen of druiplijsten.

2.1.2 Isolatie

Door te isoleren, wordt de warmtegeleidbaarheid doorheen de gebouwschil beperkt. Er bestaan heel wat types isolatiematerialen, elk met hun specifieke eigenschappen.

2.1.3 Wind- en luchtdichtheid

Luchtstromen doorheen een bouwschil zijn afhankelijk van:

- het drukverschil in de lucht aan beide zijden van de buitenschil;
- de luchtdichtheid van de buitenschil die afhangt van de omvang van(micro-)perforaties, kieren en spleten.

Een gebrekkige luchtdichtheid leidt tot grote warmteverliezen van het gebouw en verhoogt het risico op inwendige condensatie. Om ongecontroleerde verluchting en inefficiënte ventilatie te vermijden worden de constructiedelen van de buitenschil (gevels daken ...) luchtdicht gemaakt.¹

Het luchtscherm heeft tot doel te voorkomen dat er buitenlucht zou binnendringen in het gebouw en dat er binnenlucht zou ontsnappen naar buiten toe. Behalve in uitzonderlijke gevallen wordt het langs de warme zijde van de thermische isolatie aangebracht. Binnenbepleisteringen en dampschermen zijn typische voorbeelden van luchtschermen.

Het windscherm wordt daarentegen aan de buitenzijde geplaatst, langs de koude zijde van de thermische isolatie. Het zorgt ervoor dat de isolatie niet doorstroomd of omzeild kan worden door de buitenlucht. Het onderdak is een voorbeeld van een windscherm en doet eveneens dienst als regenscherm.²

2.2 Nieuwbouw en EPB: complexer dan het lijkt.

2.2.1 Indeling en toepassingsgebied

2.2.1.1 Algemeen

In Vlaanderen werd op 1 januari 2006 de isolatieregelgeving vervangen door de 'Energieprestatieregelgeving voor gebouwen' oftewel de EPB-regelgeving. Intussen is deze regelgeving erg geëvolueerd zodat in 2021 alle nieuwbouw BEN (BijnaEnergieNeutraal) zal zijn.³

De Europese Directive 2010/31/EU stelt dat de lidstaten minimale eisen inzake energetische performantie dienen vast te leggen waarbij kostenoptimaliteit wordt nagestreefd. Lidstaten kunnen echter beslissen om voor sommige categorieën gebouwen, zoals industriële sites, ateliers en landbouwgebouwen, andere eisen op te leggen.³

2.2.1.2 Indeling

Volgens de EPB-regelgeving behoren commerciële gebouwen tot de categorie "andere specifieke bestemming" of ASB; industriële gebouwen tot "industrie". Een industrieel gebouw wordt bovendien gedefinieerd als een gebouw bestemd voor de productie, de bewerking, de opslag of manipulatie van goederen. Deze indeling vormt de basis voor het eisenpakket waaraan de gebouwen moeten voldoen. Vanaf 2012 moeten zowel industriële als commerciële gebouwen voldoen aan een K-peileis en minimale R-waarde of maximale U-waarde.

Bij industriële gebouwen kan, indien enkel het kantoorgedeelte geklimatiseerd wordt, zowel voor de indeling kantoor als voor industrie met kantoor worden gekozen. Deze laatste optie is enkel mogelijk indien het kantoor maximaal 800m³ groot is en grenst aan het volume met bestemming industrie; deel uitmaakt van hetzelfde deelproject én het beschermd volume van het kantoor minder dan 40% van het totale volume uitmaakt van de delen met bestemming kantoor en de delen met bestemming industrie. Indien het gebouw zowel uit een onverwarmde en geïsoleerde hal en een kantoor bestaat, kan men kiezen of de industriehal al dan niet tot het beschermd volume behoort. Indien de hal wel tot het beschermd volume wordt gerekend, gelden er voor de tussenwanden tussen kantoor en industrie andere eisen dan wanneer de hal niet tot het beschermd volume wordt gerekend. In dit laatste geval wordt de hal beschouwd als een aangrenzend onverwarmde ruimte (AOR).

Vanaf 2017 blijven drie categorieën blijven slechts 3 categorieën bestaan: residentieel, niet-residentieel en industrie.

2.2.1.3 Toepassingsgebied en uitzonderingen

Niet elk gebouw moet voldoen aan de EPB-regelgeving. Welke zijn vrijgesteld wordt bepaald door het toepassingsgebied en de uitzonderingen. In de loop der jaren werd dit gewijzigd om meer duidelijkheid te verschaffen, achterpoortjes te sluiten of zich in regel te stellen met Europese aanbevelingen.

Zo is elk gebouw dat enige vorm van klimatisering bevat (koeling en/of verwarming) EPB-plichtig. Bijgevolg moeten ook gekoelde of verwarmde loodsen, om welke reden deze dan ook geklimatiseerd worden, aan de eisen voldoen. Industriegebouwen die bijvoorbeeld enkel in de winter vorstvrij worden verwarmd ten behoeve van de producten die er gemaakt/gestockeerd worden, zijn EPB-plichtig.

Daarnaast moeten enkel gebouwen voldoen waarvoor een aanvraag tot stedenbouwkundige vergunning of melding wordt ingediend.

Indien bij de melding of aanvraag tot stedenbouwkundige vergunning nog niet bekend is of het gebouw na ingebruikname zal worden geklimatiseerd, wordt het gebouw beschouwd als een geklimatiseerd gebouw.

Wat met casco?

In de praktijk werd vastgesteld dat nieuwe casco-units worden gebouwd waarbij geen of onvoldoende rekening wordt gehouden met de EPB-eisen. Dit wordt veroorzaakt doordat het bouwproject bewust buiten de EPB-regelgeving wordt gehouden doordat men op voorhand “weet” dat dit gebouw niet geklimatiseerd wordt. De koper van een dergelijke unit, die na verkoop ook de EPB-aangifteplichtige wordt, komt ernstig in de problemen wanneer deze toch een klimatisatie-installatie plaatst. Het is immers op dit ogenblik niet meer mogelijk om aan alle EPB-eisen inzake isolatie te voldoen. De eigenaar krijgt een boete voor het niet voldoen aan de EPB-eisen. Het gebouw blijft echter onvoldoende geïsoleerd en de eigenaar zit opgescheept met te hoge energiekosten.

Aangezien VEA op de hoogte is van deze problematiek, zullen maatregelen worden genomen om enerzijds het toepassingsgebied aan te passen en anderzijds een verantwoordelijkheid te leggen bij de bouwpromotor. Voor de aanpassing van het toepassingsgebied stelt het VEA voor dat de EPB-eisen altijd geldig zijn voor industriegebouwen.

Uitzonderingen?

Vrijstelling van één of meer EPB-eisen is enkel mogelijk indien:

- het behalen van de eisen technisch, functioneel of economisch niet haalbaar is;
- in industriële gebouwen industriële processen plaatsvinden plaatsvinden die zelf warmte produceren en waarvoor om die reden in koeling of een geforceerde ventilatie moet worden voorzien ten behoeve van een aanvaardbaar binnenklimaat.

Vrijstellingen moeten door de aangifteplichtige tijdig bij het VEA worden aangevraagd.

2.2.2 Eisenpakket en verstrengingspad

Tot 1 januari 2017 behoren zowel industriële als commerciële gebouwen tot dezelfde categorie. Bijgevolg zijn de eisen dezelfde. Hieronder wordt een overzicht gegeven voor de periode 2013-2016 (Tabel 1). Of de eisen inzake U-waardes zullen wijzigen in en na 2017, is momenteel onbekend.

Tabel 1. Overzicht EPB-eisen 2013 – 2016.

	2013	2014	2015	2016
Dak	$U \leq 0,27 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
Wand	$U \leq 0,32$	$U \leq 0,24$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
Vloer	$U \leq 0,35 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $R \geq 1,30 \text{ m}^2\text{K/W}$	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $R \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$	$U \leq 0,30 \text{ W/m}^2\text{K}$ of $R \geq 1,75 \text{ m}^2\text{K/W}$	$U \leq 0,24 \text{ W/m}^2\text{K}$
Deuren/voorten	$U \leq 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,00 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ramen	$U \leq 2,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{g,max} \leq 1,30 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{g,max} \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,80 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{g,max} \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,50 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{g,max} \leq 1,10 \text{ W/m}^2\text{K}$

Transparante scheidingsconstructies andere dan glas		$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{tp,max} \leq 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{tp,max} \leq 1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 2,0 \text{ W/m}^2\text{K}$ en $U_{rl,max} \leq 1,4 \text{ W/m}^2\text{K}$
Scheidingswand tussen gebouwen op aangrenzende percelen	$U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 1,0 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$	$U \leq 0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$
Ventilatie	Minimale voorzieningen	Minimale voorzieningen	Minimale voorzieningen	Minimale voorzieningen
K-peileis	40	40	40	40

Wel is het toegestaan dat ten hoogste 2 % van de totale oppervlakte van alle scheidingsconstructies die het beschermde volume omhullen (eerste zes uit bovenstaande tabel), mag afwijken van deze eisen.

Vanaf 2017 moeten niet-residentiële gebouwen, waartoe commerciële gebouwen behoren, aan een E-peileis voldoen en over een minimaal aandeel hernieuwbare energie beschikken. Omdat er in niet-residentiële gebouwen vaak verschillende types bestemmingen voorkomen, die elk hun eigen functiespecifieke eigenschappen hebben zoals bezettingstijden, bezettingsgraad, binnentemperatuur, houdt de energieprestatieberekening rekening met de opdeling in functies binnen de EPN-eenheid. Per functie wordt een eiseniveau vastgelegd op basis waarvan een gewogen globale eis voor het gebouw wordt berekend.

Binnen het evaluatierapport van VEA zijn tegenstrijdige berichten te vinden over de afschaffing van het K-peil voor bestemming industrie. Hoewel de huidige K-peileis makkelijk te behalen blijkt, is het immers de enige eis waarbij met bouwknoepen rekening moet worden gehouden. In dat opzicht is het aanbevolen het K-peil te behouden en de bijhorende eis eventueel te verstrengen.

Daarnaast worden de installatie-eisen die momenteel enkel gelden bij de renovatie van industriegebouwen vanaf 2017 integraal overgenomen voor nieuwbouw.⁴

2.2.3 Bepaling U-waarde en K-peil

Hoe U-waarden en het K-peil moeten worden berekend, is bepaald in het Transmissiereferentiedocument. De U-waarde staat voor de warmtedoorgangscoefficiënt en wordt weergegeven in $\text{W/m}^2\text{K}$.

Belangrijke aandachtspunten voor de bepaling van U-waarden zijn:

- inrekenen mechanische doorboringen van isolatie: mechanische doorboringen van de isolatielaag van bijvoorbeeld een dak of wand, moeten worden ingerekend in de U-waarde van het dak of de wand. Indien beide uiteinde van de mechanische bevestiging in thermisch contact zijn met metalen platen, is enkel het gebruik van een nauwkeurige berekening volgens NBN EN ISO 10211 toegestaan;
- een correctie voor luchtspleten en holten voor de berekening van de U-waarde, wordt voor EPB buiten beschouwing gelaten;
- voor de berekening van U-waarden van vloeren op volle grond, bestaan specifieke formules die rekening houden met de oppervlakte en de perimeter. Verticale en horizontale randisolatie kan worden eveneens worden ingerekend. Sinds de invoering van de vernieuwde EPB-software, dient het aparte rekenblad niet meer te worden gebruikt.

Het K-peil of peil van globale warmte-isolatie van een gebouw wordt gegeven door de verhouding van de gemiddelde U-waarde U_m tot een referentiewaarde $U_{m,ref}$, vermenigvuldigd met 100.

$$K = 100 \frac{U_m}{U_{m,ref}}$$

$U_{m,ref}$ varieert naargelang de compactheid van het gebouw.

De compactheid (m) is een maat voor de geometrische bijdrage van het gebouw. Ze wordt gedefinieerd als de verhouding tussen het beschermd volume en de totale verliesoppervlakte. Hoe groter deze waarde hoe compacter het gebouw en hoe minder energie er verloren gaat via de gebouwschil. Een bol is de meest compacte vorm die bestaat maar vanuit bouwkundig standpunt minder relevant.

$$C = \frac{V}{\sum A_i}$$

Indien $C \leq 1m$ is $U_{m,ref} = 1$.

Indien $1m \leq C \leq 4m$ is $U_{m,ref} = (C+2)/3$.

Indien $4m \leq C$ is $U_{m,ref} = 2$.

2.2.4 Ventilatie

De minimale ventilatievoorzieningen worden bepaald op basis van bijlage X van het energiebesluit van de Vlaamse Regering van 19 november 2010 (Ventilatievoorzieningen in niet-residentiële gebouwen). Het minimaal geëiste ontwerpdebiet van een ruimte hangt af van het ruimtetype en van de ontwerpbezetting en/of de gebruiksoppervlakte, maar niet van het volume. Deze bijlage maakt een onderscheid tussen ruimten die niet bestemd zijn voor menselijke bezetting, ruimten die wel bestemd zijn voor menselijke bezetting en speciale ruimten.

Onder ruimten die niet bestemd zijn voor menselijke bezetting vallen onder meer ruimten waarin bij een normaal gebruik slechts gedurende een relatief korte tijd mensen vertoeven. Voorbeelden hiervan zijn gangen, toiletten, garages en opslagruimtes.

Ruimten bestemd voor menselijke bezetting zijn ruimten die voorzien zijn om mensen langere tijd te laten vertoeven zoals kantoren, onthaal en vergaderzalen.

Speciale ruimten behoren niet tot het toepassingsgebied. Voorbeelden relevant voor de scope van dit project zijn koelcellen, tochtsassen, technische ruimtes voor persluchtinstallaties, laad- en losruimtes in industriële gebouwen.

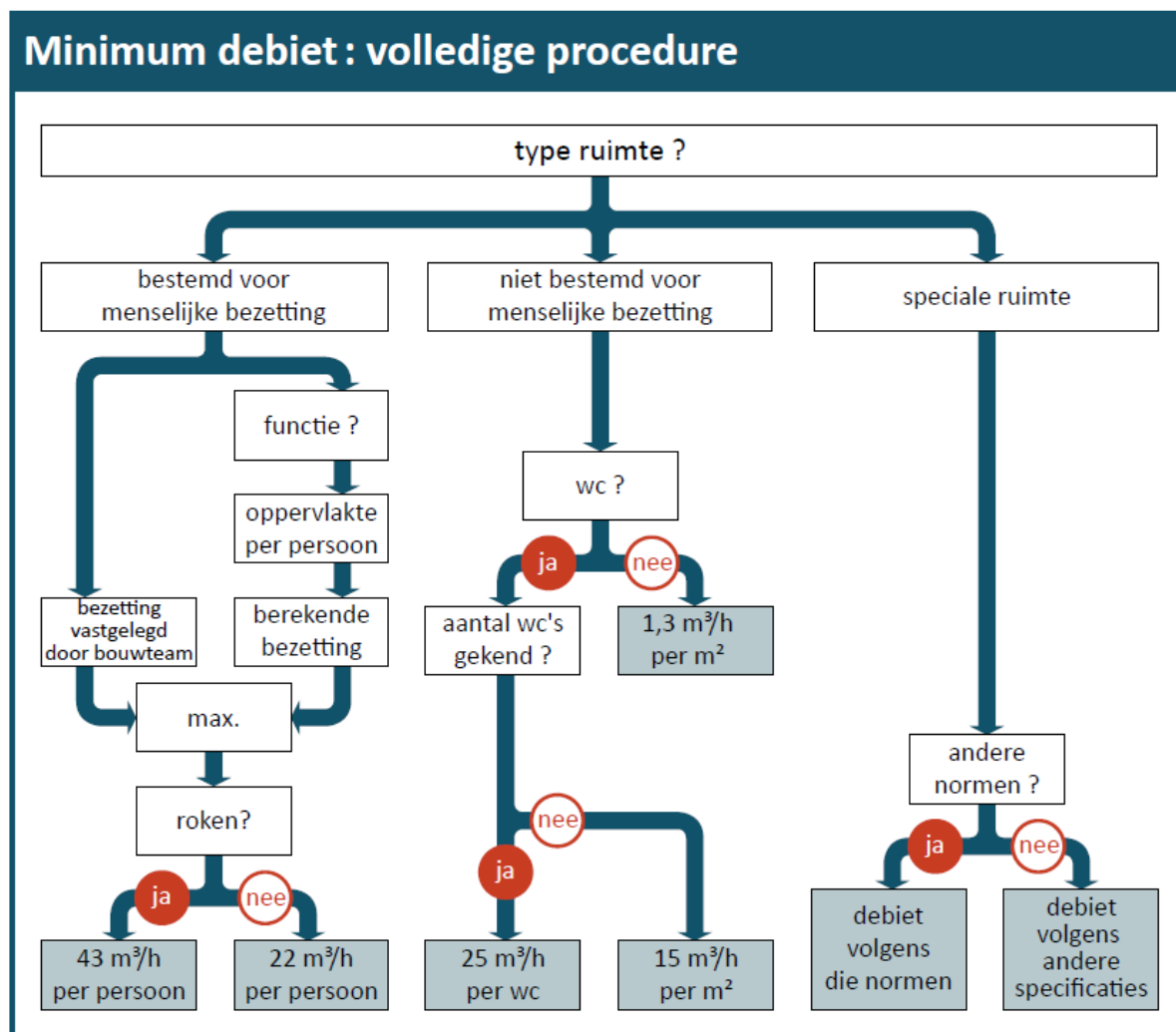
Het minimum ontwerpdebiet in ruimten bestemd voor menselijke bezetting moet worden bepaald op basis van tabel 11 (Rates of outdoor air per person) van de norm NBN EN 13779. In deze tabel wordt vermeld wat de vloeroppervlakte (m^2) per persoon is. Relevante gegevens worden in onderstaande tabel opgenomen (tabel 2).

Tabel 2. Te hanteren waarden bij de bepaling van de bezetting nodig voor de berekening van het minimum ontwerpdebiet in ruimten bestemd voor menselijke bezetting (m^2 /persoon).

Ruimte	Ruimtegebruik m^2 /persoon
kantoor	15
Vergaderzalen, ontvangstruimten, receptie	3,5
Hoofdingang	10
Winkel meubilair, textiel,...	20

Supermarkt, grootwarenhuis, dierenspecialzaak	10
Kopieerruimte	10
Opslagmagazijn	100
Overige ruimten	15

Op basis van de ontwerpbezetting wordt het minimale ontwerptoevoerventilatie-debiet berekend. In onderstaande figuur (figuur 2) wordt een overzicht van de berekeningsmethode weergegeven.



Figuur 2. Procedure om het minimale ventilatiedebiet te bepalen.

Het minimum ontwerptoevoerdebiet voor ruimten bestemd voor menselijke bezetting moet gerealiseerd worden met buitenlucht. Alle bijkomende debieten mogen gerealiseerd worden met buitenlucht, herbruikte lucht of doorstroomlucht. In ruimten niet bestemd voor menselijke bezetting kan het ontwerptoevoerdebiet volledig worden gerealiseerd met afvoerlucht uit andere ruimten van de kwaliteit ETA 1 of ETA 2.

Het ontwerpdebiet hoeft bij gebruik van het gebouw niet altijd effectief gerealiseerd te worden. Het is toegestaan om op bepaalde momenten het debiet te verminderen of zelfs helemaal te stoppen. Mechanische ventilatiesystemen moeten minstens over een regelsysteem IDA-C3 (kloksturing) beschikken. Voor de gebouwscope behorend tot dit onderzoek kan een doordachte regeling op basis van het aantal aanwezigen, de luchtkwaliteit of bezettingscontrole zorgen voor een efficiënt ventilatiesysteem dat geen onnodige energie verbruikt en/of warmte afvoert.

Let echter steeds op, aangezien ook andere regelgeving van toepassing kan zijn. Zo is volgens het ARAB het minimale debiet per werknemer $30 \text{ m}^3/\text{h}$. Deze wetgeving dient uiteraard gerespecteerd te worden.

2.2.5 Bouwknopen

Koudebruggen komen voor ter hoogte van de overgang tussen twee gebouwcomponenten of waar de opbouw van de gebouwschil wijzigt. Koudebruggen leiden tot een lokale verhoging van de warmtetransmissie en een hoger risico op oppervlaktecondensatie.

Binnen EPB, werd de term koudebrug vervangen door bouwknop. Dit omdat de term koudebrug een zeer negatieve bijklank heeft én omdat een goed geconcipeerde koudebrug helemaal geen koudebrug vormt.

Een lineaire bouwknop ontstaat waar 2 scheidingsconstructies van het verliesoppervlak samenkomen; waar één scheidingsconstructie van het verliesoppervlak samenkomt met één scheidingsconstructie op grens met aangrenzend perceel en waar isolatielaag van eenzelfde scheidingsconstructie van het verliesoppervlak lijnvormig onderbroken is.

Een puntbouwknop ontstaat waar de isolatielaag van eenzelfde scheidingsconstructie van het verliesoppervlak puntvormig onderbroken is.

Binnen EPB bestaan er drie mogelijkheden om bouwknopen in te rekenen:

- Optie A : gedetailleerde berekening van alle bouwknopen;
- Optie B: gebruik van EPB-aanvaarde bouwknopen;
- Optie C: forfaitaire toeslag.

Bij optie A moet elk detail apart berekend en ingegeven worden. Dit is de meest correcte , maar tevens de meest arbeidsintensieve methode. Bij optie C wordt er geen aandacht besteed maar komt er een forfaitaire toeslag van 10 punten op het K-peil. De derde mogelijkheid is via optie B. Wanneer enkel EPB-aanvaarde bouwknopen voorkomen, is er een toeslag op het K-peil van 3 punten.

Een bouwknop is EPB-aanvaard indien deze voldoet aan:

- één van de basisregels voor een koudebrugarm detail;
- de van toepassing zijnde grenswaarde voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt: $\Psi_e \leq \Psi_{e,lim}$. Een gevalideerde numerieke berekening is noodzakelijk om dit aan te tonen. De grenswaarden voor de lineaire warmtedoorgangscoefficiënt ($\Psi_{e,lim}$) worden gedefinieerd per type bouwknop (tabel 3).

Tabel 3. Grenswaarden voor lineaire bouwknope.

	$\Psi_{e,lin}$
1. BUITENHOEKEN (1) (2)	
• 2 muren	-0.10 W/m.K
• Andere buitenhoeken	0.00 W/m.K
2. BINNENHOEKEN (3)	0.15 W/m.K
3. VENSTER- en DEURAANSLUITINGEN	0.10 W/m.K
4. FUNDERINGSAANZETTEN	0.05 W/m.K
5. BALKONS - LUIFELS	0.10 W/m.K
6. AANSLUITINGEN VAN EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE binnen eenzelfde beschermd volume of tussen 2 verschillende beschermde volumes OP EEN SCHEIDINGSCONSTRUCTIE VAN HET VERLIESOPPERVLAK	0.05 W/m.K
7. ALLE LINEAIRE BOUWKNOPE DIE NIET ONDER 1 T.E.M 6 VALLEN	0.00 W/m.K

Wanneer er ook bouwknope voorkomen die niet EPB-aanvaard zijn, dienen deze extra te worden ingerekend. Indien geen gevalideerde numerieke berekening voorhanden is, dan kan men gebruik maken van waarden bij ontstentenis (tabel 4 en 5). Dit betekent dat de lengtes en aantallen bouwknope moeten worden bepaald en dat een extra K-peiltoeslag, bovenop de 3 punten, wordt berekend. Deze methode kan leiden tot een zware toeslag van K-peil punten.

Tabel 4. Waarden bij ontstentenis voor lineaire bouwknope.

1. Bouwknoop zonder thermische onderbreking met lineaire doorverbindingen in metaal of gewapend beton	$0.90 + \Psi_{e,lin} (*)$ W/m.K
2. Bouwknoop met thermische onderbreking met puntsgewijze doorverbindingen in metaal	$0.40 + \Psi_{e,lin} (*)$ W/m.K
3. Andere	$0.15 + \Psi_{e,lin} (*)$ W/m.K
(*) $\Psi_{e,lin}$ uit tabel 1	

Tabel 5. Waarden bij ontstentenis voor puntbouwknoepen.

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

De basisregels waaraan een bouwknoop kan voldoen zijn:

- basisregel 1: continuïteit van de isolatielagen door een minimale contactlengte: de contactlengte van de isolatiemaag moet voldoen aan:

$$d_{\text{contact}} \geq \min (d_1/2 , d_2/2)$$

- let op: bij raam- of deurprofielen met thermische onderbreking moet de isolatielaag rechtstreeks en over de volledige breedte in contact staan met de thermische onderbreking;
- basisregel 2: continuïteit van de isolatielagen door tussenvoeging van isolerende delen (uitleg zie verder);
- basisregel 3: minimale lengte van de weg van de minste weerstand. De kortste weg tussen de binnenomgeving en de buitenomgeving, die geen enkele isolerende laag snijdt, bedraagt minimaal 1 meter.

Bij de toepassing van basisregel 2 gelden 3 eisen waaraan het tussengevoegd deel moet voldoen:

- de warmtegeleidbaarheid van de isolerende delen $\lambda \leq 0.2 \text{ W/mK}$;
- de warmteweerstand van de isolerende delen $R \geq \min (R_1/2, R_2/2 \text{ en } 2)$, loodrecht gemeten op de thermische snedelij. Hierbij zijn R_1 en R_2 de warmteweerstand van de aangrenzende scheidingsoppervlakken. Voor ramen en deuren geldt dat $R \geq \min (R_1/2, 1.5)$ waarbij R_1 de warmteweerstand is van de isolatielaag van de flankerende scheidingsconstructie;
- de contactlengte van het tussengevoegd deel met de aangrenzende isolatie of het aangrenzende isolerende deel is groter dan de minimale contactlengte:

$$d_{\text{contact}} \geq \min (d_1/2 , d_2/2)$$

4

3 Industriële bouwmethodes in de praktijk

3.1 Algemeen

Industriële bouwmethodes onderscheiden zich door hun hoge bouwsnelheid en lage afwerkingsgraad. Binnen dit onderdeel wordt dieper ingegaan op de verschillende elementen van de gebouwschil. Voor elk van deze elementen wordt weergegeven wat de mogelijkheden, beperkingen en recente ontwikkelingen zijn. Bijkomend wordt een link gelegd naar hoe de EPB-regelgeving met deze

elementen omgaat. Luchtdichtheid van het gebouw komt apart aan bod. Bouwknopen worden opgenomen bij de bouwmethode of het schildeel.

3.2 Luchtdichtheid

3.2.1 Inleiding

Hoewel een gebrekkige luchtdichtheid leidt tot grote warmteverliezen en een verhoogd risico op inwendige condensatie, wordt hieraan bij industriële bouwmethodes weinig of geen aandacht besteed. Aangezien er geen wettelijke eisen zijn, dit in tegenstelling tot de situatie in heel wat andere landen, ontbreekt de interesse bij bouwbedrijven en bouwheren.

Naast een gebrek aan aandacht bij de uitvoeringspraktijk, is er zeer weinig informatie beschikbaar over hoe luchtdicht industriële en commerciële gebouwen in realiteit zijn. Het lekdebiet wordt enkel gemeten indien de bouwheer dit vraagt en zal enkel gebeuren wanneer een goede luchtdichtheid wordt nagestreefd. Vaak zijn meerdere of grote ventilatoren nodig om een voldoende groot luchtdebiet te kunnen behalen.

Het lekdebiet doorheen de gebouwschil bij een drukverschil tussen binnen- en buitenomgeving van 50Pa wordt gemeten via een pressuratieproef. Het gebouw wordt zowel in onder- als overdruk opgemeten. Het lekdebiet V_{50} is de som van de debieten van alle lekken doorheen de gebouwschil en wordt uitgedrukt in m^3/h . Binnen EPB wordt de luchtdichtheid uitgedrukt per oppervlakte-eenheid gebouwschil, wat wordt weergegeven als v_{50} en uitgedrukt in $m^3/(h.m^2)$.

Een vaak gebruikte term binnen luchtdichtheid is het infiltratievoud n_{50} . Dit is het aantal keer dat het luchtvolume van een gebouw hernieuwd wordt onder een druk van 50 Pa en dit gedurende een uur. Deze wordt berekend door:

$$n_{50} = V_{50} / V_{int} \text{ (h}^{-1}\text{)}$$

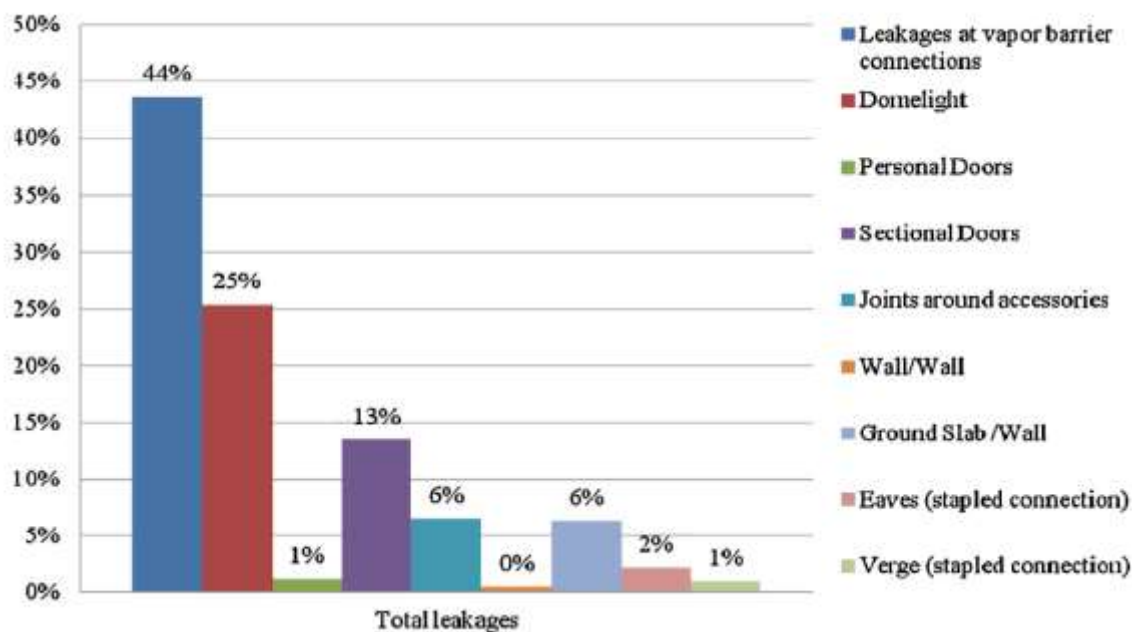
Hierbij is V_{int} het binnenvolume van het gebouw (m^3).

Gezien het gebrek aan meetresultaten, werd een zeer beperkt aantal gebouwen getest (zie bijlage I). Opvallend hierbij was dat er n_{50} tussen $0.74h^{-1}$ en $5.1h^{-1}$ werden opgemeten. Dat betekent dat er een zeer grote spreiding is inzake de luchtdichtheid van dit type gebouwen. De laagst gemeten waarde benadert de eis inzake passiefbouw ($n_{50} \leq 0.6h^{-1}$) hoewel er geen extra aandacht werd besteed aan luchtdichtheid tijdens de bouwwerkzaamheden.

Het invoeren van een E-peileis voor niet-residentiële gebouwen in 2017, zal ertoe leiden dat meer commerciële gebouwen gemeten zullen worden. Het is dan ook te verwachten dat deze kennisleemte op termijn zal weggewerkt worden. Naast extra metingen, zal de mogelijkheid van het verlagen van het E-peil ertoe leiden dat er meer aandacht wordt besteed aan luchtdichte uitvoering in de praktijk.

3.2.2 Belangrijke luchtlekken

Wanneer men de luchtdichtheid van een gebouw wil verbeteren, is het belangrijk zicht te hebben op de belangrijkste luchtlekken. Er werd onderzoek verricht naar de luchtlekken en hun aandeel voor een gebouw dat volledig met stalen sandwichpanelen werd opgetrokken (zowel wanden als daken). De resultaten worden in de figuur weergegeven (figuur 3).



Figuur 3. Luchtlekken bij een gebouw met stalen sandwichpanelen.

Uit dit onderzoek blijkt dat luchtlekken ter hoogte van aansluitingen van het damp scherm de belangrijkste zijn. Hiermee wordt de aansluiting van de gevelplint en de aansluiting gevel-dak bedoeld. Een ander belangrijk luchtlek is aanwezig ter hoogte van de lichtstraat. Ook de luchtdichtheid ter hoogte van poorten, deuren en andere gebouwaccessoires hebben een significante invloed.⁵

Hoewel de bouwmethoden binnen de onderzoekscope variëren van bovenvermelde bouwmethode, worden als belangrijkste luchtlekken beschouwd:

- aansluiting betonplint met andere elementen van de gevel;
- aansluiting gevel met plat dak;
- aansluiting poorten, ramen, deuren en dakaccessoires zoals lichtstraten en koepels;
- buitenhoeken van gevels;
- voegen tussen elementen van de gebouwschil.

Aangezien steeds een betonplint met voldoende dikte aanwezig is ter hoogte van de overgang vloer-wand, wordt verondersteld dat de luchtdichtheid van deze aansluiting voldoende is.

Welke maatregelen concreet kunnen worden genomen, wordt vermeld bij de specifieke bouwmethode.

3.2.3 Methoden om de luchtdichtheid te verbeteren

Binnen dit onderdeel wordt een overzicht gegeven van de belangrijkste producten op de markt om de luchtdichtheid te verbeteren. Binnenbepleistering wordt niet beschouwd aangezien dit niet wordt gecombineerd met industriële bouwmethodes. Houd steeds rekening met de UV-bestendigheid, de verwerkingstemperatuur en verouderingskenmerken van een product. Sommige producten worden bros of verliezen hun elasticiteit met de jaren. Vervanging kan noodzakelijk zijn.

Luchtschermen

Luchtschermen worden gebruikt om volledige scheidingsconstructies langs de binnenzijde van de isolatie luchtdicht te maken. Deze worden onder meer toegepast aan de binnenzijde van daken.

Luchtschermen zijn leverbaar in verschillende materialen zoals PE, PP, bitumenvilt. Een luchtscherm moet steeds met de nodige zorg uitgevoerd en geassembleerd worden. De voegen tussen de stroken moeten afgedicht worden zodat de continuïteit van het luchtscherm gewaarborgd is. Ter hoogte van de aansluiting tussen het luchtscherm en een andere wand moet een zekere speling mogelijk zijn voor het geval er differentiële bewegingen zouden optreden.

Voegkitten

Voegkitten kunnen zowel binnen als buiten het gebouw worden gebruikt, bijvoorbeeld bij vensteraansluitingen. Er bestaan verscheidene kitklassen en de keuze is afhankelijk van de aard van de ondergrond, de omgevingstemperatuur, de amplitude van de op te nemen bewegingen en de afmeting en de vorm van de voeg in kwestie. Bij diepe voegen is het best om een voegbodem (rugvulling) aan te brengen onder de vorm van een voorgevormde strook die de diepte van de dichtingskit begrenst en de goede aansluiting op de hechtingsvlakken waarborgt.

Om de luchtdichtheid aan de binnenzijde te verzekeren, maakt men doorgaans gebruik van acrylvoegen.

Voorgecomprimeerde schuimbanden

De schuimbanden zijn meestal opgebouwd uit geïmpregneerde, elastische polyurethaan en zijn geschikt voor gebruik op onregelmatige oppervlakken. Ze laten het toe om grensvlakken luchtdicht te maken en mits voldoende samendrukking, zijn ze tevens regendicht. Deze compressiebanden zijn verenigbaar met de meeste bouwmaterialen en kunnen tevens gebruikt worden als voegbodem. Vaak worden ze geleverd op rollen en kunnen op de bouwplaats op maat gesneden worden.

Er bestaan echter nog onderverdelingen in schuimbanden, zodat richtlijnen van de producent essentieel zijn voor een correct gebruik.

Tapes

Het gamma aan tapes is zeer uitgebreid. Zo bestaan er onder meer één- en tweezijdige acryl- en butylkleefbanden. De ondergrond moet steeds droog, onvet en proper zijn. Soms is een primer noodzakelijk. Bovendien moet de tape compatibel zijn met de ondergrond. Opvragen en opvolgen van de richtlijnen van de fabrikant is bijgevolg noodzakelijk.

PU-schuim

Schuimen op basis van polyurethaan hebben goede isolerende eigenschappen. Deze schuimen worden in bussen geleverd en gebruikt om ruimtes op te vullen. Bij de plaatsing van ramen en deuren worden dergelijke schuimen reeds jarenlang toegepast. Enkel gesloten cellige schuimen met voldoende elasticiteit (>35%) kunnen een luchtdichte aansluiting mogelijk maken. Om een goede hechting te garanderen, moet de ondergrond licht bevochtigd worden.

Vloeibaar aangebrachte afdichtingsproducten

Sinds een aantal jaren zijn vloeibare afdichtingsproducten op de markt. Deze kunnen met een borstel aangebracht worden maar ook gespoten worden. In sommige gevallen is een geotextiel nodig die deze producten versterkt. Deze producten zijn blijvend elastisch en goed geschikt om de continuïteit van het luchtscherm te verzekeren ter hoogte van aansluitingen en doorvoeren.

Omkastingen uit hout of polystyreen

Deze techniek wordt toegepast voor buitenschrijnwerk. Vooraleer de omkasting aan het schrijnwerk mechanisch wordt bevestigd, wordt een samengedrukte voeg of expansieve lijm gebruikt om een

luchtdicht geheel te bekomen. Het raam/de deur en de omkasting worden vervolgens aan de ruwbouw bevestigd. Het kan noodzakelijk zijn om een extra aansluiting tussen kader en ruwbouw te voorzien om de continuïteit van isolatie en luchtscherm te waarborgen.²

3.3 Vloer op vollegrond

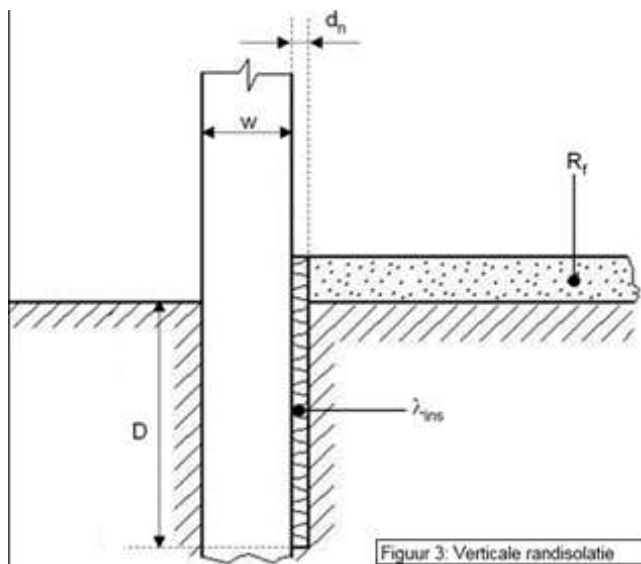
3.3.1 Inleiding

Commerciële en industriële gebouwen beschikken bijna altijd over een vloer op volle grond. De vloer moet immers in staat zijn om grote belastingen op te nemen en over te dragen naar de ondergrond. De vloerplaat wordt ter plekke en in één werkbeweging gestort nadat de wapening op PE-folie werd geplaatst. Er worden steeds voldoende voegen voorzien om zettingen op te vangen en scheurvorming te voorkomen.

3.3.2 Isolatie en EPB

Vroeger werden dergelijke vloeren nooit geïsoleerd. Steeds vaker wordt een geïsoleerde betonplint ondergronds doorgetrokken en worden ook de vloeren geïsoleerd met PU-platen of XPS. De gebruikte vloerisolatiematerialen moeten de zware belasting kunnen weerstaan.

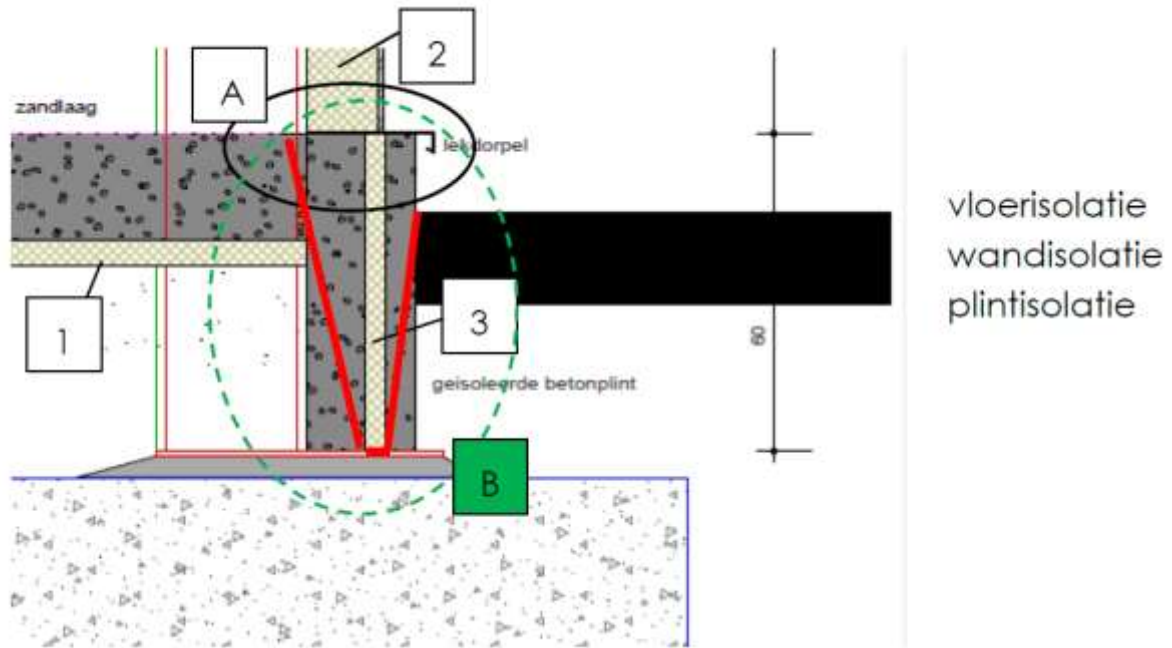
De maximale U-waarde voor vloeren bedraagt $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$. De berekeningsmethode voor de warmtetransmissie van vloeren op volle grond is opgenomen in bijlage F van het transmissiereferentiedocument. Noodzakelijke gegevens voor de berekening van de U-waarde zijn de totale dikte van de buitenmuur w , de perimeter P en oppervlakte A van het gebouw, de warmteweerstand van de vloer (indien over geheel oppervlak geïsoleerd, inclusief isolatie), de breedte of diepte van de randisolatie en de bijhorende λ -waarde (figuur 4).⁴



Figuur 4. Verticale randisolatie bij een vloer op volle grond.

Hoewel het transmissiereferentiedocument dit niet expliciet vermeldt, is deze methode ook bruikbaar wanneer verticale randisolatie zich in of buiten de wand bevindt. Horizontale randisolatie kan zich onder of boven de vloerplaat maar evenzeer aan de buitenzijde van het gebouw bevinden.⁶

Bijkomend ontstaat er een bouwknoop ter hoogte van de rand van de vloerplaat en de gevelplint (figuur 5).

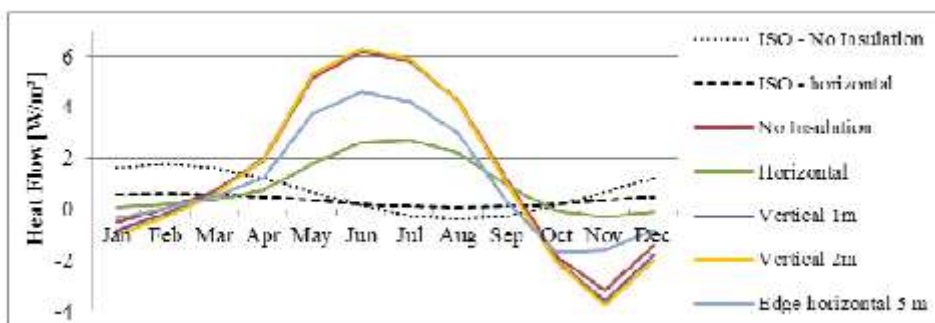


Figuur 5. Bouwknoop ter hoogte van de gevelplint.

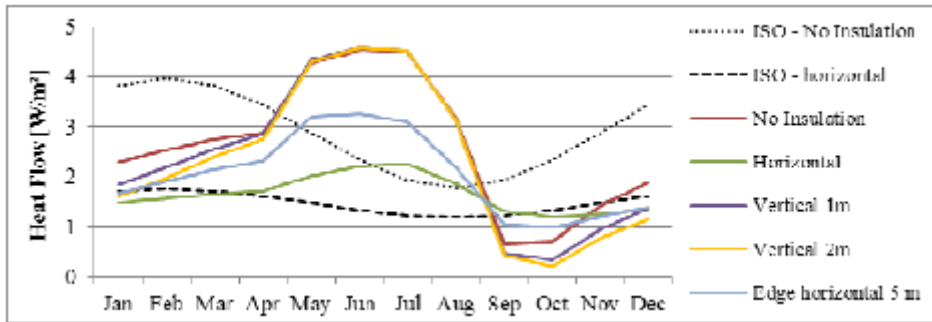
De funderingsaansluiting (groen) moet worden afgetoetst aan basisregel 3 (minimale lengte van de weg van de minste weerstand) van EPB-aanvaarde bouwknoopen. Bijgevolg moet de R-waarde van de plintisolatie minstens gelijk zijn aan de kleinste R-waarde van de aansluitende isolatielagen van de gevel en de vloer. Daarnaast moet de kortste afstand van de binnenomgeving tot de buitenomgeving (volgens de rode lijn) groter zijn dan 1m.⁴

3.3.3 Statische berekening versus dynamische simulatie

Binnen EPB wordt de warmteweerstand berekend op basis van de statische rekenmethode uit NBN EN 13370. Recent werden dynamische simulaties uitgevoerd voor industriële gebouwen met een vloer op volle grond. De resulterende warmteflux (W/m^2) voor de beide methodes werd per maand uitgezet (figuur 6 en 7).



Figuur 6. Warmteflux doorheen de vloer voor een gebouw (65 x 30m) met $T_{min}=12^{\circ}C$.



Figuur 7. Warmteflux doorheen een gebouw (65 x 30m) met $T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$.

Voor een gebouw met een lage gebruikstemperatuur ($T_{\min}=12^{\circ}\text{C}$) is er enkel een positieve warmteflux van het gebouw naar de ondergrond kort na het einde van de periode waarin het gebouw wordt verwarmd. In het vroege najaar, bij de start van het verwarmingsseizoen ontstaat er warmtetransport van de grond naar het gebouw.

Een gebouw waar de binnentemperatuur hoger ligt ($T_{\min}=20^{\circ}\text{C}$) gedraagt zich anders. Er is steeds een positieve warmteflux van het gebouw naar de ondergrond. Isoleren is in dit geval noodzakelijk. Door verticale of horizontale randisolatie te plaatsen is de warmteflux van de binnenomgeving naar de grond lager in het begin van het stookseizoen. Dit wordt veroorzaakt door het bufferend vermogen van de grond.

In bovenstaande figuren worden zowel de warmteverliezen weergegeven op basis van de methode volgens NBN EN ISO 13370 als volgens een dynamisch simulatiemodel. Binnen NBN EN ISO 13370 volgt de variatie in de warmteflux een cosinusfunctie. Deze functie wordt gebruikt om de veranderingen in binnen- en buitentemperaturen weer te geven. Binnen deze methode wordt geen rekening gehouden met ondergrondse warmteopslag gedurende de zomerperiode. Uit de figuren blijkt dat de ISO-methode de warmteflux gedurende de winterperiode bij niet-geïsoleerde vloeren overschat. Dit is een logisch gevolg van het niet meerekenen van de opslagcapaciteit van de onderliggende grondmassa.⁷

Samenvattend kan worden gesteld dat verticale randisolatie te verkiezen is voor industriële gebouwen. Dit heeft twee bijkomende voordelen. In de eerste plaats dient geen dure horizontale isolatie onder de volledige vloerplaat geplaatst te worden. Dat betekent een significante kostenbesparing. Daarenboven kan worden vermeden dat zwaar belaste vloeren deze belasting overbrengen op isolatie. Het is ook aangeraden om verder na te gaan wanneer NBN EN ISO 13370 wel bruikbaar is en wanneer er beter met dynamische simulaties wordt gewerkt.

3.4 Gevelschrijnwerk

3.4.1 Ramen en deuren

3.4.1.1 Inleiding

Ramen en deuren vormen essentiële elementen voor elk gebouw. Hoewel bij KMO-gebouwen het nut beperkt is tot daglichttoetreding en het creëren van een aangename werkomgeving, is bij retail vaak een veel grotere raamoppervlakte aanwezig langs de inkomzijde. Er wordt enkel rekening gehouden met buitenschrijnwerk in aluminium.

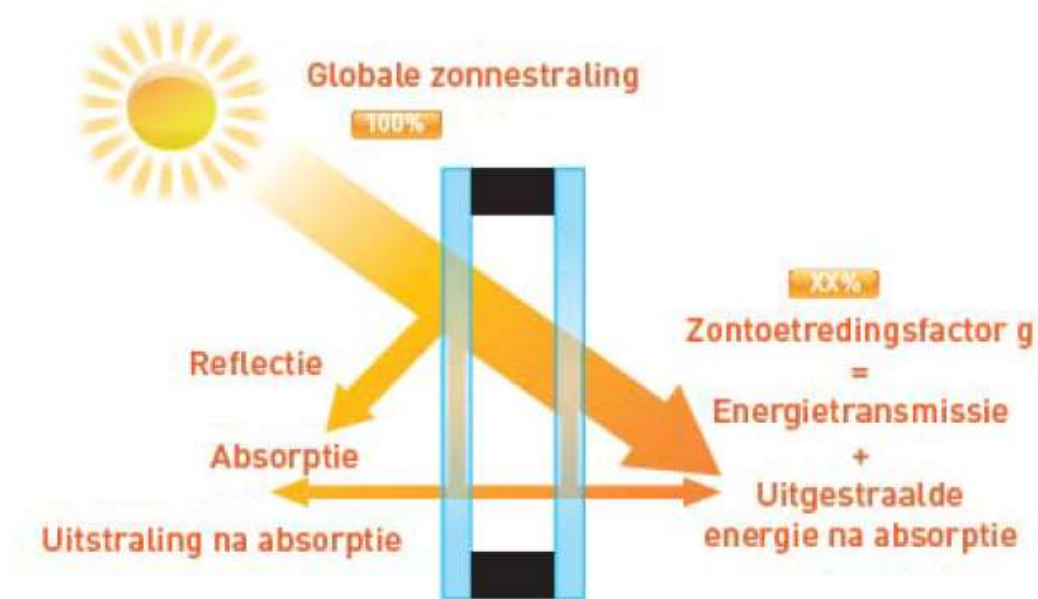
Hoewel de eigenschappen van glas steeds verbeteren, kan beglazing ook leiden tot oververhitting. Niet alleen de oppervlakte, maar ook het glastype, beschaduwing en de oriëntatie van beglazing zijn bepalende factoren.

Ramen die gelegen zijn op het zuiden hebben een grotere zonlichtinval in de winter dan in de zomer omdat de zon lager staat in de winterperiode. Toch kan het voor ramen op het zuiden aangewezen zijn om een extra luifel te plaatsen.

Ramen, gelegen op het westen en het oosten, veroorzaken inval van veel zonlicht gedurende het ganse jaar. Voor grote raampartijen en gebouwen met kans op oververhitting wordt best zonwerend glas of beschaduwing voorzien.

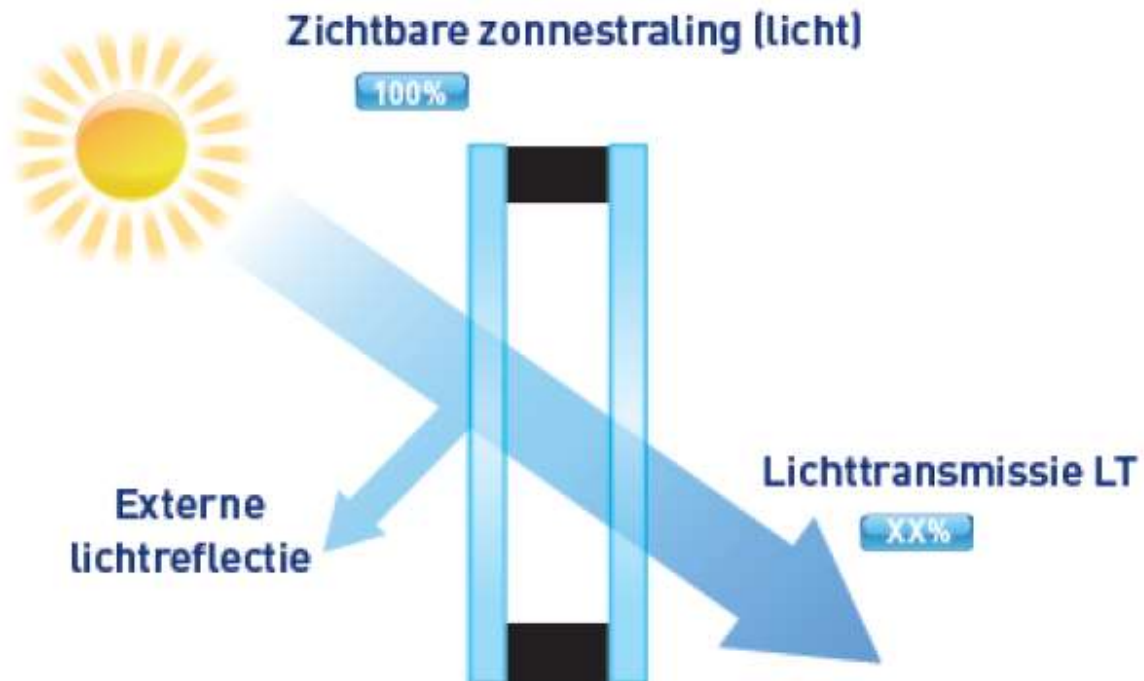
Ramen gelegen op het noorden hebben een lage lichtinval 's ochtends en 's avonds. Bij deze oriëntatie worden meestal geen zonwerende maatregelen getroffen.

Glas wordt onderverdeeld op basis van U-waarde en de g-waarde of zontoetredingsfactor. De zontoetredingsfactor of g-waarde geeft weer hoeveel energie van de invallende zonnestraling wordt doorgegeven aan de binnenruimte (figuur 8).



Figuur 8. Zonnetoetredingsfactor g.

De lichttransmissie LT, uitgedrukt in %, staat voor de hoeveelheid licht die via een beglazing binnendringt. Hoe hoger deze waarde, hoe meer licht wordt doorgelaten (figuur 9).

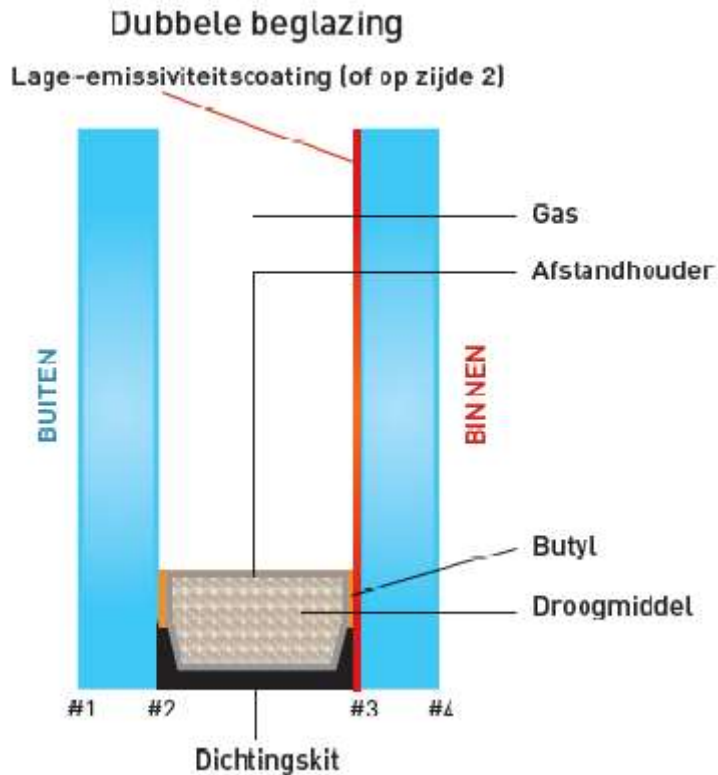


Figuur 9. Lichttransmissie LT.

Zonwerend glas is glas met een lagere g-waarde en laat bijgevolg minder zonnewarmte door. LT en g zijn echter aan elkaar verbonden. Wanneer het glas minder warmtestraling doorlaat, wordt ook minder licht doorgelaten. Zo is zonwerend glas met een g-waarde van 0.2 op de markt, wat betekent dat 80% van de zonnewarmte wordt tegen gehouden, waarbij de lichttransmissie 40% bedraagt. Houd er ook rekening mee dat sterk zonwerend glas een groene kleur heeft.

Voor de glasindustrie vormt het combineren van een lage g-waarde met een voldoende hoge TL-waarde een uitdaging.⁸

De U-waarde of warmtetransmissie van glas evolueert eveneens. Waar vroeger U-waarden kleiner dan $1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ enkel mogelijk waren voor drievoudige beglazing, kan er met dubbele beglazing ook een U-waarde van $0.8\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ worden gehaald. Deze lagere waarden worden bekomen dankzij spouwvulling met argon en/of kryptongas en het gebruik van speciale coatings⁹(figuur 10⁸).



Figuur 10. Opbouw van dubbele beglazing.⁸

Steeds vaker worden *warm edgespacers* gebruikt. Dit betekent dat de afstandhouder tussen de glasbladen niet meer uit metaal maar uit kunststof of composietmateriaal bestaat. Dat leidt tot een kleinere bouwknop langs de glasplaat.

Ook raamprofielen worden steeds performanter op energetisch vlak. Het aantal kamers binnen het profiel, hun onderlinge verbinding en afstand ten opzichte van elkaar bepalen hoe goed een aluminium raamkader isoleert (figuur 11). De warmtetransmissie van een raamkader wordt gegeven door U_f . Er is uiteraard een verschil naargelang het raam al dan niet open kan.



Figuur 11. Doorsnede van een aluminium raamkader met drievoudige beglazing¹⁰

Binnen EPB zijn er eisen voor de warmtetransmissiecoëfficiënt U_w van het volledige raam, en U_g van het glas. U_w staat voor de warmteverliezen van het geheel van beglazing, afstandshouder en raamprofiel.

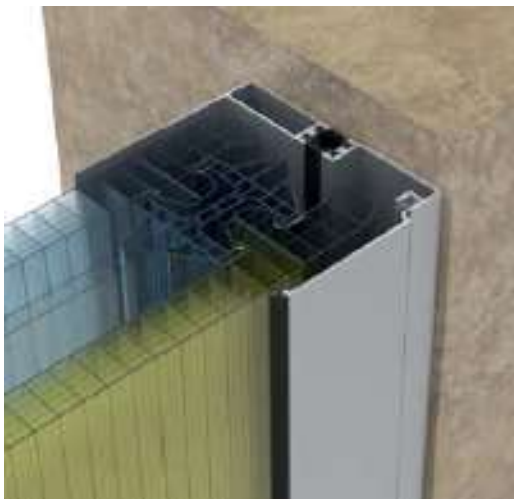
Alternatieve producten, speciaal ontwikkeld voor grotere gebouwen, zijn gevelpanelen uit meerwandig polycarbonaat. Deze kunststofpanelen kunnen eveneens een U-waarde behalen $<1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ (figuur 12)¹¹.



Figuur 12. Gevelpanelen uit polycarbonaat.¹¹

Momenteel zijn er in België enkel ononderbroken profielen in RVS of aluminium op de markt om de gevelpanelen aan de constructie te bevestigen. In het buitenland bestaan er wel reeds thermisch onderbroken profielen (figuur 13). Gezien het lagere gewicht en de lagere kostprijs dan ramen, zal het gebruik van deze producten bij industriële en commerciële gebouwen de komende jaren waarschijnlijk toenemen.

Let op: binnen EPB vallen polycarbonaat gevelpanelen onder de categorie “transparante scheidingsconstructies andere dan glas”. Er gelden bijgevolg andere eisen dan bij ramen.



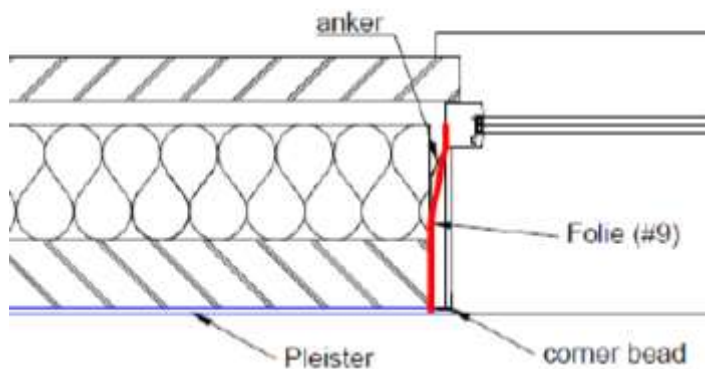
Figuur 13. Polycarbonaat gevelplaat met thermisch onderbroken profiel¹²

3.4.1.2 Luchtdichtheid en bouwknopen

Bij de plaatsing van ramen en deuren dient aandacht te worden geschonken aan de waterdichtheid, luchtdichtheid en het warmteverlies ter hoogte van de aansluiting met de wand en/of de vloer.

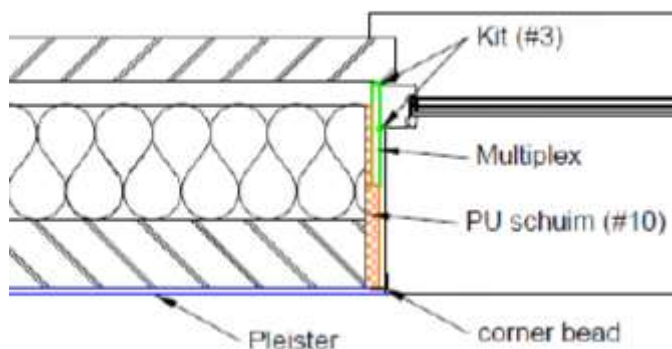
De plaatsingsmethodes voor ramen en deuren variëren naargelang het gewenste niveau van luchtdichtheid en de bouwmethode van de gevel. Inbouwdetails, specifiek voor één bouwmethode, worden bij de respectievelijke bouwmethode weergegeven. Typisch voor industriële en commerciële gebouwen is de afwezigheid van een binnenpleister. Het schrijnwerk kan bijgevolg niet worden aangesloten op een luchtdichte pleisterlaag.

De plaatsingsmethodes kunnen ruwweg worden onderverdeeld in methodes met en zonder inbouwkader. Indien geen inbouwkader wordt gebruikt, wordt het raam met ankers aan de achterliggende constructie bevestigd. Deze plaatsingswijze is op zich niet slecht, aangezien via folies en/of opspuiten met PUR toch een luchtdicht en bouwknoparm geheel kan worden bekomen (figuur 14).



Figuur 14. Voorbeeld raamaansluiting met raamanker en folie¹³

Indien echter zeer goede luchtdichtheid en lage verliezen via bouwknopen worden nagestreefd, is het aangeraden om via een isolerend kader te werken. Dit kader wordt meestal via stelblokjes in de gevelopening geplaatst. De ontstane opening tussen beide, wordt opgevuld met (geslotencellig) PU-schuim (figuur 15).



Figuur 15. Raamaansluiting met multiplex raamkader en PU-schuim.¹³

Wanneer ramen gelijk met de vloerpas komen, is het aangewezen deze deels op een isolerend en drukvast isolatiemateriaal (type Marmox thermoblock of gelijkaardig) en deels op de dorpel te plaatsen zodat de thermische onderbreking van het raamprofiel boven het isolatiemateriaal ligt. In onderstaande figuur (figuur 16) lijkt de etalage te steunen op het isolerend gebouwelement.

Ter hoogte van een buitenhoek is echter duidelijk dat het raamprofiel voornamelijk op de raamdorpel steunt (figuur 17). Ook ter hoogte van een binnenhoek in het gebouw is de blauwe hardsteen van de buitendorpel zichtbaar en steunt het raam volledig op de blauwe hardsteen (figuur 18). Door een foutieve plaatsingswijze op de werf is de investering in drukvast isolatiemateriaal weggegooid geld én is er een niet te minimaliseren bouwknoop bijgekomen. In een commercieel gebouw met veel beglazing is de invloed van een dergelijke koudebrug op het warmteverlies aanzienlijk en een verhoogd risico op condensatie ontstaat ter hoogte van de aansluiting.



Figuur 16. Etalageraam lijkt in contact met drukvast isolatiemateriaal.



Figuur 17. Raamkader staat quasi volledig op blauwe hardsteen dorpel.



Figuur 18. Ramen staan volledig op de dorpel. De drukvaste, zwarte isolatie dient tot niets.

Onderaan een deur kan uiteraard onmogelijk een omkasting worden geplaatst. Binnen industriebouw wordt regelmatig gewerkt met aluminium deuren (figuur 19).



Figuur 19. Typische deur in industriële gebouwen.

Een luchttek ontstaat aan de onderzijde van de deur. Vaak wordt een tochtborstel geplaatst (figuur 20). Het wordt aangeraden om deze door een valdorpel te vervangen.



Figuur 20. Luchttek onderaan deur.

Bij dit type deuren is er een extra luchttek aanwezig ter hoogte van de aansluiting tussen de profilering van de staalplaat van de deur en het kader (figuur 21).



Figuur 21. Luchtteklanss profieling van staalplaat.

De deurdorpel is een detail dat eveneens de nodige aandacht verdient. Heel vaak worden dorpels tot voorbij de isolerende buitenwand geplaatst zodat deze een koudebrug vormen. In het eerste

voorbeeld ligt de dorpel langs de binnenzijde gelijk met de binnenwand (figuur 22). Op een andere werf was een profiel geplaatst in de deuropening waarop de dorpel later zal worden geplaatst. Ook bij deze plaatsingsmethode ontstaat een koudebrug (figuur 23). In het laatste voorbeeld, werd de dorpel tot ongeveer de helft van de flankerende isolatie geplaatst (figuur 24). Dit is een goede plaats maar bij het gieten van de vloerplaat had een thermische onderbreking tussen dorpel en vloer, zelfs al is het maar een stukje randisolatie, geplaatst moeten worden. Of er kan aan de dorpel een stuk drukvast isolatiemateriaal worden gekleefd, bijvoorbeeld XPS of cellenglas, zodat de koudebrug sterk wordt verminderd. Dit kan bovenaan worden afgewerkt met een kitvoeg. Langs de zijkant van de dorpel had met PU-schuim de verbinding met de isolatie gerealiseerd moeten worden, i.p.v. het beton van de vloerplaat.



Figuur 22. Aansluiting dorpel op binnenwand en betonvloer.



Figuur 23. Profiel ter hoogte van deurgat.



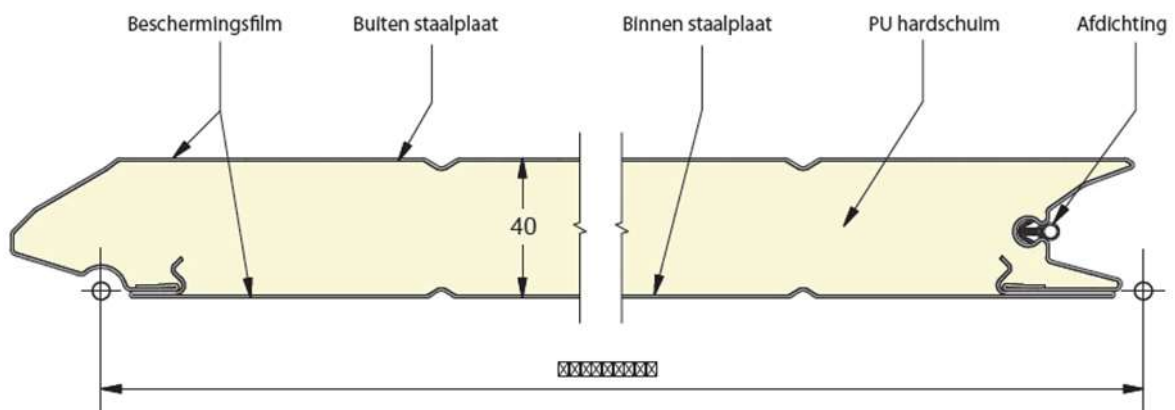
Figuur 24. Deurdorpel op correcte plaats maar onzorgvuldige aansluiting op vloer en wand.

3.4.2 Poorten: eenverhaal apart

3.4.2.1 Inleiding

Elk commercieel en industrieel gebouw beschikt minimaal over één sectionaalpoort. In tegenstelling tot residentiële poorten, zijn deze heel wat groter en worden ze vaker gebruikt. Een vaak voorkomende afmeting is 4m x 4.5m.

Elke poort bestaat uit een poortkader en het poortblad. Het poortblad bestaat uit stalen sandwichpanelen met een kern van PU-schuim (figuur 25). Deze panelen hebben een standaardisolatiekern van 40mm en standaardhoogte van 500 mm of 610 mm. Waterdichtheid en weerstand tegen windbelasting zijn andere eisen waaraan een poort dient te voldoen.



Figuur 25. doorsnede van een poortblad sandwichpaneel.¹⁴

De U-waarde van het paneel zelf bedraagt 0,51 W/m²K. Binnen EPB is de maximale U-waarde van de poort als geheel 2.0W/m²K.

3.4.2.2 Aansluitingen, luchtdichtheid en bouwknopen van een poort

De opbouw van poorten wordt steeds beter waarbij naast aandacht voor de waterdichtheid en winbelasting, eveneens aandacht aan luchtdichtheid en koudebruggen wordt besteed.

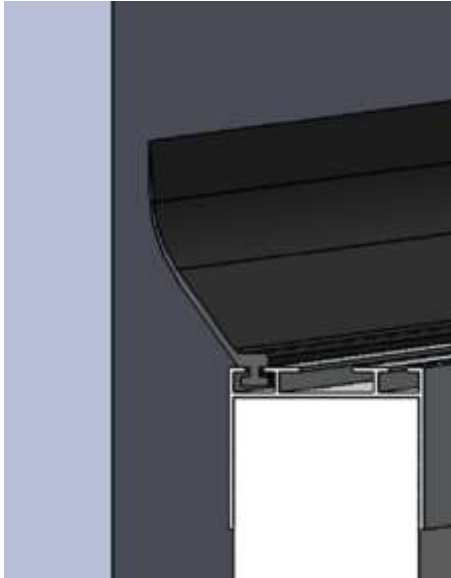
Onderstaande maatregelen worden genomen om bovenvermelde eigenschappen te verbeteren:

- tussen horizontale panelen van een poort wordt een afdichting geplaatst (figuur 25);
- rondom de panelen is een metalen kader bevestigd (figuur 26). Tussen de panelen en dit kader wordt eveneens een afdichtingsband geplaatst;

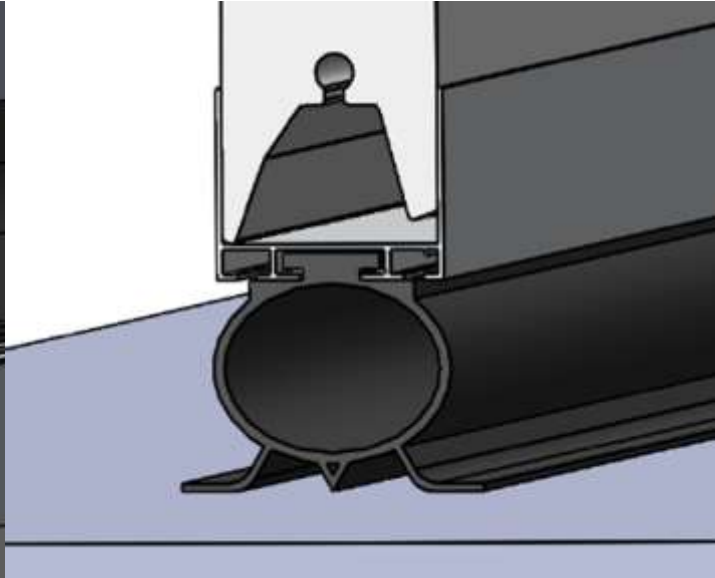


Figuur 26. Stalen kader met sandwichelementen van het poortblad.

- bovenaan is een rubber in het poortkader bevestigd die op de wand aansluit wanneer de poort gesloten is (figuur 27);
- onderaan is eveneens een samendrukbare rubber aanwezig. Wanneer een poort elektrisch sluit, wordt deze tegen de vloer gedrukt en vormt een degelijke barrière (figuur 28);

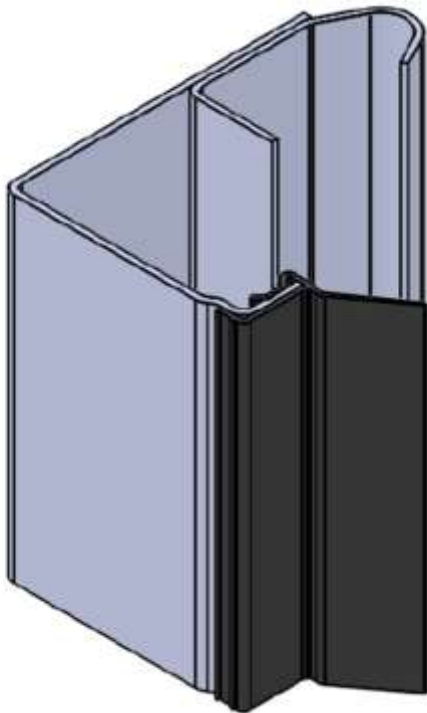


Figuur 27. Bovenrubber.¹⁴



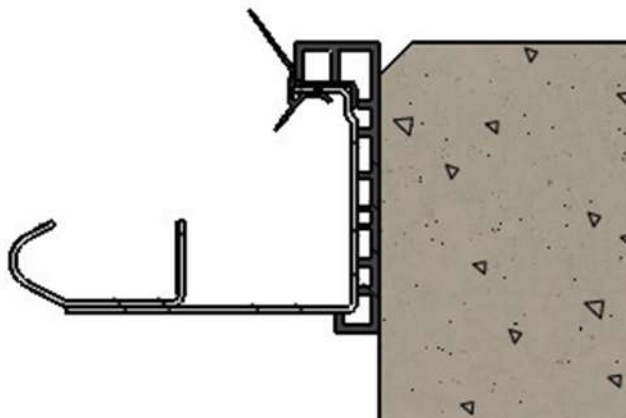
Figuur 28. Onderrubber maakt contact met vloerplaat.¹⁴

- langs de zijkant van het poortprofiel loopt eveneens een extra rubberdichting die de opening tussen het profiel en het poortblad afdicht (figuur 29).



Figuur 29. Afdichtingsband langs de zijkanten van de poort.¹⁴

Het poortprofiel zelf bestaat uit metaal (figuur 29) en vormt bijgevolg een koudebrug tussen binnen- en buitenzijde van het gebouw. Producenten van poorten werken daarom aan nieuwe generatie profielen waarbij het profiel deels wordt ingepakt in kunststof. Hierdoor vermindert het warmteverlies via de koudebrug over het profiel (figuur 30).



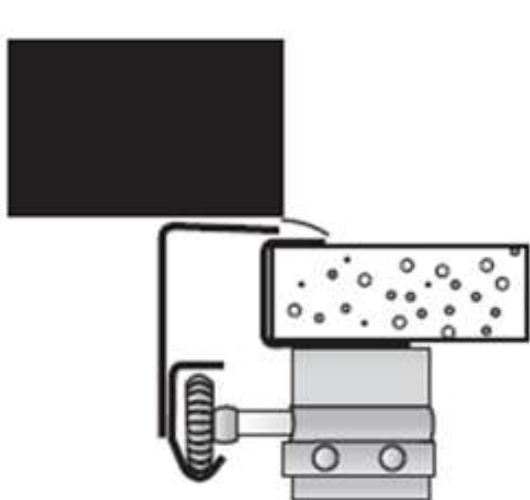
Figuur 30. Verbeterd profiel met kunststof omhulsel.¹⁴

3.4.2.3 Plaatsingsmethode

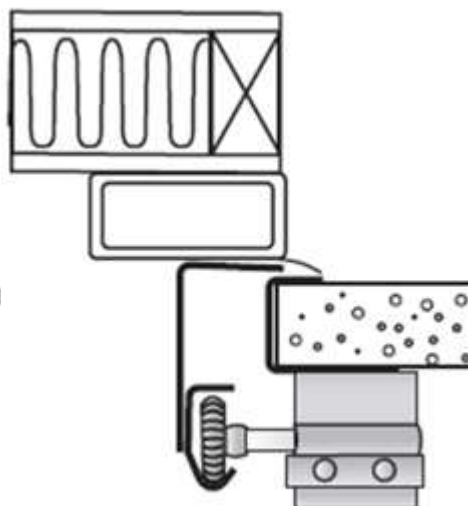
Bij residentiële gebouwen wordt een poort meestal in de dagopening geplaatst. Bij industriële en commerciële gebouwen is dat niet het geval, poorten worden achter de dagopening geplaatst.

De plaatsingsmethode varieert naargelang de bouwmethode van de gevel. Dit onderscheid is het gevolg van het dragend vermogen van de buitenwand.

Bij prefab betonpanelen en ook houtskeletbouw kan de poort rechtstreeks op de wand worden bevestigd. Stalen sandwichpanelen en binnendozen zijn echter niet sterk genoeg en bijgevolg worden poorten in dat geval op een stalen profiel geplaatst (figuur 31 en 32). De inbouwdetails worden weergegeven bij de bouwmethode van de gevel.



Figuur 31. Rechtstreekse montage op wand.¹⁵



Figuur 32. Montage op profiel.¹⁵

Om het poortkader luchtdicht aan te sluiten op de wand of een profiel, worden voorgecomprimeerde schuimbanden gebruikt (figuur 33). Om de bovenrubber van de poort nog beter te laten aansluiten op de wand, kan een extra verdikking (hier: OSB) worden geplaatst.

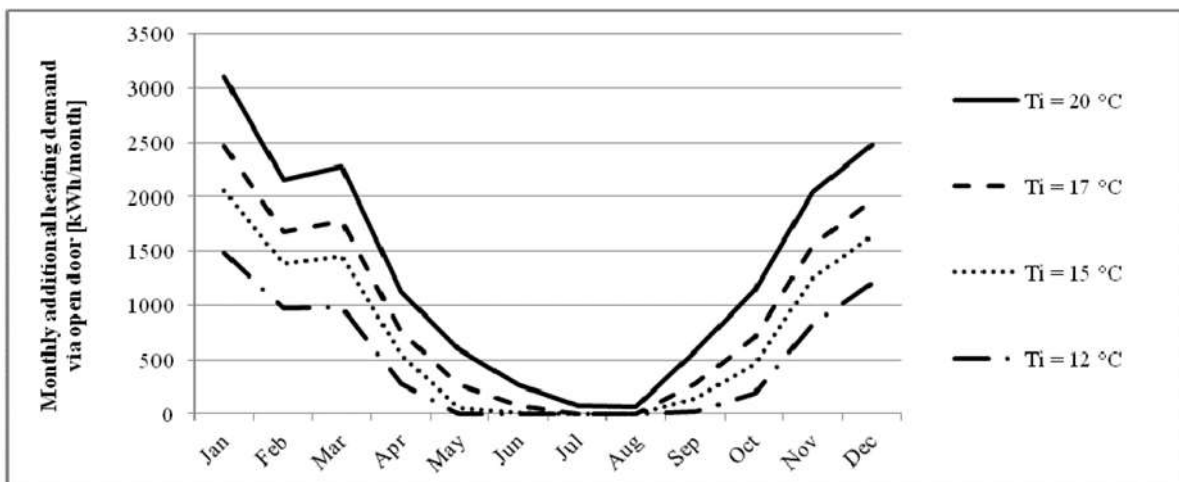


Figuur 33. Compressiebanden en extra uitdikking van de wand.

3.4.2.4 Warmteverlies via open poorten

Bij residentiële gebouwen gaan poorten nauwelijks open en het bijhorende warmteverlies is verwaarloosbaar. Bij industriële en commerciële gebouwen is dat echter niet het geval. Zeker wanneer er meerdere poorten tegelijk openstaan, zijn de warmteverliezen aanzienlijk. Binnen de energieprestatieregelgeving wordt dit effect momenteel niet meegeteld.

Het is echter niet eenvoudig om in te schatten hoe lang en hoe vaak poorten open staan. Recent werd gesimuleerd hoeveel warmte er effectief verloren gaat via een poort van 4.8 op 3.5m wanneer deze, verspreid over de werkdag, in totaal één uur open staat. De grafiek geeft de extra warmtebehoefte per maand weer (figuur 34).



Figuur 34. Extra warmtebehoefte per maand veroorzaakt door één open poort in een industrieel gebouw van 2000m² in Potsdam.¹⁶

Het is logisch dat een hogere binnentemperatuur gepaard gaat met hogere verliezen. Bij gebouwen waar een lagere temperatuur noodzakelijk is, veroorzaken open poorten dan weer een extra behoefte voor koeling. Dit aspect dient dan ook verder te worden onderzocht zodat de dimensionering van HVAC niet in het gedrang komt.

3.5 Daken en dakaccessoires

3.5.1 Daken

Hoewel een hellend dak in sandwichpanelen eveneens een industriële bouwmethode is, werd in deze in overleg met de gebruikersgroep niet weerhouden. Een dergelijk hellend dak wordt momenteel voornamelijk bij niet-verwarmde loodsen of landbouwgebouwen geplaatst, die niet tot de onderzoek scope behoren.

Enkel het warme dak wordt weerhouden. Slechts 2 types dakvloeren worden beschouwd:

- een zware opbouw met prefab TT-elementen;
- een lichte opbouw met steeldeck.

De verschillende types dakafdichting worden niet verder besproken. De informatie hierover is terug te vinden in de technische voorlichtingen 215 (plat dak) en 239 (mechanische bevestiging) of via de fabrikant.

3.5.1.1 Het damp scherm

De plaatsing van een damp scherm is niet altijd verplicht. Een damp scherm verhindert dat binnenlucht in de dakopbouw kan doordringen en verlaagt het risico op inwendige condensatie.

TV215 bevat een stappenplan om de noodzaak, de eigenschappen van het damp scherm en de plaatsingsmethode te bepalen.

Stap 1. Bepalen binnenklimaatklasse

In de eerste stap, dient de binnenklimaatklasse (BKK) te worden bepaald. Er bestaan 4 binnenklimaatklassen, I t.e.m. IV, van een zeer droge tot zeer vochtige omgeving. De grenzen tussen de klassen worden vaak begroot op basis van het rekenkundig gemiddelde dampdrukverschil tussen de binnen- en de buitenlucht gemeten over een korte periode. Met de bekomen waarde kan via een tabel worden opgezocht met welke BKK dit overeenstemt. Normaliter behoren toonzalen, garages en werkplaatsen tot klimaatklasse I. Het zijn gebouwen met weinig tot geen permanente vochtproductie. Winkels behoren meestal tot BKK II en hebben een beperkte vochtproductie en goede ventilatie. Ook klimaatklasse III is mogelijk voor laaggeklimatiseerde gebouwen. Klimaatklasse IV is voorbehouden voor gebouwen met een zeer grote vochtproductie zoals bijvoorbeeld wasserijen, drukkerijen en brouwerijen.

Stap 2. Bepalen damp schermklasse

Op basis van de binnenklimaatklasse, de draagconstructie, het type isolatie en de bevestigingsmethode van de afdichting, wordt de damp schermklasse bepaald.

De damp schermen worden ingedeeld van E1 t.e.m. E4. De overzichtstabel in de TV bevat steeds de minimale damp schermklasse. Een hogere klasse is toegestaan.

Stap 3. Keuze geschikt damp scherm

In deze stap wordt gedetailleerd weergegeven met welke soorten damp schermen de klasse overeenstemt. Bijkomend worden opmerkingen gegeven i.v.m. overlapping van voegen. Zo is bijvoorbeeld een PE-folie van 0,2mm een damp scherm klasse E1. Een SBS bitumendamprem behoort tot klasse E3.

Stap 4. Plaatsingswijze

Een damp scherm kan los geplaatst, gekleefd of mechanisch bevestigd worden.

Let op: soms dient de dakvloer eerst met een primer te worden behandeld om een goede hechting te bekomen. De hechting van het dampscherm aan de dakvloer vraagt een voldoende vlakheid.

3.5.1.2 Bevestigingsmethoden en isolatie

Zowel het dampscherm, isolatie alsook de afdichting kunnen op verschillende manieren worden geplaatst. Vooraleer isolatie te plaatsen, moet het dampscherm steeds gecontroleerd worden op scheuren en andere beschadigingen.

Isolatie kan in één of twee lagen worden geplaatst. De meest frequent gebruikte isolatiematerialen zijn PIR-platen en minerale wol. Minerale wol heeft een beter brandgedrag dan PIR. Daarnaast is het mogelijk om één laag PIR en één laag minerale wol te plaatsen.

Het plaatsen in twee lagen gebeurt met geschrante voegen om zo de koudebrugwerking van de voegen te verminderen.

De isolatie en afdichting kunnen ofwel mechanisch bevestigd ofwel gekleefd worden.

Mechanische bevestiging komt zeer vaak voor in combinatie met steeldeck. De isolatie wordt met behulp van verdeelplaatjes en zelfborende schroeven bevestigd.

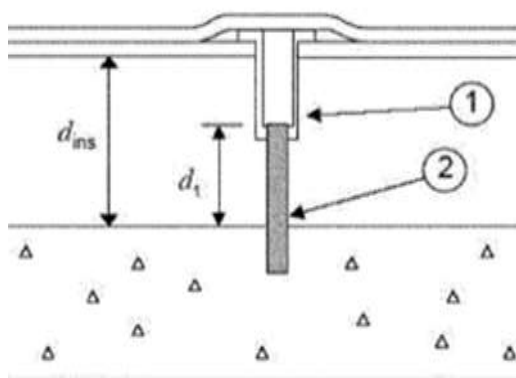
Het aantal bevestigers per m^2 hangt af van de windbelasting, de eigenschappen van de isolatie, de aanwezigheid van een dampscherm en de kenmerken van de schroef. Ter hoogte van de randen en de hoeken van het dak dienen steeds meer bevestigers te worden geplaatst gezien de grotere krachten.

Bij de overgang van het horizontale naar het verticale vlak (dakopstand) moet een kimbevestiging toegepast worden. Deze kan gerealiseerd worden door middel van PVC gecacheerde staalplaten met een gelaste dakafdichtingsbaan, via schroeven en verdeelplaten of een volledig verkleefde zone.

Bij gekleefde afdichtingen worden gecacheerde banen aangeraden aangezien deze beter hechten, minder blaasvorming veroorzaken en de ruwheden van de ondergrond opvangen.¹⁷¹⁸

Wanneer een mechanisch bevestigde dakafdichting wordt gebruikt, is het aangeraden om deze ook aan de dakopstand te verkleven. Wanneer dit niet gebeurt, is de luchtdichtheid ter hoogte van de dakrand niet goed. Dit wordt beschouwd als één van de grootste luchtlekken in een gebouw.

Indien mechanische bevestigers worden gebruikt die de isolatielaag doorboren, moeten deze meegerekend worden in de U-waarde van het dak (figuur 35).



Figuur 35. Mechanisch bevestiging doorheen de isolatielaag.¹⁹

Het warmteverlies, veroorzaakt door deze bevestigingsmethode kan gereduceerd worden door:

- het aantal schroeven per m² te beperken via dikkere schroeven;
- schroeven in RVS te gebruiken (reeds *current practice*);
- schroeven met een kunststof huls te gebruiken waardoor de schroefkop verzonken zit.

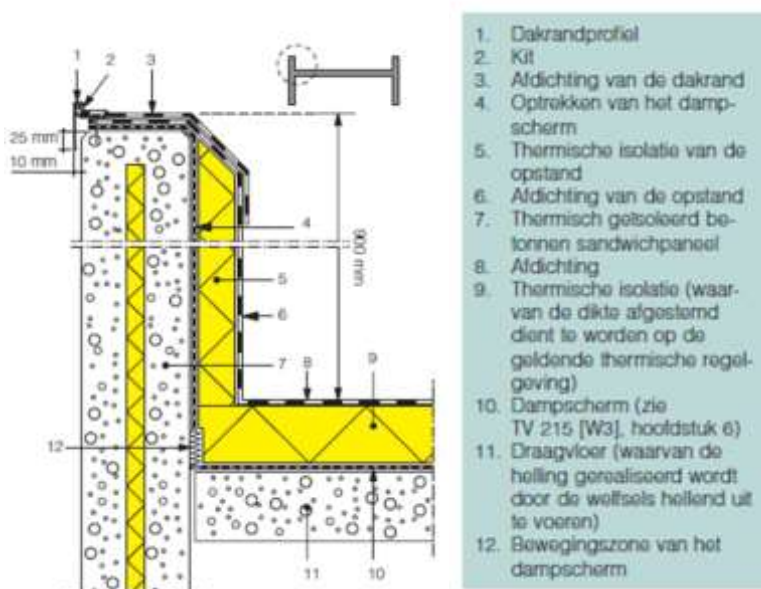
Wanneer zowel het damp scherm, de isolatie alsook de afdichting gekleefd worden, is een correctie op de U-waarde uiteraard niet nodig.

3.5.1.3 Detaillering bij TT-elementen

Bij prefab TT-dakelementen is de aangeraden minimale damp schermklasse E3. Vaak wordt een SBS bitumendamp scherm gebruikt, waarbij eerst een kleefvernis moet worden aangebracht.

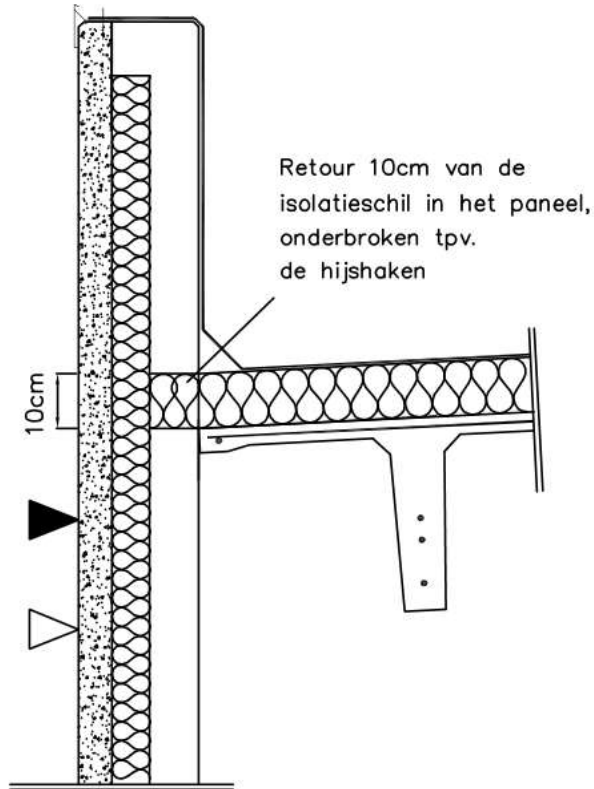
Ter hoogte van de dakopstand, worden het damp scherm en de isolatie eveneens opgetrokken. Om te voldoen aan de EPB-regelgeving inzake bouwknoepen bestaan er verschillende mogelijkheden:

- optrekken van de dakrand, 1m boven het dakniveau (figuur 36). Dit betekent dat de gevel langsheen het volledige dak minimaal 1m uitsteekt boven het dak. Hierdoor is de weg van de minste weerstand minimaal 1m;



Figuur 36. Optrekken van dakisolatie.¹⁷

- rechtstreeks contact tussen isolatie: naast isoleren van de dakopstand wordt ook de bovenzijde van de gevel geïsoleerd. Dit kan wanneer de isolatie in een betonsandwichpaneel doorloopt tot bovenaan;
- gebruik maken van speciale beton sandwichpanelen met een retour in de isolatie. Door dit type panelen te gebruiken sluit de isolatie in de wand aan met die op het dak. Doorheen de isolatie loopt wel nog wapening. Bovendien vraagt deze methode om een precieze opmeting en goede plaatsing opdat de isolatie kan aansluiten (figuur 37).



Figuur 37. Retour in gevelpaneel.²⁰

3.5.1.4 Detaillering en aandachtspunten bij steeldeck

Het type steeldeck, de plaatdikte en de overspanningen worden steeds bepaald op basis van een stabiliteitsstudie.

Bij steeldeck wordt vanaf BKKII aangeraden een damp scherm te gebruiken. Wanneer naar een goede luchtdichtheid wordt gestreefd, is het steeds aangeraden een damp scherm te plaatsen. De platen zelf worden immers als open beschouwd ter hoogte van de voegen.

Indien de isolatie en de afdichting gekleefd worden, moet ook het damp scherm worden gekleefd. Ter hoogte van de dakranden, opstanden en doorbrekingen in het dak, moeten het damp scherm en de afdichting op elkaar aangesloten worden.

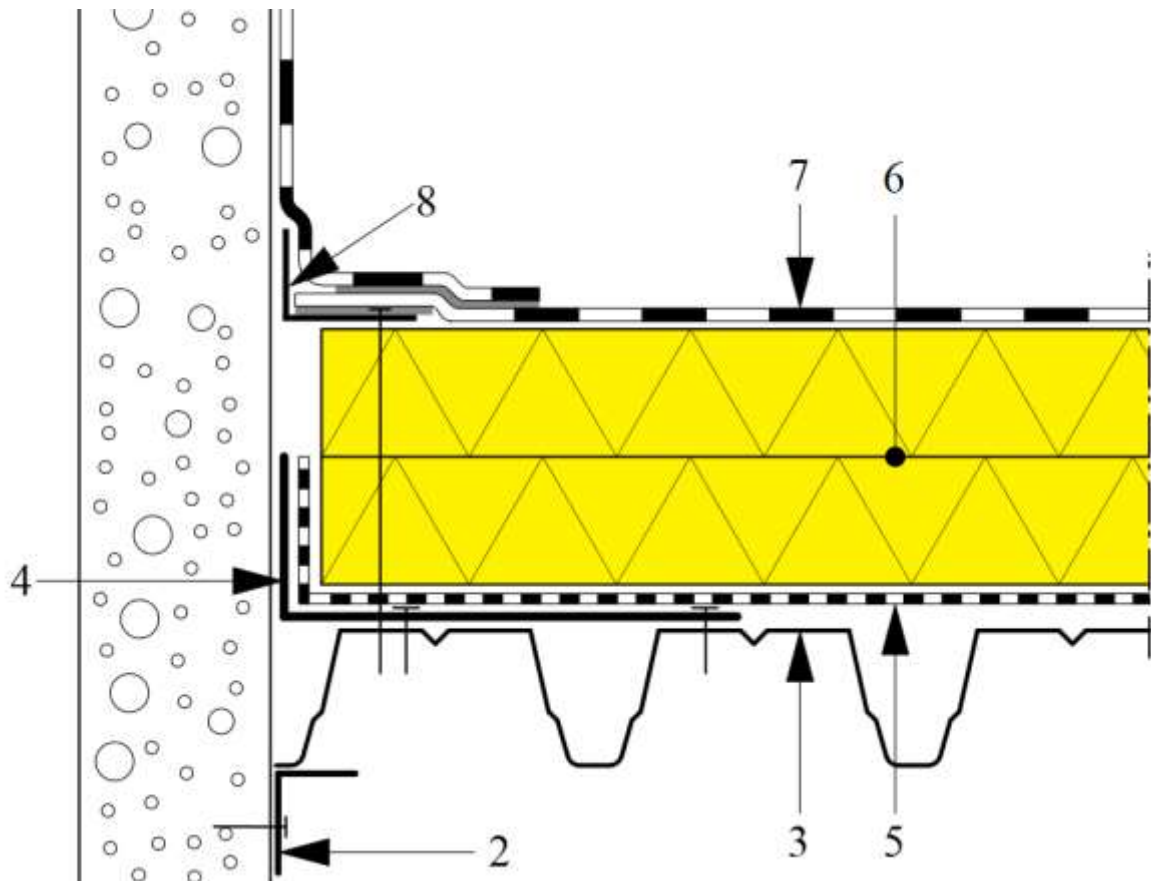
Isolatieplaten worden geschrant geplaatst, loodrecht op de golfrichting. Dit leidt tot een verstijving van de dakstructuur en een beperktere belasting van de afdichting (figuur 38).



Figuur 38. Geschrante plaatsing van isolatiepanelen.

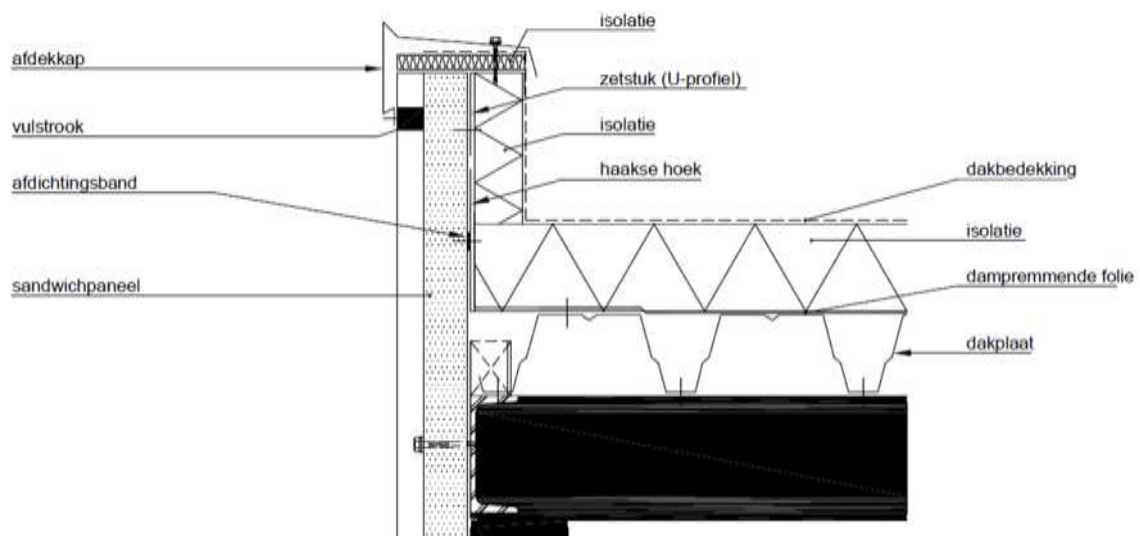
De steeldeckplaten moeten over de volledige omtrek van het dak ondersteund worden door een L- of U-vormig randprofiel. Bijkomend moet er een L-vormig geplooid profiel bovenop de staalplaten aangebracht worden, dat enerzijds dienst kan doen als drager voor de verdere dakopbouw en anderzijds moet zorgen voor de vereenvoudigde uitvoering van de kimfixatie.

Het gevolg van dit L-profiel is dat er een koudebrug en luchttek tussen L-profiel en wand ontstaat. Om deze koudebrug te beperken, wordt de dakopstand bijkomend geïsoleerd en kan de isolatie tot boven het profiel (nummer 4, figuur 39) worden geplaatst.



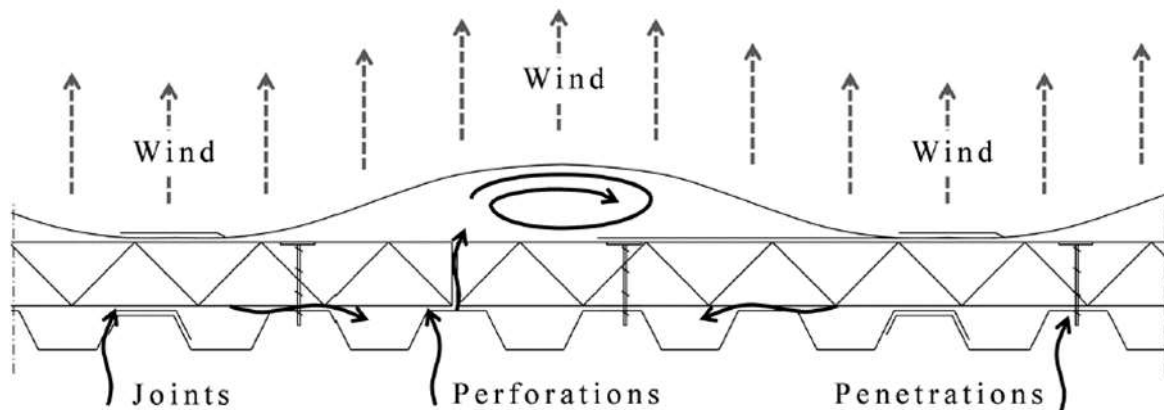
Figuur 39. Situatie waarbij het L-profiel tot de helft van de isolatiedikte doorloopt.

Om luchtinfiltratie te vermijden, is het eveneens mogelijk om een schuimband tussen het L-profiel en de wand te plaatsen (figuur 40). Om de koudebrug, veroorzaakt door het L-profiel, op een aanvaardbaar niveau te brengen, is het mogelijk om ofwel de dakopstand tot 1m te verhogen en deze dakopstand volledig te isoleren; ofwel wordt op de bovenzijde van de gevel een extra strook isolatie aangebracht waardoor één doorlopende laag isolatie ontstaat (figuur 40).



Figuur 40. Dakopstand met afdichtingsband en extra isolatie onder het dakrandprofiel.²¹

Let op: een mechanisch bevestigde soepele dakafdichting kan lokaal opgetild kan worden ten gevolge van de winddruk (onderdruk). Hierdoor kan er warme binnenlucht aangezogen worden en ingesloten raken tussen de afdichting en de isolatie, die vervolgens kan afkoelen en aanleiding geven tot condensatievorming in de dakopbouw. De kans op condensatievorming wordt hoofdzakelijk bepaald door de binnenklimaatklasse en de luchtdichtheid van de dakopbouw. Houd er tevens rekening mee dat onder gunstige omstandigheden, de hoeveelheid condensaat onder een witte dakafdichting groter is dan onder een zwarte (figuur 41). Dit doordat een zwarte afdichting overdag meer opwarmt en minder makkelijk afkoelt gedurende de nacht.



Figuur 41. Luchtinfiltratie en optillen van mechanisch bevestigde kunststof afdichtingsmembranen.²²

3.5.2 Daglichtvoorzieningen

Daglichtinval heeft een positief effect op het welzijn van de werknemers en op de energiefactor voor verlichting. Lichtstraten en dakkoepels kunnen bovendien tegelijk dienst doen als rook- en warmteafvoer (RWA).

Lichtstraten en lichtkoepels worden heel vaak toegepast in industriële en in mindere mate in commerciële gebouwen. Het wordt aangeraden om 10-15% van de totale dakoppervlakte te gebruiken voor daglichttoepassingen.²³ Op deze manier wordt het risico op oververhitting binnen de

perken gehouden. Wanneer er een hoger risico op oververhitting aanwezig is, kan polycarbonaat of acrylaat met een lagere g-waarde worden gebruikt. In dat geval ligt de lichttransmissie ook lager. Ook goede ventilatie, nachtventilatie en automatische sturing van de verlichting in functie van de lichthoeveelheid, verlagen het risico op oververhitting. Houd steeds rekening met de plaats van rekken zodat het licht op de juiste plaats invalt.

Binnen EPB behoren lichtkoepels en lichtstraten tot de categorie “Transparante scheidingsconstructies andere dan glas” en moeten ze voldoen aan een totale U-waarde van $2.0\text{W/m}^2\text{K}$. Daarenboven moet het transparante gedeelte voldoen aan een $U_{r,\text{max}}$ van $1.4\text{W/m}^2\text{K}$. De normen NBN EN 62-002, NBN EN 1873 en NBN EN 14963 leggen vast hoe de $U_{r,\text{max}}$ -waarde moet bepaald worden.

Voor het transparante deel is het belangrijk dat de U-waarde van de geprojecteerde horizontale oppervlakte wordt bepaald en niet de U-waarde van de kunststofplaat zelf wordt gebruikt. Bovenvermelde normen bevatten ook de methode voor de U-waarde bepaling van een opstand met rond of rechthoekig grondvlak.

3.5.2.1 Lichtkoepels

De $U_{r,\text{max}}$ -waarde van een koepel (transparant deel) moet worden bepaald op basis van een proef volgens NBN EN 674 of NBN EN 675 ofwel via een berekening volgens NBN EN 673. Indien dit niet het geval is, moeten waarden bij ontstentenis worden gebruikt.

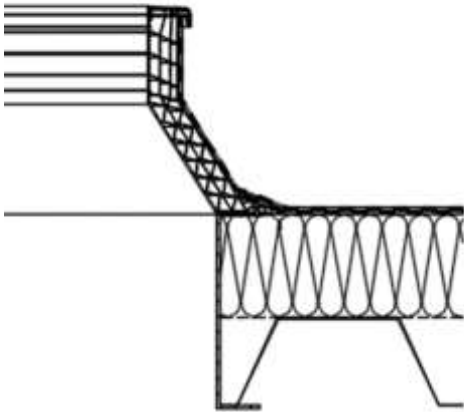
Indien de koepel meerdere gescheiden transparante lagen bevat, zijn de berekeningsmethodes volgens NBN EN ISO 10077-2 en NBN EN ISO 10211 en metingen volgens BNB EN 674 toegestaan.

De U-waarde van de opstand, hoekprofielen en randeffecten, wordt numeriek bepaald volgens NBN EN ISO 10077-2 of NBN EN 12412-2.

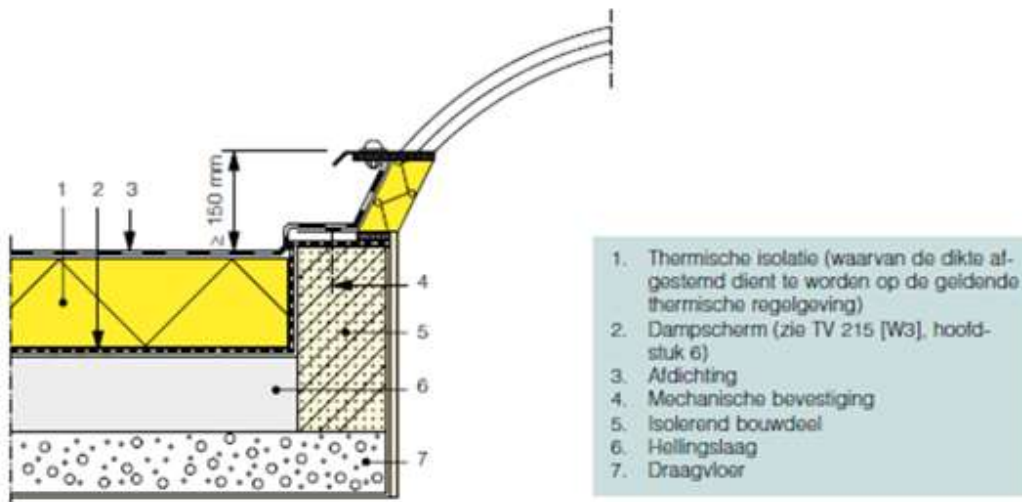
Om de U-waarde van de dakkoepel als geheel te bepalen, zijn zowel een berekening volgens NBN EN ISO 10211 en/of NBN EN ISO 14683, alsook een proef volgens NBN EN 12567-2 toegestaan.

Tip: vraag dit na bij de leverancier of de producent. Soms worden U-waarden vermeld bij producten die niet realistisch lijken.

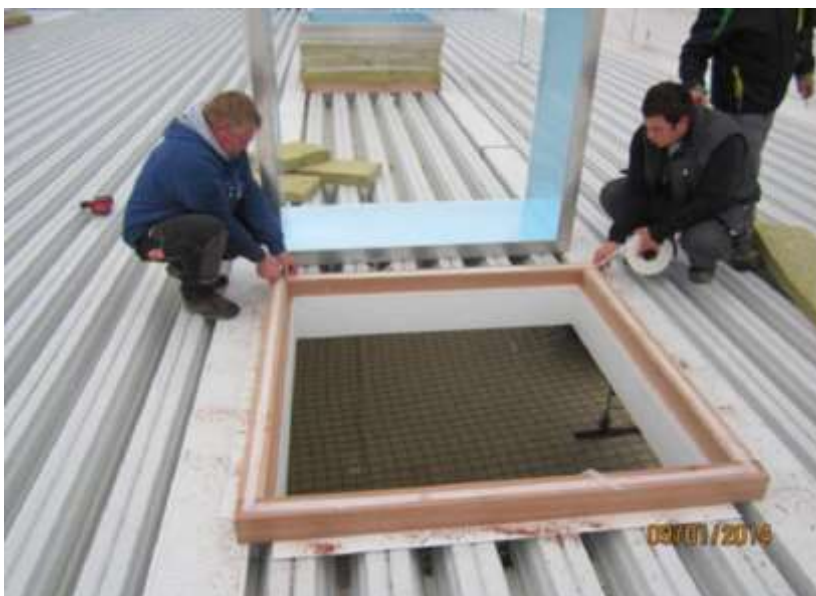
Dakkoepels worden op een bijgeleverde opstand gemonteerd. Meestal wordt gebruik gemaakt van een opstand in meerwandig PVC met een $U_{r,\text{max}}$ -waarde tussen 2.2 en $0.89\text{W/m}^2\text{K}$. De dakopstanden worden ofwel rechtstreeks op de dakvloer (rechte opstanden), ofwel op de onderliggende isolatie (figuur 42) ofwel op een extra kader/profiel bevestigd (figuur 43 en 44). Bij steeldeck moet worden gelet op de beperkte belastbaarheid van de plaat. Wanneer met een stalen profiel wordt gewerkt, dient erop gelet te worden dat dit niet doorloopt tot aan de koude zijde van de dakopstand (figuur 42). Bij steeldeck wordt meestal via een L-profiel gewerkt. Bij beton wordt vaker een isolerend bouwdeel zoals cellenbeton of hout gebruikt.



Figuur 42. Plaatsing op steeldeck met L-profiel en PVC opstand²⁴



Figuur 43. Plaatsing via tussengevoegd isolerend bouwdeel.²⁵

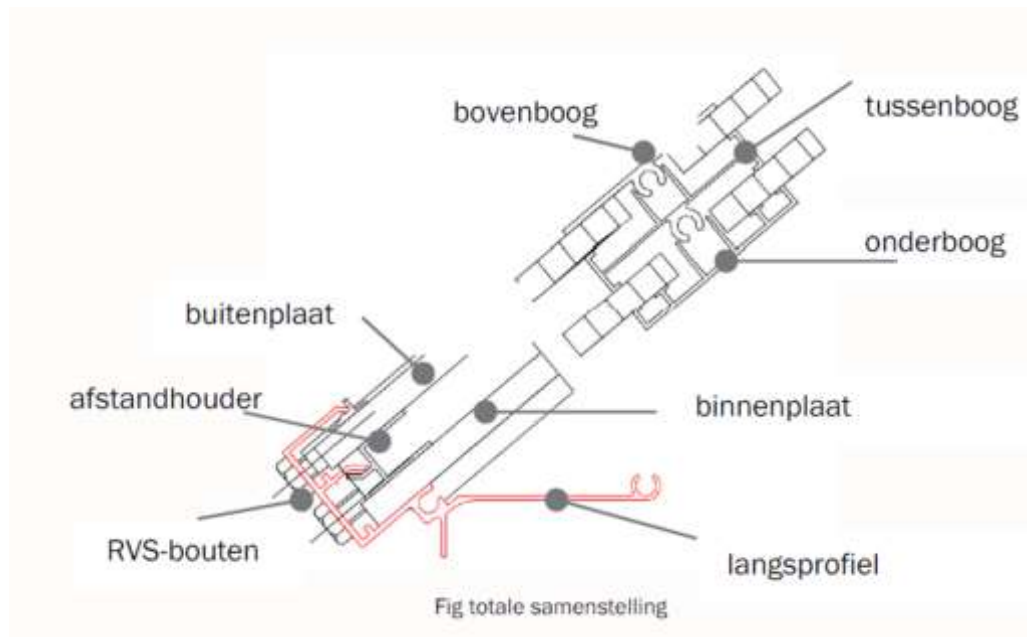


Figuur 44. Plaatsing via een houten kader bevestigd op steeldeck en dichtingstape.²⁶

De koepel zelf bestaat uit acrylaat, polycarbonaat of PMMA. De Ug-waarde varieert van 5.36 (enkelwandig) tot 1.03 (PMMA dubbellaags 8-wandig). Om te voldoen aan de EPB-eisen, wordt aangeraden om minimaal drie- of vierlaagse koepels te plaatsen. De fabrikant kan advies geven over het gewenste type opstand en kunststofplaat.

3.5.2.2 Lichtstraten

Lichtstraten zijn heel wat groter en worden vaak over de volledige lengte van het gebouw geplaatst. Een lichtstraat bestaat uit kunststofplaten, bovenbogen, onderbogen, opstanden en steunprofielen (figuur 45).



Figuur 45. Onderdelen van een lichtstraat met dubbellaags geplateerde kunststofplaten.²³

De U-waarde van de transparante onderdelen wordt, net als bij koepels, bepaald via NBN EN 674, NBN EN 675 of NBN EN 673. De U-waarde van de opstand, inclusief profielen en randeffecten, wordt berekend op basis van NBN EN 10077-2. De U-waarde van de lichtstraat als geheel wordt bepaald via NBN EN 10211, NBN EN 14683 (numeriek) of NBN EN ISO 12567-2 (proef).¹⁹

Hoewel lichtstraten zeer vaak worden toegepast en hun nut reeds lange tijd hebben bewezen, vormt de bevestiging aan de dakconstructie op thermisch gebied de achilleshiel. Het onderprofiel is immers steeds metaal (figuur 46).



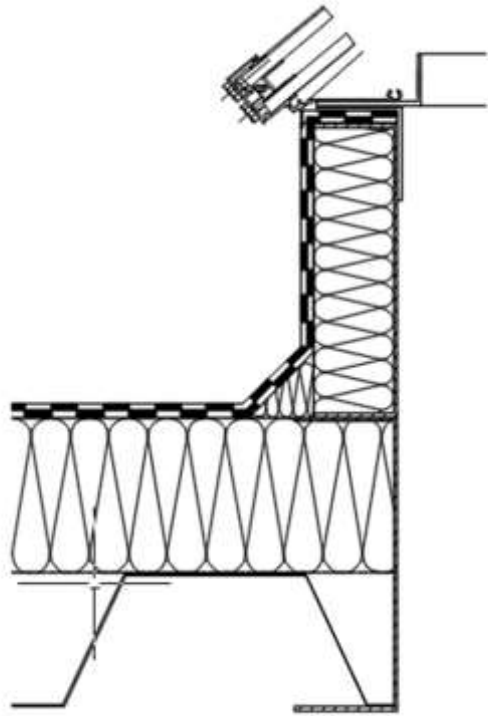
Figuur 46. Metaalconstructie voor lichtstraat.²³

Vooraleer de lichtstraat kan worden gemonteerd, moet een voldoende stevige opstand in hout of metaal worden voorzien. De minimale hoogte bedraagt 15 cm t.o.v. het afgewerkt dak. Indien een metalen opstand wordt gebruikt, moet deze minimaal min. 3 mm dik zijn.²³ De dakafdichting wordt doorgetrokken tot op het metalen profiel of de houten balk (figuur 47).

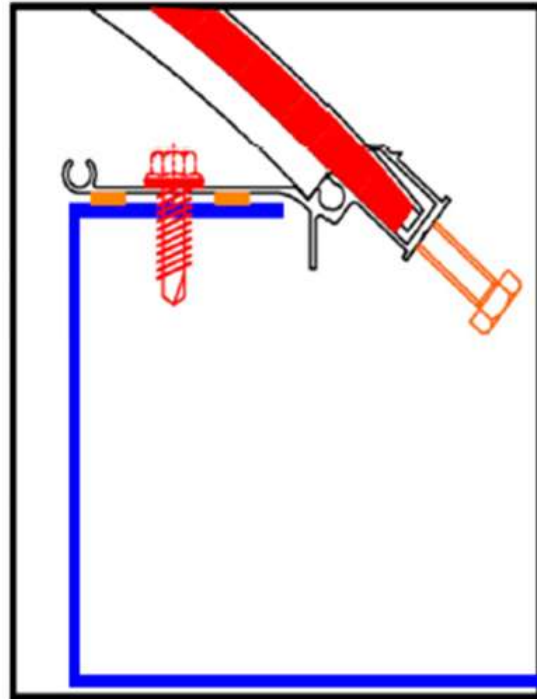


Figuur 47. Dakafdichting ter hoogte van een L-profiel voor montage van de lichtstraat.

Bij steeldeck wordt een profiel op de dakplaat bevestigd. Dit metalen profiel loopt door tot net onder dakafdichting. Hierop wordt het profiel van de lichtstraat bevestigd (figuur 48). Om de luchtdichtheid te verbeteren, worden tweeschuimbanden geplaatst (figuur 49).

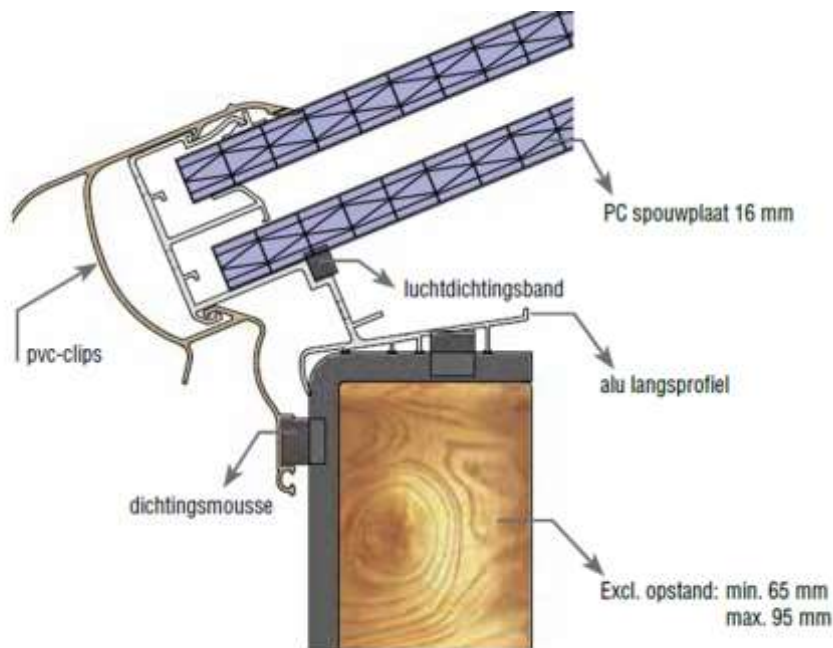


Figuur 48. Montage op steeldeck via metalen profielen.²³



Figuur 49. Schuimbanden (oranje) onder lichtstraatprofiel²³

Bij de opbouw die hierboven wordt weergegeven, zijn nog twee koudebruggen aanwezig. De eerste wordt veroorzaakt door het lichtstraatprofiel. Momenteel bestaan er twee mogelijkheden om de koudebrug te reduceren. Ofwel wordt met composietschalen gewerkt (geen metalen blootgesteld), wat een zeer dure oplossing is en bijgevolg niet economisch relevant voor industriële gebouwen. Ofwel wordt met een lichtstraat gewerkt, waarbij het metalen profiel wordt afgeschermd van het buitenklimaat door een kunststof profiel (figuur 50).



Figuur 50. Lichtstraat met thermisch onderbroken profiel²³

Wanneer met een L-profiel wordt gewerkt (figuur 48 en 49), is er eveneens een koudebrug aanwezig ten gevolge van dit L-profiel. Deze koudebrug kan worden vermeden indien met een houten opstand wordt gewerkt (figuur 50). Bij sandwichpanelen is een dergelijke plaatsingswijze niet mogelijk. Een andere mogelijkheid is om op het L-profiel een isolerend tussenstuk te plaatsen, zoals bijvoorbeeld een houtblokje. De lichtstraat wordt wel nog bevestigd aan het L-profiel maar is er niet meer mee in direct contact.

3.5.2.3 Daglichtbuizen

Naast koepels en lichtstraten, zijn er ook daglichtbuizen, lichttunnels en aanverwante producten op de markt. Deze worden nog niet frequent geplaatst.

Naar daglichtopbrengst toe ontbreekt het bovendien aan een goed kader om een vergelijking tussen verschillende producten toe te laten. Ook voldoen dergelijke producten vaak niet aan de U-waarde-eisen uit EPB of werd de U-waarde niet conform de geldende internationale normen getest. Aangezien 2% van de verliesoppervlakte als uitzondering voor EPB is toegestaan, wordt van deze maatregel vaak gebruik gemaakt voor dergelijke producten.



Figuur 51. Doorsnede en geplaatste daglichtbuizen.²⁷

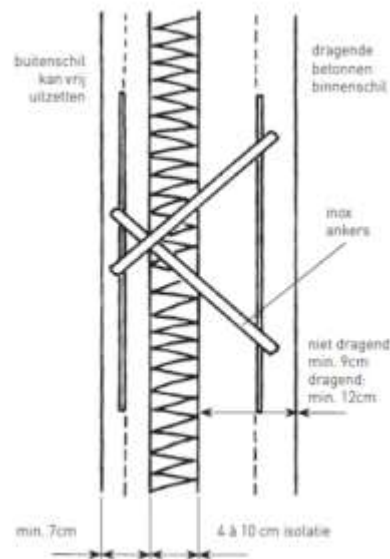
3.6 Betonbouw

3.6.1 Inleiding

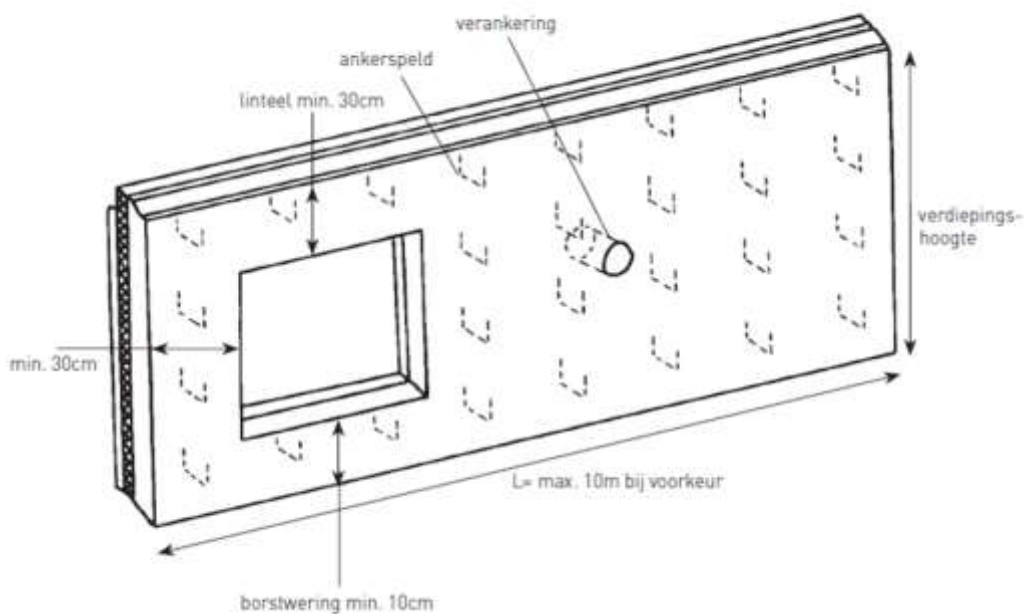
Prefab beton sandwichpanelen bestaan uit een buitenbetonblad, isolatie en een dragend binnenblad uit beton. Het buitenbetonblad wordt aan het binnenblad verankerd via draagankers, torsieankers en afstandshouders of haarspelden. De draagankers dragen het gewicht van het buitenpaneel en de belasting van de wind. Torsieankers zijn nodig wanneer de draagankers niet voldoende stijfheid geven in de dwarsrichting. De rol van de afstandshouders bestaat erin de horizontale acties op te nemen en de juiste afstand van de twee panelen te verzekeren. Onderstaande figuren geven een duidelijker beeld van de opbouw van een sandwichpaneel (figuur 52, 53 en 54).



Figuur 52. 3D-beeld van betonpaneel²⁸



Figuur 53. Doorsnede door een paneel²⁸



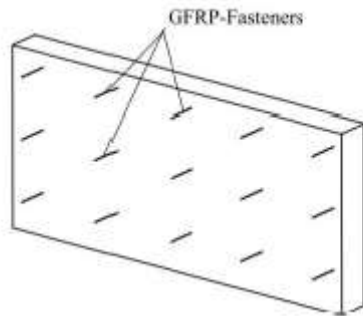
Figuur 54. De opbouw van een sandwichpaneel.²⁸

De isolatiekern bestaat uit PIR-platen, die enkel of dubbellaags worden geplaatst. Om aan de huidige norm inzake EPB te voldoen, is een paneel met afmetingen 70/100/110 noodzakelijk. Dit betekent dat de buitenlaag meestal 7cm dik is, de isolatielaag 10cm en de dragende binnenwand normaliter 11cm. De verbindingen doorheen de isolatie die het buitenpaneel aan het dragende paneel verankeren, dienen steeds ingerekend te worden in EPB. Het is bijgevolg onmogelijk dat een paneel met 8cm PIR in de kern voldoet aan de U-waarde eis van $0.24W/m^2K$.

Wanneer dikkere isolatie geplaatst wordt, neemt het aantal verbindingen en/of de diameter ervan toe om de krachten op het buitenblad naar het dragende betonblad over te dragen. Dit betekent dat, met het oog op betere U-waarden, de invloed van de koudebruggen steeds belangrijker wordt.

Momenteel is het mogelijk om sandwichpanelen met een isolatiekern van maximaal 20cm te produceren. Deze panelen behalen een U-waarde van $0.1W/m^2K$.

De enige mogelijkheid om de koudebruggen tussen buiten- en binnenblad te verlagen, bestaat erin de metallische (RVS) verankeringen te vervangen door niet-metallische. Het Duitse Schöck-Thermoanker en het Amerikaanse Thermomass-anker zijn twee veelgebruikte ankertypes uit glasvezel versterkte kunststof. Deze spelden bevinden zich verspreid in het paneel (figuur 55).



Figuur 55. Sandwichpaneel met niet-metallische ankers.²⁹

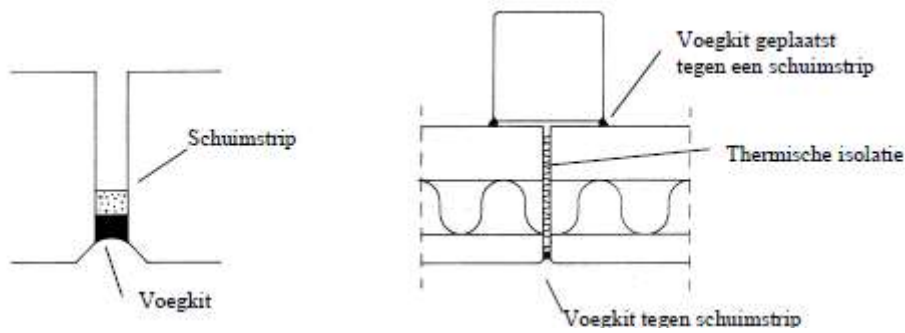
De invloed van verschillende types ankers op de U-waarde van het sandwichpaneel werd onderzocht. Uit dit onderzoek bleek dat enkel een omschakeling van stalen naar inox ankers op economisch en thermisch vlak verantwoord is (figuur 56). Het gebruik van niet-metallische verankeringen levert wel extra thermisch voordeel op, maar deze winst kan evenzeer gerealiseerd worden door de isolatiedikte met nog geen centimeter te verhogen.²⁹ Gezien de hoge kostprijs van niet-metallische ankers, zijn dergelijke sandwichpanelen momenteel niet beschikbaar op de markt.

Isolatiedikte [cm]	Ankertype		
	staal	inox	GFRP
5	5,7%	2,7%	1,2%
10	10,5%	4,5%	1,3%
15	16,6%	6,7%	2,7%

Figuur 56. Verschil in thermische weerstand voor een paneel van 6.24 x 3.3m tov een paneel zonder ankers.²⁹

De panelen worden op maat gemaakt, op de werf opeen gestapeld en bevestigd aan de dragende structuur. Sandwichpanelen worden ook ondergronds geplaatst en worden vaak als gevelplint bij lichte bouwmethodes (staal en houtskelet) toegepast. Indien de buitenlaag zwart of donker gekleurd is, ontstaat bij bezonning een groot temperatuurverschil en kunnen panelen krom trekken door thermische spanningen.

Nadat de panelen werden geplaatst, worden deze langs buiten gevoegd met schuimband en een kit. De kit moet een goede aanhechting hebben met de voegranden en voldoende elastisch zijn om vervormingen te kunnen opnemen zonder te scheuren of los te komen van de elementen (figuur 57 en 58).



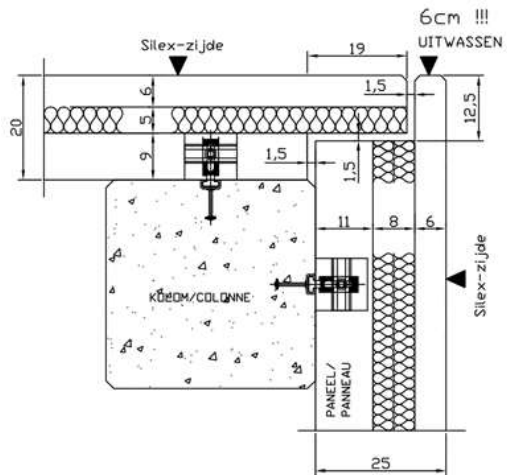
Figuur 57. Horizontale en verticale voegen.¹



Figuur 58. Verticale voeg met kit, voegband en PU-schuim.

Om een goede toepassing van voegkit mogelijk te maken, moet de werkelijke voegopening minstens 8mm en hoogstens 30mm breed zijn.¹ Hoewel voegvulling leidt tot een goede luchtdichtheid, is de levensduur van een voegkit beperkt. Vernieuwing elke 10 jaar is in theorie noodzakelijk.

Ter hoogte van de buitenhoeken kan met een retour in de isolatie worden gewerkt. Hierdoor wordt de bouwknoop opgelost en dankzij de voegvulling vormt dit een luchtdicht geheel (figuur 59 en 60).



Figuur 59. Buitenhoek²⁰



Figuur 60. Paneel met retour in isolatie.

3.6.2 Plaatsing buitenschrijnwerk

De plaatsing van buitenschrijnwerk lijkt erg op de klassieke plaatsingswijzen voor een massieve muur, isolatie en gevelsteen. Bij betonbouw is er echter geen spouw aanwezig en dient er rekening mee te worden gehouden dat het buitenblad niet waterdicht is. Op het raamkader bevindt zich aan de bovenzijde een extra dorpel om te verhinderen dat water uit het beton op het buitenschrijnwerk vlekken of corrosie zou veroorzaken (figuur 59). Aldus wordt het water naar buiten geleid.



Figuur 59. Bovendorpel op raamkader.

Kwalitatieve plaatsingsmethoden kunnen worden onderverdeeld in plaatsing met raamankers en PU-schuim en plaatsing met een raamkader in XPS of hout. Het raam ligt steeds in de isolatielijn. Gezien de waterdoorlatendheid van de buitenschil, wordt steeds een afdichting in de dagkant voorzien. In de praktijk wordt ofwel een strook EPDM bevestigd, ofwel een vloerbare afdichting aangebracht (figuur 60).

Wanneer de ramen via raamankers worden bevestigd, wordt het geheel rondom opgeschuimd met luchtdicht PU-schuim (uiteraard na bevochtiging van de ondergrond) (figuur 60).



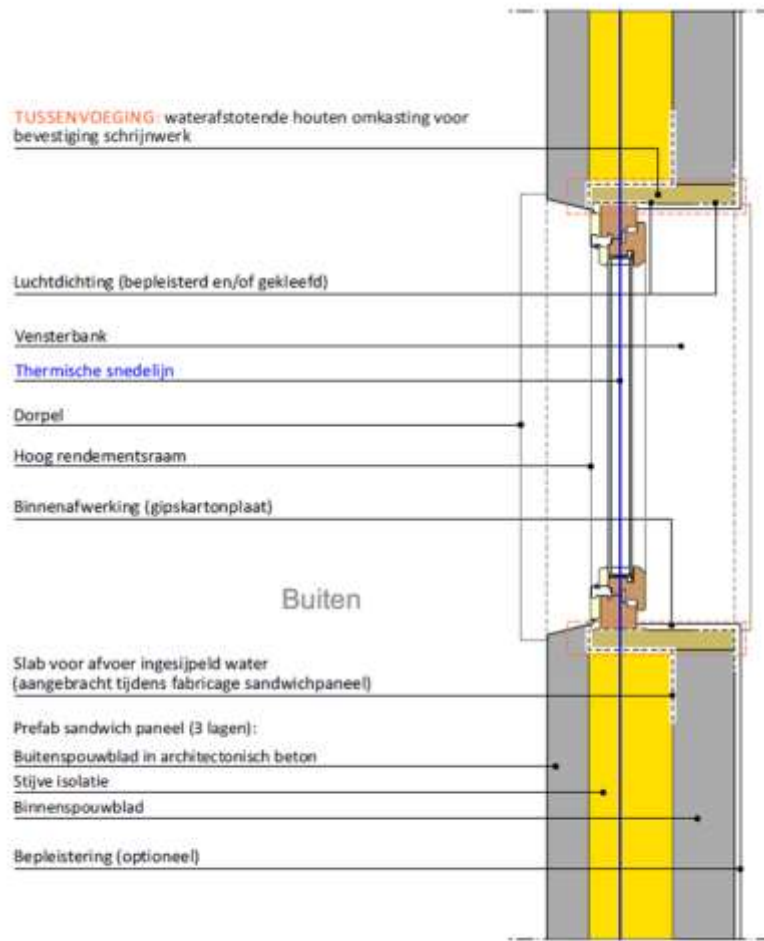
Figuur 60. Waterdichting met vloeibare afdichting of verkleven van EPDM, plaatsing via raamankers, stelblokjes en PU-schuim.

Het is in principe mogelijk om met een extra folie, verbonden aan het raamkader, te werken om zo de luchtdichtheid nog te verbeteren.

De andere optie bestaat erin een omkasting in hout of XPS te gebruiken. Indien hout wordt gebruikt, is het essentieel dat er geen water kan indringen (figuur 61).



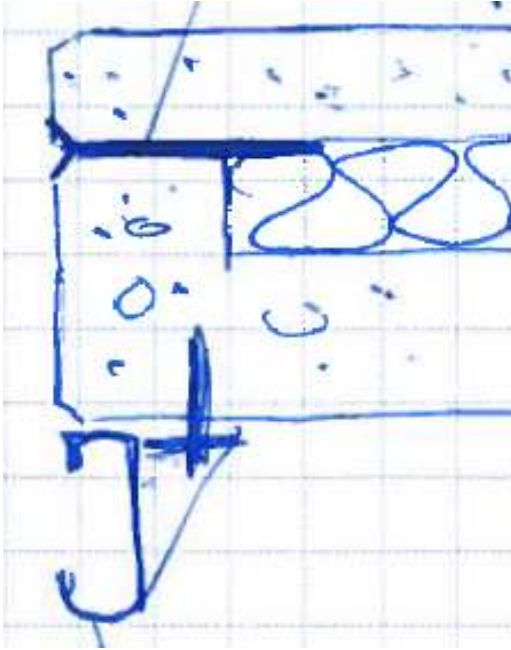
Figuur 61 Houten omkasting.



Figuur 62. Horizontale doorsnede door raam.²⁸

De ruimte tussen ruwbouw en omkasting wordt opgespoten met PU-schuim.

Poorten worden op het binnenste betonblad bevestigd. De dagkant kan eveneens in dezelfde afwerking als het buitenblad geproduceerd worden, dankzij een speciaal paneel (figuur 63 en 64).



Figuur 63. Prefabpaneel met retour in afwerking.²⁰



Figuur 64. Poort op binnenblad bevestigd.

Hoewel dit een esthetische oplossing is, blijft de koudebrug aanwezig.

Deze koudebrug kan enkel worden verbeterd door een bijkomende strook isolatie, afgedekt door een metalen profiel, in de dagkant te plaatsen tot aan de zijrubber van het poortkader (figuur 65).



Figuur 65. Dagkant waarop isolatiestrook en profiel kunnen worden gemonteerd.

3.7 Staalbouw

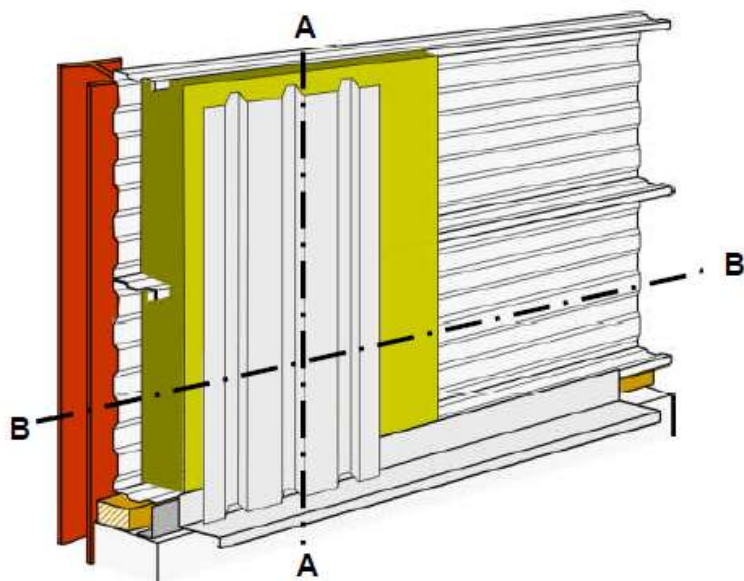
Staalbouw komt zeer vaak voor in industriebouw. Er kan een onderscheid gemaakt worden tussen bouwen met binnendozen + bardage en staalsandwichpanelen. Aangezien de aansluitingsdetails met ramen, deuren en de betonplint gelijkaardig zijn, worden deze voor deze bouwmethodes samen besproken.

3.7.1 Binnendozen met bardage

Het binnendoosysteem is een vaste waarde binnen industriebouw. Op een dragende structuur worden binnendozen uit staal bevestigd met een standaardhoogte van 60cm. Deze worden opgevuld met isolatie en langs buiten afgewerkt met een stalen gevelbekleding (bardage) bevestigd op de flenzen van de doos (figuur 66). Dit systeem is perfect demonteerbaar. Door de intrede van de EPB-eisen, werd het isolatiepakket steeds dikker, zelfs tot voorbij de flens (figuur 67), maar ook deze methode bereikte zijn grenzen.



Figuur 66. Standaardopbouw

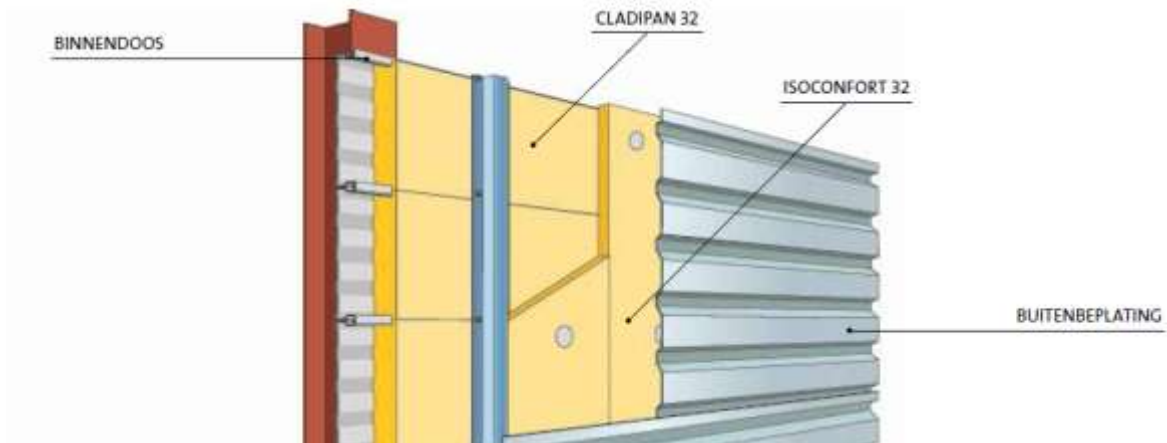


Figuur 67. Isolatie tot voorbij de flens³⁰

De vereiste U-waarde kan niet meer worden bereikt met standaardoplossingen door de impact van de koudebrug, veroorzaakt door de flens.

Er zijn twee mogelijke oplossingen om toch te voldoen aan de U-waarde eis:

- gebruik van binnendozen met grotere breedtes, zodat een dikker pakket isolatie kan worden geplaatst. De grootste hebben een breedte van 14cm;
- een tweede isolatielaag plaatsen bovenop de eerste. Hoewel dit in onderstaande figuur wordt uitgevoerd met wol, kunnen dit ook PIR-platen zijn (figuur 68).

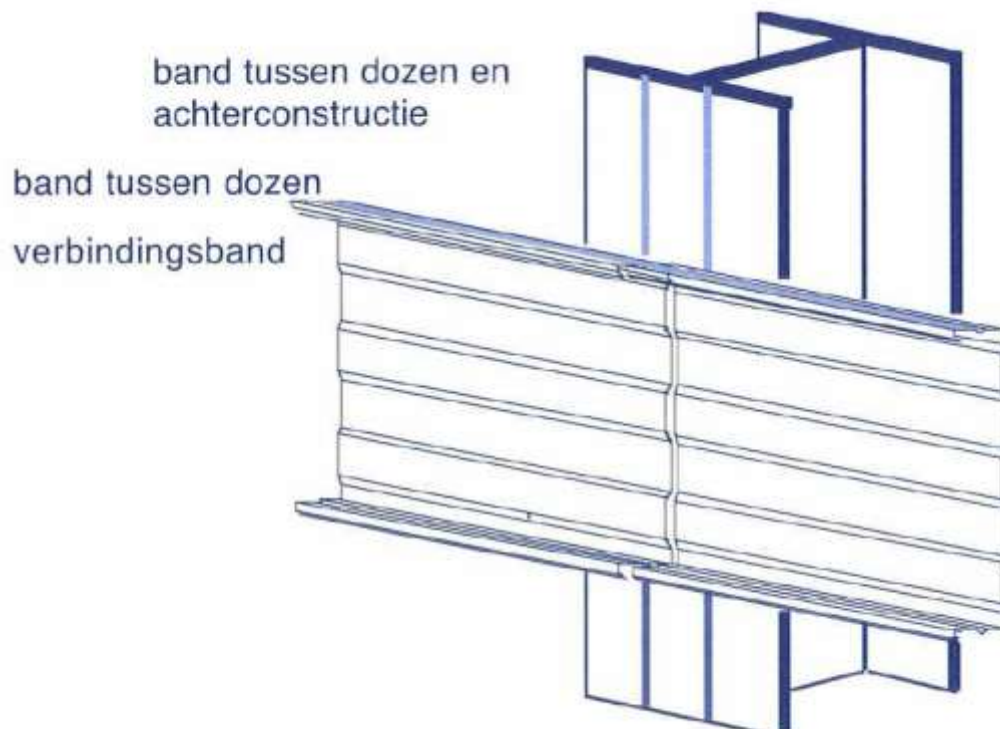


Figuur 68. Extra isolatielaag langs de buitenzijde.³¹

Het plaatsen van een extra isolatielaag betekent dat de hefboomkrachten die inwerken op de binnendoos groter worden. Voldoende aandacht voor de staaldikte van de binnendoos en de keuze van de bevestigers is essentieel om tot een stabiel geheel te komen.

Indien een soepel isolatiemateriaal, bijvoorbeeld een wol die deels uit aërogel bestaat, met een betere λ -waarde beschikbaar zou zijn, is het probleem eveneens opgelost.

Bij de montage van binnendozen, is aandacht voor een luchtdichte plaatsing gewenst. Zo is het aangeraden om zowel tussen de binnendozen onderling als tussen de binnendozen en de achterconstructie een schuimband te plaatsen (Figuur 69).



Figuur 69. Luchtdichtheid bij binnendozen.³²

Indien men een stap verder wil gaan, kan een damp scherm in de doos worden geplaatst. Dit is echter zeer moeilijk uitvoerbaar en het damp scherm wordt door de scherpe randen van de doos makkelijk doorboord. Eventueel kan een vloeibare afdichting soelaas bieden.

Ter hoogte van de gevelpint is een kwalitatieve aansluiting op de betonplint gewenst. In vele gevallen wordt deze rechtstreeks op de betonplint geplaatst (figuur 70). Bij een verbeterde methode wordt het afdruipprofiel op een apart bevestigd profiel geplaatst, zodat er geen koudebrug doorheen de wand optreedt. Ook de ruimte onder de binnendoos wordt best opgevuld met een isolerend materiaal (figuur 71).



Figuur 70. Montage met koudebrug via profiel Figuur 71. Verbeterde uitvoering zonder koudebrug³⁰

Ter hoogte van buitenhoeken wordt het aangeraden om de binnendoos niet tot buiten te laten doorlopen en de isolatie rondom de hoek te plooien.

3.7.2 Staal sandwichpanelen

Een staal sandwichpaneel bestaat uit een kern isolerend PIR-schuim, langs beide zijden omgeven door een staalplaat. Oorspronkelijk vaak toegepast in koel- of vriescellen, worden staal sandwichpanelen steeds vaker als gevelplaat gebruikt. Plaatsing met zichtbare en onzichtbare bevestigigers is mogelijk.

De panelen hebben een tand-en-groef verbinding waarbij zich in de groef meestal één of meerdere schuimbanden bevinden (figuur 72). Deze spelen een belangrijke rol in de water-, wind- en luchtdichtheid van de gevel. Deze dichtingen mogen niet verwijderd worden en de panelen moeten voldoende aaneensluitend geplaatst worden (figuur 73). Zoniet heeft dit negatieve gevolgen voor bovenvermelde karakteristieken. Indien een hoge graad van luchtdichtheid wordt nagestreefd, kan tijdens het werk een extra kit langs de binnenzijde van de plaat worden aangebracht.



Figuur 72. Tandzijde.

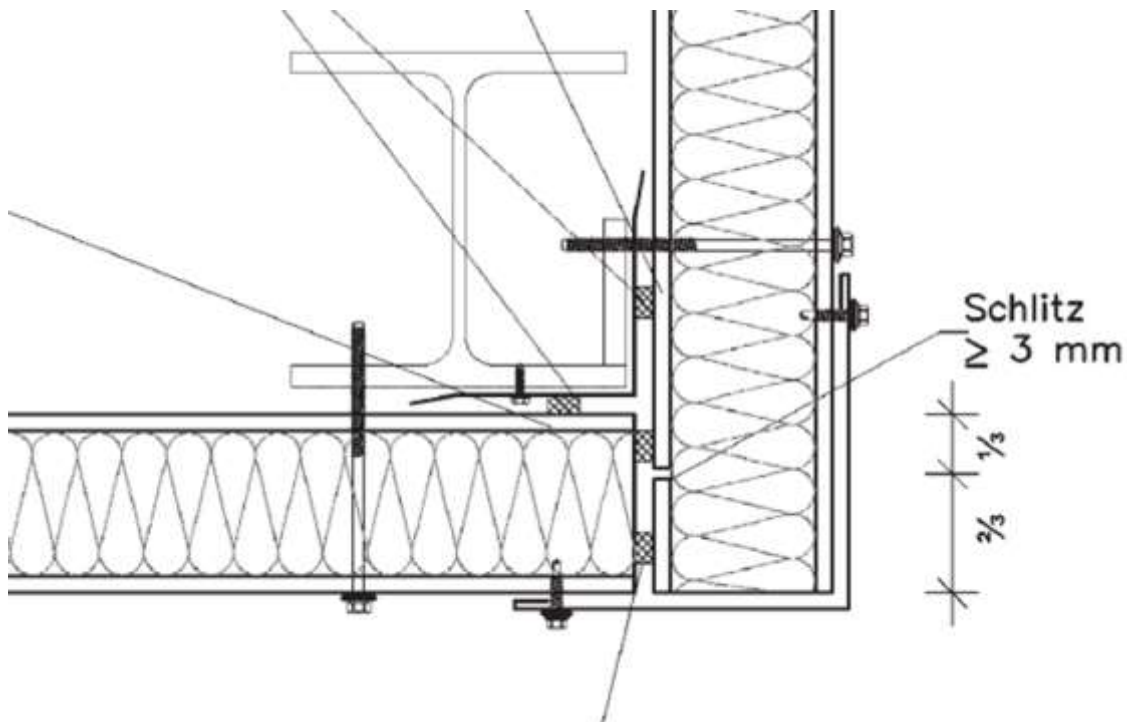


Figuur 73. Goed aaneengesloten plaatsing versus slechte aansluiting tussen twee panelen.

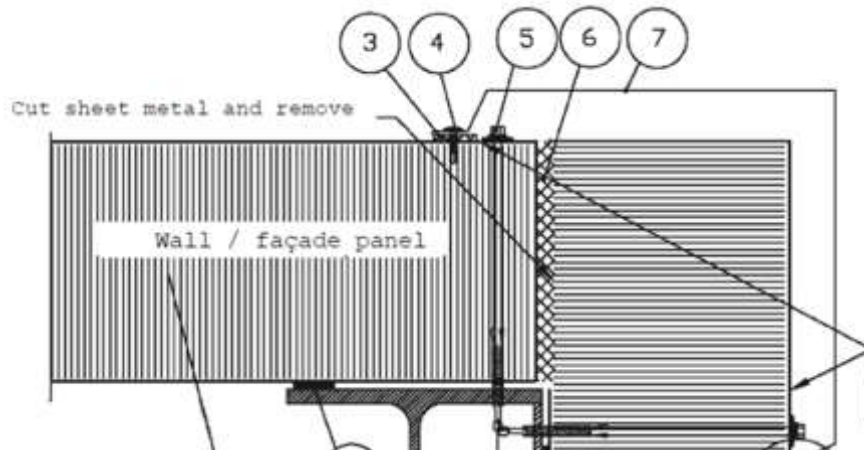


De panelen kunnen zowel horizontaal als verticaal worden geplaatst, naargelang de wensen van de klant.

Indien geen actie wordt ondernomen, is ter hoogte van de buitenhoeken een koudebrug aanwezig. Deze kan op twee manieren worden vermeden. Ofwel wordt de metaalplaat doorgezaagd, zodat de koudebrug is onderbroken (figuur 74). Ofwel wordt dat deel van de metaalplaat ook verwijderd (figuur 75). Dit levert thermisch gezien uiteraard betere prestaties op maar is ook meer arbeidsintensief. De opening tussen de twee platen wordt met PUR-schuim opgevuld. Hiervoor is het noodzakelijk om langs de binnenzijde een profiel te bevestigen. Ter hoogte van een buitenhoek dient ook actie te worden ondernomen om de luchtdichtheid te garanderen (zowel langs binnen als buiten, ter hoogte van de profielen).



Figuur 74. Onderbroken binnenplaat van sandwichpaneel.³³



Figuur 75. Buitenhoek waarbij staalplaat werd verwijderd.³⁴

De panelen worden boven een betonplint bevestigd aan de achterliggende constructie. Het bouwdetail ter hoogte van de overgang betonplint sandwichpaneel verdient aandacht om zowel een koudebrugarme alsook luchtdichte aansluiting te realiseren. Nog te vaak wordt een startprofiel geplaatst dat het volledige paneel overbrugt én ontbreekt aandacht voor luchtdichtheid (figuur 76 en 77). Bovendien is het staal sandwichpaneel dunner dan het binnenbetonblad van de gevelplint, waardoor de isolatie van beide gevelelementen niet doorloopt.

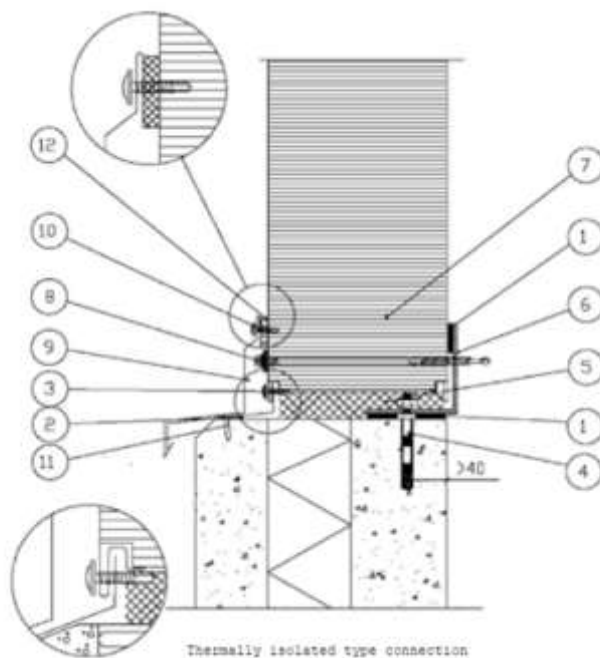


Figuur 76. Startprofiel loopt door en betonblad is dikker dan staal sandwichpaneel.



Figuur 77. Startprofiel overbrugt isolerend sandwichpaneel.

Een andere werkmethode is noodzakelijk. Het doorlopend profiel wordt vervangen door een profiel dat aan de buitenzijde van het paneel wordt bevestigd. Er kan een EPDM-folie worden geplaatst die de volledige onderliggende betonplint bedekt en beschermt. De ruimte tussen het sandwichpaneel en het betonpaneel kan worden opgevuld met een PU-schuim of met een compressieband. Ook tussen het startprofiel en het sandwichpaneel kan een compressieband worden geplaatst. Het principe wordt in figuur 78 weergegeven. Er kan een extra kit worden geplaatst waar het startprofiel het sandwichpaneel in staal en het sandwichpaneel in beton raakt.



- 1. compressieband
- 5. PU-schuim
- 6. startprofiel
- 10 zelfborende schroef met EPDM-seal.

Figuur 78. Kwalitatieve plint-gevel aansluiting met belangrijke onderdelen.³⁴

Op onderstaande foto's worden voorbeelden weergegeven waarbij het profiel niet doorloopt en waarbij met een EPDM-strook wordt gewerkt (figuur 79). Hoewel reeds een stap in de goede richting is de uitvoering niet ideaal inzake luchtdichtheid en/of aanwezigheid van bouwknopen.



Figuur 79. Aansluitingen in de goede richting.

3.7.3 Aansluitingen met ramen en deuren.

De plaatsing van ramen en deuren kan verder ingedeeld worden in:

- plaatsing in het gevelvlak;
- plaatsing tussen de dragende structuur of achteruitgeplaatst schrijnwerk.

Voor elk van deze methoden worden standaard en verbeterde plaatsingsmethoden voorgesteld.

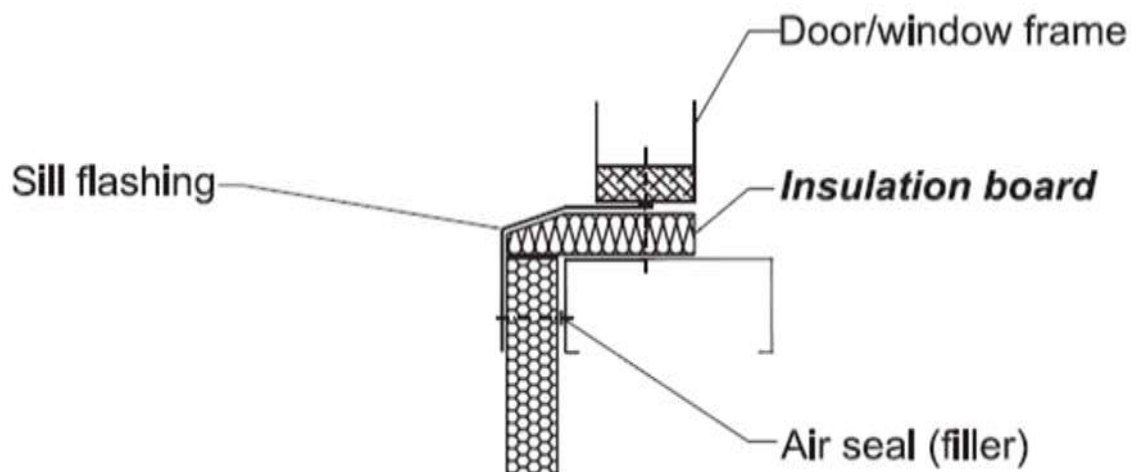
3.7.3.1 Schrijnwerk tussen dragende structuur

Toen bouwknopen en luchtdichtheid van weinig belang waren, werden ramen meestal geplaatst op een achterliggende structuur (profielen of kokers) (figuur 80). Het profiel, waarop het schrijnwerk wordt bevestigd, is in deze figuur wel geïsoleerd, toch blijven een aantal belangrijke koudebruggen aanwezig. Boven het raam/deur is een doorlopend profiel aanwezig dat de volledige dikte van het paneel overbrugt en als bovendorpel dienst doet. Ook de profielen rondom het raam vormen koudebruggen.

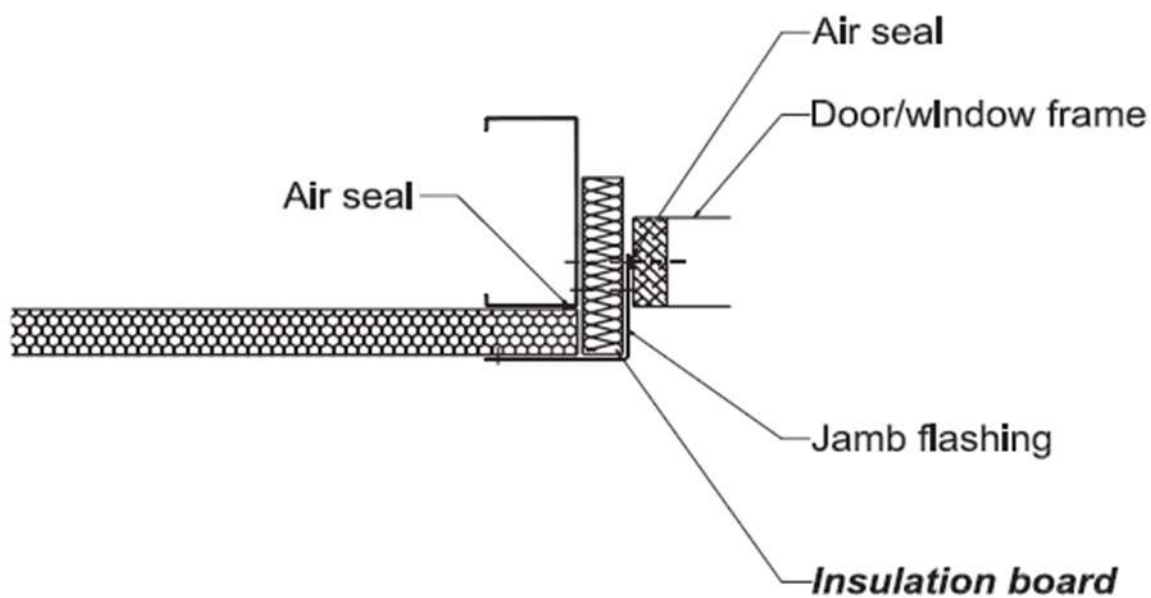


Figuur 80. Plaatsing zonder aandacht voor bouwknopen en luchtdichtheid.³⁵

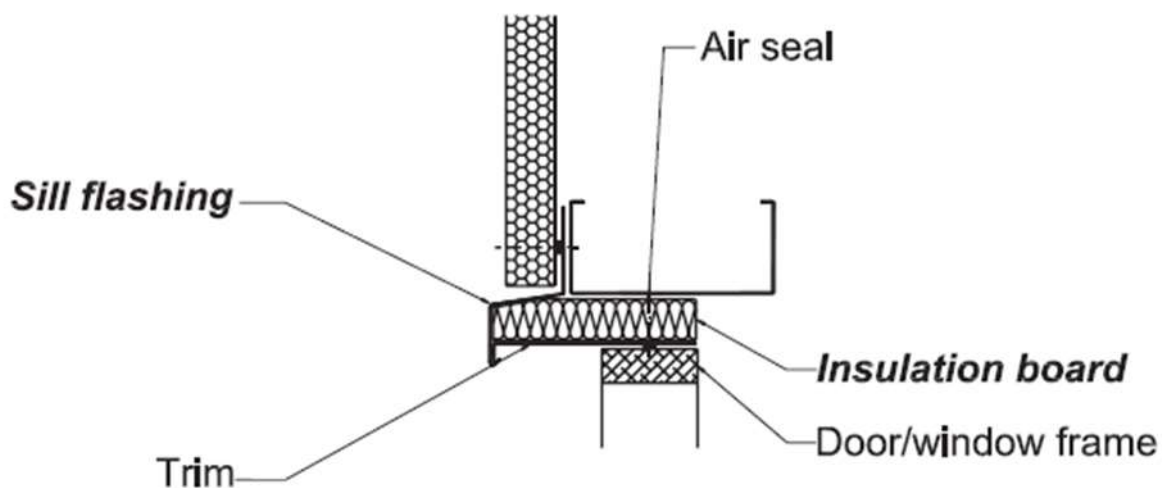
Deze werkwijze kan in de eerste plaats worden verbeterd door gebruik te maken van een isolerend bouwdeel uit harde isolatie zoals XPS of hout. Door gebruik te maken van een tussengevoegd isolerend deel (*insulation board*) en luchtdichtingsbanden (*air seal*), vormt deze oplossing reeds een stap vooruit. De details voor zowel de onderkant (figuur 81), zijkant (figuur 82) en bovenzijde (figuur 83) worden weergegeven.



Figuur 81. Verticale doorsnede ter hoogte van de onderste zijde van een raam.³⁶

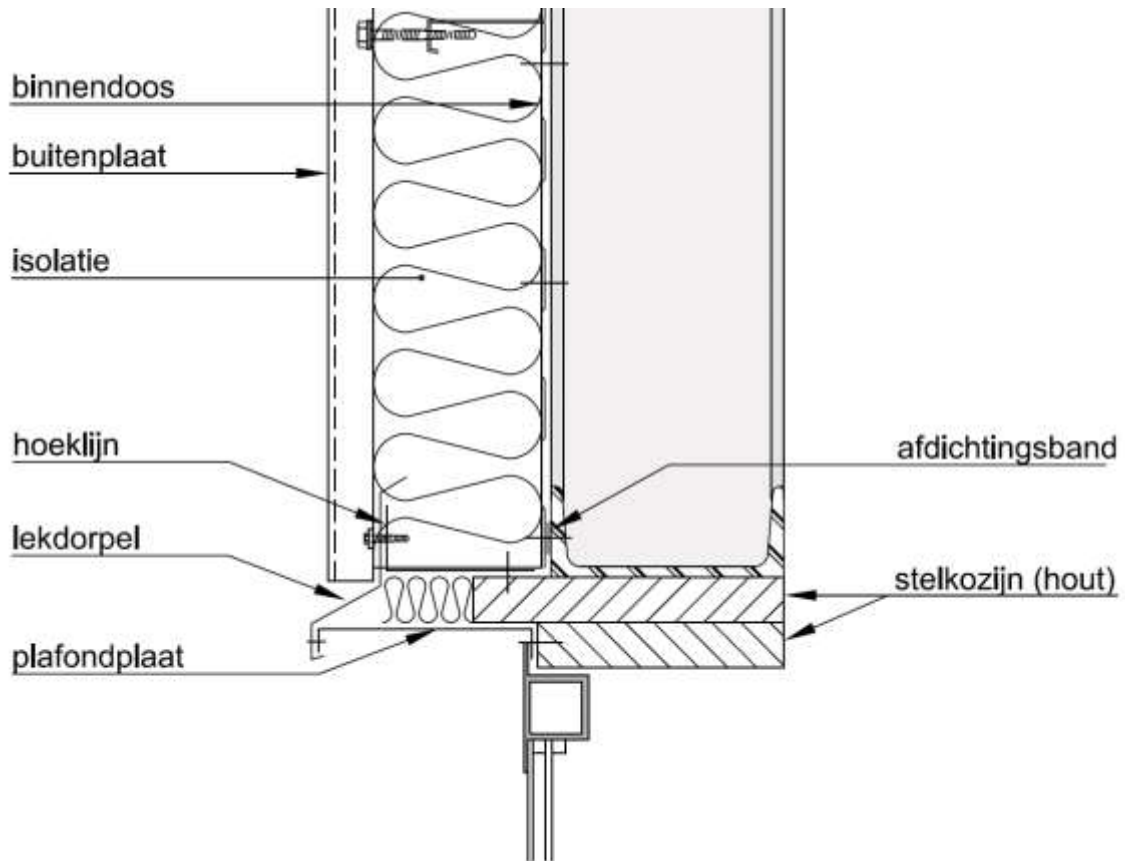


Figuur 82. Horizontale snede door een raam/deuraansluiting.³⁶

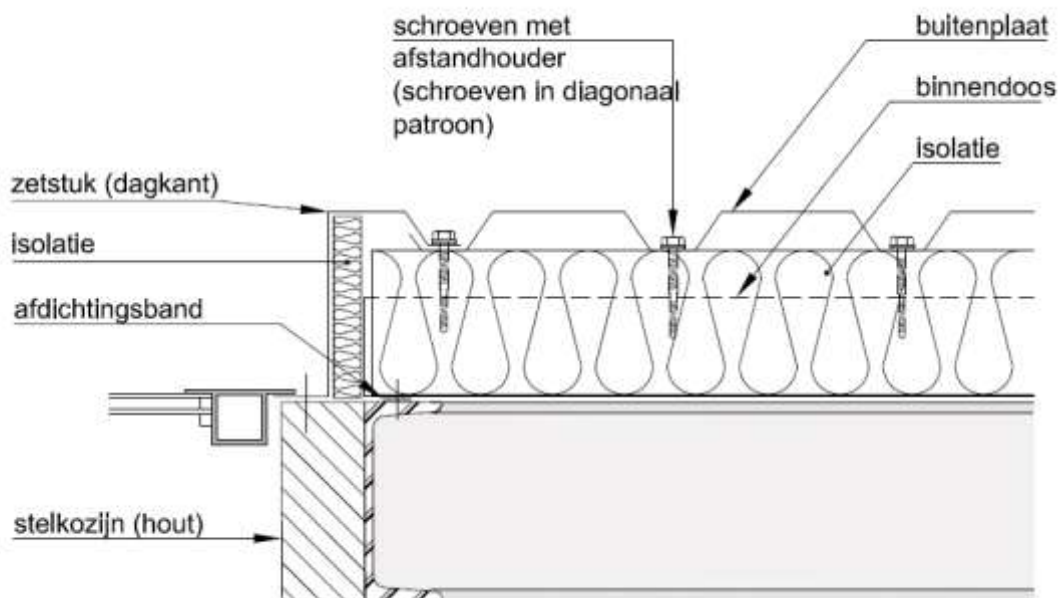


Figuur 83. Verticale doorsnede bovenzijde raam.³⁶

Ook voor binnendozen is een plaatsing met een tussengevoegd isolerend deel mogelijk (figuur 84 en 85).



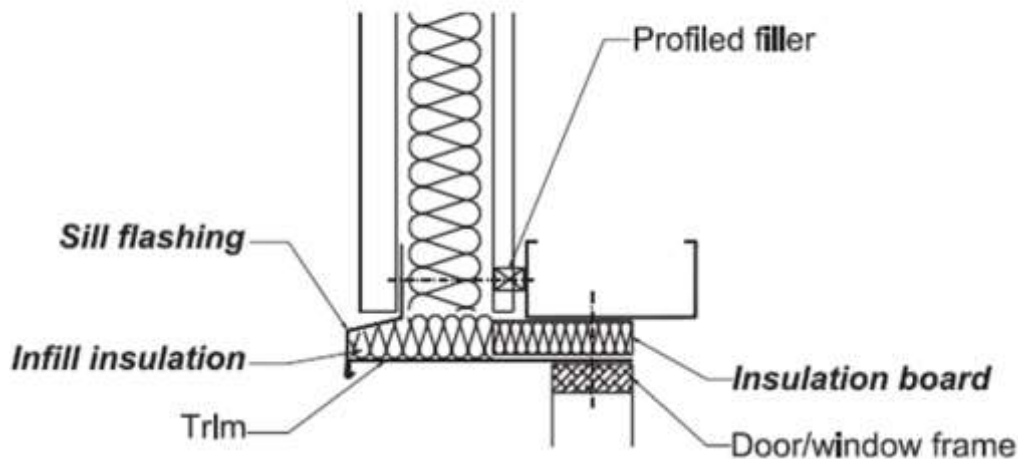
Figuur 84. Verticale doorsnede raamaansluiting met binnendoosysteem.³⁷



Figuur 85. Horizontale doorsnede raamaansluiting met binnendoosysteem.³⁷

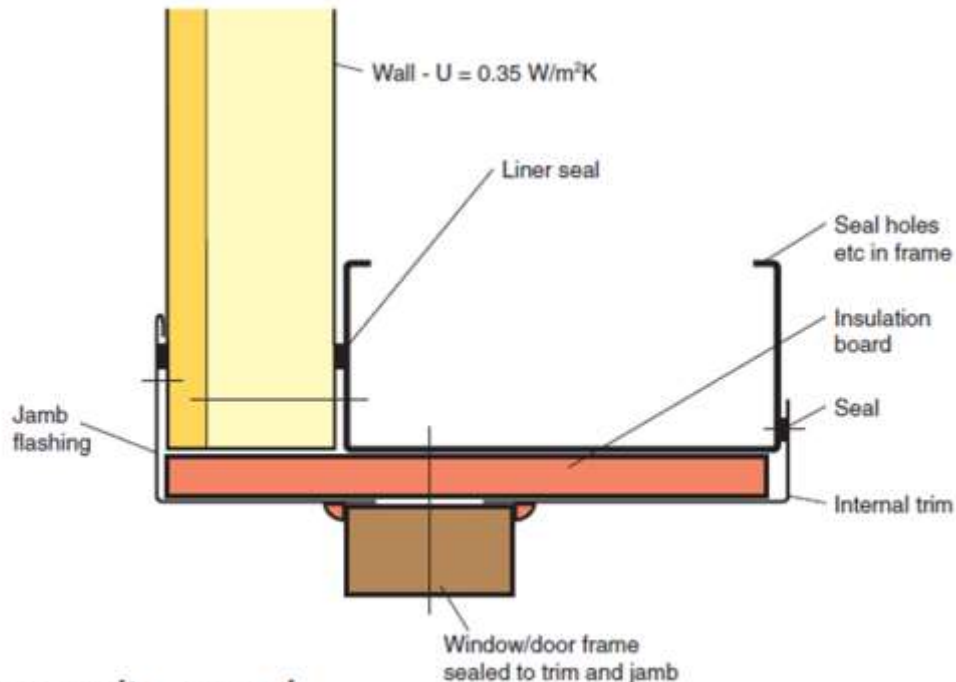
Bij deze verbeterde bouwdetails (figuur 83 en 84) is er echter nog steeds een koudebrug aanwezig aan de bovenzijde van het raam, waar het profiel de volledige gevelbreedte overspant aangezien dit op de achterliggende constructie wordt bevestigd. Bij sandwichpanelen kan dit worden verholpen door enkel een profiel te plaatsen langs de buitenzijde van de plaat (figuur 86). Er kan een butylband

of strook EPDM worden gebruikt die tussen het bovenliggende paneel en de dragende structuur wordt geplaatst (zie gevelplint). Bij binnendozen moet een waterafvoer bovenaan worden voorzien via een lekdorpel. Via een EPDM-strook of butylband en een voorgemonteerde bovendorpel kan hiervoor eveneens een oplossing worden uitgedacht.



Figuur 86. Bovenaansluiting raam zonder doorlopend profiel.³⁶

Tip: plaats het tussengevoegd isolerend deel volledig over het achterliggende bevestigingsprofiel of de koker (figuur 87).



Composite panel

Figuur 87. Tussengevoegd isolerend deel bedekt volledig het achterliggend profiel.³⁸

3.7.3.2 Schrijnwerk: plaatsing in de dagkant

Naast plaatsing achter het schrijnwerk, is plaatsing in de dagkant mogelijk. Hierbinnen kunnen nog twee mogelijkheden worden onderscheiden, waarbij de ramen ofwel volledig gelijk met de sandwichpanelen worden geplaatst, ofwel een beetje inspringend tegenover de gevel.

Steeds vaker wordt buitenschrijnwerk via raamankers bevestigd aan de achterliggende structuur. De zijkanten worden nadien opgespoten met PU-schuim. Bij deze plaatsingsmethode kunnen profielen op de buitenzijde van de sandwichpanelen worden bevestigd zodat geen koudebrug ontstaat (figuur 88).

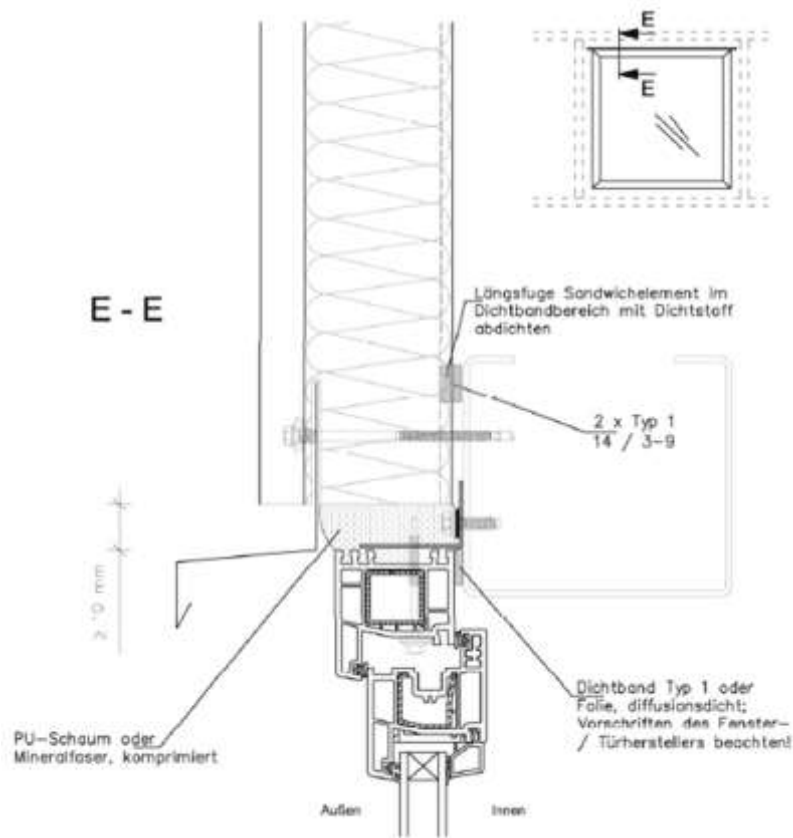


Figuur 88. Plaatsing met raamankers en afwerking met lang buiten bevestigde profielen.

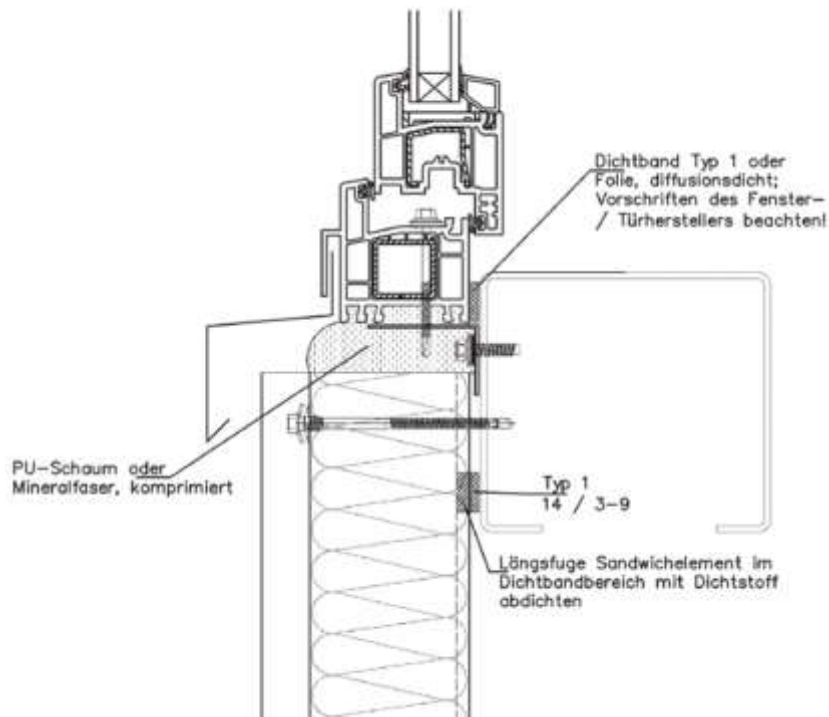
Bijkomend kan nog een extra luchtdichtingsstrook op de ramen worden bevestigd. Plaatsing met een houten kader is ook bij deze plaatsingswijze mogelijk.

Wanneer de buitenzijde van de ramen in het vlak van de gevel ligt, zijn verschillende plaatsingswijzen mogelijk. Zo kan via een profiel, aan het raamkader bevestigd, het geheel aan de achterliggende constructie worden bevestigd (figuur 89 en 90). Met PU-schuim wordt het geheel dichtgemaakt en er

ontstaat een goed contact met de isolatie van het sandwichpaneel. Via dichtingsproducten (dichtband of "typ 1") wordt de luchtdichtheid gegarandeerd.



Figuur 89. Verticale doorsnede door bovenaansluiting.³³



Figuur 90. Verticale doorsnede door onderzijde raam en dorpel.³³

Bij ramen in het vlak kan ook met raamankers worden gewerkt die op de klassieke manier aan achterliggende constructie worden bevestigd. In onderstaande voorbeelden werd met een EPDM-folie gewerkt waardoor water- en luchtdichtheid gegarandeerd zijn (figuur 91 en 92).



Figuur 91. Bevestiging met raamanker en EPDM. Afwerking langs binnen met alu profiel.



Figuur 92. Buitenzicht "in het vlak". Let op de ontwateringsgaatjes rechts.

Fabrikanten van ramen of sandwichpanelen beschikken ook over speciale systemen, die via een adapter rechtstreeks op het sandwichpaneel aansluiten. Op het raamkader wordt een adapter bevestigd, die perfect is afgestemd op de tand- en groef-aansluiting van het sandwichpaneel (figuur 93). Door dit systeem te gebruiken, zijn 2 van de 4 raamzijden makkelijk en performant aangesloten. De resterende 2 zijden moeten op een andere manier worden uitgewerkt. Let ook op voor maattoleranties en opmeting. Dit systeem moet, om goed te werken, perfect passen!



Figuur 93. Verticale doorsnede: adapter op onderzijde raam bevestigd.³⁵

Er is ook adaptersysteem ontwikkeld, waarbij geen achterliggende bevestigingsstructuur nodig is en dat langs alle zijden ineens wordt afgewerkt. Dit systeem is nog vrij nieuw, maar sleepte wel al een innovatieprijs in de wacht (figuur 94).

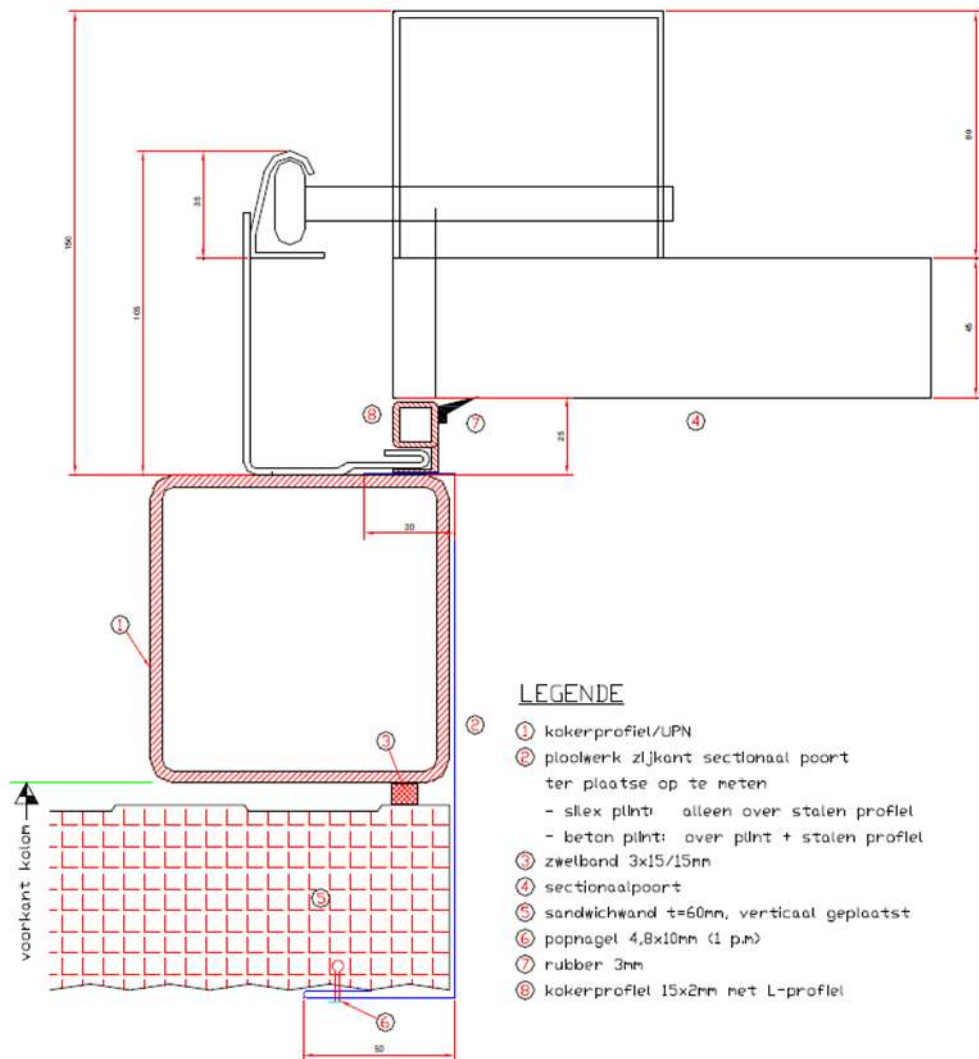


Figuur 94. Innovatief inbouwsysteem voor sandwichpanelen.³⁹

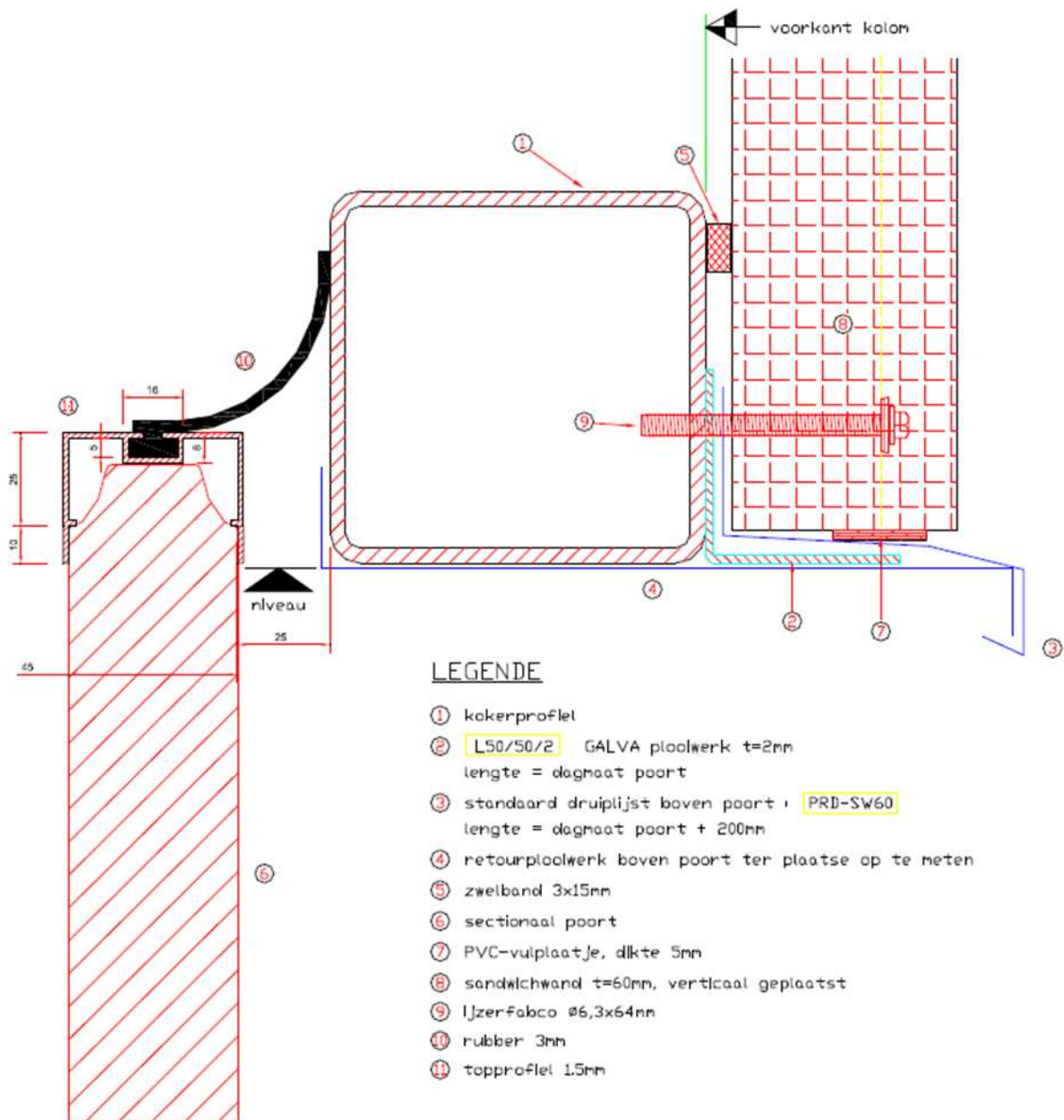
3.7.4 Aansluiting met een sectionaalpoort.

Een wand in sandwichpanelen of binnendozen is nooit voldoende sterk om het gewicht en de krachten van een sectionaalpoort op te vangen. Een poort wordt steeds aan de achterliggende dragende structuur (profiel of koker) geplaatst.

In niet geklimatiseerde loodsen worden poorten gemonteerd overeenkomstig figuren 95 en 96. Hierbij is er een grote koudebrug aanwezig door het profiel dat het sandwichpaneel en de dragende structuur overbrugt.

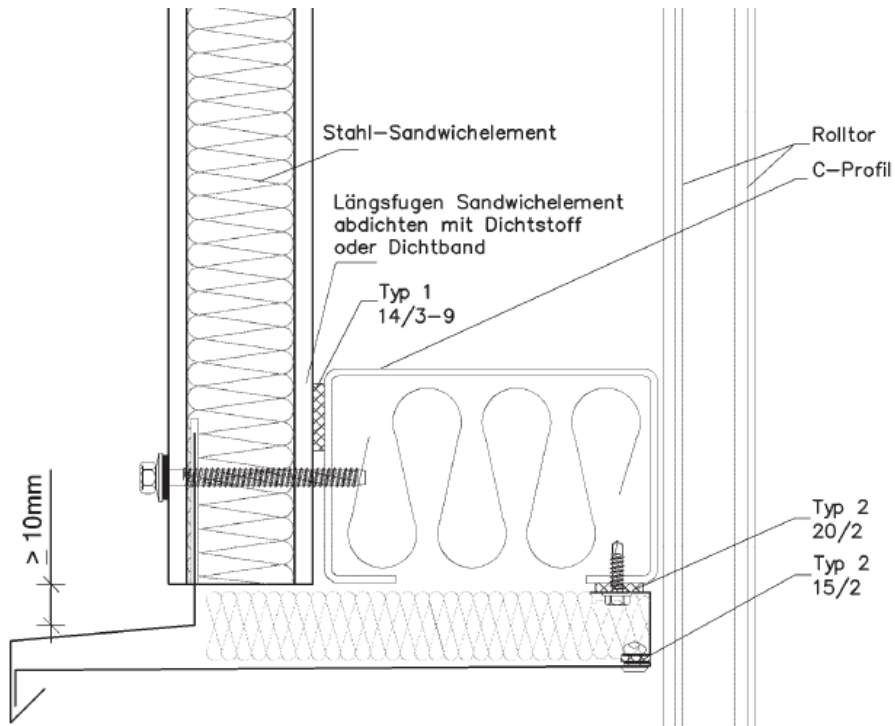


Figuur 95. Klassieke plaatsingswijze met grote koudebrug- horizontale snede.⁴⁰

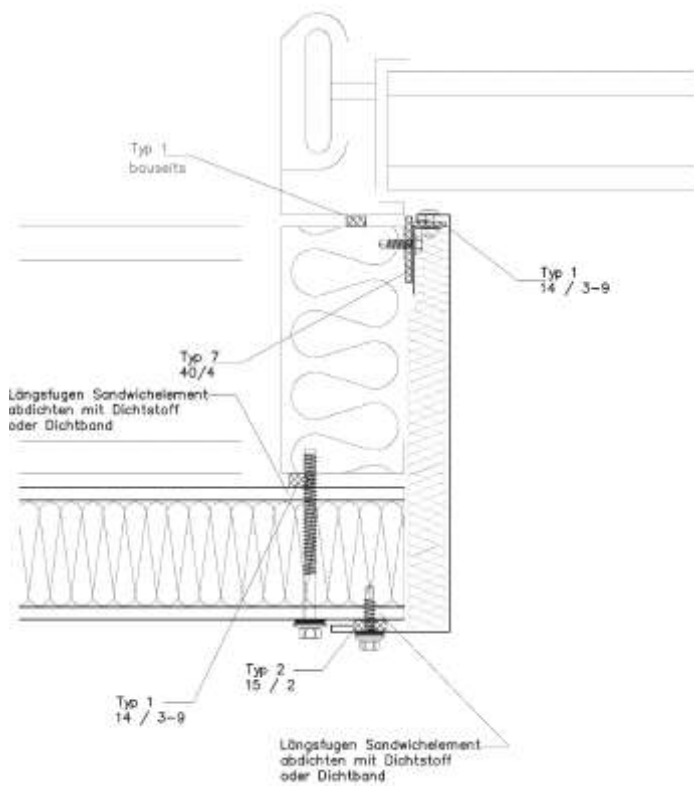


Figuur 97. Bovenaansluiting poort – verticale snede.⁴⁰

Om de koudebrug te verminderen, wordt een stevig isolatiemateriaal (type xps, eps) geplaatst in de dagkant. Het achterliggende profiel wordt bijkomend geïsoleerd. Bovendien wordt het afdruipprofiel langs de buitenzijde bevestigd (figuur 98 en 99).



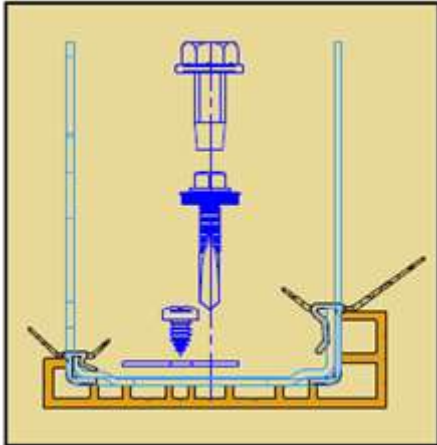
Figuur 98. Bovenaansluiting poort – verbeterde uitvoering, verticale snede. ³³



Figuur 99. Zij-aansluiting poort – verbeterde uitvoering, horizontale snede. ³³

Extra maatregelen die kunnen worden genomen om de prestatie van de poort te verbeteren:

- ter hoogte van de bovenafdichtingsrubber: op de koker een stevige strook isolerend bouw materiaal plaatsen, bijvoorbeeld hout. Op deze manier duwt de dichtingsrubber steviger tegen de aangebrachte strook;
- gebruik maken van een kunststof onderbreking, op maat van het poortprofiel, geplaatst tussen poortprofiel en dragende constructie, zodat ook deze koudebrug wordt verminderd (figuur 100).



Figuur 100. Kunststof onderbrekingsprofiel op maat van poortprofiel.¹⁴

3.8 Houtskeletbouw

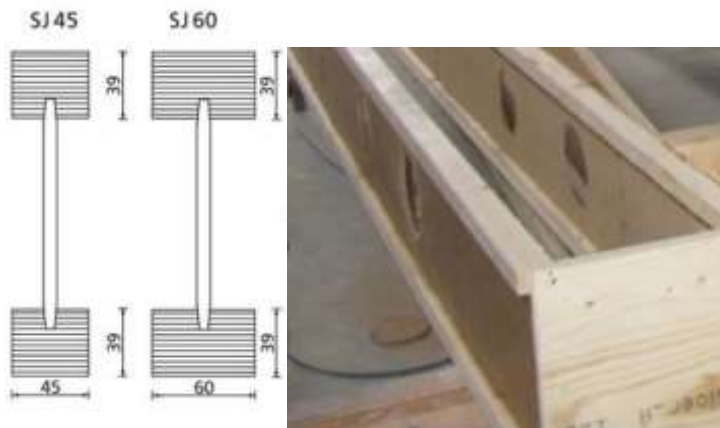
3.8.1 Algemeen

De laatste jaren kiezen meer en meer bouwheren voor houtskeletbouw, ook voor industrie en retail. De afwerkingsmogelijkheden van houtskeletbouw zijn zeer breed. Bij niet-residentiële gebouwen wordt vaak voor een bardage, gedeeltelijk of volledig in staal, gekozen (figuur 101).



Figuur 101. Bedrijfsverzamelgebouw in houtskeletbouw.

Voor de muuropbouw is er keuze tussen twee systemen; ofwel wordt met constructiehout een houten frame opgebouwd, ofwel wordt met staanders met flenzen gewerkt (figuur 102). De slanke staanders met flenzen hebben een lager gewicht en bieden meer flexibiliteit inzake maatvoering. Houtskeletelementen worden in het atelier op maat gemaakt en ter plaatse gemonteerd. Het is ook mogelijk om de binnen- en buitenbeplating reeds in het atelier te plaatsen en meteen te isoleren. De caissons kunnen ook na montage geïsoleerd worden. Vaak wordt hiervoor inblaasisolatie gebruikt, zodat de caissons volledig opgevuld zijn.



Figuur 102. Staanders met flenzen in verschillende breedtes, montage in atelier.⁴¹

Het grootste voordeel van houtskeletbouw is dat er reeds een traditie aanwezig is rond luchtdicht en bouwknoparm bouwen. Bovendien wordt hout als isolerend beschouwd. Om de luchtdichtheid te garanderen, worden de naden van luchtdichte OSB-panelen getapet en luchtdichte folies gebruikt (figuur 103).



Figuur 103. Luchtdichting dankzij tapes en folie.

Het aansluitingsdetail ter hoogte van de gevelplint dient verzorgd te worden uitgevoerd. In onderstaand voorbeeld werd gebruik gemaakt van een strook EPDM, PU-schuim en tape. Bovendien werd in de plint een houten regel ingegoten (figuur 104). Op deze manier kan de onderregel van het houtskelet aan de gevelplint worden bevestigd.



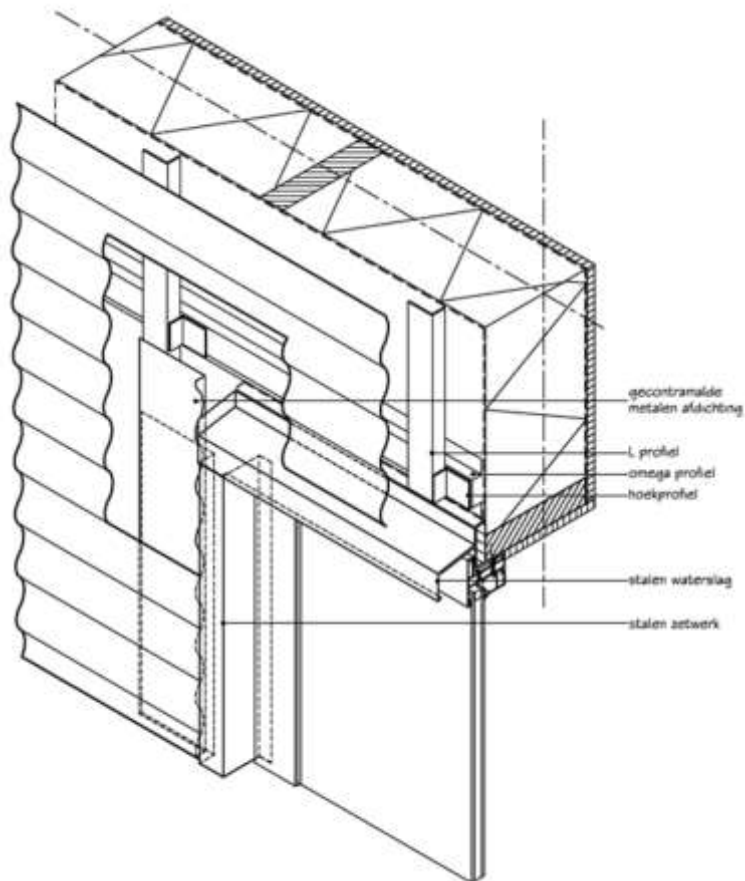
Figuur 104. Ingegoten houten regel in betonpaneel.

Wanneer een gewone geïsoleerde betonplint wordt geplaatst, dient erop gelet te worden dat er voldoende contact is tussen de isolatie van de betonplint en het houtskelet (figuur 105).



Figuur 105. Aansluitingsdetail met geïsoleerd sandwichpaneel.

Ramen en deuren kunnen via een houten kader of folie luchtdicht worden geplaatst (figuur 106 en 107). Afkleven ter hoogte van de naden is opnieuw noodzakelijk om een luchtdicht geheel te bekomen (figuur 107).



Afbeelding 106. Opbouw ter hoogte van een raam.²¹



Figuur 107. Plaatsing via folie

Een sectionaalpoort kan rechtstreeks op de houtskeletwand worden bevestigd (figuur 108). Net zoals bij staalbouw, kunnen nog extra maatregelen worden getroffen om de poortprestaties te verbeteren:

- ter hoogte van de bovenafdichtingsrubber: extra plank in OSB bevestigen. Op deze manier duwt de dichtingsrubber steviger tegen de aangebrachte strook;
- gebruik maken van een kunststof onderbreking, op maat van het poortprofiel, geplaatst tussen poortprofiel en wand, zodat ook deze koudebrug wordt verminderd (figuur 100).



Figuur 108. Plaatsing poort op houtskeletwand.

4 Simulatie van energiebehoefte voor verwarming/koeling

Zie apart verslag door Barbara Wauman (KULeuven).

5 Kostenoptimale studie

5.1 Methodiek

De kostenoptimale studie werd uitgevoerd volgens de methode vastgelegd in de gedelegeerde verordening van de Commissie van 16 januari 2012 en de Europese Norm EN 15459.

De maatregelen, toegepast op de typegebouwen via dynamische simulaties, worden geëvalueerd op basis van de totale actuele kost. De Totaal Actuele Kost geeft de som geeft weer van alle jaarlijkse kosten en restwaarden geactualiseerd naar het investeringsbeginjaar (jaar nul) aan de hand van de reële marktinterestvoet en de gebruiksduur.

$$TAK = I + \sum_{a=1}^{\tau} [(C_{\text{main},a} + C_{\text{ener},a} + C_{\text{repl}}) * R_a] + [(C_{\text{rem}} - V_{\text{end}}) * R_{\tau}]$$

Waarbij:

I= initiële investeringskost

$C_{\text{main},a}$ = onderhoudskost voor jaar a

$C_{\text{ener},a}$ = energiekost voor jaar a

C_{repl} = vervangingskost

C_{rem} =verwijderingskost

V_{end} =restwaarde

R_a = verdisconteringsfactor in jaar a

R_{τ} = verdisconteringsfactor in jaar τ

τ = economische levensduur

Deze TAK wordt berekend vanuit micro-economisch perspectief (investeerder). Dat betekent dat de kosten inclusief BTW worden meegerekend, subsidies worden weggelaten en er CO₂-emmissiekosten worden ingerekend.

De TAK wordt uitgezet in tegenover het totale primaire energieverbruik, berekend op basis van de resultaten van de dynamische simulaties. Via Pareto-analyse van de bekomen data, kunnen kostenoptimale oplossingen het kostenoptimum geïdentificeerd worden.

Het primair energieverbruik is de som van het energieverbruik voor aardgas en elektriciteit. De omrekeningsfactoren om op basis van de netto energiebehoefte voor aardgas en elektriciteit het primair energieverbruik te berekenen, bedragen respectievelijk 1 en 2.5.

De uitwerking en resultaten van de kostenoptimale studie worden in de volgende paragrafen besproken

5.1.1 Initiële investeringskost

Zoals eerder vermeld, voldoet het basisgebouw reeds aan de huidige EPB-eisen. De initiële investeringskost wordt beschouwd als een meerkost tegenover het basisgebouw. Enkel voor koeling of verwarming wordt altijd een installatiekost meegerekend, gebaseerd op het geïnstalleerd vermogen. De vermogensbehoefte voor verwarming en koeling werd berekend conform EN 12831.

De meerkost wordt berekend op basis van kostprijsgegevens uit de meest recente kostenoptimale studie voor niet-residentiële gebouwen⁴² en op basis van marktprijzen in overleg met de leden van de gebruikersgroep. Bijlage 2 bevat een overzicht van de verschillende maatregelen en de kostprijs per maatregel.

5.1.2 Jaarlijkse onderhoudskost

De kosten voor onderhoud worden enkel ingerekend voor ventilatiesystemen, koelsystemen en verwarming. Voor de gebouwschil worden enkel voor screens onderhoudskosten meegeteld. Deze kosten wordt uitgedrukt op basis van een percentage van de initiële investeringskost voor de betreffende maatregel. Dit is conform NBN EN 1545. Bijkomend wordt er geen prijsstijging in reële termen verondersteld.

5.1.3 Jaarlijkse kost voor energie

Binnen deze studie werden enkel de energiekosten voor verwarming (enkel gascomponent), koeling en ventilatie meegerekend.

De prijzen werden berekend op basis van de energieprijzen van niet-residentiële gebruikers van Eurostat. Om de evolutie van de energieprijzen in te calculeren, werd enkel het scenario volgens de Europese Commissie gevolgd, waarbij de evoluties per vijf jaar werden toegepast. Dit prijsscenario is enkel van toepassing op de energiekost, niet op de distributiekost en andere bijkomende taksen of vergoedingen. De extra kosten en belastingstarieven worden op gelijk niveau gehouden.

De basisprijs voor jaar 0, alles inclusief, voor elektriciteit, bedraagt 0.13068c€/kWh. Om de gasprijs te bepalen voor gebouwen binnen de scope, werd uitgegaan van een maximaal gasverbruik tot 1000GJ. De basisprijs voor jaar 0 voor gas, inclusief taksen en extra kosten, bedraagt 5.812465c€/kWh. In bijlage (bijlage 3) wordt een overzicht van de energieprijzen toegevoegd.

5.1.4 Vervangingskost en restwaarde

Aan elke maatregel is een levensduur verbonden, conform NBN EN 1545. Zo is de levensduur voor ventilatie en koeling bepaald op 15 jaar. Na 15 jaar moet bijgevolg een nieuwe installatie worden geplaatst. Bovendien wordt van een jaarlijkse prijsstijging van 0.5% uitgegaan. Wanneer de levensduur van de genomen maatregelen langer is dan de economische levensduur van het gebouw, kan er voor HVAC-installaties ook een restwaarde worden meegerekend. De restwaarde wordt berekend via lineaire afschrijving.

De vervangingskost en restwaarde worden steeds verdisconteerd meegerekend.

5.1.5 Verwijderingskost

Binnen deze studie werd de verwijderingskost niet meegerekend, aangezien slechts met één basistype HVAC-componenten wordt gewerkt.

5.1.6 Economische parameters: levensduur, verdisconteringsfactor

De economische levensduur τ ligt voor industriële en commerciële gebouwen op 20 jaar.

De verdisconteringsfactor wordt berekend op basis van de verdisconteringsvoet R . Deze bepaalt het gewicht dat wordt toegekend aan toekomstige kosten en opbrengsten tegenover onmiddellijke investeringen (vergelijkbaar met return on investment). Deze waarde is vrij subjectief en varieert naargelang de beslissingnemer.

De disconteringsfactor wordt als volgt berekend:

$$R_a = \frac{1}{(1 + R)^a}$$

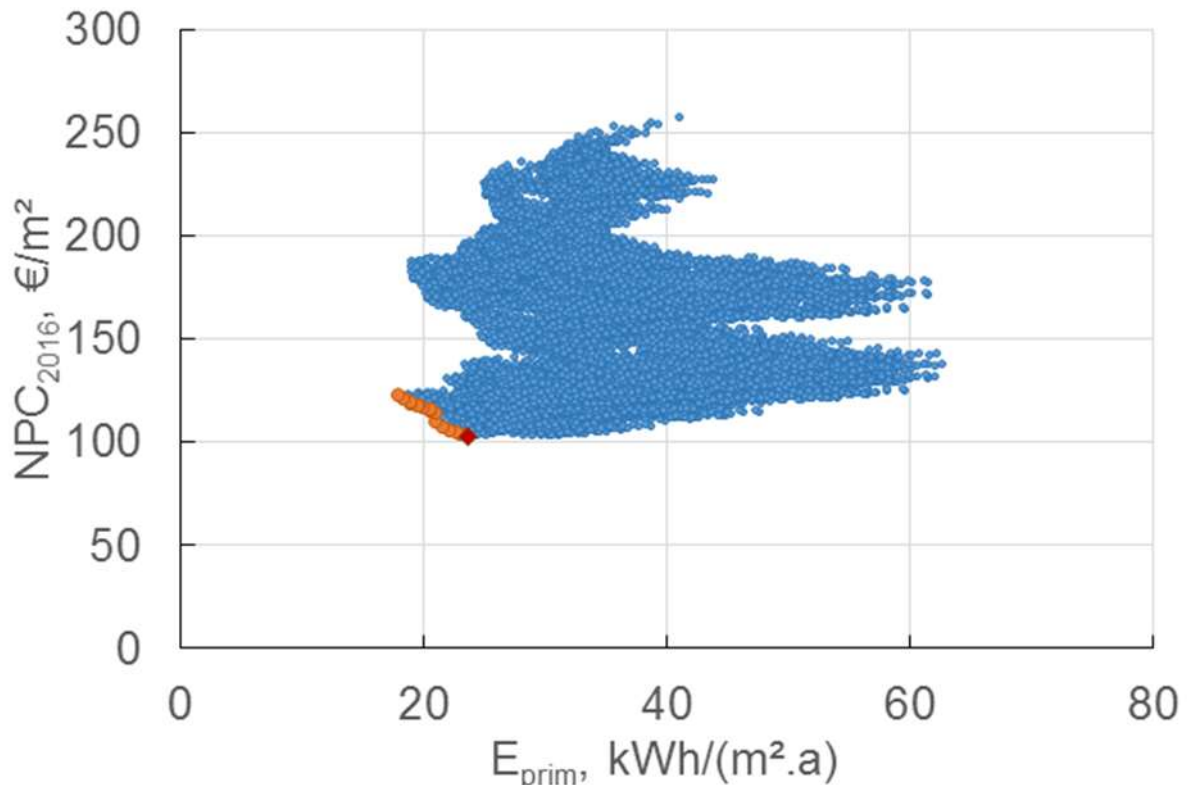
Voor deze studie werd een disconteringsvoet van 4% gehanteerd, wat overeenkomt met de waarde gehanteerd in de kostenoptimale studies, uitgevoerd in opdracht van VEA. Voor één case, als sensitiviteitsanalyse, werd deze disconteringsvoet verlaagd naar 1,5%. Wanneer de disconteringsvoet laag ligt, stijgt het relatief belang van toekomstige energiekosten.

5.2 Resultaten en bespreking

De TAK (€/m² vloeroppervlakte) wordt uitgezet tegenover het primair energieverbruik voor verwarming, koeling en ventilatie. Het Pareto-front wordt in oranje weergegeven. Het optimum is aangegeven met rood. Dit punt stelt de maatregelen voor die het beste energieprestatieniveau en de laagste TAK met zich meebrengen.

5.2.1 Commercieel gebouw, beton sandwichpanelen

Het Pareto-front (grafiek 1) bestaat niet uit een vlakker of steiler deel, maar vertoont een eerder lineair verband waarbij de kosten evenredig stijgen bij een lagere primaire energiebehoefte.



Grafiek1. TAK en Pareto voor een retailgebouw uit beton sandwichpanelen.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 6).

Tabel 6. Overzicht kostenoptimale combinaties en basiscase.

Nr	U _w	U _f	U _{dak}	Raam	U _{fr}	n ₅₀	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	Q cool kW/m ²	E _{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	1,8	0,5	nee	ja	8,96	13,36	23,7	103,11
2	0,2	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	1,8	0,5	nee	ja	8,04	13,97	23	103,67
3	0,24	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	0,8	0,5	nee	ja	7,56	14,44	22,79	104,39
4	0,2	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	0,8	0,5	nee	ja	6,67	15,1	22,19	105,03
5	0,15	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	0,8	0,5	nee	ja	5,62	15,94	21,55	107,08
6	0,1	0,27	0,1	U _g =1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	3,96	14,33	17,92	122,89
B	0.24	0,27	0.24	U _g =1.1 g=0,6	2.8	5.4	nee	nee	40,59	7,65	59,58	125,11

In deze tabel is U_w = U-waarde gevel; U_f =U-waarde vloer; U_{dak} = U-waarde dak; U_{fr} = U-waarde raamprofiel; n_{50} = ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen: ja= opgelost, nee= aanwezig.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer ($U=0.27$), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie bij ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q_{heat}) en een vrij lage energiebehoefte voor koeling (Q_{cool}). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte. De TAK voor de basisversie bedraagt $125.11\text{€}/\text{m}^2$ vloeroppervlakte. Dit is $22\text{€}/\text{m}^2$ duurder dan het kostenoptimum en nog steeds meer dan $2\text{€}/\text{m}^2$ duurder dan optie 6 (meest linkse punt op Paretofront). Voor het voorbeeldgebouw betekent dat opties 1 en 6 respectievelijk een 36300 en 3300 **€ minder kosten** dan de basisversie bij een levensduur van 20 jaar. Het loont bijgevolg om alle maatregelen die in optie 6 werden genomen, ook uit te voeren.

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld:

- dat de U-waarde van het dak lager ligt (0.2 tov 0.24);
- de U-waarde van het glas en het frame lager zijn de EPB-eisen, zonwerend glas is daarbij aangeraden;
- de U-waarde van de gevel overeenkomt met het EPB-eisenniveau;
- de U-waarde van de vloer hoger is dan de EPB-eis.

Daarnaast is de luchtdichtheid zeer goed en werden de bouwknopen opgelost.

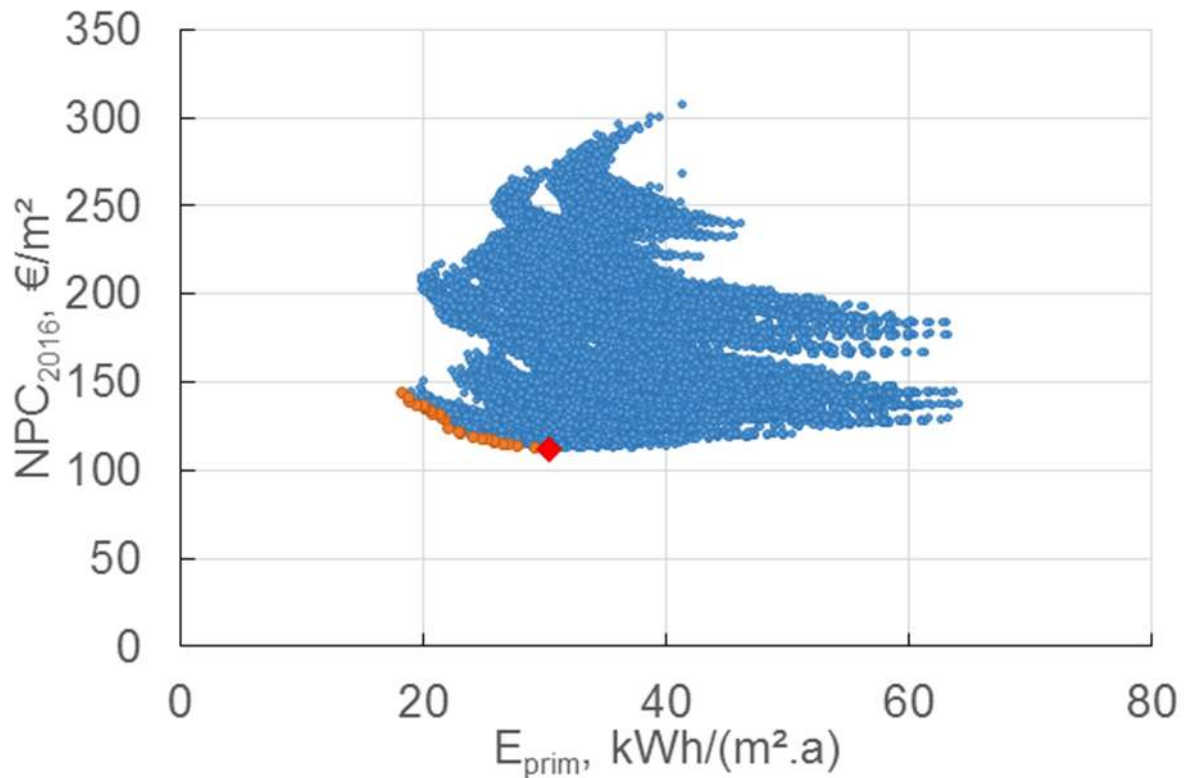
Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een lagere U-waarde van de gevel (geval 2) of van het raamprofiel (geval 3). Verdere verbeteringen houden in dat de U-waarde van de wand en gevel verder worden verlaagd totdat men terechtkomt in het meest linkse punt van het Paretofront, waar U-waarde van de wand en het dak $0.1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ bedragen.

Bovendien blijkt uit deze grafiek dat investeren in warmteterugwinning via een ventilatiesysteem D en warmtewiel, net als investeren in vloerisolatie, niet rendeert.

5.2.2 Commercieel gebouw, staal sandwichpanelen

Het Pareto-front (grafiek 2) bestaat niet uit een vlakker of steiler deel, maar de kosten lijken evenredig te stijgen voor een lagere primaire energiebehoefte.



Grafiek 2. TAK en Pareto voor een retailgebouw uit staal sandwichpanelen.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 7).

Tabel 7. Overzicht kostenoptimale combinaties en basiscase.

Nr	U_w	U_f	U_{dak}	Raam	U_{fr}	n_{50}	WTW	bwkn	Q kW/m ²	heat	Q kW/m ²	cool	E_{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	0,27	0,2	Ug=1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	16,74		9,14		30,3	112,3
2	0,2	0,27	0,2	Ug=1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	15,63		9,50		29,14	112,71
3	0,15	0,27	0,2	Ug=1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	14,29		9,97		27,78	113,51
4	0,2	0,27	0,2	Ug=0,6 g=0,4	1,8	0,5	nee	nee	11,49		13,25		26,96	114,75
5	0,1	0,27	0,2	Ug=1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	8,43		12,36		22,1	124,26
6	0,1	0,27	0,1	Ug=1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	3,98		14,72		18,29	143,6
B	0,24	0,27	0,24	Ug=1,1 g=0,6	2,8	5,4	nee	nee	41,07		7,65		59,58	127,74

In deze tabel is U_w = U-waarde gevel; U_f =U-waarde vloer; U_{dak} = U-waarde dak; U_{fr} = U-waarde raamprofiel; n_{50} = ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer ($U=0.27$ W/m²K), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie op

de ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q_{heat}) en een vrij lage energiebehoefte voor koeling (Q_{cool}). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte (dubbel tegenover nummer 1). De TAK voor de basisversie bedraagt $127.74\text{€}/\text{m}^2$ vloeroppervlakte. Dit is $15.44\text{€}/\text{m}^2$ duurder dan het kostenoptimum (nummer 1) maar wel $15.86\text{€}/\text{m}^2$ goedkoper dan optie 6. Voor het voorbeeldgebouw betekent dit dat optie **25476€ minder kost** dan de basiscase bij een levensduur van 20 jaar. Het punt op het Pareto-front dat het meest in de buurt komt van de basiscase, is nummer 5 uit de tabel. Het loont bijgevolg om alle maatregelen die in nummer 5 werden genomen, ook uit te voeren.

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld:

- dat de U-waarde van het dak lager ligt (0.2 t.o.v. $0.24 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$);
- de U-waarde van het glas en het frame lager zijn de EPB-eisen. Zonwerend glas is bovendien aangeraden;
- de U-waarde van de gevel overeenkomt met het EPB-eisenniveau;
- de U-waarde van de vloer hoger ligt dan de EPB-eis.

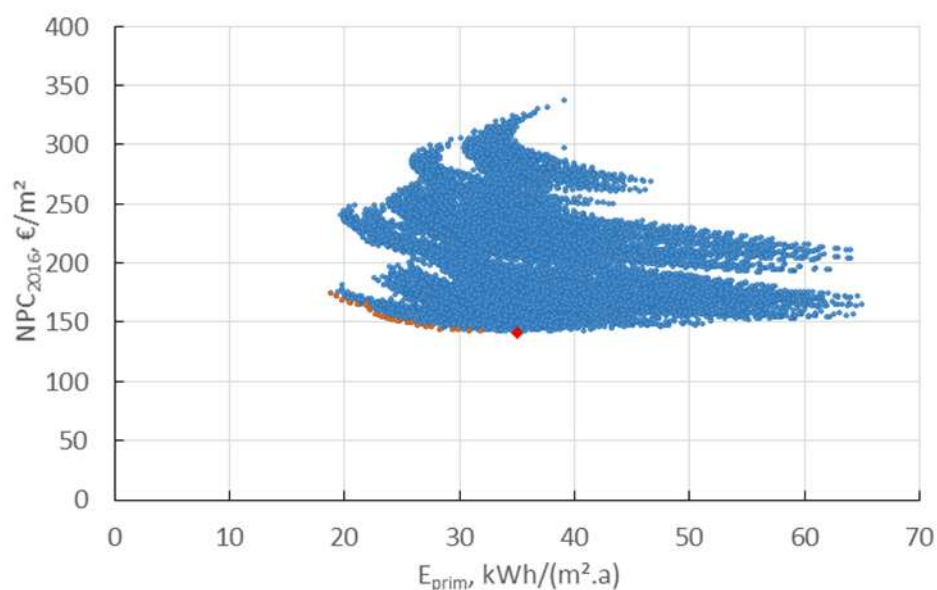
De luchtdichtheid is opnieuw zeer goed. Bouwknopen worden niet aangepakt.

Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een lagere U-waarde van de gevel (geval 2). Verdere verbeteringen houden in dat de U-waarde van de gevel en het glas (nummer 3 en 4) worden verlaagd en bouwknopen worden aangepakt. Uiteindelijk komt men terecht in het meest linkse punt van het Pareto-front, waar U-waarde van de wand en het dak $0.1 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$ bedragen (nummer 6). Bovendien blijkt uit deze grafiek dat investeren in warmteterugwinning via een ventilatiesysteem D en warmtewiel, net als investeren in vloerisolatie, niet rendeert (nummer 6).

5.2.3 Commercieel gebouw, binnendozen en bardage

Het Pareto-front (grafiek 3) verloopt eerst vrij vlak, om nadien licht te stijgen en terug meer af te vlakken.



Grafiek 3. TAK en Pareto voor een retailgebouw uit binnendozen.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 8).

Tabel 8. Overzicht kostenoptimale combinaties en basiscase.

Nr	U _w	U _f	U _{dak}	Raam	U _{fr}	n ₅₀	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	Q cool kW/m ²	E _{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	0,27	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	1,4	nee	nee	21,47	7,40	35,04	141,51
2	0,24	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	1,8	1,4	nee	nee	16,93	10,64	31,87	142,27
3	0,24	0,27	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	17,41	8,78	30,87	142,35
4	0,2	0,27	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	16,56	9,03	29,95	143,49
5	0,2	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	0,8	0,5	nee	ja	7,59	15,04	23,35	154,03
6	0,1	0,27	0,1	U _g =1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	5,01	13,77	18,82	174,50
B	0,24	0,27	0,24	U _g =1.1 g=0,6	2,8	5,4	nee	nee	41,92	7,38	62,17	154,25

In deze tabel is U_w= U-waarde gevel; U_f=U-waarde vloer; U_{dak}= U-waarde dak; U_{fr}= U-waarde raamprofiel; n₅₀= ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer (U=0.27 W/m²K), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie op ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q heat) en een vrij lage energiebehoefte voor koeling (Q cool). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte. De TAK voor de basisversie bedraagt 154.25€/m² vloeroppervlakte. Dit is 12.74€/m² duurder dan het kostenoptimum en 20€/m² goedkoper dan nummer 6 (meest linkse punt op Paretofront). Voor het voorbeeldgebouw betekent het dat het kostenoptimum (nummer 1) 21021€ **minder kost** dan de basisversie bij een levensduur van 20 jaar. Het punt op het Pareto-front dat het meest in de buurt komt van de basiscase, is nummer 5 uit de tabel. Het loont bijgevolg om alle maatregelen die in nummer 5 werden genomen, ook uit te voeren.

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum (nummer 1) wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld:

- dat de U-waarde van het dak lager ligt (0.2 tov 0.24 W/m²K);
- de U-waarde van het glas en het frame lager zijn de EPB-eisen en het glas beter zonerend is;
- de U-waarde van de gevel overeenkomt met het EPB-eisenniveau;
- de U-waarde van de vloer hoger ligt dan de EPB-eis.

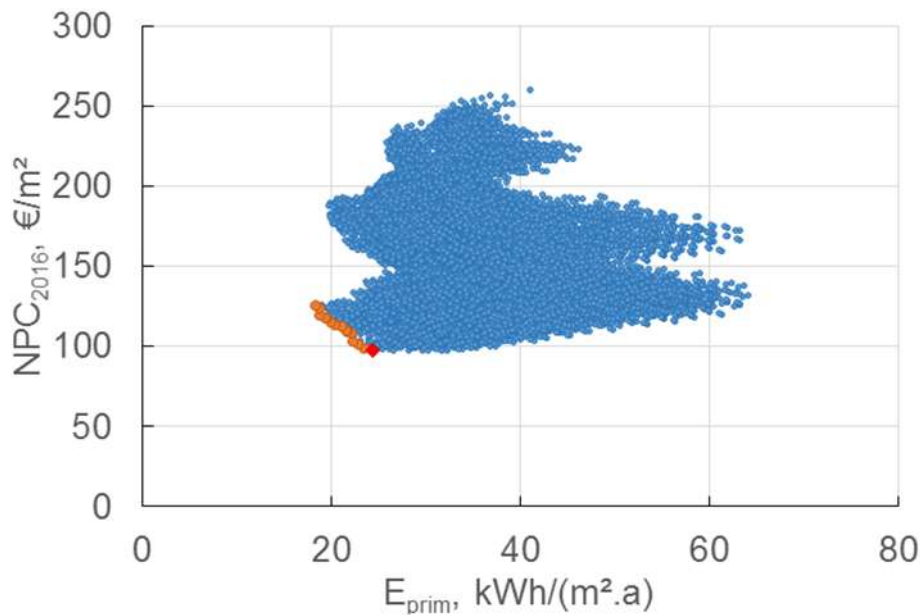
De luchtdichtheid is beter dan bij een standaardgebouw maar bouwknopen worden niet aangepakt

Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een beter U-waarde van de beglazing (geval 2) of in een betere luchtdichtheid (geval 3). Verdere verbeteringen houden in dat de U-waarde van de gevel en het dak verder worden verlaagd, bouwknopen worden aangepakt en ook raamprofielen een lagere U-waarde hebben zodat men terechtkomt in het meest linkse punt van het Paretofront (nummer 6). Bovendien blijkt uit deze grafiek dat investeren in warmteterugwinning via een ventilatiesysteem D en warmtewiel, net als investeren in vloerisolatie, niet rendeert.

5.2.4 Commercieel gebouw, houtskeletbouw

Het Pareto-front (grafiek 4) bestaat niet uit een vlakker of steiler deel, maar vertoont een eerder lineair verband waarbij de kosten evenredig stijgen bij een lagere primaire energiebehoefte.



Grafiek 4. TAK en Pareto voor een retailgebouw in houtskeletbouw.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 9).

Tabel 9. Overzicht kostenoptimale combinaties.

Nr	U_w	U_f	U_{dak}	Raam	U_{fr}	n_{50}	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	Q cool kW/m ²	E_{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	0,27	0,2	$U_g=0,6$ $g=0,4$	1,8	0,5	nee	ja	9,09	14,00	24,43	97,47
2	0,24	0,27	0,2	$U_g=0,6$ $g=0,4$	0,8	0,5	nee	ja	7,72	15,04	23,54	98,75
3	0,2	0,27	0,2	$U_g=0,6$ $g=0,4$	0,8	0,5	nee	ja	6,93	15,59	22,96	101,15
4	0,15	0,27	0,2	$U_g=0,6$ $g=0,4$	0,8	0,5	nee	ja	5,93	16,33	22,30	102,71
5	0,15	0,27	0,1	$U_g=1$ $g=0,26$	0,8	0,5	nee	ja	5,03	13,80	18,86	118,86
6	0,1	0,27	0,1	$U_g=1$ $g=0,26$	0,8	0,5	nee	ja	4,11	14,60	18,35	125,30
B	0,24	0,27	0,24	$U_g=1.1$ $g=0,6$	2,8	5,4	nee	nee	41,12	7,59	61,29	119,96

In deze tabel is U_w = U-waarde gevel; U_f =U-waarde vloer; U_{dak} = U-waarde dak; U_{fr} = U-waarde raamprofiel; n_{50} = ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer ($U=0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie op ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q_{heat}) en een vrij lage energiebehoefte voor koeling (Q_{cool}). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte, meer dan het dubbel van het kostenoptimum (nummer 1). De TAK voor de basisversie bedraagt $119.96\text{€}/\text{m}^2$ vloeroppervlakte. Dit is $22.5\text{€}/\text{m}^2$ duurder dan het kostenoptimum maar $5.34\text{€}/\text{m}^2$ goedkoper dan nummer 6 (meest linkse punt op Pareto-front). Voor het voorbeeldgebouw betekent het dat het kostenoptimum (nummer 1) 37108€ minder kost dan de basisversie bij een levensduur van 20 jaar. Het punt op het Pareto-front dat het meest in de buurt komt van de prijs van de basiscase, is nummer 5 uit de tabel. Het loont bijgevolg om alle maatregelen die in nummer 5 werden genomen, ook uit te voeren.

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld:

- dat de U-waarde van het dak lager ligt (0.2 tov $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- de U-waarde van het glas en het frame lager zijn de EPB-eisen inclusief een beter g-waarde;
- de U-waarde van de gevel overeenkomt met het EPB-eisenniveau;
- de U-waarde van de vloer onder het EPB-eisenniveau ligt.

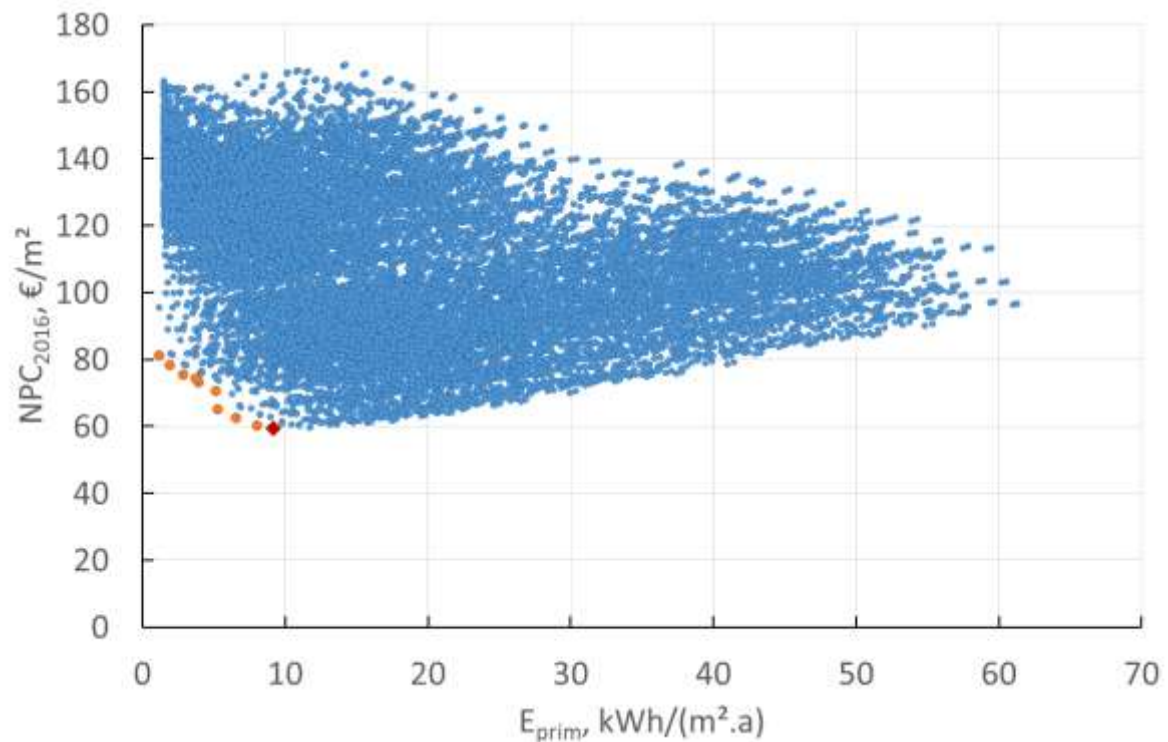
Daarnaast is de luchtdichtheid zeer goed en werden de bouwknopen opgelost.

Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een beter U-waarde van het raamprofiel (geval 2) en van de gevel (geval 3). Verdere verbeteringen houden in dat de U-waarde van de gevel en het dak verder worden verlaagd totdat men terechtkomt in het meest linkse punt van het Paretofront (nummer 6). Bovendien blijkt dat investeren in warmteterugwinning via een ventilatiesysteem D en warmtewiel, net als investeren in vloerisolatie, niet rendeert.

5.2.5 KMO-gebouw, vrijstaand, beton sandwichpanelen

Het Pareto-front (grafiek 5) bestaat niet uit een vlakker of steiler deel, maar vertoont een eerder lineair verband waarbij de kosten evenredig stijgen bij een lagere primaire energiebehoefte.



Grafiek 5. TAK en paretofront voor een KMO-gebouw uit beton sandwichpanelen.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 9).

Tabel 10. Overzicht kostenoptimale combinaties.

Nr	U_w	U_f	U_{dak}	Raam	U_{fr}	screens	n_{50}	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	E_{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	nee	0,2	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	6,89	9,18	59,49
2	0,2	nee	0,2	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	5,99	7,99	60,27
3	0,15	nee	0,2	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	4,90	6,54	62,68
4	0,2	nee	0,1	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	2,14	2,86	75,38
5	0,15	nee	0,1	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	1,45	1,94	78,29
6	0,1	nee	0,1	Ug=0,6 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	ja	0,88	1,17	81,33
B	0,24	nee	0,24	Ug=1,1 g=0,6	2,9	nee	5,4	nee	nee	41,13	54,84	90,03

In deze tabel is U_w = U-waarde gevel; U_f =U-waarde vloer; U_{dak} = U-waarde dak; U_{fr} = U-waarde raamprofiel; n_{50} = ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer ($U=0.27 \text{ W/m}^2\text{K}$), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie op ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q heat). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte, bijna 6 keer groter dan het kostenoptimum (nummer 1). De TAK voor de basisversie bedraagt $90.03\text{€}/\text{m}^2$ vloeroppervlakte. Dit is $30.54\text{€}/\text{m}^2$ duurder dan het kostenoptimum en $9\text{€}/\text{m}^2$ goedkoper dan nummer 6 (meest linkse punt op Paretofront). Voor het voorbeeldgebouw betekent het dat het kostenoptimum (nummer 1) 50391€ minder kost dan de basisversie bij een levensduur van 20 jaar. Zelfs het nemen van alle maatregelen uit het duurste en meest energiezuinige kostenoptimum (nummer 6), levert nog steeds een besparing op van 15345€ .

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld:

- dat de U-waarde van het dak lager ligt (0.2 tov $0.24 \text{ W/m}^2\text{K}$);
- de U-waarde van het glas (3-voudig) en het frame lager zijn de EPB-eisen maar zonwerend glas niet kostenoptimaal is;
- de U-waarde van de gevel overeenkomt met het EPB-eisenniveau;
- de U-waarde van de vloer onder het EPB-eisenniveau ligt.

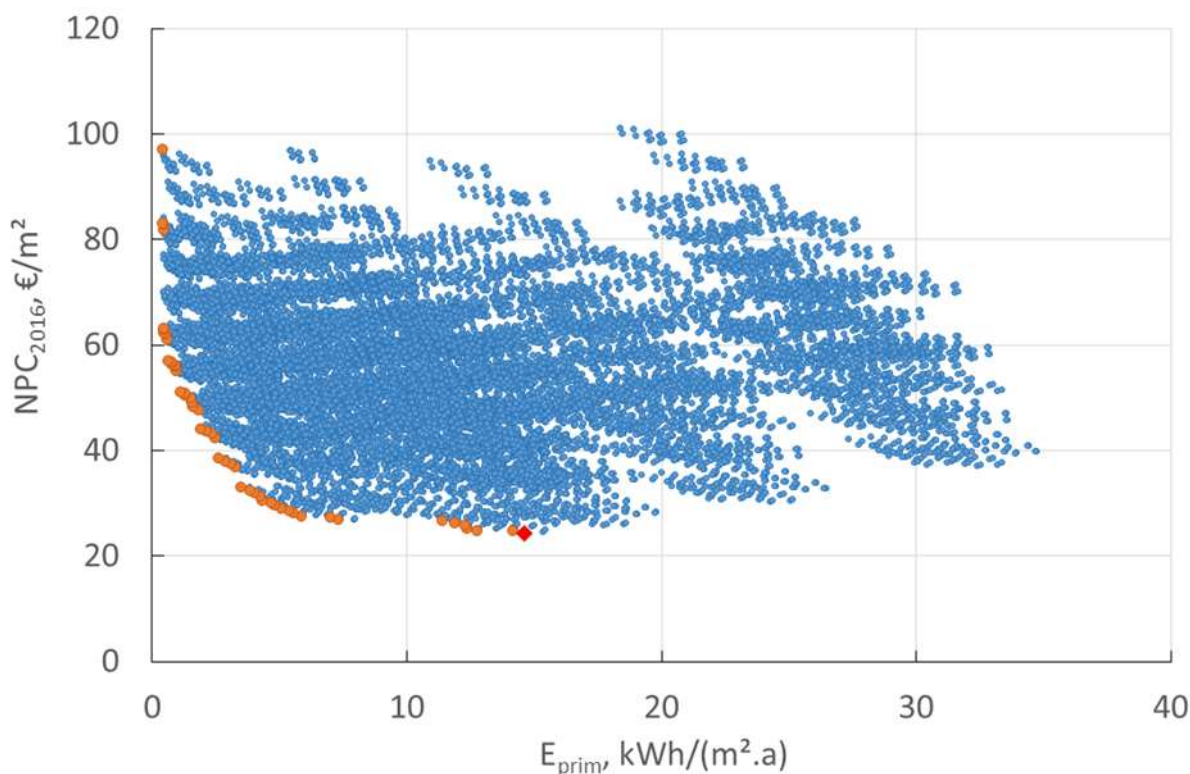
Daarnaast is de luchtdichtheid zeer goed en werden de bouwknopen opgelost.

Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een beter U-waarde van de gevel (nummer 2 en 3), zelfs tot $0.1\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ en dan in de U-waarde van het dak (nummer 5 en 6). Investeren in 3-voudig glas en een raamprofiel met lage U-waarde, het aanpakken van de bouwknopen en luchtdicht bouwen, loont. Bovendien blijkt dat investeren in warmteterugwinning via een ventilatiesysteem D en warmtewiel, net als investeren in vloerisolatie en screens, niet rendeert.

5.2.6 KMO-unit in bedrijfsverzamelgebouw, beton sandwichpanelen

Voor deze gebouwen wordt bepaald dat geen koeling aanwezig is. Het Pareto-front (grafiek 6) bestaat uit een vlakker en een steiler deel. Op het vlakkere deel hebben cases een lagere primaire energiebehoefte zonder dat de TAK veel toeneemt. Hoe steiler de curve wordt, hoe duurder het wordt om de primaire energiebehoefte te verlagen.



Grafiek 6. TAK en Pareto voor een KMO-unit uit beton sandwichpanelen.

In bijlage 4 worden de gegevens van alle punten op het Pareto-front toegevoegd. De meest belangrijke punten worden in onderstaande tabel weergegeven (tabel 6).

Tabel 11. Overzicht kostenoptimale combinaties.

Nr	U_w	U_f	U_{dak}	Raam	U_{fr}	screens	n_{50}	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	E_{pr}	TAK (€/m ²)
1	0,24	0,29	0,24	Ug=1,1 g=0,6	1,8	nee	0,5	nee	nee	19,47	14,61	24,41
2	0,24	0,29	0,24	Ug=1,1 g=0,6	0,8	nee	0,5	nee	nee	18,90	14,18	24,82
3	0,24	0,29	0,2	Ug=1,1 g=0,6	1,8	nee	0,5	nee	nee	17,03	12,78	24,86
4	0,24	0,29	0,24	Ug=1,1 g=0,6	1,8	nee	0,5	ja	nee	9,19	7,34	26,83
5	0,15	0,29	0,2	Ug=1,1 g=0,6	0,8	nee	0,5	ja	ja	3,75	3,26	36,84
6	0,1	0,11	0,1	Ug=0,6 g=0,6	0,8	ja	0,5	ja	ja	0,00	0,44	97,04
B	0,24	0,29	0,24	Ug=1,1 g=0,6	2,8	nee	5,4	nee	nee	44,30	33,22	37,31

In deze tabel is U_w = U-waarde gevel; U_f =U-waarde vloer; U_{dak} = U-waarde dak; U_{fr} = U-waarde raamprofiel; n_{50} = ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig, screens: automatische zonwering.

Vergelijking basiscase

Met B wordt verwezen naar de basiscase, waarbij de U-waarden voldoen aan de EPB-eisen, uitgezonderd de vloer ($U=0.29$ W/m²K), de luchtdichtheid niet goed is, geen warmterecuperatie op

ventilatie aanwezig is en de bouwknopen nog aanwezig zijn. Deze basiscase heeft een heel grote behoefte voor verwarming (Q heat). Dit vertaalt zich in een hoge primaire energiebehoefte. De TAK voor de basisversie bedraagt 37.31€/m² vloeroppervlakte. Dit is 12.9€/m² duurder dan het kostenoptimum maar 59.73€/m² goedkoper dan nummer 6 (meest linkse punt op Paretofront). Voor het voorbeeldgebouw betekent het dat het kostenoptimum (nummer 1) 5572€ minder kost dan de basisversie bij een levensduur van 20 jaar. Het punt op het Paretofront dat het meest in de buurt komt van de prijs van de basiscase, is nummer 5 uit de tabel. Het loont bijgevolg om alle maatregelen die in nummer 5 werden genomen, ook uit te voeren.

Vergelijking EPB-eisen

Wanneer het kostenoptimum (nummer 1) wordt vergeleken met de geldende EPB-eisen kan worden gesteld dat:

- de U-waarde van het dak, de gevel en het glas overeenkomen met de huidige eisen;
- de U-waarde van het frame lager ligt dan de EPB-eisen;
- de U-waarde van de vloer lager ligt dan de EPB-eisen.

Daarnaast is de luchtdichtheid zeer goed maar de bouwknopen worden niet opgelost.

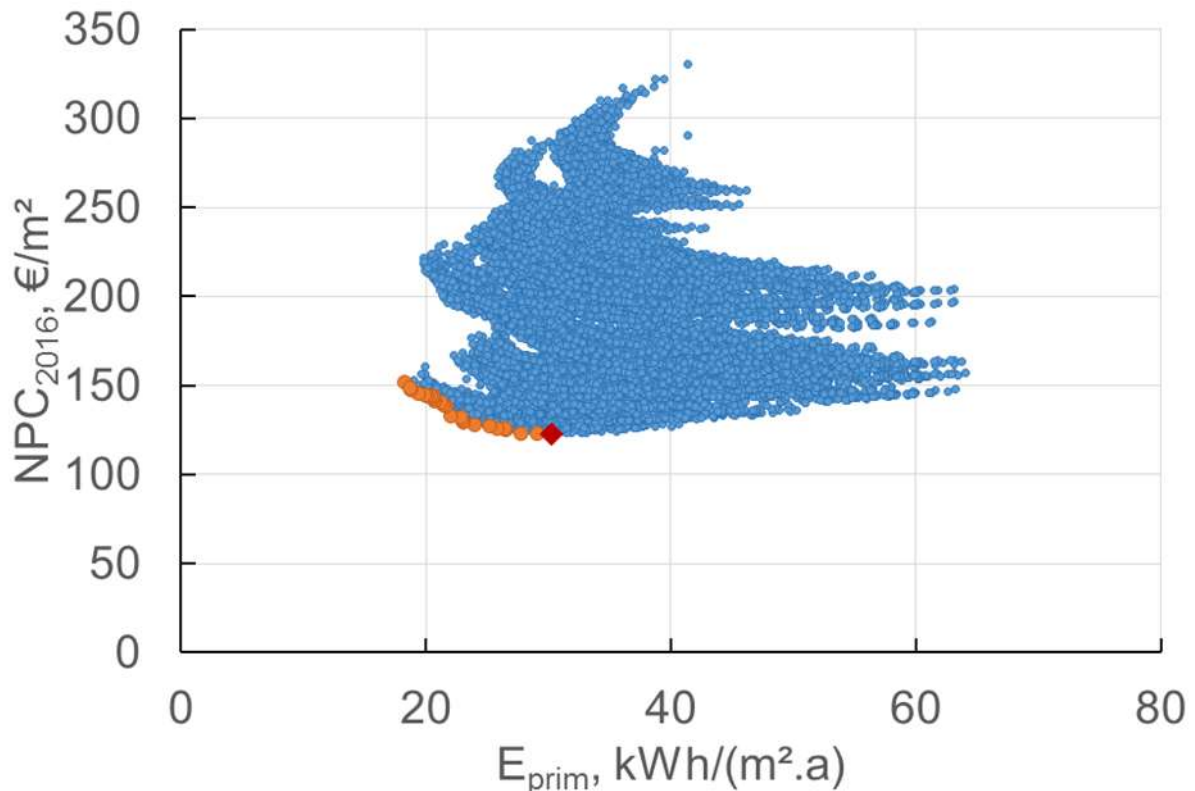
Investeren: welke maatregelen volgens Pareto?

Voorbij het kostenoptimum loont het om eerst te investeren in een betere U-waarde van het raamprofiel (nummer 2), het dak (nummer 3) of het oplossen van koudebruggen. Nadien loont het tevens om te investeren in een ventilatiesysteem D met warmterecuperatie. Verdere verbeteringen houden in dat de U-waarde van de wand, de gevel, de vloer worden verlaagd, screens worden geplaatst zodat men terechtkomt in het meest linkse punt van het Paretofront (nummer 6).

5.2.7 Sensitiviteitsanalyse

Om de invloed van de verdisconteringsfactor na te gaan, werd voor één case (retail gebouw, sandwichpanelen) de discontovoet verlaagd tot 1,5% i.p.v. 4%.

De vorm van de grafiek met discontovoet 1.5% (grafiek 7) komt overeen met die van 4% (grafiek 2).



Grafiek 7. TAK en Paretofront voor een commercieel gebouw uit staal sandwichpanelen bij discontovoet 1,5%.

De TAK ligt veel hoger bij een lagere discontovoet. Wanneer echter naar de kostenoptima op het Paretofront wordt gekeken, zijn deze grotendeels dezelfde (tabel 12).

Tabel 12. Belangrijke punten uit de kostenoptimale studie.

Nr	U _w	U _f	U _{dak}	Raam	U _{fr}	n ₅₀	WTW	bwkn	E _{pr}	TAK 1.5%	TAK 4%
1	0,24	0,29	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	30,30	122,79	112,3
2	0,2	0,29	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	29,14	122,80	112,71
3	0,15	0,29	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	27,78	122,99	113,51
4	0,1	0,29	0,2	U _g =1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	22,1	132,6	124,26
5	0,15	0,29	0,1	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	ja	19,39	144,97	136,69
6	0,1	0,29	0,1	U _g =1 g=0,26	0,8	0,5	nee	ja	18,29	151,62	143,6
B	0,24	0,29	0,24	U _g =1.1 g=0.6	2,9	5,4	nee	nee	61,28	145,95	127,74

In deze tabel is U_w= U-waarde gevel; U_f=U-waarde vloer; U_{dak}= U-waarde dak; U_{fr}= U-waarde raamprofiel; n₅₀= ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig.

Het kostenoptimum is hetzelfde voor beide discontovoeten. De kostprijs per m² voor de basiscase B bedraagt respectievelijk 145.95 en 127.74€/m². Dat deze kost veel hoger ligt voor de lagere discontovoet is te wijten aan de hoge primaire energiebehoefte, die aanleiding geeft tot een hoge

jaarlijkse onderhoudskost en energieverbruik. Wanneer 4% als discontovoet wordt toegepast, wegen de onderhoudskost en energiekost veel minder door.

Wanneer een nog hogere discontovoet zou worden toegepast, zal zowel de TAK van de basiscase als de TAK van het optimum dalen. Het is echter weinig waarschijnlijk dat het kostenoptimum elders zal liggen.

5.3 Algemeen besluit

Voor de 6 situaties, wordt hieronder weergegeven wat het kostenoptimum en de basiscase case is (tabel 13).

Tabel 13. Kostenoptima voor de verschillende bouwmethodes

Type	U _w	U _f	U _{dak}	Raam	U _{fr}	n ₅₀	WTW	bwkn	Q heat kW/m ²	Q cool kW/m ²	E _{pr}
Beton retail	0,24	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	1,8	0,5	nee	ja	8,96	13,35	23,7
Staal retail	0,24	0,27	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	0,5	nee	nee	16,74	9,14	30,3
BD retail	0,24	0,27	0,2	U _g =1 g=0,26	1,8	1,4	nee	nee	21,47	7,40	35,04
HSB retail	0,24	0,27	0,2	U _g =0,6 g=0,4	1,8	0,5	nee	ja	9,09	14,00	24,43
Beton KMO	0,24	nee	0,2	U _g =0,6 g=0,6	0,8	0,5	nee	ja	6,89		9,18
Beton unit	0,24	0,29	0,24	U _g =1,1 g=0,6	1,8	0,5	nee	nee	19,47		14,61
B	0,24	0,27	0,24	U _g =1.1 g=0,6	2,8	5,4	nee	nee			

In deze tabel is U_w= U-waarde gevel; U_f=U-waarde vloer; U_{dak}= U-waarde dak; U_{fr}= U-waarde raamprofiel; n₅₀= ventilatievoud, WTW= aan/afwezigheid ventilatiesysteem D en warmtewiel; bwkn= bouwknopen, ja= aangepakt, nee= aanwezig

Wanneer de kostenoptima voor retail gebouwen worden vergeleken, komt terug:

- efficiënte maatregelen: het verlagen van de U-waarde van het dak, het verbeteren van de luchtdichtheid, het verbeteren van de U-waarde van het profiel en het gebruik van een betere glassoort van het zonwerend type,
- dat het oplossen van de bouwknopen niet steeds kostenoptimaal is. Dit wordt veroorzaakt door het grote verschil in kostprijs om de bouwknopen te elimineren. Voor houtskelbouw en beton is deze laag, zodat dit wel rendeert;
- dat het verlagen van de U-waarde van de vloer, de wand en het plaatsen van een ventilatiesysteem D met warmtewiel nooit kostenoptimaal zijn.

Bijkomend is primaire energiebehoefte voor betonbouw en houtskelbouw zeer gelijkaardig. De primaire energiebehoefte voor gebouwen met staal sandwichpanelen en binnendozen liggen aanzienlijk hoger. Tegenover de basiscase, ligt het primair energieverbruik van de kostenoptima véél lager.

Voor een vrijstaand KMO-gebouw, gebouwd met beton sandwichpanelen, liggen de kostenoptima in dezelfde lijn als deze voor een retailgebouw. Enkel voor ramen is er een verschil; het gebruik van 3-voudig glas in een zeer performant profiel is kostenoptimaal maar het glas hoeft niet zonwerend zijn.

Voor een KMO-unit die deel uitmaakt van een bedrijfsverzamelgebouw, ligt het kostenoptimum op een volledig ander punt. Alle U-waarden liggen op het niveau van de huidige eisen, uitgezonderd voor vloeren, deze zijn minder streng dan de huidige eisen. Enkel een verbeterde U-waarde van het frame en een zeer goede luchtdichtheid leveren voordelen op.

Bovendien levert het kostenoptimum steeds een aanzienlijke besparing op tegenover de basiscase. Dit betekent dat de maatregelen die hier werden voorgesteld, goed renderen. Merk daarbij op dat dit zo is voor een levensduur van 20 jaar en de restwaarde voor het gebouw gelijk werd gesteld met 0 euro.

Hoewel er op basis van de resultaten voor het retailgebouw een verstrenging van de EPB-eisen voor bijvoorbeeld het dak, de ramen en het raamprofiel zou kunnen worden voorgesteld, is dit voor het KMO-gebouw helemaal niet kostenoptimaal. De enige factoren die de kostenoptima gemeen hebben, zijn een verbeterd raamprofiel en luchtdicht bouwen.

6 Conclusie

Uit de parameteranalyse en kostenoptimale studie kwamen duidelijk factoren naar voren die al dan geen impact hebben.

De luchtdichtheid komt in elk geval als belangrijkste factor uit beide onderdelen. Luchtdichtheid is nieuw voor industriebouw maar door de invoering van het E-peil voor EPN-gebouwen, zal luchtdichtheid binnen deze branche steeds belangrijker worden. Er zullen ook meer luchtdichtheidsmetingen worden uitgevoerd, wat het gebrek aan data, kennis en het inzicht rond dit thema bij de gebouwen uit de scope alleen maar kan verkleinen.

Hoewel warmterecuperatie via een ventilatiesysteem D met warmtewiel een grote impact heeft op de energiebehoefte voor verwarming, is deze maatregel in geen enkel geval kostenoptimaal. Dit kan verklaard worden de hoge investeringskosten en het extra energieverbruik dewelke dit systeem veroorzaakt. Hierbij dient wel te worden vermeld dat er geen debietregeling of andere sturingen werden voorzien die het elektriciteitsverbruik sterk kunnen doen dalen.

De grote impact van de U-waarde van het dak op de energiebehoefte kwam tot uiting bij de kostenoptimale studie voor grotere gebouwen, zowel voor retail als KMO. Alle kostenoptimale situaties hadden een U-waarde van $0.2\text{W}/\text{m}^2\text{K}$. Voor de KMO-unit is dit echter geen kostenoptimale investering.

Hoewel de U-waarde van het geplaatste glas, het raamprofiel, de gevel en het al dan niet aanpakken van de bouwknopen een gelijkaardig effect hadden op de energiebehoefte, is dit niet steeds zo gebleken uit de kostenoptimale studie.

Voor het retail gebouw, dat heel wat meer raamoppervlakte bevat dan het KMO-gebouw, is een verbeterde U-waarde van het profiel, maar ook van het glas kostenoptimaal. Bovendien is dit glas steeds van het zonwerende type. Voor het KMO-bedrijfsverzamelgebouw, is het veranderen van het glastype niet kostenoptimaal.

Vloerisolatie is een geval apart. Wanneer de volledige vloeroppervlakte van een groot gebouw wordt geïsoleerd, is het effect op de behoefte voor verwarming minimaal maar neemt de energiebehoefte voor koeling sterk toe. Dat is te wijten aan het bufferend vermogen van de bodem. Bij vloerisolatie onder de vloerplaat, wordt deze buffer afgesloten. De warmte kan niet meer in de bodem worden opgeslagen, wat de koelbehoefte doet toenemen. Het isoleren van de vloer bleek daarenboven niet

kostenoptimaal. De niet-geïsoleerde vloer kwam als kostenoptimale oplossing naar voren, hoewel de U-waarde hoger ligt dan de EPB-eis. Dat betekent echter niet dat vloerisolatie overbodig is. Bij industriebouw kan de vloer perfect geïsoleerd worden tot EPB-niveau door gebruik te maken van verticale randisolatie. Deze gevelplintisolatie komt het vaakste voor in de vorm van een beton sandwichpaneel. Via de gedetailleerde berekening voor vloeren op volle grond in de EPB-software, kan deze verticale randisolatie worden ingerekend. Bijkomende voordelen van deze randisolatie zijn dat de kostprijs ervan veel lager ligt dan het isoleren van de volledige vloeroppervlakte én dat de problemen met mogelijke scheurvorming van geïsoleerde, zwaar belaste vloeren in één klap van de baan zijn.

Voor de bouwknopen ter hoogte van de gevelplint, dakopstand en buitenhoeken, bleek dat het oplossen van al deze bouwknopen samen voor staalbouw (staal sandwichpanelen en binnendozen) niet kostenoptimaal is. Houd er wel rekening mee dat binnen dit onderzoek enkel het thermische aspect werd ingerekend, niet de kans op condensatie. Maatregelen die een lage kostprijs betekenen, kunnen zeker nog de moeite waard zijn.

Voor elk van de 6 situaties, betekent het implementeren van de maatregelen behorend tot het kostenoptimum over de volledige levensduur een kostenbesparing. Voor het retailgebouw (55 x 30m) varieert deze van 21000 tot 37000€. Investeren in het verhogen van de energieprestatie van het gebouw, loont bijgevolg sowieso.

Uit praktijkcontacten is gebleken dat er regelmatig een loopje wordt genomen met de regelgeving inzake EPB. Vaak worden bevestigers niet doorgerekend in de U-waarden, worden onrealistische U-waarden voorgesteld door fabrikanten/leveranciers of worden methodes op poten gezet om de EPB-verplichtingen te omzeilen, met alle gevolgen van dien. Bijkomend blijken heel wat EPB-verslaggevers niet op de hoogte van de gedetailleerde invoermogelijkheid voor vloeren op volle grond én van het feit dat ondergrondse verticale randisolatie in de betonplint op deze wijze kan worden ingegeven. Dit leidt tot nodeloze, bijkomende kosten voor de bouwheer. Dit thema kan best opgenomen worden in de verplichte opleiding voor EPB-verslaggevers.

Industriële bouwmethodes verschillen sterk van klassieke methodes. In België bestaan er momenteel geen opleidingen. De werkmethode varieert van bedrijf tot bedrijf en de opgebouwde knowhow blijft te veel binnen het bedrijf aanwezig. Bijkomend, is er een totaal gebrek aan goede uitvoeringsdetails met aandacht voor zo wel luchtdichtheid, bouwknopen alsook brandveiligheid. Een databank met standaarddetails én opleidingen zijn beide noodzakelijk om de beoogde kwalitatieve uitvoering te realiseren. Binnen de sector van industriebouw zal hierrond best samengewerkt worden.

¹ Tinel, F. (2015). *Bouwtechnieken gebouwen 3*. Odisee, Aalst.

² WTCB (2015). TV 255: luchtdichtheid van gebouwen.

³ Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council on the energy performance of buildings. Geconsulteerd op 24/05/2014 via <http://eur-lex.europa.eu/>

⁴ <http://www.energiesparen.be>

⁵ Brinks P., Kornadt O., Oly R. (2015). Air infiltration assessment for industrial buildings. *Energy and Buildings* vol. 86, p663 -676.

⁶ NBN EN ISO 13370 (2008). Thermische eigenschappen van gebouwen – Warmteoverdracht via de grond – Berekeningsmethoden, 61blz.

⁷ Brinks P., Kornadt, O. & Oly, R. (2014). Thermal losses via large slabs on grade. *Proceedings ASim 2014 – the 2nd Asia conference of the international building performance association*, Japan; 8blz.

⁸ Geraadpleegd op 20/08/2016 via <http://www.vgi-fiv.be/>

⁹ Geraadpleegd op 20/08/2016 via <http://nl.glassolutions.be/nl-be/producten/dubbelglas>

¹⁰ Geraadpleegd op 20/08/2016 via <http://www.habitos.be>

-
- ¹¹ Geraadpleegd op 20/08/2016 via <http://www.agplastics.com/>
- ¹² Geraadpleegd op 20/08/2016 via <http://www.gallina.it>
- ¹³ Huyghe W. (2010). Experimenteel Onderzoek naar de luchtdichtheid van raamaansluitingen(eindwerk). Faculteit Ingenieurswetenschappen, UGent, Gent.
- ¹⁴ L-Door. Persoonlijke communicatie.
- ¹⁵ Geraadpleegd op 02/09/2016 via <http://www.nassau-door.be/>
- ¹⁶ Brinks P., Kornadt, O. & Oly, R. (2014). Energy balance calculation and nearly-zero-energy standard of industrial buildings. *Proceedings of the 10th Nordic Symposium on Building Physics*, Lund, p 726-733.
- ¹⁷ WTCB (2000). TV 215 Platte daken.
- ¹⁸ WTCB (2010). TV 239 Mechanische bevestiging van de isolatie en de afdichting op geprofileerde staalplaten.
- ¹⁹ NBN EN 62-002.
- ²⁰ Willy Naessens Industriebouw. Persoonlijke communicatie
- ²¹ SAB Profiel. Te raadplegen via <https://www.sabprofiel.nl/>
- ²² Kehrer M., Pallin S. (2013). Condensation Risk of Mechanically Attached Roof Systems in Cold-Climate Zones. *Proceedings of 28th RCI International Convention and Trade show*, p157 – 166.
- ²³ Wang X., Kendrick C., Ogden R., Walliman N. & Bai B. (2013). A case study on energy consumption and overheating for a UK industrial building with rooflights. *Applied Energy vol. 104*, p337-344.
- ²⁴ AG Plastics. Te raadplegen via <http://www.agplastics.be>
- ²⁵ WTCB (2012). TV 244 Aansluitingsdetails bij platte daken : algemene principes.
- ²⁶ Lledo Group. Te raadplegen via <http://www.lledoenergia.com>.
- ²⁷ <http://www.lightwaydaylight.be/>
- ²⁸ Febelarch. Gids voor architecten en voorschrijvers. Geraadpleegd via www.febelarch.be/application/public/upload/0/default/105.pdf
- ²⁹ Bernaert J. (2014). Geprefabriceerde gevelpanelen in gewapend beton voor toepassing in lage energie gebouwen (scriptie). Master of Science in Civil Engineering, Ugent, Gent.
- ³⁰ <http://www.dumebo-dws.nl>
- ³¹ <http://www.isover.be>
- ³² Kwaliteitsrichtlijn metalen gevels en daken 2010. Beschikbaar via <http://www.dumebo-dws.nl>
- ³³ <http://www.ifbs.de/>
- ³⁴ Wiesinger R. (2009). Sandwich Panels – application guide. 100p.
- ³⁵ Kingspan. Persoonlijke communicatie.
- ³⁶ MCRMA (2002) Technical Paper n°14. Guidance for the design of metal roofing and cladding – how to comply with approved document L2 2001. Raadpleegbaar via <http://www.mcrma.co.uk>.
- ³⁷ Raadpleegbaar via <http://www.bouwenmetstaal.nl/>
- ³⁸ MCRMA(2006). Technical paper n° 18. Conventions for calculating U-values, f-values and psi values for metal cladding systems using two- and three- dimensional thermal calculations. 48p. Raadpleegbaar via <http://www.mcrma.co.uk>.
- ³⁹ Fech Jet System. Geraadpleegd via <http://www.fech-benelux.nl/>
- ⁴⁰ Ersahin A. T. (2007). Invloed van koudebruggen op het K-peil bij bedrijfsgebouwen (scriptie). Master in de industriële wetenschappen: bouwkunde, Xios, Hasselt.
- ⁴¹ Steico I-Joist. Geraadpleegd via <http://www.eurabo.be>
- ⁴² VEA (2015). Studie naar kostenoptimale niveaus van de minimumeisen inzake energieprestaties van niet-residentiële gebouwen. 317p. Raadpleegbaar via <http://www.energiesparen.be>