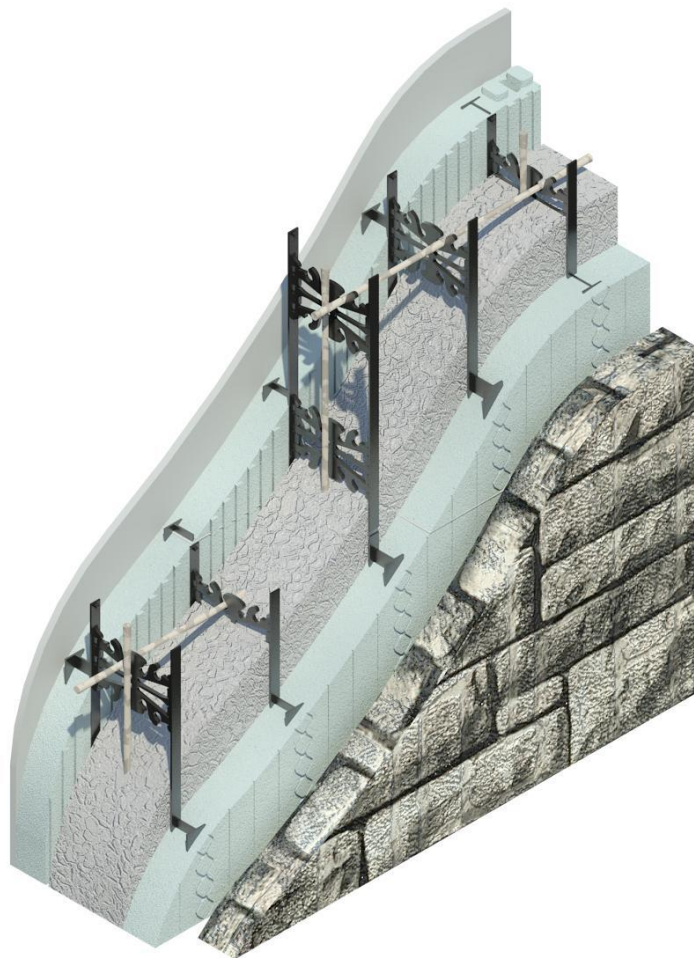


Verloren bekistingen met blijvende waarde

Hoe verloren geïsoleerde bekistingen functioneren in de Nederlandse bouwpraktijk



Wim van 't Land

2 juli 2012

Rapport Bachelor Eindwerk

Civiele Techniek TU Delft

De afbeelding op de voorpagina is afkomstig van nuduraicfs.co.uk.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	5
1 Inleiding	7
1.1 Achtergrond	7
1.2 Projectomschrijving.....	7
1.3 Aanpak.....	8
2 Bouwen met verloren geïsoleerde bekistingen	9
2.1 Historie	9
2.2 Huidige markt	10
2.3 ICF in Nederland	11
2.4 Productsamenstelling	12
2.5 Bouwfysica.....	13
2.6 Bouwtechniek.....	14
3 Bouwmethoden in Nederland.....	15
3.1 Stapelbouw	15
3.2 Gietbouw	17
3.3 Montagebouw prefab-beton	19
3.4 Houtskeletbouw	21
3.5 Verloren geïsoleerde bekistingssystemen.....	23
3.6 Vergelijking.....	25
4 Bouwfysica van wanden met geïsoleerde bekistingen	29
4.1 Thermische isolatie	29
4.2 Vochttransport.....	35
4.3 Geluidsweerstand	39
4.4 Brandwerendheid	40
5 Bouwtechniek	41
5.1 Constructie.....	41
5.2 Fundering.....	44
5.3 Vloeren	44
5.4 Dak	50
5.5 Muuropeningen: deuren en ramen	51
5.6 Binnenwanden	52
5.7 Afwerking.....	53
6 SWOT-analyse.....	57

6.1	Sterke punten	57
6.2	Zwakke punten	58
6.3	Kansen	58
6.4	Bedreigingen.....	59
7	Conclusies en aanbevelingen	61
	Bibliografie	62
	Bijlagen.....	66
	Bijlage 1: Interview ing. J.A. de Haan.....	66
	Bijlage 2: Interview ing. A. van Engelenhoven.....	68
	Bijlage 3: interview ir. R. Janssen	70
	Bijlage 4: rondleiding door dhr. C. van Oldenbarneveld.....	72
	Bijlage 5: bouwfysica berekeningen.....	77
	Bijlage 6: berekening fundering.....	88
	Bijlage 7: tekeningen voorbeeldproject	89
	Bijlage 8: tekeningen details	93

Voorwoord

De bachelor wordt afgesloten met een bachelor-eindwerk. Daarvoor ben ik op zoek gegaan naar een onderwerp. Natuurlijk had ik een standaard onderwerp kunnen kiezen van de door *Building Engineering* samengestelde lijst. Maar een eigen onderwerp uitzoeken leek me een bijzonder interessant alternatief. Toen ik bij ingenieursbureau IBT Veenendaal informeerde naar actuele onderwerpen waar wel wat onderzoek aan besteedt zou kunnen worden droegen zij mij onder andere *Insulated Concrete Forms* (ICF) als onderwerp aan. Het ICF-concept sprak mij bijzonder aan, innovaties in snel en duurzaam bouwen hebben volgens mij zeker toekomst.

Voor mijn bachelor-eindwerk was dhr. ir. H.R. Schipper eerste begeleider en mevr. Dr. Ir. S.A.A.M. Fennis tweede begeleider. Hen dank ik voor de goede, bruikbare adviezen en de begeleiding.

Wim van 't Land
studienummer 1504533

Rotterdam, 2 juli 2012

1 Inleiding

1.1 Achtergrond

e-Block is een modulair bouwsysteem dat in Canada op de markt wordt gebracht onder de naam Nudura. De e-Block bouwstenen zijn opgebouwd volgens de *Insulated Concrete Forms* (ICF) techniek. Deze techniek wordt in het buitenland al meer dan 30 jaar toegepast als alternatief voor traditionele bouw (e-Block, 2012). Eén e-Block is samengesteld uit twee isolerende lagen EPS die met stalen of kunststof afstandshouders aan elkaar verbonden zijn. De ‘stenen’ die hiermee gevormd worden kunnen als LEGO-stenen op elkaar gebouwd worden. De holle ruimte tussen de twee lagen wordt vervolgens gevuld met (gewapend) beton.



Figuur 1.1 e-Block T-blokken (bron: Nudura.com)

De dubbel geïsoleerde verloren bekisting heeft volgens de Nederlandse leverancier veel voordelen. Op de website van e-Block worden verschillende voordelen opgesomd (e-Block, 2012). Genoemd worden de beperking van warmtetransport door de wand en het geluidsisolerend vermogen. Ook flexibel bouwen komt voor in het rijtje. Dit moet bereikt worden dankzij de verschillende soorten en maten waarin de blokken geleverd kunnen worden. Die flexibiliteit zou ook terugkomen in de gevelafwerking, die kan op diverse wijzen uitgevoerd worden. In de brochure van e-Block worden houten bekleding, pleisterwerk, gevelpanelen en de in Nederland gebruikelijke gevelsteen genoemd (e-Block, sd, p. 17). Het isolerende vermogen maakt samen met de herbruikbaarheid van EPS de blokken tot een duurzaam product volgens de fabrikant.

1.2 Projectomschrijving

1.2.1 Probleemstelling

In Nederland wordt momenteel nog weinig gebouwd met ICF. Gezien de doorlopende aandacht voor duurzaam construeren is er echter wel een potentiële markt voor deze bouwsystemen als ze echt waar kunnen maken dat ze duurzamer zijn. Een ander groot voordeel van ICF zou de beloofde hoge bouwsnelheid kunnen zijn wat de aantrekkelijkheid alleen nog maar groter maakt.

Omdat er nog zo weinig praktijkervaring is met ICF is de drempel voor het ontwerpen met bijvoorbeeld e-Block extra hoog. Vragen over de bruikbaarheid binnen de grenzen die gesteld worden door de Nederlandse voorschriften moeten eerst beantwoord worden. Om deze vragen

te beantwoorden kan onderscheid gemaakt worden tussen bouwfysische en constructieve eisen. Het Bouwbesluit stelt eisen aan verschillende bouwfysische aspecten. De productdocumentatie is bijvoorbeeld lovend over de goede warmte-isolatie. Om na te gaan hoe terecht dit is kan de warmteweerstand onderzocht worden. Omdat ook de binnenkant van de wanden geïsoleerd is bestaat er risico op condensatie. Met berekeningen kan dit risico nagegaan worden. Wat constructieve eisen betreft is de Eurocode in Nederland een belangrijk gegeven. Omdat beton het constructiemateriaal is, kan de wand met geïsoleerde bekistingen vergeleken worden met gietbouw wanden. Het grote verschil is dan wel dat de bekisting achterblijft wat consequenties kan hebben voor de constructie.

1.2.2 Doelstelling

Binnen dit bachelor eindwerk zal worden onderzocht of het mogelijk is om ICF toe te passen in de Nederlandse bouwpraktijk. Om die vraag te beantwoorden zal naar die bouwpraktijk gekeken worden en zal geanalyseerd worden voor een deel van de geldende regelgeving wat de consequenties zijn voor verloren geïsoleerde bekistingen. Doel daarvan is om te bezien in hoeverre het systeem in staat is te functioneren naast traditionele bouwmethoden. Daarbij zal de focus vooral liggen op enkele bouwtechnische en bouwfysische voordelen die genoemd worden door leveranciers van ICF-systemen. Daarnaast moeten ook de randvoorwaarden van het product bekeken worden. Met het formuleren van een antwoord zal zich een gebied aftekenen waarin het mogelijk is om ICF toe te passen.

Voor dit eindwerk zal ten slotte in een casestudy ICF worden toegepast om ontwerpproblemen zichtbaar te maken. Daarbij moet duidelijk worden welke elementen bepalend zijn bij het maken van een ontwerp met een modulair bouwsysteem.

1.2.3 Afbakening

Om het onderzoek in te perken zal de focus vooral liggen op het hiervoor genoemde bouwsysteem van het Canadese Nudura. In Nederland wordt dit product op de markt gebracht onder de naam e-Block. De Nederlandse bouwpraktijk zal vooral benaderd worden met behulp van een literatuurstudie. Daarbij zal ingegaan worden op een aantal relevante onderdelen uit de Nederlandse bouwvoorschriften op het gebied van bouwfysica en bouwtechniek. Voor de toepassing van het systeem zal vooral gekeken worden naar laagbouw zoals woningen en kleine kantoren.

1.3 Aanpak

Het onderzoek wordt vormgegeven door een korte voorstudie waarbij literatuur verwerkt zal worden. Met deze voorstudie zal de huidige toepassing van ICF onderzocht worden en zullen de huidige bouwmethoden met elkaar vergeleken worden. Als tweede stap zullen bouwfysische en bouwtechnische aspecten van gekozen ICF-product e-Block onderzocht worden. Het bouwfysische functioneren wordt onderzocht door de wandopbouw met verschillende andere bouwmethoden te vergelijken. Het bouwtechnisch deel wordt onderzocht door middel van een casestudy. Bij dit ontwerpproces zal regelmatig een beargumenteerde keuze gemaakt moeten worden. Met dit tweede onderdeel van het eindwerk wordt duidelijk op welke manier e-Block toegepast kan worden in de Nederlandse context.

2 Bouwen met verloren geïsoleerde bekistingen

Verloren geïsoleerde bekistingen, de naam zegt het al, zijn geïsoleerde bekistingen die achterblijven na het storten van het beton. Eigenlijk is de bekisting helemaal opgebouwd uit twee lagen isolatiemateriaal. De ruimte tussen deze twee lagen wordt gevuld met beton en eventuele wapening. Er bestaan in deze categorie verschillende bekistingssystemen. Grofweg kan onderscheid gemaakt worden tussen systemen die werken met planken en systemen die werken met blokken. Verder is er verschil in de grondstof die gebruikt wordt voor fabricage. In de hierop volgende paragrafen zullen de achtergronden van het ICF-systeem aan de orde komen. Daarbij krijgen achtereenvolgens het ontstaan, de technische eigenschappen en de verschillende systemen de aandacht.

2.1 Historie

Waar de uitvinding van holle bouwblokken gelokaliseerd moet worden, wordt niet helemaal duidelijk bij het bestuderen van literatuur. VanderWerf *et al* (2006, p. 103) stellen dat de meeste waarnemers de eerste ontwikkeling van verloren geïsoleerde bekistingen aan Zwitserland toeschrijven. Kort na de Tweede Wereldoorlog brachten volgens hen twee uitvinders een hol bouwblok op de markt, gemaakt van bewerkte houtvezels en cement. Deze blokken konden gevuld worden met (gewapend) beton. Andere bronnen, zoals de website van ICFA UK (2012), stellen dat het systeem in Duitsland is bedacht. Daar zou het uitgevonden zijn in de zoektocht naar bouwmethoden tijdens de wederopbouw na de Tweede Wereldoorlog (Homebuilding & Renovating, sd). Ook al wordt het thuisland niet helemaal duidelijk, dat de bakermat in Europa ligt lijkt wel duidelijk.

Op basis van dat principe van holle bouwblokken ontwikkelden ook in Nederland verschillende merken hun eigen systemen. Na de Tweede Wereldoorlog werden tot 1971 bijna 34.000 woningen gebouwd met bouwblokken van MUWI en bijna 15.000 met het vergelijkbare systeem van Pronto (Loukopoulou, 2012, p. 42). Beide systemen kenmerkten zich door de holle betonblokken. Dankzij hun lage gewicht konden ze snel gestapeld worden. Dat gebeurde in principe in halfsteensverband zodat de verticale kanalen in de blokken nauwkeurig aansloten. Deze kanalen konden zo over de gehele hoogte gevuld worden met beton.



Figuur 2.1 MUWI systeem, lichte betonnen blokken die gevuld kunnen worden met beton (Loukopoulou, 2012, p. 43).

Het MUWI-systeem (Figuur 1.1Figuur 2.1) werd ontwikkeld door de Vlaardingse aannemer Muijs en De Winter N.V. De blokken die zij maakten waren van een handzaam formaat: 0,5m lang,

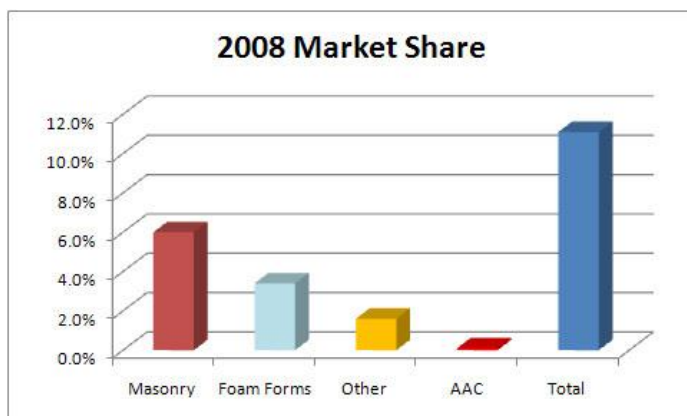
19,4cm hoog en 21cm breed. Het systeem was eigenlijk bedoeld voor laagbouw maar werd al snel toegepast voor hogere gebouwen. In hoog tempo kon met deze blokken het casco van een woning gebouwd worden, waarna de afwerking gestart kon worden met een vaak baksteen buitenschil (Loukopoulou, 2012, p. 44).

Rond de vijftiger jaren van de vorige eeuw ontwikkelde de chemische industrie verschillende kunststof schuimen. Deze werden ook toegepast in de bouw. Dit bracht een Canadese fabrikant op het idee om het Europese concept van de bouwblokken uit te voeren in schuim. Eind jaren zestig bracht hij dit product op de markt. Vanaf 1980 ontwikkelde dit concept zich toen verschillende fabrikanten, voornamelijk in Noord-Amerika, hun eigen varianten op de blokken gingen produceren.

De markt voor de Amerikaanse *Insulated Concrete Forms* groeide snel wat er toe leidde dat in 1995 de Insulating Concrete Form Association (ICFA) werd opgericht. Naar eigen zeggen zijn zij sindsdien “the voice of the ICF industry” (ICFA (US), sd). Samen met de eveneens Amerikaanse Portland Cement Association (PCA) initiëren zij systematisch onderzoek naar geïsoleerde bekistingen.

2.2 Huidige markt

De grootste markt voor geïsoleerde bekistingen bevindt zich momenteel in Noord-Amerika. Traditioneel wordt daar erg veel in hout gebouwd. Maar, betonnen constructies zijn al jaren aan een opmars bezig. Uit cijfers van PCA blijkt dat het aantal woningen met een bovenbouw uitgevoerd in beton in ruim 10 jaar met ongeveer 8% is gestegen, van 3% naar 11,1% in 2008 (PCA, 2008).

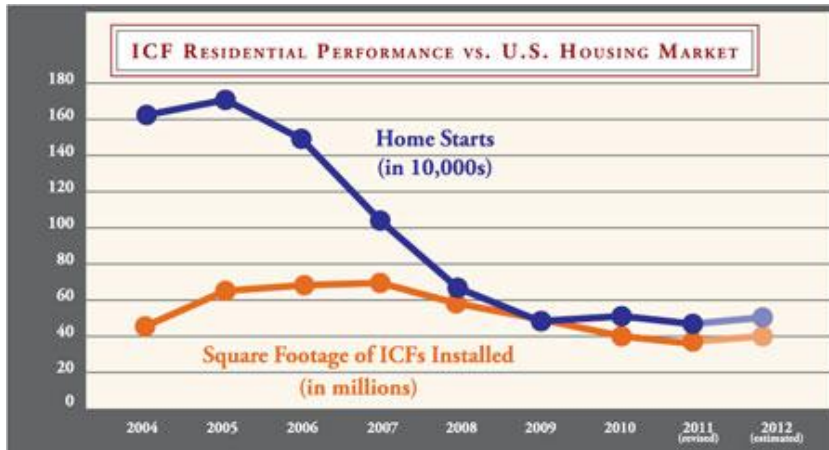


Figuur 2.2 Aandeel van betonsystemen in de nieuwbouw van woningen in de VS (PCA, 2008). V.l.n.r.: betonsteen metselwerk, ICF, overige (zoals prefab), gasbeton en totaal.

Bouwmethoden met geïsoleerde bekistingen leveren daarbinnen een kleine 3%. De verdeling wordt in Figuur 2.2 weergegeven. Op de 650.000 nieuwbouwwoningen in de Verenigde Staten in 2008 (ICF Builder Magazine, 2008) is dit alsnog een aandeel van bijna 20.000 nieuwbouwwoningen per jaar. In de drie jaren daarvoor werden zelfs nog meer woningen met geïsoleerde bekistingen gebouwd. Door de crisis is dit aantal afgenomen. Figuur 2.3 laat zien dat in vergelijking met de enorme teruggang in de Amerikaanse woningbouwmarkt de geïsoleerde

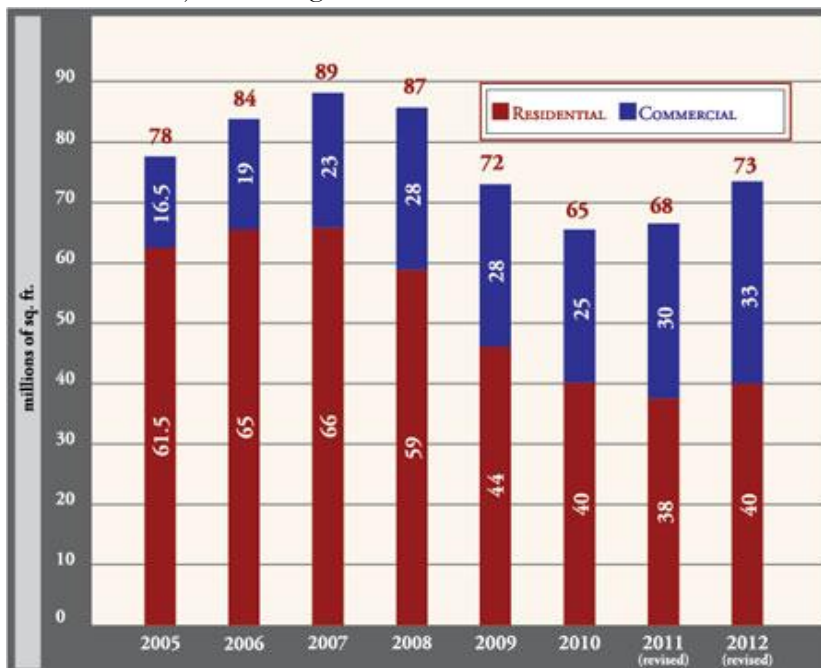
Verloren bekistingen met blijvende waarde

bekistingen het er nog aardig vanaf brengen.



Figuur 2.3 Prestatie geïsoleerde bekistingen in de woningbouw op de VS woningmarkt (ICF Builder Magazine, 2011).

In deze markt van geïsoleerde bekistingen neemt woningbouw nog steeds het grootste aandeel in beslag. Vooral voor grote luxe woningen blijkt het systeem in trek hoewel dit wel verschuift naar de normale woningen, het midden van de markt (VanderWerf, et al., 2006, p. 105). Het aandeel van geïsoleerde bekistingen verschuift niet alleen naar de kleinere bouw, ook de utiliteitsbouw raakt meer geïnteresseerd. Was de verdeling in 2004 nog ongeveer 70% *single-family homes* tegen 30% *commercial and multi-family buildings*, Figuur 2.4 laat zien dat de oppervlakteaandelen aan het verschuiven zijn naar ongeveer half-om-half.



Figuur 2.4 Oppervlaktes van woningbouw en utiliteitsbouw met geïsoleerde bekistingen in de V.S. (ICF Builder Magazine, 2011)

2.3 ICF in Nederland

In Nederland is op een enkel project na nog nauwelijks ervaring met het toepassen van geïsoleerde wandbekistingen. Geïsoleerde bekistingen kennen we echter wel in de bouw van funderingen en van vloeren.

Het VOBN, de brancheorganisatie van de betonmortelindustrie, ziet een grote toename in de toepassing van geïsoleerde funderingsbekistingen in de woningbouw (GietbouwNieuws, 2010). Niet alleen het verwerkingsgemak van EPS-bekistingen wordt geroemd, het terugbrengen van koudebruggen maakt het toepassen van de bekistingen bijna noodzakelijk. Op een markt waar steeds strengere eisen worden gesteld aan de energieprestaties van woningen wint een geïsoleerde bekisting het al snel van een traditionele bekisting.

Ook vloerbekistingen worden meer dan eens uitgewerkt in EPS. Voorbeeld daarvan is een combinatievloer als de zogenaamde balken-broodjesvloer. Dit vloertype wordt in hoofdstuk 5.3 behandeld. Daar komt ook de OP-deck vloer aan de orde, eveneens een geïsoleerde bekisting voor vloeren.

2.4 Productsamenstelling

De geïsoleerde bekistingen voor wanden bestaan uit twee lagen isolatie die met dwarsverbindingen op een regelmatige afstand van elkaar worden gehouden. Het product is in twee hoofdcategorieën in te delen, blokken en planken.

De blokken (figuur 2.4) worden bestaan uit twee isolatielagen die al bij de productie onderling verbonden worden door middel van dwarsverbindingen. Zo ontstaan losse blokken die stapelbaar zijn. De dwarsverbindingen in deze blokken zijn vaak gemaakt van een lichte staalsoort of van kunststof.

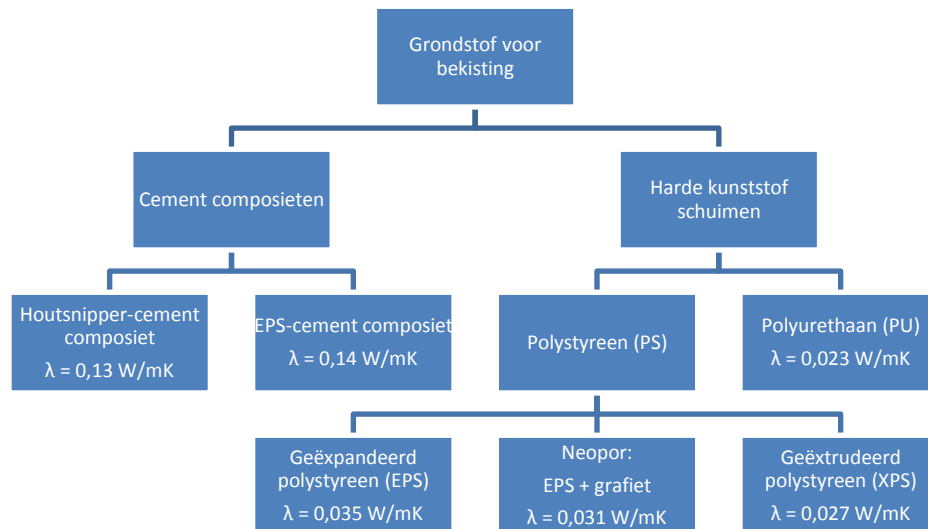


Figuur 2.4 Bouw geïsoleerde bekisting met blokken.
Bron: Ohioconcretehomes.com



Figuur 2.5 Bouw geïsoleerde bekisting met planken.
Bron: Quad-Lock.com.

De planken (figuur 2.5) worden los van de dwarsverbindingen geleverd. Deze planken zijn ook stapelbaar maar hier moet bij het bouwen steeds een dwarsverbinding op de planken geplaatst worden. Eigenlijk worden de planken parallel van elkaar geplaatst en vervolgens gefixeerd met een dwarsverbinding die meestal van kunststof of staal gemaakt is. Dit kunnen enkele dwarsverbindingen zijn, vergelijkbaar met die in de blokken. Het kunnen ook lange rails zijn die de dwarsverbinding verzorgen.



Figuur 2.6 Grondstoffen voor ICF-systemen.

De bekistingen zijn meestal gemaakt van geëxpandeerd polystyreen (EPS). Soms komen ook mengsels van cement met een schuim of van cement met houtvezels (bijvoorbeeld Durisol ICF) voor. Ook het duurder geëxtrudeerd polystyreen (XPS) wordt wel toegepast. De lagere warmtegeleidingscoëfficiënt zou XPS populairder kunnen maken naarmate de isolatie-eisen hoger worden. Datzelfde geldt voor een nieuwe ontwikkeling van de EPS-uitvinder BASF. Onder de naam Neopor produceren zij een schuim dat beter isoleert dan het gewone EPS, de warmtegeleidingscoëfficiënt van Neopor is met $0,004 \text{ W/mK}$ ongeveer 11% lager dan van EPS.

Om snel te kunnen bouwen worden de bouwblokken vaak in verschillende formaten en vormen door de fabrikant geleverd. De vormen variëren van rechte hoeken tot meer rondlopende bekistingen. Met de grote collectie aan vormen faciliteert de leverancier de ontwerper, die heeft een grotere flexibiliteit om zijn ontwerp te maken. De verschillende vormen sluiten op elkaar aan. Open uiteinden van de bekisting kunnen afgesloten worden met standaardhulpmiddelen van de fabrikant of met houten planken.

2.5 Bouwfysica

De luchtdichtheid van gebouwen met geïsoleerde bekistingen is hoog. Dit wordt bereikt doordat de wanden uit meerdere lagen bestaan die elk op zichzelf al luchtdicht zijn. Het beton wordt als monoliete constructie gestort waardoor er geen kieren ontstaan. De blokken van EPS zullen evenmin kieren vertonen. Door de stapelmethode sluit het EPS nauwkeurig aan. Dit is ook wel nodig omdat het risico op een lek tijdens het storten van het beton anders groot is. Alleen de aansluitingen bij vloeren en bij kozijnen kunnen nog ernstige lekken vertonen. In het hoofdstuk over bouwtechniek wordt meer aandacht besteed aan de detaillering van deze aansluitingen.

In de gesprekken met de mensen uit de praktijk bleek werd de stellingname van e-Block dat hun blokken dankzij hun hoge Rc-waarde duurzaam zijn besproken. Bij de architect en constructeur riep dat nogal wat vragen op omdat de grondstof voor e-Block EPS is. Uit de praktijk weten zij dat polystyreenschuim wat isolatie betreft vaak minder presteert dan verschillende nieuwe isolatiesystemen. Als ze dan ook nog eens gebonden zijn aan vaste afmetingen van het isolatiepakket kan er niet makkelijk gekozen worden voor een hogere isolatiewaarden. In het

volgende hoofdstuk zullen daarom de Rc-waarden van EPS met andere isolatiematerialen vergeleken worden. Daarbij is de dikte van het pakket een punt van aandacht.

Omdat het systeem de betonnen wand aan beide zijden isoleert kwamen ook de vragen naar damptransport en warmteaccumulatie boven. In het volgende hoofdstuk wordt bekeken hoe het vochttransport plaatsvindt en hoe het systeem wat warmteaccumulatie betreft presteert.

2.6 Bouwtechniek

In de holle wandblokken wordt beton gestort. Voorschriften stellen eisen aan het beton. Betonkwaliteit en wapeningspercentage zijn belangrijke kenmerken van een betonnen wand. De doorsnede van de constructie zal dan ook in het hoofdstuk over bouwtechniek aan de orde komen. Daar wordt nagegaan welke eisen de Eurocode stelt aan wapening en wanddikte.

Van de verschillende veel toegepaste bouwmethoden zijn diverse standaarddetails beschikbaar, bijvoorbeeld voor wand-vloer aansluitingen en voor deur- en wandsystemen. Geïsoleerde bekistingen zullen op de markt meer kans maken als ze te combineren zijn met de systemen die in Nederland gebruikelijk zijn voor funderingen, wanden en vloeren. Uit de gesprekken met de mensen uit de praktijk (zie Bijlagen) blijkt dat aan deze details wel behoefte is.

Uit de interviews kwam ook de behoorlijk basale vraag aan de orde hoe zware systemen opgehangen kunnen worden aan de wand. Keukenkastjes of boekenplanken blijven niet zomaar aan gipskarton hangen. De aannemer gaf aan dat een isolatielaag van 5 à 6cm eigenlijk al te dik is om goed een gat te kunnen boren in de betonnen schil. Alleen voor een professionele bouwvakker is dit haalbaar. Voor de afwerking van geïsoleerde bekistingen is dit een interessante vraag die aan de orde zal komen in het hoofdstuk over bouwtechniek.

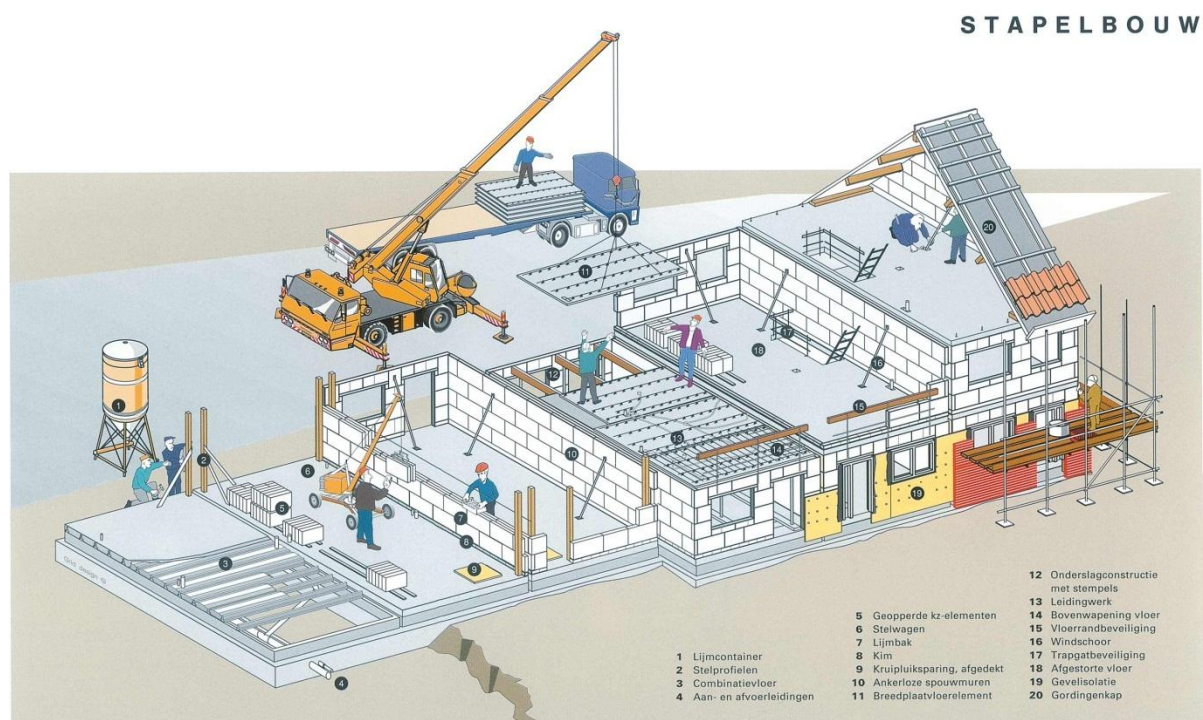
3 Bouwmethoden in Nederland

In Nederland zijn er op dit moment een aantal bouwmethoden met een groot marktaandeel. Een nieuw systeem zal hiertussen zijn plaats moeten vinden. Daarom is het interessant om na te gaan van welke bouwsystemen het geïsoleerde bekistingssysteem het meest te duchten heeft.

Achtereenvolgens zullen in dit hoofdstuk stapelbouw, gietbouw en montagebouw met prefabbeton behandeld worden. ICF-systemen zullen in eerste instantie de concurrentie aangaan met deze drie 'betonmethoden'. Een vierde in Nederland belangrijke bouwmethode is houtskeletbouw. Aan deze vorm van montagebouw zal ten slotte kort aandacht geschonken worden omdat de binnenwandafwerking bij houtskeletbouw ook toepassingsmogelijkheden biedt voor de bouw met geïsoleerde bekistingssystemen.

3.1 Stapelbouw

Stapelbouw is een veel toegepaste bouwmethode voor zowel onder- als bovenbouw in de markt van woningbouw en laagbouw (VanderWerf, et al., 2006, p. 89). De naam zegt het al, bij stapelbouw worden elementen gestapeld. Bij kleine elementen gebeurt dit meestal gewoon met de hand, bij grotere elementen wordt hijsmateriaal ingezet.



Figuur 3.1 Stapelbouw in beeld gebracht (ThiemeMeulenhoff, sd).

3.1.1 Toegepast materiaal

De materialen die het meest gebruikt worden kunnen volgens Boom *et al.* (2005, p. 80) opgedeeld worden in twee groepen:

1. Gebakken product;
2. Niet-gebakken product.

Gebakken of keramische producten, de eerstgenoemde categorie, worden vervaardigd uit klei. Deze bakstenen kunnen gestapeld worden waarbij de verbinding tussen de stenen wordt verzorgd door metselmortel of door lijm. Vaak worden de stenen in Nederland gebruikt voor de buitenafwerking van een gevel. De bekende kleine stenen hebben standaardafmetingen van 210mm lang, 100mm breed en tussen de 40 en 65mm hoog (Spierings, et al., 2004, p. 57).

In de tweede categorie van niet gebakken stenen wordt onderscheid gemaakt tussen cellenbeton, betonsteen en kalkzandsteen (Boom, et al., 2005, p. 81). Ook deze stenen kunnen meestal met lijm of metselmortel op elkaar bevestigd worden. In beide categorieën, gebakken en niet-gebakken producten, is het toevoegen van wapening mogelijk als dat om constructieve redenen noodzakelijk zou zijn.

Cellenbeton is hier een product van zand, kalk, water en aluminiumpoeder. De afmetingen waarin cellenbeton geleverd kan worden zijn groot. Zo is het bijvoorbeeld mogelijk om verdiepingshoge elementen te gebruiken. Blokken van cellenbeton kunnen gemetseld of verlijmd worden. De blokken zijn verkrijgbaar in afmetingen van 300 bij 250mm (lengte bij hoogte) tot 600 bij 500mm. De diktes variëren van 50 tot 300mm. Cellenbeton wordt ook wel in panelen van 2,5 tot 3m lang geleverd voor de toepassing in dragende wanden. De dikte varieert dan van 150 tot 400mm en de hoogte kan verschillen van 300 tot 750mm.

Betonsteen wordt gemaakt uit de bekende betongrondstoffen: zand, grind, eventuele toeslagstoffen, cement en water. Een pers drukt dit mengsel in de juiste vorm. De blokken of stenen kunnen gemetseld of met lijm op elkaar bevestigd worden. De formaten van betonsteen wisselen per toepassing (Spierings, et al., 2004, p. 63). Gevelstenen, voor de buitenafwerking van een casco, zijn verkrijgbaar in formaten die vergelijkbaar zijn met die van baksteen. De diktes variëren hier van 100 tot 150mm. Voor de dragende binnenwanden zijn de formaten groter. In deze toepassing variëren de diktes van 100 tot 200mm en zijn lengtes verkrijgbaar van 290 tot 434mm. De hoogte is vaak rond de 200mm.

Kalkzandsteen is een samenstelling van zand, ongebluste kalk en water. Nog voor het mengsel in de vormpersen terecht komt wordt de ongebluste kalk geblust. Kalkzandsteenproducten worden gecategoriseerd op kwaliteit. De vier categorieën hierin zijn (1) normaal, (2) klinker, (3) gevel en (4) hogedruk, met een gemiddelde druksterkte van respectievelijk 15 N/mm^2 , 25 N/mm^2 , 30 N/mm^2 en 35 N/mm^2 . Normaal gesproken worden de kalkzandsteenelementen verlijmd. De formaten van kalkzandsteenblokken lopen nog verder uiteen dan die van betonsteen. De maten zoals die bij betonsteen genoemd zijn, zijn ook te verkrijgen in kalkzandsteen en zullen hier niet afzonderlijk opgesomd worden. Wel is het interessant om de afmetingen van de grootste kalkzandsteenblokken te noemen. Met een variatie in diktes tussen de 100 en 300mm worden stenen geleverd die allemaal 897mm lang zijn en 598mm hoog. Deze stenen zullen vaak niet met de hand geplaatst worden, daarover in de volgende alinea's meer.

3.1.2 Bouw casco

De bouwstenen die gebruikt worden hebben standaardafmetingen. Bij grote blokken is het handig om al in de ontwerpfasen rekening te houden met deze afmetingen. Zowel de maatvoering van wanden als de locatie en vorm van sparingen kan dan geoptimaliseerd worden. Leveranciers kunnen op basis van het ontwerp op maat gemaakte blokken aanleveren. Dankzij de

geautomatiseerde processen kunnen deze elementen handig gesorteerd aangeleverd worden. Met een bijgeleverde tekening wordt duidelijk gemaakt waar de blokken geplaatst moeten worden.

Het plaatsen van de blokken kan op drie verschillende manieren gebeuren, afhankelijk van de massa van de bouwblokken (Boom, et al., 2005, p. 88). In de laagbouw worden meestal blokken toegepast die een dikte hebben van 100mm tot 150mm. Tot ongeveer 25kg per blok is handmatig transport mogelijk. Het metselen van buitenspouwbladen gebeurt dan ook vaak met de hand. Blokken tot 750 kg worden op hun plaats gezet door middel van mechanisch transport. De bouwer heeft in dit geval een mechanisch hulpmiddel om constructie-elementen op te pakken en te plaatsen. Als de bouwelementen nog zwaarder wegen dan 750kg is de inzet van een bouwkraan verdedigbaar. Vaak is een bouwkraan nodig voor het hijsen van vloerelementen.

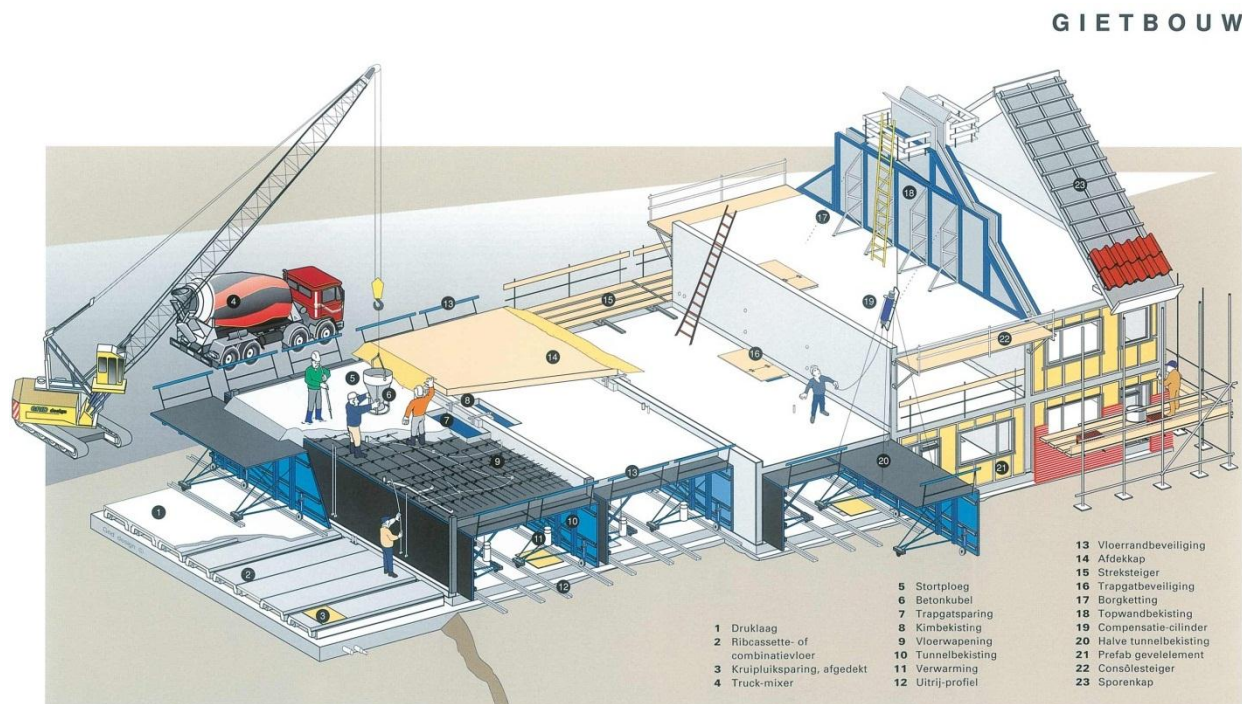
3.1.3 Afwerking

Een stapelbouw binnenspouwblad hoeft niet afgewerkt te worden. Om esthetische redenen zal hiervoor in veel gevallen wel gekozen worden. Aan de binnenzijde zal er in de praktijk vaak een pleisterlaag aangebracht worden om de muur “behangklaar” af te werken. Het hangt van de gebruikte bouwblokken af hoe dik deze laag is.

Aan de buitenzijde zal in Nederland vaak een baksteenafwerking gekozen worden. Dit buitenspouwblad wordt van het binnenspouwblad gescheiden door een luchtpouw en een isolatielaag.

3.2 Gietbouw

Gietbouw wordt veel toegepast in de grotere bouwprojecten maar is eveneens geschikt voor wat kleinere projecten. In een vooraf op de bouwplaats opgestelde bekisting wordt beton gestort, al dan niet met wapening. Met deze methode kunnen zowel vloeren als wanden gebouwd worden.



Figuur 3.2 Gietbouw in beeld gebracht (ThiemeMeulenhoff, sd).

3.2.1 Toegepast materiaal

Over de materialen die bij gietbouw gebruikt worden kunnen we kort zijn. Zowel wanden als vloeren worden samengesteld uit beton. Er zijn verschillende betonkwaliteiten op de markt die hiervoor gebruikt kunnen worden. Afhankelijk van de constructie en gebouwfunctie wordt door de constructeur een betonkwaliteit gekozen. In toenemende mate wordt ook gebruik gemaakt van zelfverdichtend beton. Dit heeft positieve gevolgen voor de bouwsnelheid. Het beton hoeft niet meer verdicht te worden met trilnaalden.

Meestal zal het beton gewapend moeten worden. De constructeur berekent hoeveel wapeningstaal toegepast moet worden. In de gietbouw kan dit variëren van 25kg staal tot 100kg staal per kubieke meter beton, waarbij aangetekend moet worden dat in laagbouw vaak ongewapende wanden worden toegepast (Boom, et al., 2005, p. 105).

3.2.2 Benodigd materieel

Op de bouwplaats is veel materieel nodig bij gietbouw. Jellema 8 (2005, p. 105) maakt grofweg een tweedeling in het benodigde materieel: bekistingsmaterieel en transportmaterieel.

Bij gietbouw is de bekisting erg belangrijk voor het eindresultaat. Voor de bekisting bestaan verschillende systemen. Basaal gezien is een bekisting een systeem met twee panelen van hout, metaal, beton of EPS waartussen het beton gestort kan worden. Deze bekisting kan met bijvoorbeeld houten planken plank voor plank opgebouwd worden, maar er bestaan ook complete systemen waarmee het installeren van de bekisting versneld wordt.

Voor het aanvoeren van bekistingselementen en beton is divers transportmaterieel nodig. Denk allereerst aan een bouwkraan voor het aanvoeren van bekistingsdelen en voor het hijsen van de kubel. Als het beton niet met een kubel gestort wordt maar door middel van een pomp wordt aangebracht dan is natuurlijk deze pomp nodig. Zeker op kleine bouwprojecten kan dat een forse kostenbesparing opleveren. Die bouwplaatsen hebben niet vaak zwaar bekistingsmateriaal nodig waardoor een bouwkraan dus achterwege kan blijven.

In de winter kan ook een verwarmingsinstallatie nodig zijn. Warmer beton verhardt sneller. In de winter is het beschermen van vers en jong beton vaak noodzakelijk om een voldoende betonkwaliteit te kunnen garanderen. Bij enige nachtvorst en overdag een temperatuur tot 4° Celsius (weerfase 3) is al verwarmd beton of een vergelijkbare maatregel nodig (Cement & Betoncentrum, sd).

3.2.3 Bouw casco

Het bouwen van een gietbouwcasco begint met het aanvoeren en plaatsen van de constructiedelen die de bekisting moeten vormen. Na het stellen van de bekisting kan de benodigde wapening aangebracht worden in de bekisting. Als dat nodig is kunnen ook sparringen in de bekisting gemaakt worden. Ook leidingen kunnen nu al in de bekisting ingebracht worden zodat deze in het beton gestort kunnen worden. Dit bespaart veel freeswerk.

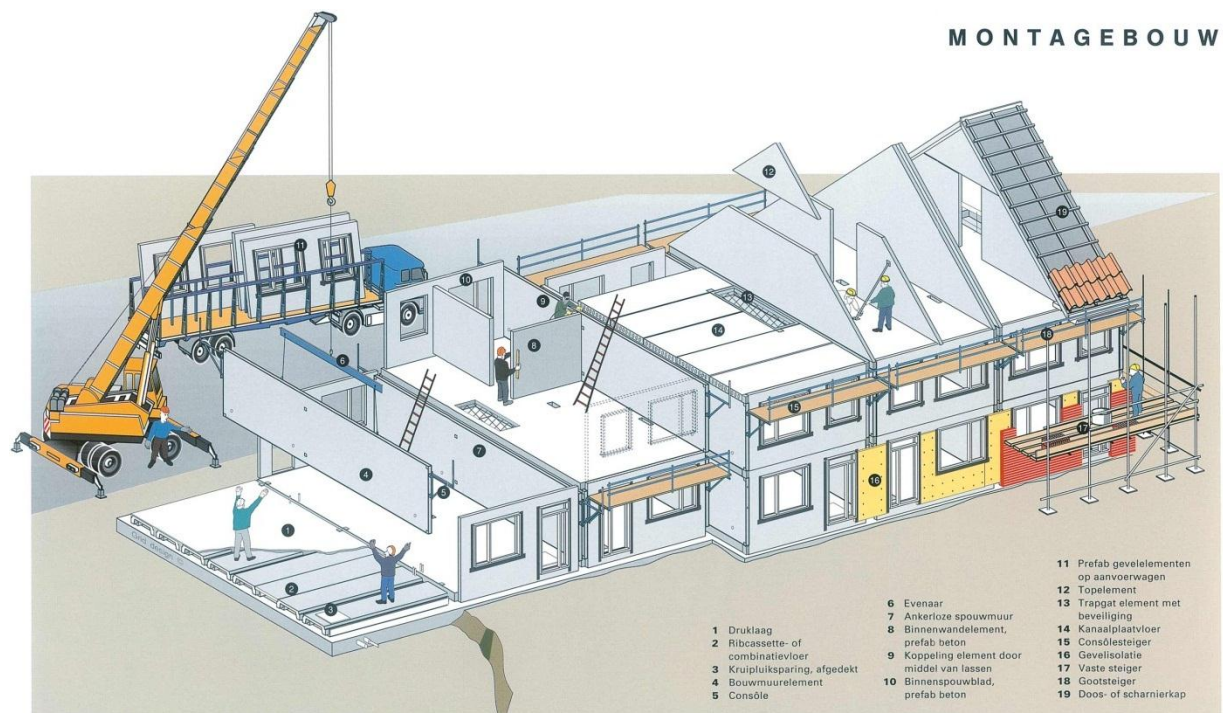
Als al deze voorzieningen aangebracht zijn kan begonnen worden met het storten van beton. Met een kubel of een betonpomp kan het beton aangebracht worden. Belangrijk is wel dat het beton niet van al te grote hoogte valt om ontmenging te voorkomen. Na het storten moet het beton verdicht worden met een trilnaald.

3.2.4 Afwerking

Net zo min als in de stapelbouw hoeft een wand van beton in de gietbouw niet afgewerkt te worden. Ook hier geldt echter dat er vaak gekozen zal worden voor een afwerking die het beton uit het zicht haalt. Afhankelijk van de bekisting zal meer of minder inspanning nodig zijn om de oppervlakte van de wand glad af te werken. Aan de buitenzijde van een gevel zal vaak na een isolatielaag en een luchtsponw een afwerking met metselwerk te vinden zijn.

3.3 Montagebouw prefab-beton

Veel betonnen elementen worden geprefabriceerd om gebruikt te worden in stapel- of gietbouwprojecten. Maar daarnaast is het ook mogelijk om een heel casco in prefab-beton geleverd te krijgen. De mogelijkheden zijn groot. Funderingen, wanden, vloeren en balken kunnen prefab geleverd worden.



Figuur 3.3 Montagebouw prefab-beton in beeld (ThiemeMeulenhoff, sd).

3.3.1 Toegepast materiaal

Uiteraard is de belangrijkste component van prefab-beton het beton zelf. De productie van het beton vindt plaats in dezelfde fabriek als waar ook de elementen gemaakt worden. Hierdoor is het mogelijk hoogwaardige betonnen elementen te fabriceren. Bovendien is men minder afhankelijk van weersomstandigheden zoals vorst.

Voor prefab-elementenbouw kunnen verschillende betonsoorten gebruikt worden. Heembeton, een bekende fabrikant van prefab-beton, levert systemen in maatbeton en lichtbeton (Heembeton, 2010). De grondstof die voor de Maatbetonelementen gebruikt wordt is een zelfverdichtende betonsoort met een normale dichtheid van 2400 kg/m^3 (Heembeton, 2010). De lichtbetonnen elementen worden geproduceerd met hoogwaardige geëxpandeerde klei als toeslagmateriaal volgens Heembeton (2010). Volgens de fabrikant levert dit verscheidene voordelen zoals een hogere isolatiewaarde, een lager gewicht en meer mogelijkheden om het beton te bewerken. Boren en frezen moet bijvoorbeeld makkelijker zijn in Lichtbetonelementen.

Jellema noemt ook nadelen als geringe sterkte, beperkte aanhechtingsterkte betonstaal en minder inzetbare massa voor beperking geluidsoverdracht (2005).

Ook prefab beton kan niet zonder wapening. Misschien is het wel beter om te zeggen dat juist prefab beton niet zonder wapening kan. Dit wordt ingegeven door de noodzakelijke transportbewegingen van prefab-elementen. Een kraan moet de elementen op een vrachtwagen kunnen tillen en een andere kraan moet de elementen weer van de vrachtwagen naar de bouwplaats hijsen. De betonnen elementen worden daarom gewapend op de belastingen die daarbij optreden. Daarnaast is het ook goed om na te denken over bevestigingspunten voor het hijsen van de elementen. Prefabbetonnen wanden kunnen dus niet zonder wapening worden toegepast vanwege de transporteerbaarheid.

3.3.2 Toegepast materieel

De betonnen elementen worden in een fabriek gemaakt. Op deze manier is ook serieproductie van gelijke elementen mogelijk. Rijtjeswoningen kunnen bijvoorbeeld met een beperkt aantal bekistingen geprefabriceerd worden. Raam- en deuropeningen worden vrijwel altijd gewoon ingestort. Hierover hebben de ontwerpende partijen natuurlijk contact met de fabrikant.

Bij prefab-elementen kunnen leidingen al ingestort worden in de fabriek. Hoewel dit meer energie in de ontwerpfase vraagt bespaart het de bouwer op de bouwplaats erg veel freeswerk. Worden leidingen niet ingestort dan is er op de bouwplaats dus vaak veel tijd en een frees nodig om alsnog de benodigde leidingen en elektra aan te brengen. In lichtbetonnen wanden gaat dat makkelijker dan een normale betonnen wanden.

Op de bouwplaats zelf is een bouwkraan nodig om elementen op hun juiste plaatsen te hijsen. Daar kunnen deze door een bouwvakker gemonteerd worden.

3.3.3 Bouw casco

Een casco van prefab-elementen in normaal beton wordt geleverd door bijvoorbeeld de eerder genoemde fabrikant Heembeton onder de merknaam Maatbeton. Deze systemen zijn financieel aantrekkelijk bij een wat groter seriebouwproject in middelgrote projecten (2005). De betonnen elementen moeten gekoppeld worden om een stabiel geheel te verkrijgen. Wanden en vloeren worden daarom bij de productie voorzien van stalen verbindingsmiddelen. Deze hulpmiddelen kunnen bij montage in het werk aan elkaar gelast worden.

Lichtbetonnen systemen worden eveneens door verschillende fabrikanten geleverd. Het lichte beton is makkelijker te bewerken met boren, frezen en zelfs met spijkers. Bij onafhankelijk gerealiseerde bouwprojecten is lichtbeton een interessante optie om dit makkelijk bewerkbaar is. Voor een enkele woning zijn de kosten voor het ontwerp in prefabbeton hoger, in het bijzonder voor het ontwerp van de voorzieningen die ingestort moeten worden. Samen met de beperkte flexibiliteit van normaal beton maakt dit de keuze voor lichtbeton logischer bij een kleiner bouwproject (Janssen, 2012). Leidingen en elektra kunnen achteraf gefreesd worden.

De elementen van prefabbeton worden veelal met hijskranen op de bouwplaats naar de juiste plaats getild. Daar worden de wanden aan elkaar gemonteerd door middel van een lijmvoeg met ankers. Een zogenaamde spanverankering die al is ingestort maakt deze verbinding mogelijk.

Omdat de bouwkraan het zware werk doet zijn de arbeidsomstandigheden in de bouw met prefabbeton goed te noemen in vergelijking met andere bouwmethoden.

Vooraf in de appartementenbouw zien we ook complete gevelsystemen die prefab geleverd worden (2005). In wanden en vloeren zijn dan vaak al alle gewenste voorzieningen en leidingen aangebracht. Omdat alle elementen in hetzelfde systeem geleverd worden kunnen ook de constructieve aansluitingen geprefabriceerd worden. Vaak zijn deze stekverbindingen vormgegeven als doken, ingedraaid in ingestorte ankers, waarover de gains worden gemonteerd. De verbinding wordt na montage aangegoten met krimparme mortel.

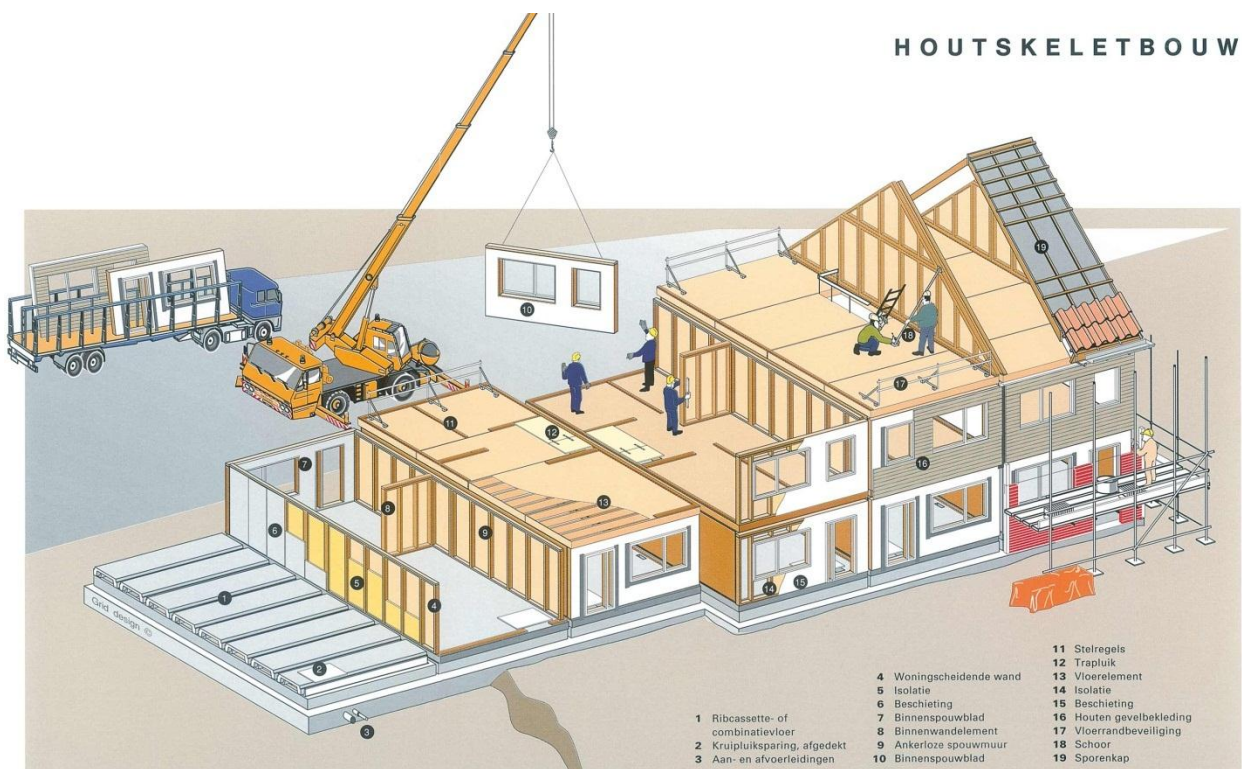
Kenmerkend voor dit prefabsysteem is dat de luchtsouw afwezig is. De spouw is gevuld met een polystyreenisolatie. Dit is zeker in het kader van vorstgevoeligheid iets om rekening mee te houden. Bij onvoldoende ventilatie droogt een poreuze buitenschil minder snel. Bij vorst is er dan kans op beschadiging.

3.3.4 Afwerking

De kwaliteit van prefabbeton-elementen is vaak erg hoog. Vaak zal geen extra afwerkingslaag nodig zijn om een wand “behangklaar” te krijgen. Aan de buitenkant geldt ook nu weer dat er vaak een metselwerk schil toegepast zal worden, geheel ingegeven door de Nederlandse bouwtraditie.

3.4 Houtskeletbouw

Houtskeletbouw is niet echt een Nederlandse methode van bouwen. We zijn gewend aan het gebruik van steen en beton. Natuurlijk bouwden we wel met hout, maar vaak bleef dat beperkt tot de vloer- en dakconstructie. Zeker in de Scandinavische landen en Noord-Amerika is erg veel ervaring met houtskeletbouw (Boom, et al., 2005, p. 187). Sinds enige decennia doet houtskeletbouw echter ook mee op onze markt van de cascobouw.



Figuur 3.4 Houtskeletbouw in beeld (ThiemeMeulenhoff, sd).

3.4.1 Toegepast materiaal

De houtconstructie in een houtskeletbouwproject wordt opgezet uit houten balken, regels en stijlen. Om het geheel verder af te werken zijn verschillende materialen verkrijgbaar. Jellema deelt ze op in vijf hoofdcategorieën (2005, p. 190):

1. Houtachtige plaatsmaterialen;
2. Gipskartonplaten;
3. Isolatiematerialen;
4. Verbindingsmiddelen;
5. Voegdichtingen.

Houtachtige plaatmaterialen

Houtachtige plaatmaterialen kunnen ingezet worden om vloeren of wanden te maken. De materialen zijn verkrijgbaar in verschillende kwaliteiten en stijfheden. Voor verschillende toepassingsgebieden zijn dan ook plaatmaterialen verkrijgbaar. In de houtskeletbouw wordt gebruik gemaakt van triplex, spaanplaat, hardboard, zachtboard en OSB.

Gipskartonplaten

Voor de binnenbekleding wordt vaak gebruikt gemaakt van gipskartonplaten, in de volksmond meestal gewoon gipsplaten. De naam zegt al wat de hoofdbestanddelen zijn: gips en karton. Om de eigenschappen van de platen te verbeteren kunnen ook glasvezels en siliconen toegevoegd worden.

De verschillen met houtachtige plaatmaterialen zijn groot. De gipsplaten hebben verschillende voordelen. Zo zijn ze ongevoeliger voor schimmelaantasting en hebben een grotere vochtbestendigheid dan plaatmaterialen van hout. Bovendien zetten ze nauwelijks uit en zijn ze zeer brandwerend. Nadeel ten opzichte van hout is dan wel weer dat de sterkte-eigenschappen wat minder gunstig zijn. Zeker niet alle verbindingsmiddelen zijn goed in te zetten in combinatie met gipsplaat. Om zware elementen op te kunnen hangen aan gipsplaat kan het soms nodig zijn dat vezelversterkte gipsplaten toegepast worden.

Isolatiematerialen

Omdat het isolatiemateriaal wordt toegepast tussen houten constructiedelen moet het aan verschillende eisen voldoen. Hout is gevoelig voor vocht en biologische aantasting. Het isolatiemateriaal mag dus geen vocht aantrekken, moet waterafstotend zijn en mag ook geen kansen bieden aan ongedierte en schimmels.

Minerale wol voldoet aan de criteria die worden gesteld aan het isolatiemateriaal in de houtskeletbouw. Behalve de gunstige akoestische en thermische isolerende eigenschappen heeft de isolatiewol ook goede brandwerende eigenschappen (2005, pp. 190-191).

Verbindingsmiddelen

Voor de houtskeletbouw is er een scala aan verschillende verbindingsmiddelen. Meestal zijn deze verbindingsmiddelen van een metaalsoort. Verzinkt staal, aluminium en roestvast staal zijn hier voorbeelden van. De keuze voor de metaalsoort hangt onder andere af van de agressiviteit van aanwezige inhoudsstoffen in het te gebruiken hout. Een andere factor van belang is de blootstelling aan buiten- of spouwvlucht.

Voegdichtingen

Naden en openingen komen veel voor in de houtskeletbouw, dat zit in de aard van deze bouwwijze. Deze openingen kunnen afgedicht worden met zogenaamde voegdichtingsmaterialen. Denk hiervoor aan afdichtingsbanden, kitten en schuimen (bijvoorbeeld PUR).

3.4.2 Toegepast materieel

Houtskeletbouw omvat zowel het volledig bouwen als alleen het monteren van geprefabriceerde elementen op de bouwplaats. In het eerste geval wordt bij transport het hout aangeleverd en wordt met het juiste materieel dit hout op de bouwplaats verwerkt. Zaag- en boormachines horen dan bij de standaarduitrusting om in houtskeletbouw te kunnen bouwen.

Als er sprake is van prefabricage worden de elementen geproduceerd in de fabriek en daarna getransporteerd naar de bouwplaats. Op de bouwplaats zullen de elementen op de juiste plaats gehesen moeten worden. Daar is een hijskraan voor nodig. Daarna kunnen de elementen met eenvoudig materieel gemonteerd worden.

3.4.3 Bouw casco

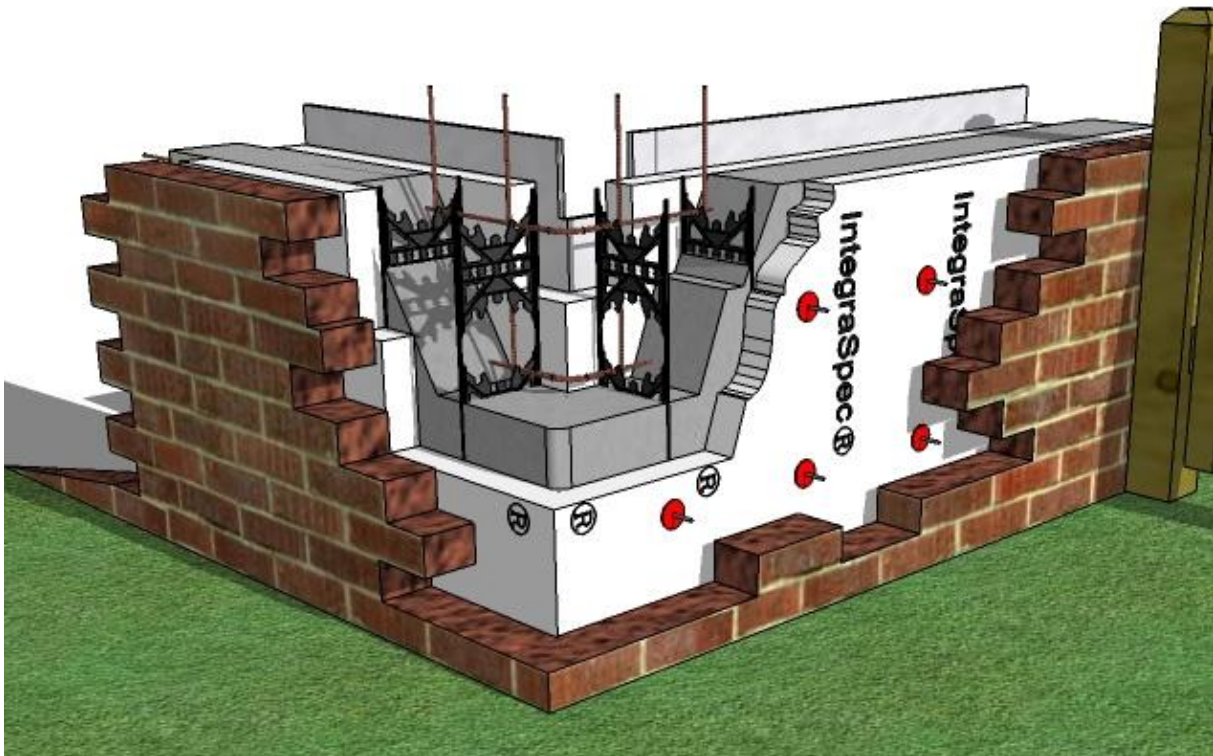
Ook bij de bouw van het casco moeten we onderscheid maken tussen prefab en bouw op de bouwplaats. In Nederland wordt over het algemeen veel geprefabriceerd in timmerfabrieken (2005, p. 209). Dit hangt ook samen met de voorwaarde dat gebouwen in houtskeletbouw zo snel mogelijk wind- en waterdicht moeten zijn. Hiermee worden ongewenste invloeden van het weer op de kwaliteit van de constructie voorkomen. Dit bepaalt, sterker dan bij bouwen met steen of beton, de bouwvolgorde. Nadat de fundering gebouwd is wordt in de ruwbouwfase het gebouw opgezet met draagconstructie, vloeren, wanden en dak. Daarna wordt gestart met de buitenafwerking. Pas als laatste komt de afbouw van de binnenkant aan de orde.

3.4.4 Afwerking

Anders dan de stapelbouw, gietbouw en montagebouw betonsystemen is bij houtskeletbouw wel echt nodig dat het skelet aan de buitenkant wordt afgewerkt. Tussen de stijlen in de wanden van het gebouw zal vaak isolatiemateriaal te vinden zijn wat ook een binnenafwerking noodzakelijk maakt. De binnenkant kan afgewerkt worden met hout, maar gebruikelijker is de gipskartonplatafwerking. Aan de buitenkant is een metselwerk afwerking mogelijk. Ook kan gekozen worden voor een afwerking met gevelbeplating of met pleisterwerk.

3.5 Verloren geïsoleerde bekistingssystemen

In hoofdstuk 2 is uitgebreid ingegaan op het bouwen met verloren geïsoleerde bekistingen. Eigenlijk combineert dit systeem aspecten uit de grote bouwmethodes die hiervoor aan de orde kwamen. Het snelle stapelen van blokken komt dan uit de stapelbouw, de dragende constructie is vergelijkbaar met die uit de gietbouw en de noodzaak om aan de binnenzijde isolatiemateriaal te verbergen komt terug in de houtskeletbouw.



Figuur 3.5 Opengewerkte doorsnede van een ICF-systeem. Bron: IntegraSpec.ie.

3.5.1 Toegepast materiaal

De basis voor de meeste geïsoleerde bekistingssystemen is *expanded polystyrene* (EPS). Andere mogelijke materialen worden in paragraaf 2.3 besproken. De bekistingen bestaan uit twee platen van EPS, verkrijgbaar als blokken of als planken. Deze kunnen gestapeld worden, de holle ruimte wordt gevuld met beton en eventueel wapeningsstaal.

3.5.2 Toegepast materieel

De EPS-blokken of –planken zijn, dankzij het lichte EPS, makkelijk te transporteren. Ze kunnen eenvoudig gestapeld worden zonder extra hulpmiddelen. Hooguit is er een handzaag nodig om de blokken op maat te zagen. De afstandhouders in de blokken faciliteren het plaatsen van wapeningsstaal.

Deze blokken zijn natuurlijk alleen nog maar de bekisting. Die wordt gevuld met beton. Dit wordt aangevoerd met vrachtwagens en kan met een betonpomp in de holle wanden gestort worden. Zolang het beton dat gebruikt wordt niet zelfverdichtend is zal het beton verdicht moeten worden met bijvoorbeeld een trilnaald.

Omdat dit storten vaak per verdieping gebeurt zal er een soort steiger gebouwd moeten worden om het niveau vanwaar gestort wordt bereikbaar te maken. Om de wanden die nog niet volgestort zijn met beton te beschermen tegen windbelasting worden bovendien schoren geplaatst om het geheel op zijn plaats te houden. Voor de bekistingssystemen bestaan uitlijnhulpmiddelen waarop ook de steiger gebouwd kan worden (e-Block, sd).

3.5.3 Bouw casco

De geïsoleerde bekisting wordt gebouwd op een fundering. Afhankelijk van het systeem worden de blokken of de planken gestapeld. Normaal gesproken wordt eerst één hele laag gelegd gevolgd door een nieuwe laag. Daarbij worden alle wanden meegenomen die met het systeem gebouwd worden, zowel gevels als binnenwanden. Over het algemeen zullen dat alleen de dragende wanden zijn. Op de voorgeschreven hoogtes zal de wapening aangebracht moeten worden voordat er verder gebouwd wordt. De wapening kan op de afstandhouders gelegd en vastgezet worden door middel van een kliksysteem of door de staven vast te binden.

Als de bekisting tot de gewenste hoogte gebouwd is voor het storten kan ook de verticale wapening geplaatst worden. Deze kan bijvoorbeeld aangebracht worden tussen de al geplaatste horizontale wapeningsstaven. Als dat nodig is kunnen ook deze staven vastgezet worden.

De daarop volgende stap is het storten van beton. Daaraan worden enkele randvoorwaarden gesteld. Vooral de controle over het instromende beton is belangrijk (VanderWerf, et al., 2006, p. 110). De auteurs van het aangehaalde boek beschrijven de gevaren die het ongecontroleerde instromen van beton met zich mee kan brengen. Als het beton te snel instroomt of op het verkeerde tijdstip op de verkeerde plaats beland dan kan de bekisting uit zijn grondvlak gedrukt worden. Om deze reden kiezen veel aannemers er voor om een goede betonpomp te gebruiken en vanaf beperkte hoogte te storten. Niet elke pomp is goed genoeg. Met name de grotere betonpompen werken te snel en verdelen het beton niet gelijkmatig genoeg. Voor deze machines volstaan wat extra hulpmiddelen. Zelfs bij de kleinere bouwprojecten waar het af zou kunnen met een betonmixer en een kubel wordt nog vaak voor een pomp gekozen omdat deze meer flexibel in te zetten is. In Noord-Amerika, waar al veel ervaring is met de ICF-methode, wordt het beton vaak gestort vanaf 6 meter hoogte (Oldenbarneveld, 2012). In Nederland beperken we dat momenteel nog tot 3 meter om zeker te zijn van voldoende kwaliteit. Vaak is deze 3 meter ook een praktische afmeting omdat ongeveer op die hoogte de vloeren aangebracht moeten worden.

Het beton wordt gestort in meerdere rondgangen langs de hele wand. Per keer wordt ongeveer een meter beton gestort. Een bouwvakker met een trilnaald verdicht dit beton. Andere bouwvakkers controleren het zojuist gestorte deel op barsten in de bekisting. Als de bekisting openbarst, stroomt het beton naar buiten. Deze lekken zijn, mits tijdig ontdekt, makkelijk weer te repareren. Wel geldt dat bij hogere betondruk een lek moeilijker te repareren is. Met een vervangend stuk piepschuim en enkele klampen (ankers of steunen) kan het gat gedicht worden.

3.6 Vergelijking

In Nederland worden de bouwmethoden stapelbouw, gietbouw en montagebouw in prefabbeton en houtskeletbouw veelvuldig gebruikt in de (seriematige) woningbouw. Elk systeem heeft zijn eigen voordelen en wat kosten betreft verschillen ze voor de cascobouw niet significant, de afwerking van het casco is bepalend voor de kosten (Boom, et al., 2005, p. 74). Het bouwen met geïsoleerde bekistingssystemen verschilt daar ook niet veel van als we in de Amerikaanse literatuur de kosten vergelijken (VanderWerf, et al., 2006, pp. 95, 109, 127, 145, 163). In Nederland zullen deze verhoudingen ongeveer gelijk liggen. In ieder geval zullen de verhoudingen in het aandeel arbeid niet veranderen. Hooguit zijn er kleine verschillen in de kosten van grondstoffen.

3.6.1 Beoordeling op keuzeaspecten

Jellema 8 presenteert een tabel waarin de vier Nederlandse woningbouwmethoden worden vergeleken (Boom, et al., 2005, p. 75). Deze tabel geeft een goede samenvatting van de implicaties die de voor- en nadelen van elk bouwsysteem hebben. Aan deze tabel kan het bouwen met geïsoleerde bekistingen toegevoegd worden. Dit is gedaan in Tabel 3.1. In de volgende alinea's zullen de keuzes verantwoord worden.

Tabel 3.1 Keuzeaspecten voor woningbouwmethoden met gebruik van tabel Jellema 8.

Keuzeaspecten	Stapelbouw	Gietbouw	Montagebouw prefab beton	Montagebouw houtskeletbouw	ICF-bouw
Manuren in de fabriek	Weinig	Geen	Veel	Veel	Weinig
Manuren op de bouwplaats	Veel	Meer dan bij stapelbouw	Weinig	Weinig	Veel
Vorbereidings-tijd voor productie	Kort	Langer dan bij stapelbouw	Lang	Lang	Kort
Uitvoeringstijd op de bouwplaats	Lang	Korter dan stapelbouw	Erg kort	Erg kort	Korter dan stapelbouw
Weersgevoelige activiteit	Lijmen van blokken en elementen	Transport bekisting door bouwkraan (wind)	Transport elementen door bouwkraan (wind)	Transport elementen door bouwkraan (wind)	Bekisting plaatsen (wind)
Materieelinzet	Elementen-steller, bouwkraan	Zware bouwkraan (bekisting)	Zware bouwkraan (elementen van prefab beton)	Lichtere bouwkraan (hsb-elementen)	Betonpomp
Accenten Arbo-zorg	Steigerwerk, tilgewichten	Steigerwerk, werktempo	Zware transporten	Lichtere transporten	Steigerwerk
Accenten milieuzorg: afval	Afval van blokken stenen en elementen	Afval door stort-overschotten			Afval van EPS blokken, stort-overschotten
Logistieke aspecten	Veelsoortig, maar eenvoudig	Inzet tunnelbekisting is maatgevend	Fabricage, afroep, levering en transport zijn maatgevend	Fabricage, afroep levering en transport zijn maatgevend	Aanvoer EPS maatgevend
Cascogebonden voorzieningen	Naderhand en ter plaatse	Instorten tijdens productie op de bouwplaats	Instorten tijdens productie in de fabriek	Ter plaatse op bouwplaats en/of in fabriek	Naderhand en in situ

3.6.2 Verantwoording beoordeling ICF-bouw

Manuren in de fabriek

De EPS-elementen voor bouw met geïsoleerde bekistingen moeten in de fabriek gemaakt

worden. Bij blokken moeten ook de afstandhouders al geplaatst worden. Tenzij er hele bijzondere vormen worden toegepast zal dit vooral een serieproductie zijn waar de fabriek al helemaal op ingericht is. Dit is anders dan bijvoorbeeld het produceren van elementen voor de montagebouw. Deze moeten op maat gemaakt worden voor elk bouwproject.

Manuren op de bouwplaats

Als we het aantal manuren analyseren kijken we ook naar het aantal bouwvakker dat aanwezig moet zijn om alles in goede banen te laten lopen. Bij montagebouw zijn dit niet veel mensen. De bouwkraan moet bestuurd worden en op de bouwplaats zelf moeten de elementen in de juiste positie gemanoeuvreerd worden. Een casco in elkaar zetten gaat met een klein aantal mensen toch behoorlijk snel. Dit is wel anders bij stapelbouw. Er kunnen veel bouwvakkers bezig zijn met het lijmen of metselen van de blokken en het plaatsen van de isolatie. Bij gietbouw vergen het stellen van de bekisting, het plaatsen van wapening en het storten van beton veel manuren. Het bouwen van een geïsoleerde bekisting is in dit geval meer vergelijkbaar met stapelbouw. Een aantal mensen is bezig met het stapelen van de blokken.

Voorbereidingstijd voor productie

Bij de montagebouw wordt veel energie gestoken in het goed ontwerpen van de prefab-eenheden. Deze moeten op de bouwplaats exact aan elkaar passen. Daarnaast maken ook de min of meer noodzakelijke geprefabriceerde voorzieningen voor gas, water en elektra in de prefab-elementen het ontwerpproces ingewikkeld. Bij stapelbouw en bij bouwen met geïsoleerde bekistingssystemen is hier minder voorbereiding voor nodig. Leidingen kunnen achteraf aangebracht worden.

Uitvoeringstijd op de bouwplaats

Op de bouwplaats worden de blokken of planken van de geïsoleerde bekisting in hoog tempo geplaatst. Dit gaat sneller dan bij gewone stapelbouw omdat er niet gemetseld of gelijmd hoeft te worden en omdat met grote blokken of planken gewerkt kan worden. De grote van de elementen in de stapelbouw worden beperkt door de massa. De EPS-blokken zijn juist heel licht. Bij stapelbouw moet de wand nog afgewerkt worden met isolatie, bij een geïsoleerde bekisting is de isolatie al aanwezig. Bij bouwen met geïsoleerde bekistingen moet nog wel beton gestort worden, in tegenstelling tot de stapelbouwmethode. Bouwen met EPS zal sneller gaan dan stapelbouw maar wat tijd op de bouwplaats betreft winnen de montagebouwmethoden toch echt.

Weersgevoelige activiteit

Het weer de bouwplanning fors beïnvloeden. Bij stevige wind zal een bekistingssysteem van EPS op een of andere manier met hulpmiddelen stabiel gehouden moeten worden. Zodra de bekisting gevuld is met beton is dit niet meer nodig.

Materieelinzet

Dankzij de eenvoudigheid van de meeste systemen voor geïsoleerde bekistingen is niet veel extra materieel nodig. Wel belangrijk is dat nagedacht wordt over de manier waarop het beton gestort wordt. Zoals betoogd in paragraaf 3.5.3 is een kubel niet handig en wordt ook bij kleiner bouwprojecten vaak gebruikgemaakt van een betonpomp. Als het beton dat gestort wordt niet zelfverdichtend is moet het beton verdicht worden met een trilnaald.

Accenten Arbozorg

Omdat beton vanaf grotere hoogte gestort moet worden en omdat de wanden natuurlijk ook steeds hoger gebouwd moeten worden zal steigerwerk onontkoombaar zijn. Omdat verder vooral met licht materiaal gewerkt wordt is het steigerwerk het belangrijkste punt wat Arbozorg betreft.

Accenten Milieuzorg

Bij het bouwen met geïsoleerde bekistingssystemen moeten de blokken of planken onvermijdelijk wel eens op maat gezaagd worden. Het EPS dat dan overblijft zal niet in alle gevallen nog een toepassing vinden bij hetzelfde bouwproject. Dit bouw materiaal zal dan afgevoerd moeten worden en kan bij het afval gerekend worden. Als er ontworpen wordt met de standaardmaten van de blokken of planken in het achterhoofd kan de hoeveelheid afval wel beperkt worden.

Logistieke aspecten

Wat het transport betreft is een geïsoleerde bekistingssysteem ideaal. Het transport is net als bij stapelbouw niet ingewikkeld omdat de elementen beperkte afmetingen hebben. Bovendien hebben de EPS-blokken weinig massa wat ervoor zorgt dat op de bouwplaats geen speciale bouwkraan nodig is voor de aanvoer. Het grote volume van de blokken is wel een nadeel. Het systeem van Nudura dat in Nederland onder de naam e-Block op de markt wordt gebracht levert opvouwbaar blokken om dit nadeel te beperken. Er wordt, zeggezegd, geen lucht vervoerd. De aanwezigheid van de EPS-blokken zijn cruciaal voor de start van de bouw, een tijdige levering is dus belangrijk.

Cascogebonden voorzieningen

Met cascogebonden voorzieningen worden de leidingen en bedrading bedoeld die ingebracht moeten worden in het casco. Moet dat bij alle betonsystemen vooraf ingestort worden om moeilijke bewerkingen achteraf te beperken, bij geïsoleerde bekistingssystemen kunnen de voorzieningen eventueel achteraf aangebracht worden in de eenvoudig te bewerken EPS-laag.

4 Bouwfysica van wanden met geïsoleerde bekistingen

Geïsoleerde bekistingen zorgen ervoor dat de betonnen wand aan twee zijden geïsoleerd is. De opbouw van een wand met geïsoleerde bekistingen is daarom ook wezenlijk anders dan de opbouw van een traditionele spouwmuur. Het verschil wordt duidelijk in Figuur 4.1. Deze opbouw heeft invloed op verschillende bouwfysische aspecten. Daarom wordt in dit hoofdstuk nagegaan hoe de thermische isolatie van geïsoleerde bekistingen functioneert en hoe die verschilt van de spouwmuur. Het verschil tussen beide bouwmethoden wordt ook bekeken voor het vochttransport in de constructie. Twee andere aspecten die ten slotte aan de orde komen zijn de geluidsweerstand en de brandwerendheid. Als uitgangspunt voor de geïsoleerde bekisting dient het holle-wandblokkensysteem van e-Block.



Figuur 4.1 Doorsnedes traditionele spouwmuur (l.) en geïsoleerde bekisting.
Bron: Cement.org

4.1 Thermische isolatie

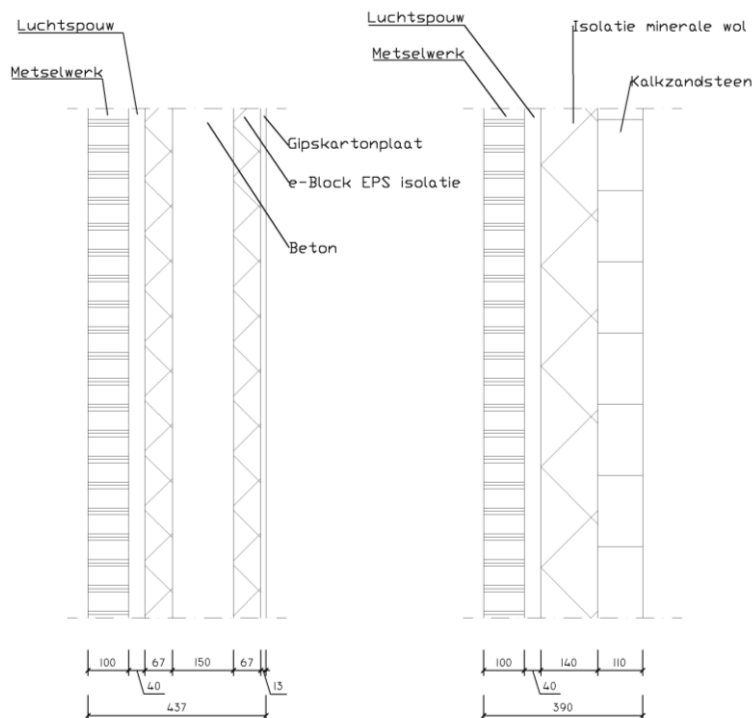
Elk onderdeel van de constructie heeft specifieke eigenschappen die de weerstand tegen warmtetransport bepalen. Al die onderdelen met hun eigen karakteristieken maken het mogelijk om het warmtetransport door de hele constructie te berekenen. De invloed van de afzonderlijke onderdelen kan gevisualiseerd worden na een berekening van het temperatuurverloop door de constructie. Elk van de onderdelen in de constructie heeft ook zijn eigen massa die de gevoeligheid voor wijzigingen in het warmtetransport beïnvloedt. Deze warmteaccumulatie drukt het opwarmen van een constructie uit in energie en tijd. In de volgende paragrafen worden deze aspecten achtereenvolgens behandeld.

4.1.1 Warmteweerstand constructie

De warmteweerstand R van een materiaal wordt bepaald met de warmtegeleidingscoëfficiënt λ en de dikte d van het materiaal.

$$R = \frac{d}{\lambda} \quad \left[\text{m}^2 \cdot \frac{\text{K}}{\text{W}} \right]$$

Een gevelconstructie met een geïsoleerde bekisting van EPS en baksteen afwerking is van binnen naar buiten opgebouwd met achtereenvolgens EPS, beton, weer EPS, spouw en baksteen. De afmetingen van het ICF-systeem van e-Block (e-Block, sd) zijn in deze en volgende rekenvoorbeelden als uitgangspunt genomen. Verder is aangenomen dat het beton een dikte heeft van 100mm. Is een doorsnede die duidelijk maakt hoe een wand met e-Block opgebouwd is en hoe een traditionele wand opgebouwd is. Hieronder wordt de R -waarde van de constructie berekend, ook wel de R_c -waarde genoemd.



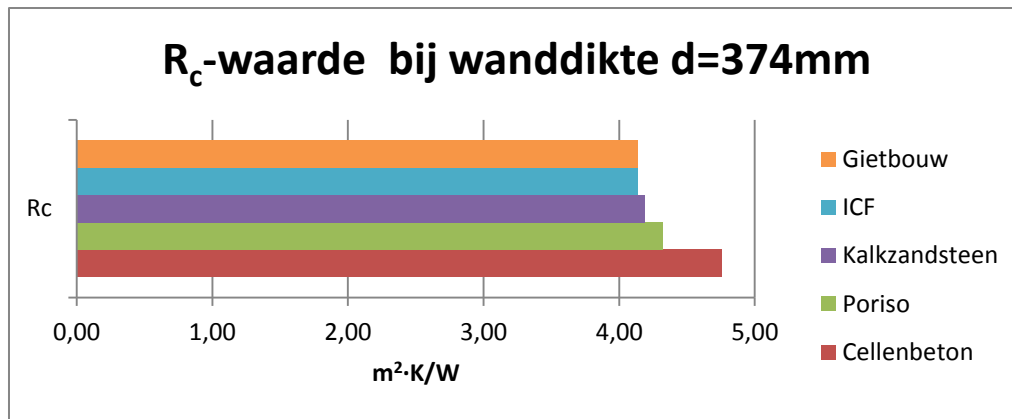
Figuur 4.2 Opbouw van een e-Blockwand (l.) en opbouw van een traditionele wand (r.)

Tabel 4.1 Berekening isolatie

ICF

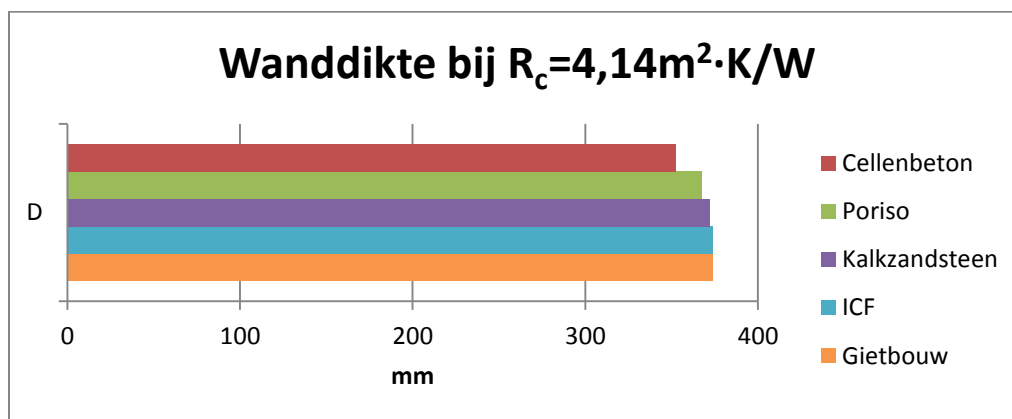
	d	λ	R
	[mm]	[W/(m*K)]	[m ² *(K/W)]
EPS binnen	67	0,035	1,91
Beton	100	2	0,05
EPS buiten	67	0,035	1,91
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,14</u>

In bijlage 5 zijn ook de R_c -berekeningen te vinden van enkele traditionele spouwconstructies. Bij die constructies heeft de dragende constructie eveneens steeds een dikte van 100mm en wordt als isolatiemateriaal de meest eenvoudige minerale wol gekozen met een warmtegeleidingscoëfficiënt van 0.035W/m·K (zoals bijvoorbeeld Isover Mupan, Rockwool 433 Mono, Knauf Cavitec 035). Op basis van die uitgangspunten zijn voor dit onderzoek de constructies op verschillende aspecten vergeleken. Figuur 4.3 laat een vergelijking zijn waarbij de wanddiktes van de verschillende systemen op 374mm zijn gehouden (dikte van een wand met een geïsoleerde bekisting als uitgangspunt). Met de zojuist genoemde uitgangspunten zijn de R_c -waarden hier alleen afhankelijk van de λ -waarde van de dragende constructie. Een kanttekening die bij deze vergelijking gemaakt moet worden is dat de dikte van het isolatiemateriaal dat gebruikt is in de berekening van sommige constructies niet op de markt verkrijgbaar is. Deze vergelijking is dan ook alleen gemaakt voor dit onderzoek.



Figuur 4.3 R_c -waarden van constructies met gelijke wanddikte vergeleken.

In een andere vergelijking kunnen we de R_c -waarde van de verschillende systemen aan elkaar gelijkstellen en kijken wat voor invloed dit heeft op de wanddikte. De dikte van de dragende constructie, van het metselwerk buitenblad en van de spouw blijven gelijk. De isolatiedikte varieert, maar de λ -waarden zijn nog steeds aan elkaar gelijk. In Figuur 4.4 wordt dit gevisualiseerd.

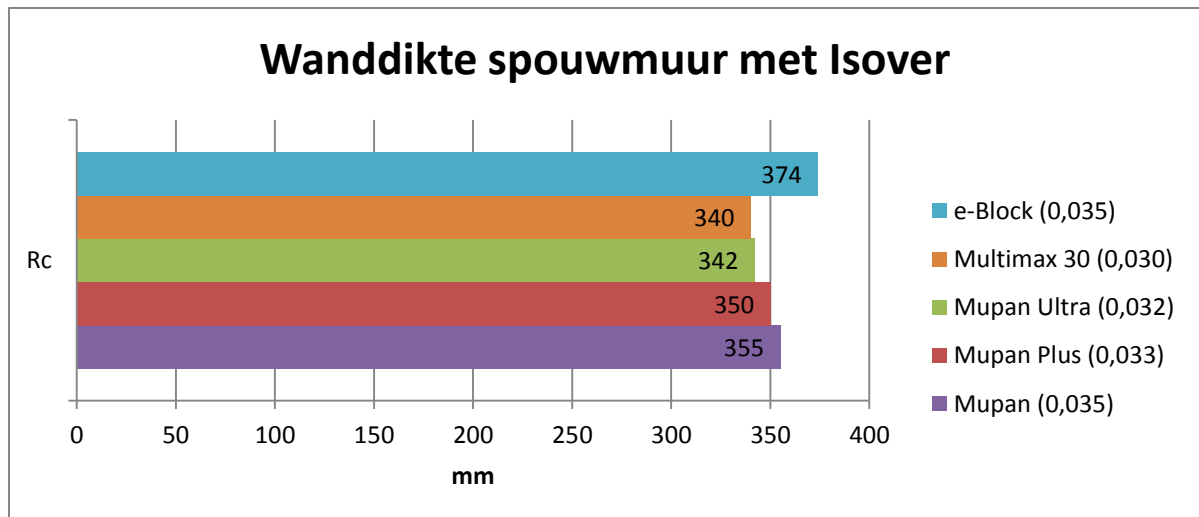


Figuur 4.4 Wanddikten van constructies met gelijke R_c -waarde vergeleken.

Wat opvalt in deze vergelijkingen is dat de wanden met geïsoleerde bekistingen niet noemenswaardig verschillen met traditionele gietbouw of kalkzandsteen spouwmuren. Dit is verklaarbaar omdat deze constructies opgebouwd zijn uit materialen die wat thermische isolatie betreft vergelijkbaar zijn.

Bouwbesluit

In het Bouwbesluit dat per april 2012 is ingegaan wordt een R_c -waarde van $3,5 m^2 \cdot K/W$ als minimumeis gesteld. Bij een wanddikte van 374mm voldoen alle constructies uit de vergelijking hieraan. Dat is snel te zien in Figuur 4.3. Zoals eerder opgemerkt zijn hier isolatiediktes gebruikt die niet op de markt te krijgen zijn. In Figuur 4.5 worden verschillende bestaande soorten minerale wol, elk met een andere λ -waarde, vergeleken met het systeem voor geïsoleerde bekistingen van e-Block. Elk product in deze vergelijking haalt de R_c -eis van $3,5 m^2 \cdot K/W$ precies. Alleen het systeem van e-Block zit hier ruim overheen met een R_c -waarde van $4,14 m^2 \cdot K/W$. Dit komt door de vaststaande isolatiedikte van 134mm EPS.



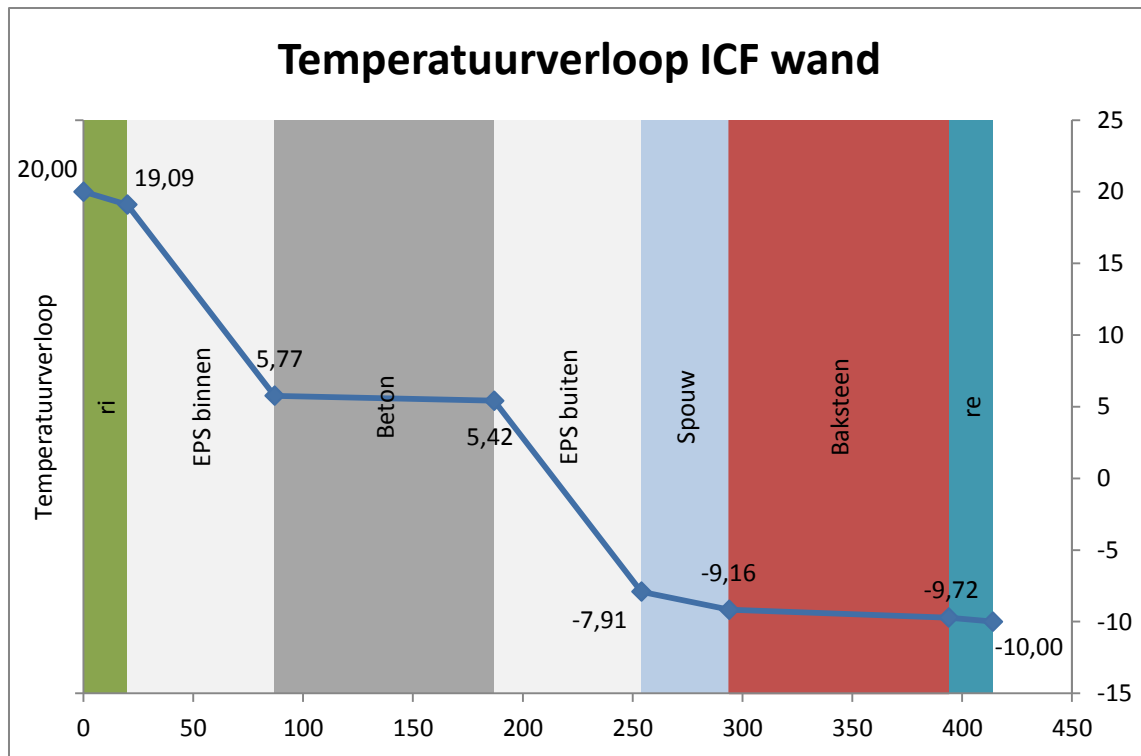
Figuur 4.5 Wanddikte van een spouwmuur met Isoverproduct vergelijken met wanddikte e-Block. Tussen de haakjes de Rc-waarde.

4.1.2 Temperatuurverloop

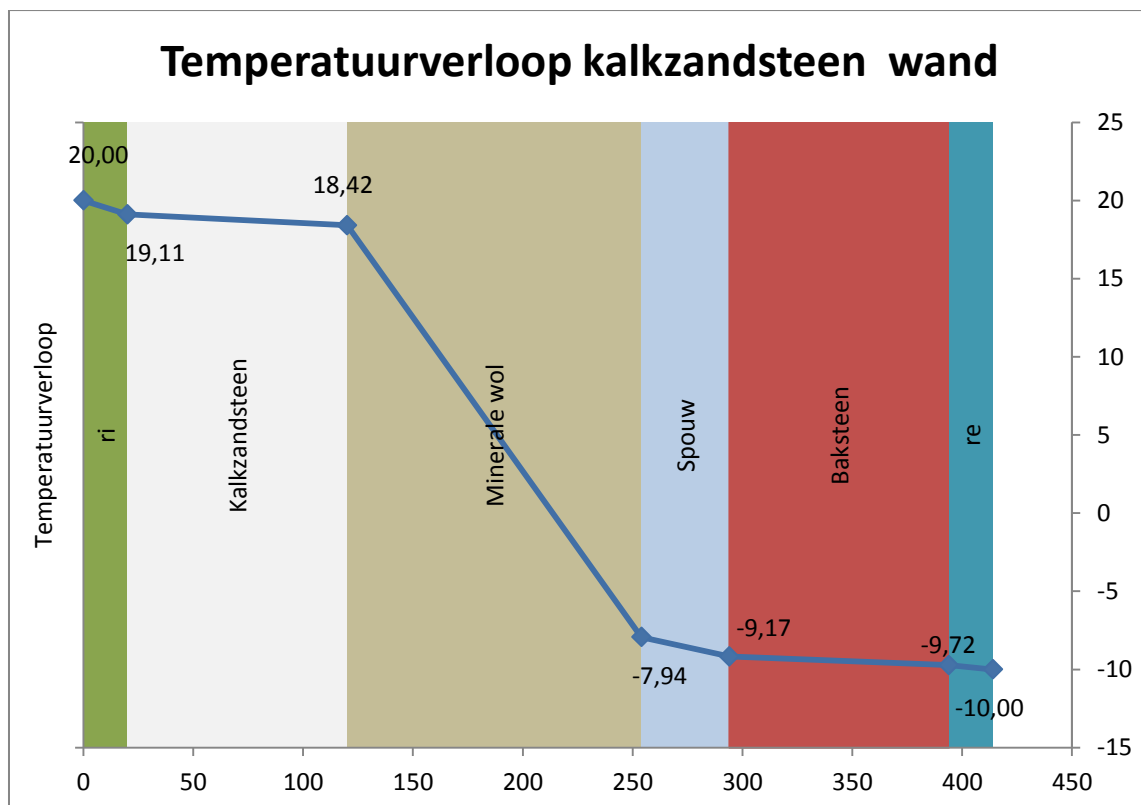
De berekening van het temperatuurverloop wordt gedaan op basis van de R-waardes van alle onderdelen in de constructie en het temperatuurverschil. Elke R-waarde kan worden afgewogen ten opzichte van de totale R_c -waarde lucht op lucht. Dit betekent dat ook de overgangsweerstand van lucht naar constructie wordt meegenomen in de berekening. Als dan het temperatuurverloop per onderdeel van de constructie bekend is kan de temperatuur over de overgangen van het ene naar het andere constructie-element berekend worden. De temperatuursprong over een laag wordt als volgt berekend:

$$\Delta T_n = \frac{R_n}{R_l} * \Delta T \quad [^{\circ}\text{C}]$$

De warmteweerstand van een traditionele spouwmuur en van een wand die gebouwd is met een geïsoleerde bekisting verschilt bij gelijkwaardige isolatie nauwelijks. Het temperatuurverloop in de constructie verschilt echter wel omdat er veel verschil zit in de opbouw van de wand. Bij een traditionele spouwmuur worden het buitenspouwblad en het binnenspouwblad van elkaar gescheiden door een isolatielaag. Slechts één zijde van de dragende wand wordt bedekt met isolatie. Bij een geïsoleerde bekisting bevindt de isolatie zich aan beide zijden van het dragende element, het binnenspouwblad. De berekening van beide soorten constructies is in de bijlage te vinden. Hieronder worden de uitkomsten met temperatuurverlooplijnen gepresenteerd in Figuur 4.6 en Figuur 4.7.



Figuur 4.6 Temperatuurverloop door een gevel met geïsoleerde verloren bekisting.



Figuur 4.7 Temperatuurverloop door een traditionele gevel, stapelbouw kalkzandsteen.

Het verloop van de temperatuur wordt gebruikt om te bepalen waar in de constructie inwendige condensatie optreedt. In paragraaf 4.2 wordt op dan onderwerp verder ingegaan. Daarnaast kan met de gegevens ook de warmteaccumulatie van het gevelpakket berekend worden.

4.1.3 Warmteaccumulatie

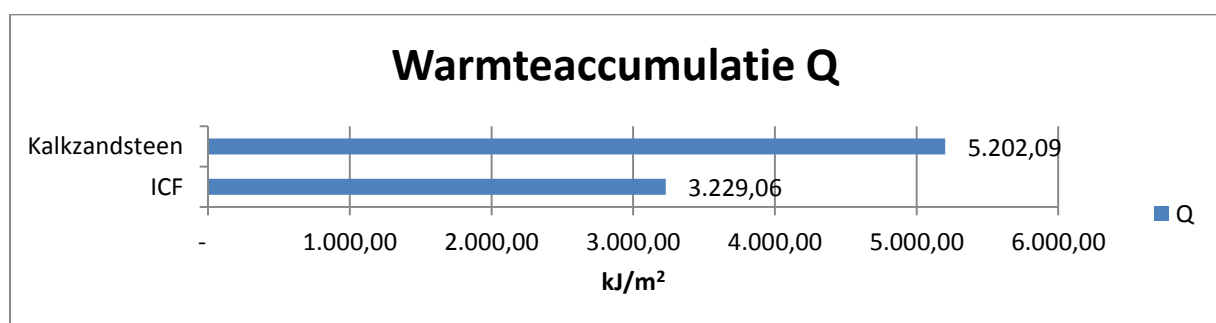
Tot nu toe hebben we alleen gekeken naar een stationaire situatie, met een aangenomen binnentemperatuur van +20°C en een aangenomen buitentemperatuur van -10°C. Deze winterse situatie is misschien wel een reële momentopname, het is geen reëel beeld van de praktijk. 's Nachts zal de binnentemperatuur bijvoorbeeld lager zijn dan overdag. Het temperatuurverloop in de constructie zal zich dus met regelmaat aan moeten passen aan de veranderde situatie. Het tempo waarin dit gebeurt is afhankelijk van de massa en soortelijke warmte van de constructiedelen. De warmteaccumulatie van een constructielaag kan met de volgende formule worden berekend:

$$Q = \rho * c * d * \Delta T \quad [\text{J/m}^2]$$

Constructiedelen met een hoge massa koelen langzaam af en warmen langzaam op. Op een warme zomerse dag zal een zwaar gebouw daarom maar langzaam opwarmen waardoor het overdag in dat gebouw koeler zal zijn dan buiten het gebouw. Er is meer warmte nodig om een zwaar gebouw op te warmen dan om een licht gebouw op te warmen. Dankzij de dag-nacht cyclus warmt een gebouw met een betonnen schil nooit helemaal op. De zon heeft overdag niet genoeg tijd om het gebouw dezelfde temperatuur aan te laten nemen als zijn omgeving. In de avond en nacht koelt het gebouw alweer af.

Een zwaar gebouw zal ongeveer de gemiddelde temperatuur van de omgeving aannemen. Dit heeft als voordeel dat een intensief gebruikt gebouw niet erg gevoelig is voor temperatuurswisselingen. De plaats van de isolatie heeft invloed op deze warmteopslag in de constructie. Als de isolatie aan de buitenkant is aangebracht kan de muur zorgen voor een gelijkmatig binnenklimaat. Bij isolatie aan de binnenkant kan er minder warmte van binnen opgeslagen worden in de muur. Dit verschil is ook te zien in de temperatuurlijnen in de vorige paragraaf. De temperatuur aan de binnenzijde bij de kalkzandsteenwand is 19,11°C, de temperatuur aan de binnenzijde van de betonwand is 5,77°C. Duidelijk wordt hieruit dat de kalkzandsteenwand door een directe blootstelling aan de warmte meer kans krijgt om warmte op te slaan dan de betonwand in deze situatie.

Van de twee constructie waarvan in de vorige paragraaf het temperatuurverloop is berekend kan ook een warmteaccumulatieberekening gemaakt worden. Daarbij wordt van elke onderdeel van de wand de warmteaccumulatie uitgerekend. De som hiervan vormt de warmteaccumulatie van de constructie. Zowel de berekening als de tussenresultaten zijn te vinden in bijlage , eindresultaten van de berekening worden weergegeven in Figuur 4.8.



Figuur 4.8 Warmteaccumulatie van een traditionele wand (kalkzandsteen) en van een geïsoleerde bekistingwand.

De wandafwerking is hierin echter niet meegenomen. Een wand die gebouwd is met een geïsoleerde bekisting zal afgewerkt worden met gipskartonplaten of met pleisterwerk. Gips heeft een behoorlijk hoge soortelijke warmte ($960\text{J/kg}\cdot\text{K}$) en hoge volumieke massa (2300kg/m^3). Voor het maken van wanden wordt vaak gebruik gemaakt van gipskartonplaten met een dikte van 12,5mm. Hier kan ook warmte in geaccumuleerd worden. De warmteaccumulatie van een betonwand met aan de binnenzijde isolatie en een binnenafwerking met gips zal dus minder negatief zijn dan in Figuur 4.8 wordt voorgesteld.

Wandverwarming

Isolatie aan de binnenkant van een gevelconstructie heeft ontegenzeggelijk nadelen voor het warmteaccumulerend vermogen van een gebouw. Dat is in het voorgaande aangetoond. Voor wanden die gebouwd worden met een verloren geïsoleerde bekisting is dat een nadeel. Maar er ligt ook een kans in deze eigenschap.

Het isolatiemateriaal biedt mogelijkheden te over om wandverwarming in te verwerken. In een kunststofschuim is wandverwarming aanzienlijk makkelijker te installeren dan in een beton- of kalkzandsteenwand. Vaak moet bij deze harde materialen gekozen worden voor een verwarmingssysteem dat op de muur wordt bevestigd. Bij gietbouw en montagebouw van prefab-elementen kan de wandverwarming wel in de wand aangebracht worden voordat het beton gestort wordt (VOBN, sd). Het grote warmteaccumulerende vermogen van deze zware wanden gaat dan echter negatief werken. Dit is te vergelijken met de werking van een zwaar tapijt op een vloer met vloerverwarming. Het tapijt belemmert een snelle opwarming van de ruimte waar de vloerverwarming zich bevindt door eerst de warmte zelf op te nemen voor deze uit te gaan stralen. Ditzelfde principe geldt ook zeker als de verwarmingsleidingen in het beton gestort zijn. Isolatieschuim aan de binnenzijde van een wand biedt dus mogelijkheden voor het aanbrengen van wandverwarming. Het voordeel daarbij is dat de warmteaccumulerende werking van de isolatie beperkt is en de wand daarom in staat is om de ruimte sneller op te warmen dan hetzelfde systeem zou kunnen bij een traditionele wand.

Omdat de binnenkant van holle wandblokken vaak met gipsplaten wordt afgewerkt is ook het Nederlandse product ActiveWarmths een interessante ontwikkeling. Deze gipsplaten zijn voorzien van polymeermatten die met een lage-temperatuur verwarmingssysteem op elektriciteit een ruimte kunnen verwarmen. In deze gipsplaten kan gewoon geboord en gespijkerd worden zonder beschadiging van het verwarmingssysteem (Neeleman, 2011).

4.2 Vochttransport

Vochtregulatie is een belangrijk onderdeel van de klimaatbeheersing in gebouwen. Voor de mens zijn er verschillende redenen om het binnenklimaat van gebouwen onder controle te houden. Gezondheid is één van die redenen, duurzaamheid van materialen een andere. Het gezondheidsaspect is bijvoorbeeld van belang voor reumapatiënten die in een vochtige omgeving moeite hebben de spieren warm te houden (Stybenex, 1998, p. 3). Vochtregulering moet ook voorkomen dat schimmels zich gaan thuisvoelen in de binnenruimte. Voor 10 à 20% van de 1 miljoen astma- en carapatienten zijn deze en andere schimmelhaarden de oorzaak van hun aandoening (Linden, et al., 2006, p. 32). Het duurzaamheidsaspect omvat het voorkomen van houtrot, corrosieverschijnselen op metaal en afbladderen van verf door overmatig vocht. Niet

alleen de kwaliteit van de constructie is hiermee gediend, ook de esthetische waarde blijft behouden.

In deze paragraaf wordt ingegaan op het transport van vocht door een constructie en hoe dit verloopt. Daarbij wordt nagegaan of er plaatsen zijn waar condensatie optreedt. Hierbij zal teruggerepen worden op de bespreking van het temperatuurverloop in de vorige paragraaf.

4.2.1 Dampdiffusieweerstand constructie

Voor damptransport is, net als bij warmtetransport, een weerstand tegen dit transport door de constructie uit te rekenen. Ook bij waterdamptransport hangt dit af van het materiaal en de afstand die het vocht af moet leggen. Bij het berekenen van deze weerstand wordt vaak gebruik gemaakt van het diffusieweerstandsgetal μ . Dit getal is een deling van de weerstand van een laag materiaal door die van een even grote laag lucht. Daarmee wordt de verhouding tussen beiden uitgedrukt. Met dit getal en de dikte van het materiaal wordt de dampdiffusieweerstand berekend volgens de volgende formule:

$$R_d = 5,3 * 10^9 * \mu * d \quad [\text{m/s}]$$

De uitdrukking $\mu * d$ in deze formule wordt de relatieve dampweerstand genoemd. Deze waarde is in onderstaand overzicht uitgerekend voor een gevelconstructie die is gebouwd met holle wand blokken van e-Block. Het buitenspouwblad is van baksteen, het binnenspouwblad is een aan beide zijden met EPS geïsoleerde betonschil.

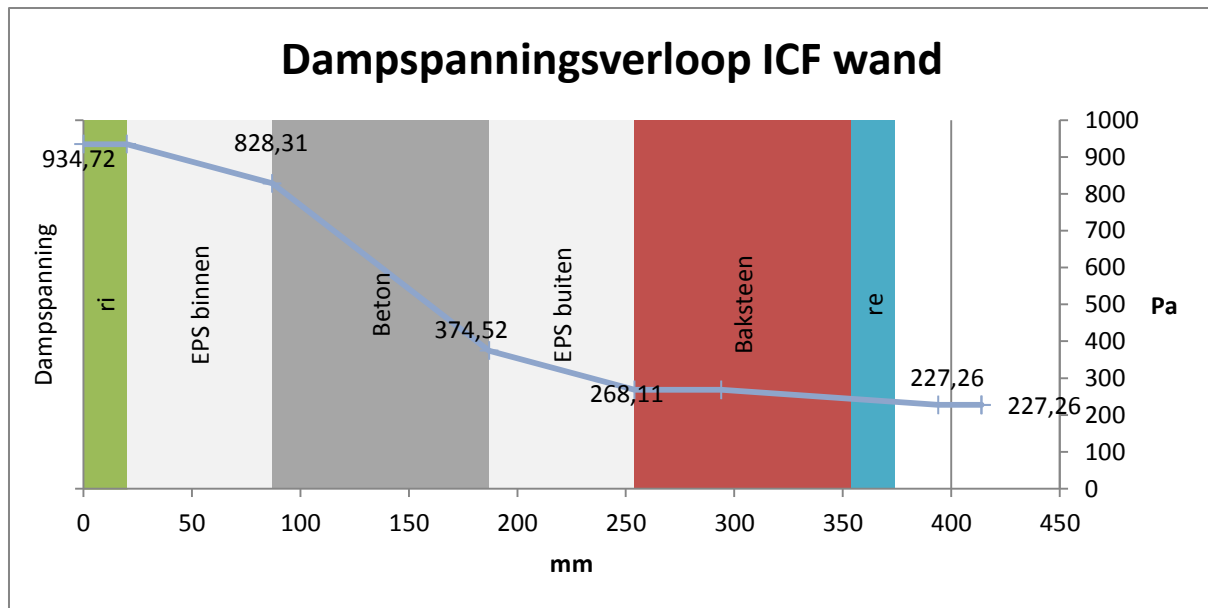
ICF	d [mm]	μ	$d * \mu$ [m]	R_d [m/s]
EPS binnen	67	35	2,35	1,24E+10
Beton	100	100	10,00	5,30E+10
EPS buiten	67	35	2,35	1,24E+10
Spouw	40	0	0,00	0,00E+00
Baksteen	100	9	0,90	4,77E+09
	<u>374</u>		<u>15,59</u>	

4.2.2 Dampspanningsverloop

Met behulp van de berekende dampweerstand is een dampspanningsverloop op te stellen zoals dat al eerder gedaan werd met temperatuurweerstand. Daarvoor moet in dit geval nog wel het weerstandsverschil over elke laag berekend worden. Hiervoor wordt het dampspanningsverschil over de hele constructie vermenigvuldigt met de relatieve weerstand van de betreffende laag:

$$\Delta p_n = \Delta p * \frac{\mu_n * d_n}{\mu_{tot} * d_{tot}} \quad [\text{Pa}]$$

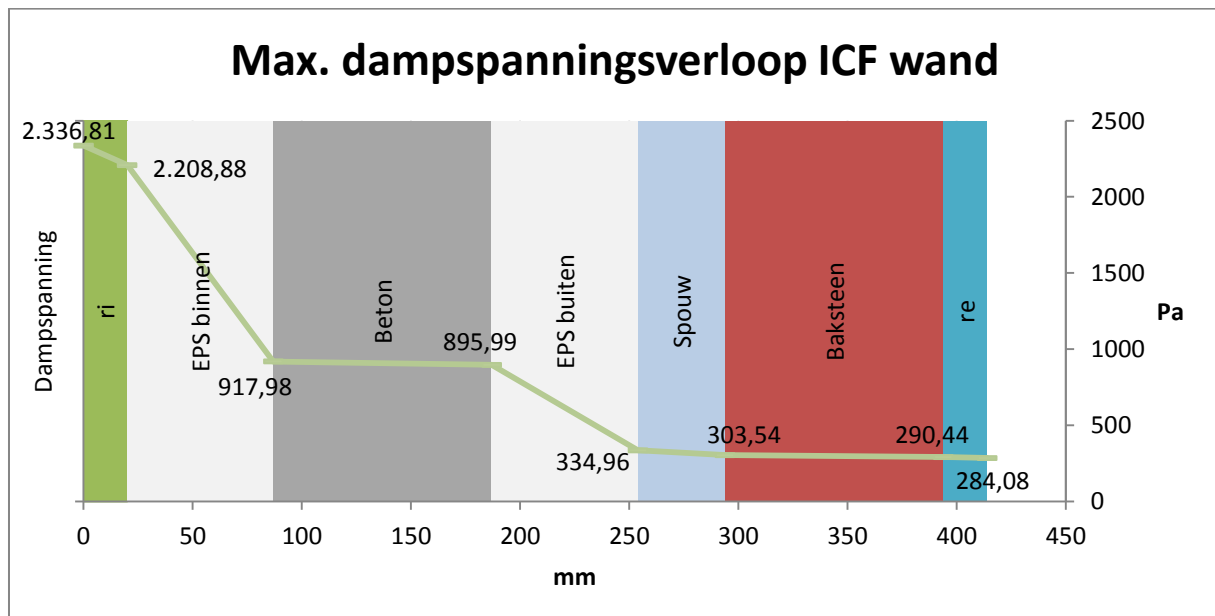
Ook nu is weer een grafische weergave te maken van het verloop. Uit de berekening in bijlage # volgt het dampspanningsverloop zoals die wordt weergegeven in Figuur 4.9.



Figuur 4.9 Dampspanningsverloop zoals die berekend is door een wand met een verloren geïsoleerde bekisting.

4.2.3 Condensatie

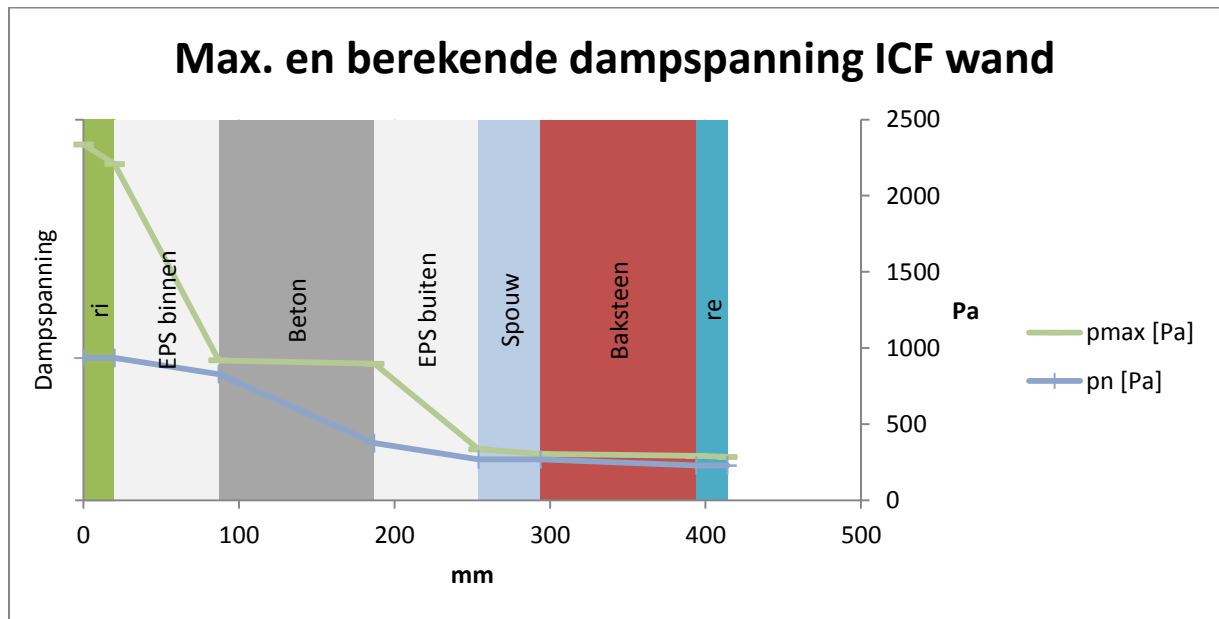
Omdat de dampspanning binnen anders is dan de dampspanning buiten kunnen we een verloop van de dampspanning tekenen. Daarbij hebben we echter niet gekeken naar het verloop van de maximale dampspanning bij het geldend temperatuurverloop. In de constructie zal de dampspanning nooit boven de door de temperatuur bepaalde dampspanning uitkomen. Met behulp van het temperatuurverloop zoals dat besproken is in paragraaf 4.1.2 (Figuur 4.6) kan de maximale dampspanning berekend worden. Daarbij wordt uitgegaan van een buitentemperatuur van -10°C en een binnentemperatuur van 20°C . In Figuur 4.10 wordt dit verloop gepresenteerd.



Figuur 4.10 Maximaal dampspanningsverloop zoals die is berekend door een wand met verloren geïsoleerde bekisting.

De waarden van de dampspanning zoals die zijn berekend op basis van 80% relatieve vochtigheid buiten van 80% en 40% een relatieve vochtigheid binnen blijven onder de maximale

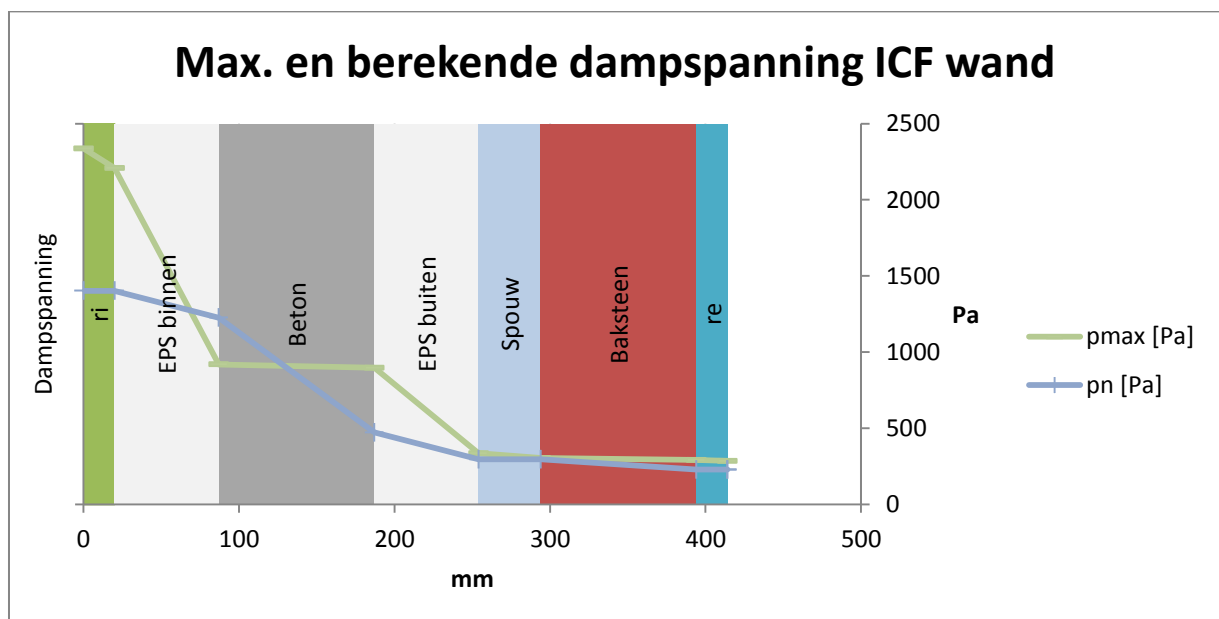
dampspanning in de hele constructie. Dit wordt grafisch weergegeven in Figuur 4.11. De lijn van de berekende dampspanning blijft onder de lijn van de berekende maximale dampspanning.



Figuur 4.11 De berekende dampspanning door de gevelconstructie blijft onder het maximum.

Uit het voorgaande kan geconcludeerd worden dat in het geschetste klimaat in de constructie geen condensatie zal optreden.

In sommige ruimten binnenshuis zal er een grotere luchtvochtigheid zijn dan in normale situaties. Denk bijvoorbeeld aan een douche. In f wordt een dampspanningsverloop weergegeven bij een situatie die gelijk is aan de eerder geschetste situatie, behalve de hogere luchtvochtigheid van 60% binnen.



Figuur 4.12 De berekende dampspanning door de gevelconstructie bij een hogere interne luchtvochtigheid

In deze situatie blijkt wel condensatie op te treden. Tussen de binnenste laag EPS en het beton zal zich vocht ophopen. Als dit om een incidentele situatie gaat dan zal het vocht meestal wel de kans krijgen om weer te verdampen. Is deze situatie echter structureel, dan zal een dampremmende maatregel genomen moeten worden aan de binnenzijde van de wand.

4.3 Geluidsweerstand

Geluidsisolatie wordt onderscheiden in isolatie tegen luchtgeluid en isolatie tegen contactgeluid. Bij luchtgeluidisolatie worden de geluidsgolven in de lucht gedempt, bij contactgeluidisolatie worden de trillingen in de constructie gedempt. Bij beide soorten isolatie is de massa van de constructie belangrijk. Hoe zwaarder een constructie, hoe kleiner de versnelling door de geluidsdruk zal zijn (Linden, et al., 2006, p. 167). Een ruimtescheidende constructie met het zware beton zal dus een betere geluidsisolatie bieden dan eenzelfde soort constructie van lichter metselwerk. De geluidsisolatie van een wand bij 500Hz kan met de volgende formule worden berekend:

$$R = 17,5 \log(m) + 17,5 \log\left(\frac{f}{500}\right) + 3 \quad [\text{dB}]$$

Uit deze formule wordt duidelijk dat de massa een grote rol speelt in de geluidsisolatie. Hieruit kan worden afgeleid dat isolatiemateriaal door het lichte gewicht nauwelijks een rol speelt bij de geluidwerende werking van een constructie. In een spouw kan de absorberende werking van minerale wol nog wel een bijdrage leveren aan het voorkomen van resonanties (staande golven) in de spouw (Linden, et al., 2006, p. 173). Dit gaat echter niet op voor schuimen met een gesloten-celstructuur zoals EPS. Deze schuimen kunnen zelfs in het nadeel van een wand werken als het om geluidsisolatie gaat. Aan weerszijden van het EPS ontstaat een smalle spouw. De massa-veer-resonantie die nu kan ontstaan ligt wat frequentie betreft vaak in het spraakgebied (Stybenex, 2008, p. 8).

Verloren geïsoleerde bekistingsystemen

Voor holle-wandblokken van EPS, zoals e-Block, betekent dit dat de geluidsisolatie geheel afhankelijk is van het beton dat in deze blokken wordt gestort. Het EPS levert geen positieve bijdrage aan de geluidsisolatie. Het is niet waarschijnlijk dat de nadelige resonantie in het spraakgebied ontstaat bij woningscheidende wanden omdat er in die situatie nauwelijks sprake is van een spouw. Aan de binnenkant van de blokken wordt het beton gestort tegen de EPS-wanden. Een spouw is dan nagenoeg uitgesloten. Tussen de afwerkingslaag en het EPS zou nog wel een kleine spouw kunnen ontstaan als het EPS wordt afgewerkt met een gipsplaat. De massa's van de wanden (dikke betonwand en dunne gipsplaat) zijn dan zo verschillend dat een nadelige resonantie niet waarschijnlijk is (Linden, et al., 2006, p. 172).

Alsnog gaat dan de vergelijking tussen een gietbouw- of prefabwand van beton en een e-Blockwand niet helemaal op. Wat nog wel negatief zou kunnen werken zijn de dwarsverbindingen die zich in de blokken bevinden. Uit geluidstesten blijkt echter dat de geluidsisolatie van deze wanden wel degelijk vergelijkbaar is met isolatie van traditionele betonwanden (Tovey, et al., 2007, p. 18). Blijkbaar hebben de verbindingen tussen de twee EPS-lagen nauwelijks invloed op de geluidsisolatie.

Dikte betonschil

Voor woningscheidende constructies in nieuwbouwwoningen eist Bouwbesluit 2012 in artikel 3.16 lid 1 dat het karakteristieke lucht-geluidniveauverschil groter is dan 52dB ($D_{nT,A,k}$) en in lid 3 dat het gewogen contact-geluidniveau niet groter is dan 54dB ($L_{nT,A}$). Deze grootheden zijn gebaseerd op de Europese normgeving. In Nederland werd tot voor kort gerekend met de grootheden $l_{lu,k}$ (luchtgeluidwering) en l_{co} (contactgeluidwering). NEN 5077+C1 (2008, p. 31) geeft de relatie weer waarmee de getallen om te rekenen zijn:

$$l_{lu,k} = D_{nT,A,k} - 52 = 52 - 52 = 0 \quad [\text{dB}]$$

$$l_{co} = 59 - L_{nT,A} = 59 - 54 = 5 \quad [\text{dB}]$$

Deze waarden werden in het Bouwbesluit 2003 (artikel 3.18) als eis gegeven. Om aan de eisen van het Bouwbesluit te voldoen is voor een woningscheidende wand een betondikte van minimaal 250mm nodig (VOBN, 2003, p. 3). Uit het voorgaande bleek dat een gietbouw wand wat geluidsisolatie betreft vergelijkbaar is met een wanden die opgebouwd zijn met holle-wandblokken en beton. Voor een systeem als e-Block is dus ook een minimale betondikte nodig van 250mm om aan de vereiste geluidsisolatie van een woningscheidende wand te voldoen.

4.4 Brandwerendheid

In gebouwen kan brand ontstaan, daarom is het goed om na te denken over de brandveiligheid van het gebouw. Vuur zal zich altijd een weg naar buiten zoeken. Dit kan door brandoverslag waarbij het vuur zich verspreidt via de buitenlucht. Vaak is dit te zien aan uitslaande vlammen. De weerstand hiertegen drukken we uit als weerstand tegen brandoverslag, afgekort als WBO. Vuur kan overslaan maar ook doorslaan. Bij branddoorslag zoekt het vuur zijn weg door een scheiding tussen twee ruimtes. Natuurlijk moet het vuur eerst deze constructie overwinnen. Deze weerstand wordt uitgedrukt met de term WBD, weerstand tegen branddoorslag. De combinatie van beiden wordt afgekort met WBDBO. In Nederland stelt het Bouwbesluit de eis van minimaal 60 minuten als WBDBO.

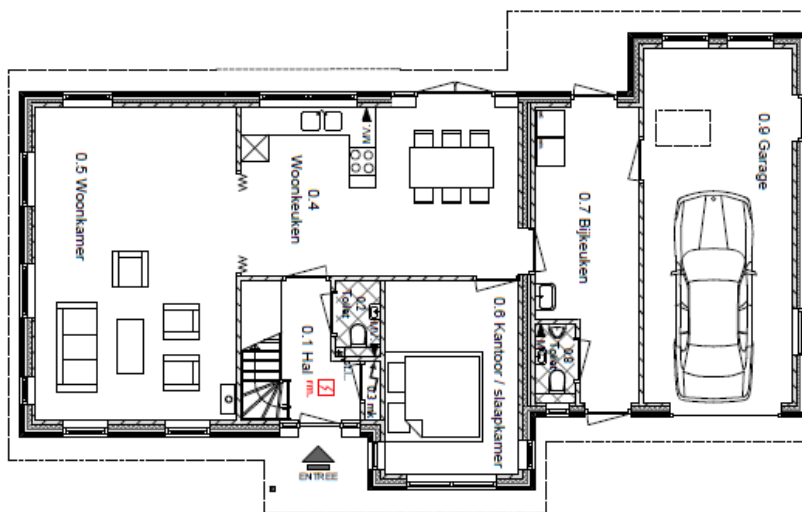
Het EPS dat gebruikt wordt voor e-Block wordt geleverd door fabrikant BASF onder de merknaam Styropor KF362M. Op de Safety Data Sheet van dit product wordt ingegaan op de brandveiligheid. De ontvlambaarheid van het product ligt op 340°C, de zelfontbrandingstemperatuur van het schuim ligt op 430°C. Dit betekent dat het net als andere EPS-schuimen vooral beschermt moet worden tegen de vatbaarheid voor vlammen. (Stybenex, 2007, p. 12).

Volgens de gegevens van de fabrikant van e-Block is de weerstand tegen branddoorslag (WBDBO) 4 uur (e-Block, sd, p. 13). Dit geldt voor een betonwanddikte van 150mm, en een afwerking met gipsplaat aan beide zijden.

5 Bouwtechniek van wanden met geïsoleerde bekistingen

In dit hoofdstuk wordt de bouwtechnische kant van het bouwen met verloren geïsoleerde betonbekistingen beschreven. Daarbij zal net als in de voorgaande hoofdstukken uitgegaan worden van het modulaire bekistingssysteem van e-Block. Deze holle-wandblokken worden toegepast in een voorbeeldproject, een vrijstaande woning in Midden-Nederland.

In dit hoofdstuk wordt de detaillering van verschillende belangrijke onderdelen van een woning besproken in de vorm van een casestudy, aan de hand van een bestaand project. Dit project is eerder uitgewerkt in stapelbouw (Verweij, 2012), in dit hoofdstuk zal hetzelfde gebouw uitgewerkt worden met e-Block. Gegevens over de woning zijn verder te vinden in tekeningen in bijlage 7).



Figuur 5.1 Begane grond voorbeeldproject

Omdat het beton bij deze bouwmethode in het werk wordt gestort is de vergelijking met gietbouw snel gemaakt. In dit hoofdstuk over bouwtechniek zijn daarom een aantal onderwerpen gekozen die met name voor verloren geïsoleerde bekistingen relevant zijn. Aan bod komt allereerst de opbouw van de draagconstructie met geïsoleerde wanden. Met deze gegevens wordt in het tweede deel van dit hoofdstuk ingegaan op de constructieve onderbouw en op de constructie van vloeren. Ten slotte richten we de aandacht op een aantal overige belangrijke details, zoals raam- en deuropeningen, binnenwanden en muurafwerking.

5.1 Constructie

5.1.1 Wanddikte

De holle-wandblokken van e-Block zijn in verschillende afmetingen te krijgen, met betondiktes van 100mm, 150mm, 200mm, 250mm en 300mm (e-Block, sd, p. 6). Welke afmeting gekozen wordt hangt af van het ontwerp. De wanddikte van een betonnen constructie wordt over het algemeen bepaald door geluidseisen of constructieve eisen. Wat geluidseisen betreft zijn de voorschriften voor woningscheidende wanden maatgevend. Daar is, zoals beschreven in paragraaf 4.3, minimaal een betondikte van 250mm nodig om aan de geluidseisen te voldoen. In

Nederland wordt voor de gevel vaak vergelijkbare geluidsisolatie behaald zonder dat een extra dikke muur nodig is dankzij de gebruikelijke spouwconstructie. De minimumdikte van de betonschil in de gevel hangt daarom meestal af van constructieve eisen.

Eurocode 2 (CEN, 2004) schrijft in hoofdstuk 9.6 voor waar een betonwand aan moet voldoen. In de nationale bijlage van Nederland (NEN, 2011) bij Eurocode 2 worden aan dit artikel nog wat bepalingen toegevoegd. Voor holle-wandblokken zijn een aantal van deze bepalingen in het bijzonder van belang. De Nederlandse bijlage voegt aan de basisvoorschriften in 9.6.1 toe dat (a) dragende wanden overal een minimumdikte van 100mm moeten hebben en dat (b) bij een permanente bekisting deze dikte nog eens aan elke bekiste zijde met 5mm vermeerderd moet worden. Dragende wanden met permanente bekistingen, en dus ook in geval van permanente geïsoleerde bekistingen, moeten ten minste een betondikte van 110mm hebben. Dit betekent voor de bouwblokken van e-Block dat bij een dragende wand altijd minimaal gekozen moet worden voor de blokken met een betondikte van 150mm. De blokken met een betondikte van 100mm vallen voor die toepassing dus per definitie af.

5.1.2 Wapening

Bij woningbouw met in het werk gestorte wanden is voor deze wanden meestal geen wapening nodig (VOBN, 2003, p. 4). De toepassing van stabiliteitswanden en penanten beperken het optreden van trekkrachten in de dragende wanden. Uitzondering daarop zijn grotere woongebouwen waar de stabiliteitswanden worden weggelaten ten gunste van de indelingsvrijheid van de plattegrond. In dat geval moet de stabiliteit verkregen worden door het toepassen van een portaalconstructie of eventueel door het inklemmen van dragende wanden. Overigens kan bij portaalconstructies een goed ontwerp van de vloerwapening de toepassing van ongewapende wanden mogelijk maken.

De voorschriften die te vinden zijn in de Eurocode staan het ontwerpen met ongewapende dragende wanden toe. Hoofdstuk 9.6.2 (CEN, 2004, p. 173) verwijst voor het bepalen van de waarde $A_{s,min}$, de minimale doorsnede van de wapening, naar de nationale bijlage. Daar staat dat de minimaal toegepaste wapening gelijk moet zijn aan $0 \cdot A_c$ (waarin A_c de doorsnede van het beton) (NEN, 2011, p. 26).

Omdat het beton in een blijvende bekisting wordt gegoten is betonkrimp een factor die hier niet vergeten mag worden. De constructie kan gezien worden als een samengestelde constructie. Dit betekent dat vervormingen nooit ongehinderd op kunnen treden. Om problemen met krimpscheuren te voorkomen wordt in de praktijk vaak gebruik gemaakt van wapening die de belasting door krimp goed over het beton moet verdelen. Bij het bouwen met geïsoleerde bekistingen wordt het beton echter beschermd tegen extreme externe weersinvloeden. Samen met de positieve invloed van de bekisting op de krachtwerving elimineert de bekisting volgens Tovey *et al.* grotendeels de nadelige effecten van krimp (2007, p. 37). Zij concluderen dan ook dat wapening in wanden met geïsoleerde bekistingen om reden van krimp niet nodig is. Dit wordt nog eens ondersteund door resultaten uit praktijkonderzoeken van CTLGroup. Uit deze onderzoeken blijkt dat het isolatiemateriaal het droogproces dusdanig vertraagt dat er geen of nauwelijks krimp optreedt (VanGeem, 2005, p. 2).

5.1.3 Beton

Beton is in verschillende kwaliteiten verkrijgbaar. Bij de keuze voor een betonsoort wordt gekeken naar de benodigde milieuklasse, sterkteklasse en consistentieklasse. De sterkte- en milieuklasse worden gespecificeerd door de constructeur, de aannemer gaat over de consistentieklasse (Heuveling & Kerkhoven, 2012, p. 25). Andere aspecten waaraan eisen worden gesteld zijn het toeslagmateriaal en het chloridegehalte.

In de gietbouw is de wapeningsdichtheid van belang voor het bepalen van de maximale diameter van het toeslagmateriaal. De korrelgrootte van het grind wordt volgens Heuveling en Kerkhoven onderscheiden in drie groepen (2012, p. 28). De grofste korrel in een betonmengsel bepaald tot welke groep dit mengsel wordt gerekend. In Tabel 5.1 worden de groepen met bijbehorende korrelgroottes weergegeven. In de technische documentatie van e-Block wordt een maximale korrelgrootte van 16mm als grens gesteld (e-Block, sd, p. 17). Betonmengsels uit de korrelgroepen 1 en 2 mogen dus gebruikt worden.

Tabel 5.1 Opdeling beton in korrelgroepen

Korrelgroep	Verdeling [mm]	D _{max} [mm]
1	2-8	8
2	4-16	16
3	4-32	32

Om te voorkomen dat het wapeningsstaal in het beton wordt aangetast, geldt er een maximum voor het chloridegehalte in het beton. Deze gehalten worden opgedeeld in drie chloridenklassen, weergegeven in Tabel 5.2.

Tabel 5.2 Opdeling beton in chlorideklassen

Betoneigenschap	Chlorideklasse	Maximumgehalte Cl ⁻ [% m/m]
Zonder ingestort metaal	Cl 1,0	1,0
Met ingestort metaal of nagerekt staal	Cl 0,4	0,4
Met voorgerekt staal	Cl 0,2	0,2

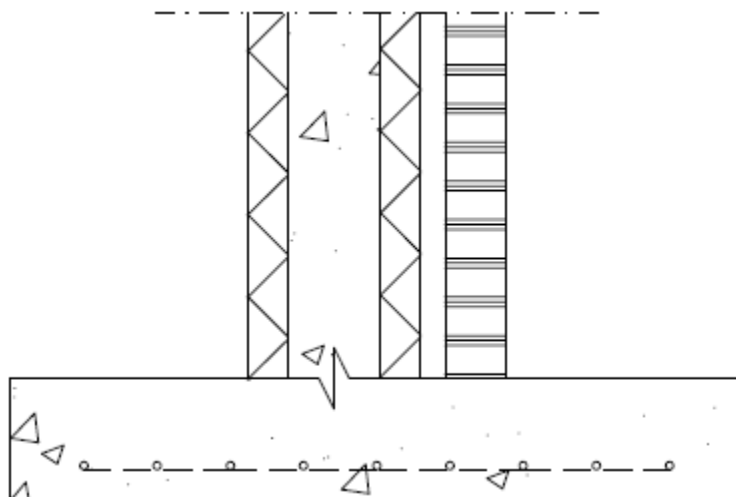
De wanden in de voorbeeldwoning worden grotendeels ongewapende uitgevoerd. Hier en daar zal wapening nodig zijn voor een lateiconstructie. Dit betekent dat er uitgegaan moet worden van een chlorideklasse Cl 0,4.

In Nederland wordt steeds vaker zelfverdichtend beton toegepast. Dit kan ook gebruikt worden voor wanden die met e-Block gebouwd worden. Volgens Roussel kan voor de bekistingsdruk bij zelfverdichtend beton uitgegaan worden van hydrostatische druk (Roussel, 2006, p. 1803). Dat is hoger dan bij gewoon beton. Het beton kan wel in meerdere fases gestort worden.

5.2 Fundering

Voordat de bouw van een casco begint zal nagedacht moeten worden over de fundering. De fundering die gebouwd wordt voordat de geïsoleerde bekisting van e-Block erop geplaatst wordt kan een eenvoudige fundering zijn zoals die gebruikelijk zijn in de woningbouw. De voorgevel van de beschouwde woning bestaat in de kalkzandsteen uitwerking uit een metselwerk buitenspouwblad van 100mm en een kalkzandsteen binnenspouwblad van 100mm. Zoals uit de vorige paragraaf bleek moeten we bij e-Block uitgaan van een wanddikte van 150mm beton. De belasting op de fundering zal daarom groter zijn dan in de kalkzandsteen uitwerking als uitgangspunt werd genomen. Voor deze situatie wordt daarom de fundering herberekend. In bijlage 6 is deze berekening opgenomen. Er wordt uitgegaan van een strook met een breedte van 1200mm. Deze blijkt voldoende draagkracht te hebben om de voorgevel te kunnen dragen, inclusief belastingen van de vloeren en het dak.

Op de vlakke bovenkant van deze fundering kunnen de holle-wandblokken gebouwd worden. Eventueel zouden wapeningsstekken in deze fundering voorzien kunnen worden waarover op een later moment de holle-wandblokken geplaatst en volgestort kunnen worden.



Figuur 5.2 Detail 01 e-Block op funderingsstrook. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.3 Vloeren

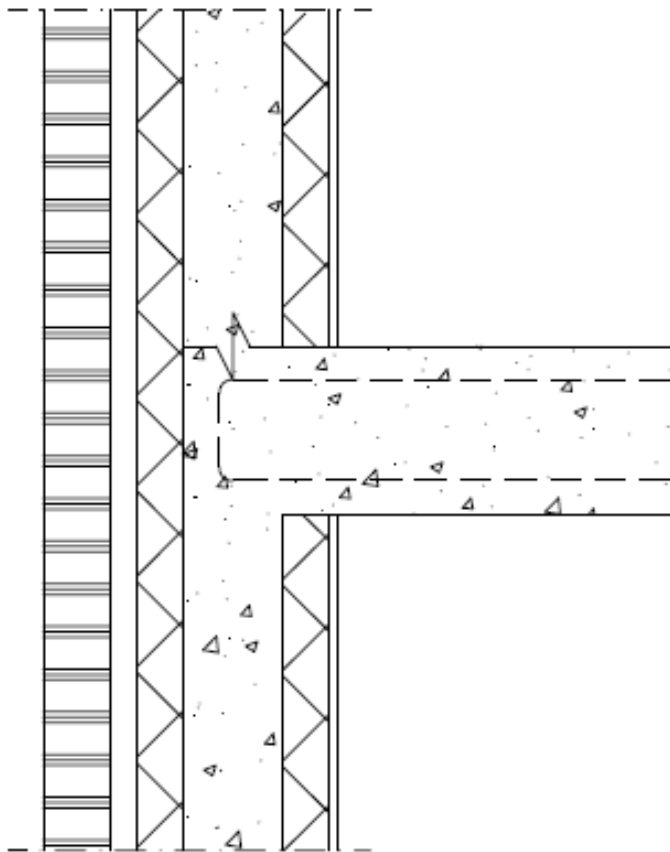
Vloeren worden veelal opgelegd op de dragende wanden in de constructie van een gebouw. Op welke manier dat gebeurt is afhankelijk van het vloersysteem. In Nederland zijn vloersystemen verkrijgbaar die opgebouwd worden met de materialen hout, staal, beton of zelfs glas. Beton heeft daarin het grootste aandeel (Abspoel, et al., 2010, p. 8.14) waarbij de in het werk gestorte massieve betonvloer, kanaalplaatvloer en breedplaatvloer veelgebruikte concepten zijn. Houten vloeren worden ook nog wel toegepast, maar op kleinere schaal. Een voorbeeld daarvan is de zoldervloer in veel woningen. Voor deze drie betonvloersystemen en voor houten vloeren zal in deze paragraaf worden nagegaan hoe ze toepasbaar zijn in combinatie met de ICF-wanden van e-Block. Tot slot zal ook aandacht worden besteedt aan een betonvloer met blijvende EPS-bekisting, een ICF-vloer dus.

5.3.1 Massieve betonvloer

In de woningbouw wordt de massieve betonvloer meer dan eens toegepast. Bij de vervaardiging van gietbouwcasco's zijn in de projectmatige woningbouw tunnelbekistingen en wand- en tafelsystemen gebruikelijk (Boom, et al., 2005, p. 110). In combinatie met de holle-wandblokken van e-Block is de toepassing van een tunnelbekisting niet handig, tunnelbekistingen zijn met name ontworpen om wanden en vloeren in één keer te kunnen storten. Een tafelbekisting is wel bruikbaar in combinatie met e-Block. Voor de enkele woningbouw zal meestal gebruikt gemaakt worden van systeembekistingen.

De massieve betonvloer kan na het stellen van de bekisting en aanbrengen van de wapening gestort worden. Eventueel kan wapening vanuit de wand ook in de vloer gebogen worden. Omdat zowel de wand als de vloer in het werk gestort worden is een nauwkeurige aansluiting haalbaar.

In het ontwerp van de woning is een breedplaatvloer voorzien als verdiepingsvloer. Deze vloer is ontworpen met een dikte van 250mm. In het detail met de massieve betonvloer is van eenzelfde vloerdikte uitgegaan.

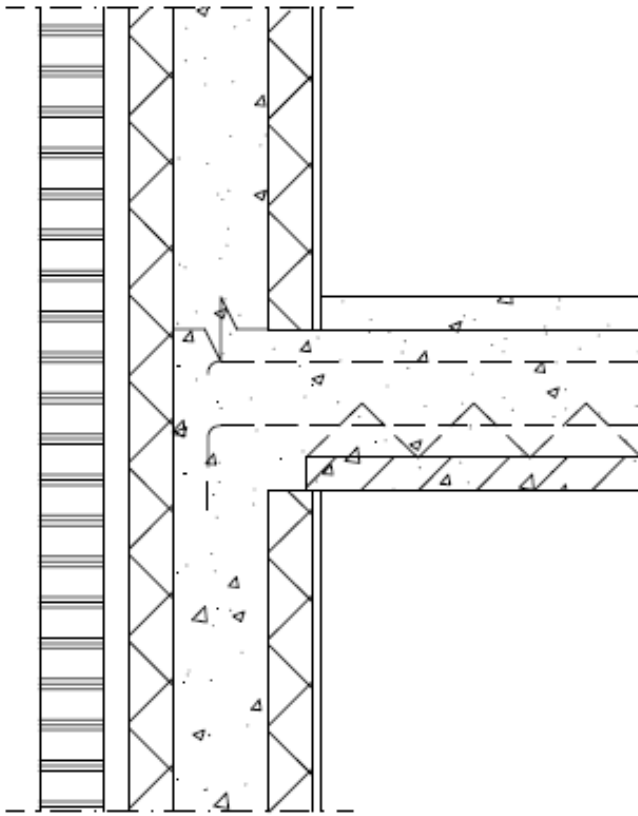


Figuur 5.3 Detail 02 aansluiting massieve vloer op e-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.3.2 Breedplaatvloer

Een breedplaatvloer wordt geprefabriceerd als betonplaat van 50 tot 80mm dik (Abspoel, et al., 2010, p. 8.26). Deze betonplaat dient als bekisting voor de in het werk gestorte druklaag. In de betonschil is wapening opgenomen die na het storten van de druklaag als onderwapening van de

vloerplaat dienst doet. Zolang die betonlaag nog niet gestort is heeft deze wapening de functie om trekkrachten in dat stadium op te nemen. Denk bijvoorbeeld aan het opnemen van de belastingen die de breedplaat bij het transport ondergaat. In lengterichting kan de plaat voorgespannen worden. De wapening die uit de plaat steekt faciliteert een goede koppeling met de in het werk gestorte betonnen druklaag.



Figuur 5.4 Detail 03 aansluiting breedplaatvloer op c-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

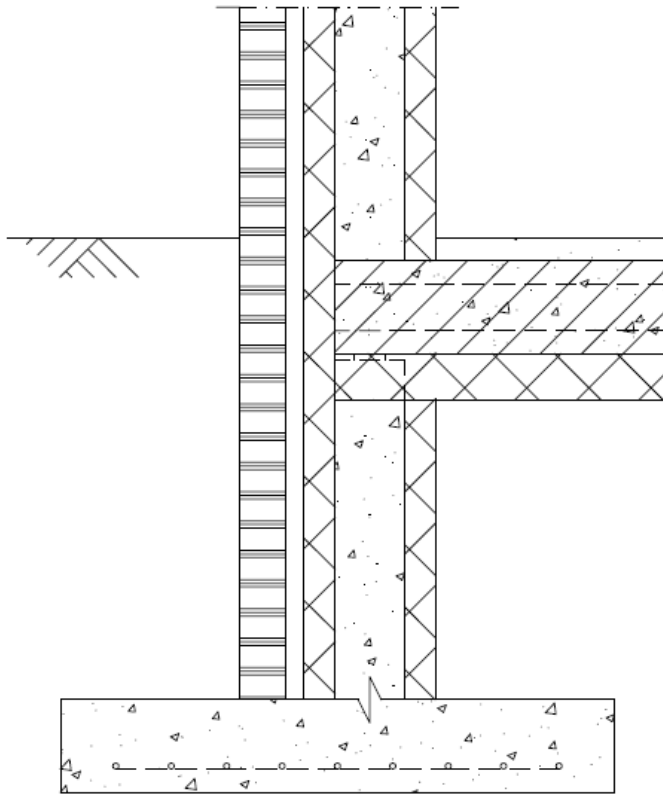
Ook deze vloer is, net als de massieve betonvloer, goed te combineren met een geïsoleerd bekiste wand. De betonplaat heeft op beton een opleglengte van 10 mm nodig (Beton Son, 2003, p. 4). In dat geval is nog wel koppelingswapening nodig om verzekerd te kunnen zijn van een goede verbinding.

5.3.3 Kanaalplaatvloer

Een kanaalplaatvloer, ook wel holle plaatvloer genoemd, is een geprefabriceerde voorgespannen betonplaat met holle kanalen over de hele lengte. Deze holtes verminderen het gewicht van de vloer. Nadat kanaalplaten op een constructie zijn aangebracht moeten ze nog afgewerkt worden met een afwerklaag. Kanaalplaten worden veel gebruikt als begane grondvloer, maar ook als verdiepingvloer zijn de platen goed bruikbaar. In de toepassing als begane grondvloer van verwarmde ruimtes moet de onderzijde van de kanaalplaat wel van isolatiemateriaal worden voorzien om condensatie op het betonoppervlak te voorkomen (VBI, 2003, p. 32).

Voor een kanaalplaatvloer op een betonnen wand is een minimale opleglengte van 80mm vereist, maar aan 100mm wordt de voorkeur gegeven (VBI, 2003, p. 49). Meestal wordt een kanaalplaatvloer dan ook opgelegd over de hele wandbreedte. Bij ons ontwerp met een 150mm

brede betonwand kan de vloer over deze hele breedte opgelegd worden. Het is ook mogelijk om de vloer slecht 100mm op te leggen en de overige ruimte, al dan niet voorzien van wapening, aan te gieten met beton.

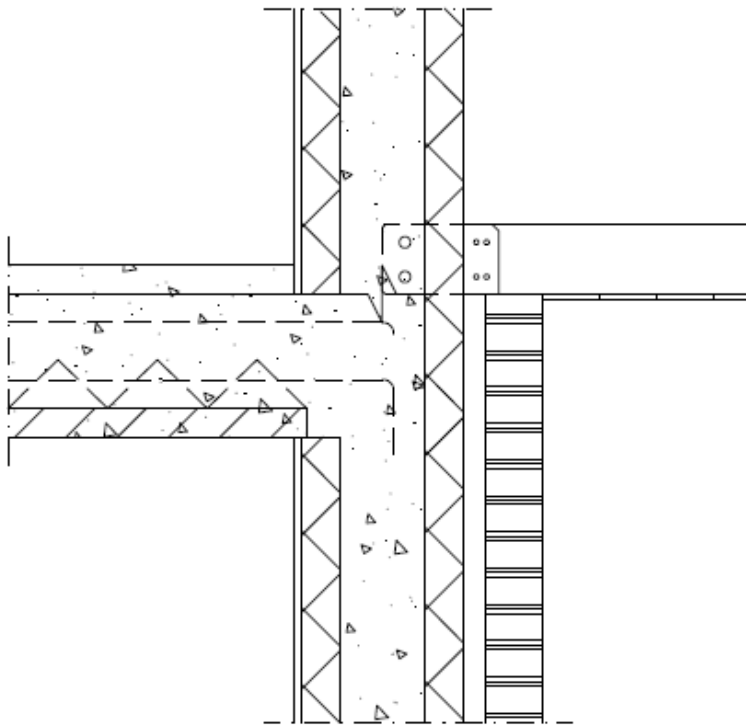


Figuur 5.5 Detail 04 aansluiting kanaalplaatvloer op e-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.3.4 Houten vloer

Houten vloeren werden in het verleden veel gebruikt, zelfs als woningscheidende vloer. Nog steeds worden houten vloeren wel toegepast, maar dan als vloer voor ruimtes die niet als verblijfsruimte gelden. Dat kunnen bijvoorbeeld zoldervloeren van woningen zijn. De slechte geluidsisolerende werking mag dan een groot nadeel zijn, houten balken en planken zijn wel makkelijker te transporteren.

De houten balken die de vloerelementen moeten dragen kunnen aangebracht worden op stalen balkschoenen. Deze balkschoenen worden ook geleverd voor toepassing in de EPS-blokken van e-Block. De stalen elementen kunnen door de EPS laag gestoken worden voordat het beton gestort wordt. Met het betonstorten worden ze in het beton gegoten zodat een muurvaste verbinding ontstaat.

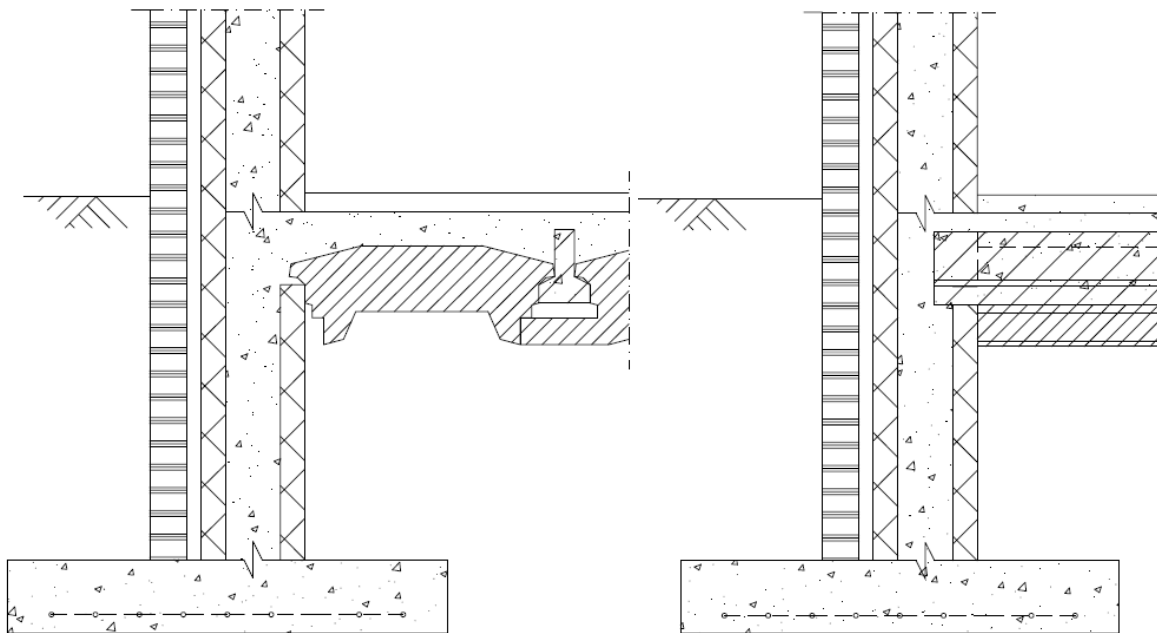


Figuur 5.6 Detail 05 aansluiting houten balklaag op e-Block. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.3.5 Combinatievloer

Combinatievloeren zijn opgebouwd uit betonnen ligger met daartussen vulblokken. Vaak bestaan deze combinatievloeren uit liggers van beton of staal waartussen speciale blokken PS-schuim, vaak EPS, worden aangebracht. In het vakjargon van de bouwwereld staan deze vloeren ook wel bekend als ‘balken-broodjesvloer’. De broodjes EPS dienen als bekisting voor de betonlaag die wordt aangebracht. In Europa zijn er verschillende fabrikanten die deze vloersystemen leveren (VanderWerf, et al., 1997, p. 161). De vloer vindt meestal een toepassing als begane grondvloer in woningen (Cement & Beton, 2010).

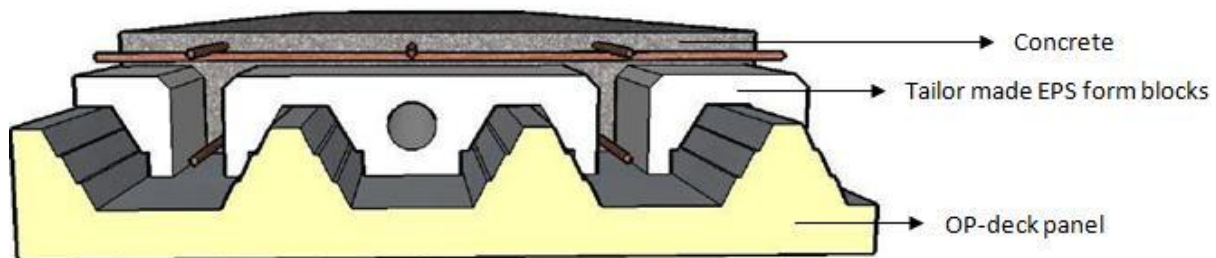
De toepassing van deze ‘balken-broodjesvloeren’ in combinatie met e-Block is interessant omdat beide systemen een EPS-bekisting leveren. Volgens VanderWerf et al. is er veel vraag naar optimalisatie van deze vloersystemen voor toepassing met verloren geïsoleerde bekistingen (1997, p. 161). Een nauwkeurige aansluiting van beide producten kan de negatieve invloed van een koudebrug die zich normaal bij een vloeraansluiting bevindt verminderen. De betonnen balken worden in gesloten in het EPS. Deze kunnen opgelegd worden op de betonnen wand zodat deze later ingestort worden in het beton.



Figuur 5.7 Details 6a en 6b aansluitingen combinatievloer op e-Block wand. Dezelfde tekeningen staan met meer informatie in bijlage 8.

5.3.6 Staalplaatbetonvloer

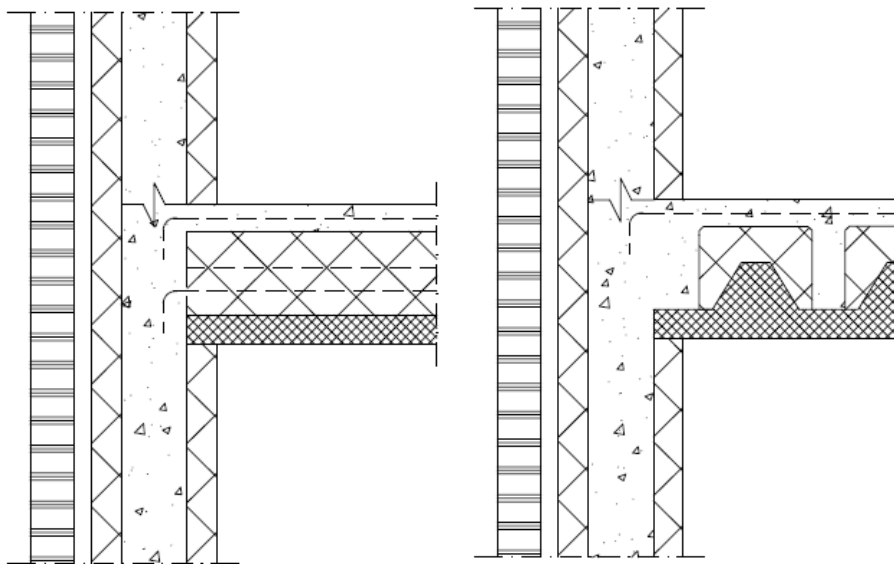
Een andere vorm van verloren bekistingen in de vloerenmarkt is de staalplaatbetonvloer. De basale vorm is een trapeziumvormige doorsnede van de staalplaat die wordt opgelegd op een dragende wand. Op deze staalplaat wordt beton gestort. Uitgaande van dit principe zijn ook vloeren ontwikkeld met isolatie. Het systeem OP-deck van de Nederlandse fabrikant Reppel is daar een voorbeeld van. Dit product wordt in het buitenland op de markt gebracht voor toepassing met ICF-wanden. In het systeem is het OP-deck-paneel een sandwichpaneel van staalplaten met daartussen PIR-schuim. De onderste staalplaat is vlak, de bovenste staalplaat heeft de kenmerkende trapeziumvormige doorsnede die ook wordt gebruikt voor staalplaatbetonvloeren. Op deze trapeziumvorm worden EPS-blokken geplaatst om het volume van het beton terug te brengen en zo het gewicht van de vloer te verminderen (Reppel, 2012). Op dit pakket wordt vervolgens beton gestort. De doorsnede van het beton is vergelijkbaar met die van een ribbenvloer.



Figuur 5.8 Doorsnede van het OP-deck vloersysteem van Reppel.

Staalplaatbetonvloeren worden meestal gebruikt in de staalskeletbouw (Cement & Beton, 2010). Dat wil niet zeggen dat de gewone staalplaatbetonvloer niet te combineren is met gietbouw of met de wanden die gemaakt worden met e-Block. De staalplaat kan opgelegd worden over de

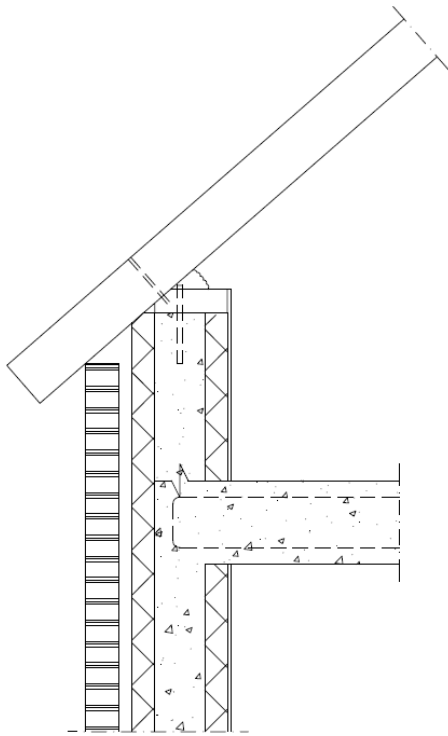
binnenste EPS-laag op het beton van de wand. Het eerste nadeel dat hierbij optreedt is de slechte aansluiting van de trapeziumvorm op het EPS. Om te voorkomen dat hier een groot warmtelek ontstaat zullen de openingen alsnog afgesloten moeten worden met EPS of een andere isolatiemateriaal. Vloeren van OP-deck hebben dit nadeel niet door hun vlakke onderkant. De isolatie van deze vloeren kan aangesloten worden op de binnenste EPS-laag van de wand. Het beton van de vloer sluit vervolgens aan op het beton van de wand. Deze zullen ook constructief gekoppeld moeten worden met wapening die doorloopt tot in de wand.



Figuur 5.9 Detail 7a en 7b OP-deck vloersysteem op e-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.4 Dak

De aansluiting van het dak op de gevel is een belangrijk onderdeel van een gebouw. In deze aansluiting eindigt de gevel en eindigt dus net zo goed de isolerende werking van die gevel. Datzelfde geldt voor de dakconstructie, ook dat eindigt in deze aansluiting. De isolatie van gevel en dak moeten zorgvuldig aangesloten worden. Niet alleen komen verschillende isolatielagen bij elkaar, ook het constructiemateriaal van de gevel is anders dan dat van het dak. Zo moet er bijvoorbeeld ruimte zijn voor het uitzetten dan wel krimpen van gevelmetselwerk (Rentier, et al., 2005, p. 39). Afhankelijk van het ontwerp kan de dakconstructie constructief bevestigd worden aan de vloer die op de gevels ligt dan wel met een muurplaat bevestigd worden aan de gevelconstructie. Voor de eerste vorm zal gekozen worden als het dak eindigt boven de gevel, voor de laatste detaillering zal gekozen worden als het dak als overstek ontworpen is. Wat aansluiting betreft lijken beide verbindingen op elkaar. Een houten element wordt bevestigd op het beton van de muur of van de vloer. Daarop wordt de dakplaat bevestigd.

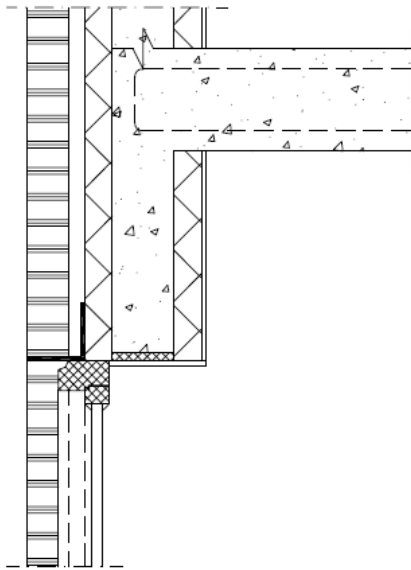


Figuur 5.10 Detail 8 aansluiting dak op e-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.5 Muuropeningen: deuren en ramen

Bij het opbouwen van geïsoleerde bekistingen met behulp van blokken of planken is het eenvoudig om de ruimtes voor deuren of ramen vrij te houden. Als dat nodig is kan het EPS met een handzaag makkelijk op maat gezaagd worden. In de openingen die ontstaan kunnen alle zijden afgewerkt worden met EPS panelen of houten planken. In sommige gevallen worden EPS panelen op maat geleverd door de fabrikant. De panelen of planken kunnen verzonken in de openingen worden aangebracht of daar bovenop gemonteerd worden. Hierdoor ontstaat één doorlopend geheel van het oppervlak, dat heeft voordelen bij bijvoorbeeld het stuccen. Een verzonken montage van de panelen verdient de voorkeur omdat dan een koudebrug wordt voorkomen. Wat dat betreft zijn de afwerkingspanelen van EPS beter dan die van hout of staal, deze beperken een potentiële koudebrug (Tovey, et al., 2007, p. 71). De panelen die geleverd worden door e-Block zijn voorzien van kunststof stijlen waarin bijvoorbeeld een raam- of deurkozijn geschroefd kan worden.

Deze kozijnen zijn normaal gesproken niet in staat de belasting van het beton over de bovenzijde van de opening op te nemen. Daarvoor worden lateien gebruikt, constructieve elementen die deze belastingen opnemen. In de blokken van e-Block kan wapening aangebracht worden boven de opening nog voordat het beton gestort wordt. Na het verharden van het beton is de raamopening voorzien van een lateiconstructie. Bij het metselwerk kan een latei uitgevoerd worden volgens de systemen zoals we die al kennen op de Nederlands markt, in beton, staal of voorgespannen baksteen.



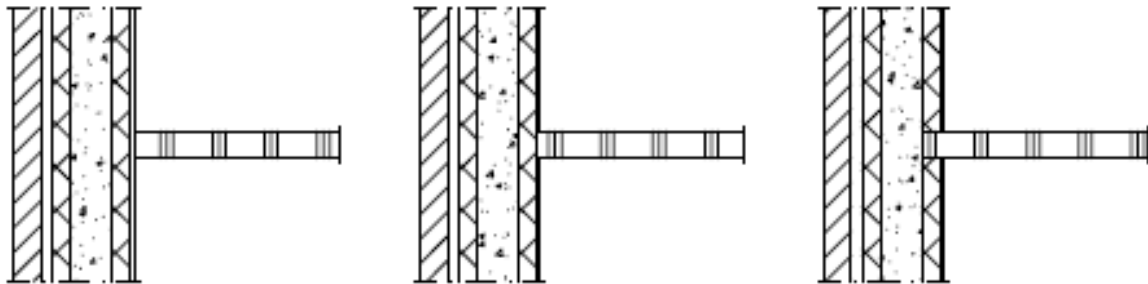
Figuur 5.11 Detail 9 aansluiting kozijn op e-Block wand. Dezelfde tekening staat met meer informatie in bijlage 8.

5.6 Binnenwanden

De binnenwanden in gebouwen worden vaak alleen gebruikt om ruimten te scheiden. Een enkele keer heeft een binnenwand een constructieve functie, als dragende muur of als stabiliserende schijf. Als een casco wordt gebouwd met een holle-wandsysteem kunnen ook deze binnenmuren met constructieve functie gebouwd worden met elementen van dat holle-wandsysteem. Wordt het systeem van e-Block gebruikt, dan kunnen die binnenwanden aangesloten worden op de gevel met behulp van T-blokken. De aansluiting van de binnenwand op de gevel is in dat geval niet ingewikkeld. Maar het is de vraag of het altijd gewenst is om in een binnenruimte wanden met blijvende bekisting te gebruiken. Het EPS dat bij een buitenwand een belangrijke isolerende werking heeft, kan bij een binnenwand niet echt een nuttige bijdrage leveren. Deze isolatielagen nemen daarentegen wel ruimte in. Om op muurdikte te besparen is de keuze voor een ander systeem bij het bouwen van de binnenwanden dan ook verdedigbaar. Deze wanden kunnen gebouwd worden volgens de verschillende bekende bouwmethodes, gietbouw, stapelbouw en montagebouw. Omdat de wanden soms een constructieve functie hebben zullen ze permanent zijn. Om goede geluidsisolatie te kunnen waarborgen moet nagedacht worden over de detaillering van deze aansluiting (Tovey, et al., 2007, p. 66). Ruimte tussen de binnenwandconstructie en de gevelconstructie kan gezien worden als geluidstek tussen deze ruimtes, ook wel aangeduid met de term 'omloopgeluid' (Linden, et al., 2006, p. 217). Dit omloopgeluid wordt voorkomen bij een nauwkeurige aansluiting tussen de twee constructiedelen. De meest directe aansluiting wordt verkregen door de constructie van de binnenmuur aan te sluiten op de betonnen schil van de gevel. Omdat de EPS-laag daarbij in de weg zit zal deze plaatselijk verwijderd moeten worden.

Moelijker wordt het echter als er lichtere, niet-dragende wanden worden gebruikt die alleen een ruimtescheidende functie hebben. Deze lichtere constructies kunnen opgebouwd zijn met gasbeton- of gipsblokken of bestaan uit metalen dan wel houten stijl- en regelwerk. Het EPS aan de binnenkant van de gevel belemmert het direct constructief aansluiten van de binnenmuur op de gevel. Een slechte aansluiting kan voor een groot geluidstek tussen beide ruimtes zorgen. Het is goed om daar rekening mee te houden. Om dit geluidstek te voorkomen zou het EPS weggehaald kunnen worden ter plaatse van de aansluiting van de binnenwand op de gevel. De

bouwelementen van deze wand steken dan door het EPS en sluiten aan op het beton van de gevelconstructie. Een andere optie is om de binnenmuur aan te laten sluiten op het EPS. De binnenafwerking van het EPS stoot in dat geval tegen de binnenmuur waardoor een mogelijk geluidslek beperkt wordt. De laatste optie is om de binnenmuur gewoon tegen de afgewerkte gevel te plaatsen en het risico op een geluidslek te nemen.



Figuur 5.12 Aansluitingen binnenwand op dragende gevelconstructie.

5.7 Afwerking

Producten van polystyreen, zoals het voor e-Block gebruikte EPS, kennen een aantal nadelen. Estetisch heeft het bijvoorbeeld weinig waarde, maar ook de structuur is niet hard en sterk genoeg om blootgesteld te worden aan alle mogelijke belastingen. In deze paragraaf wordt ingegaan op de manier waarop het EPS afgewerkt kan worden aan de binnenzijde en aan de buitenzijde van de gevel.

5.7.1 Binnenafwerking

Aan de binnenkant van een wand zal het EPS afgewerkt worden om meerdere redenen. Allereerst heeft EPS niet de uitstraling die bij de binneninrichting van woningen past. Daarnaast is het niet hard en sterk genoeg voor de functie van een binnenwand en is het bovendien te vatbaar voor vuurbelasting. EPS zal daarom bedekt moeten worden. Deze afwerking kan op drie manier volgens VanderWerf et al. (1997, p. 171): met pleisterwerk, met houten belegstukken en daarover gipskartonplaten of met enkel gipsplaten. De gipsplaten, al dan niet met belegstukken, kunnen op het holle-wandblokken systeem van e-Block geschroefd worden in de daarvoor bestemde “fastening strips”. Deze kunststof stroken zijn om de 203mm in het EPS geplaatst ter hoogte van de dwarsverbindingen tussen de twee EPS-lagen (Nudura, 2008, p. 53). Een gipsplaat kan met daarvoor gebruikelijk materiaal op de stroken bevestigd worden.

Eventuele installaties die aan de muur gehangen moeten worden kunnen ook bevestigd worden aan deze kunststof stijlen. Het bedrijf Bodycote Materials Testing Canada inc. heeft testen uitgevoerd met gipsplaatschroeven in de kunststof *fastening strips* van e-Block (Addison, 2001). De resultaten van een treksterkte experiment, weergegeven in Tabel 5.3, laten zien dat bijvoorbeeld een schroef met een diameter van 4,8mm een trekkracht van 1220N gemiddeld kan opnemen.

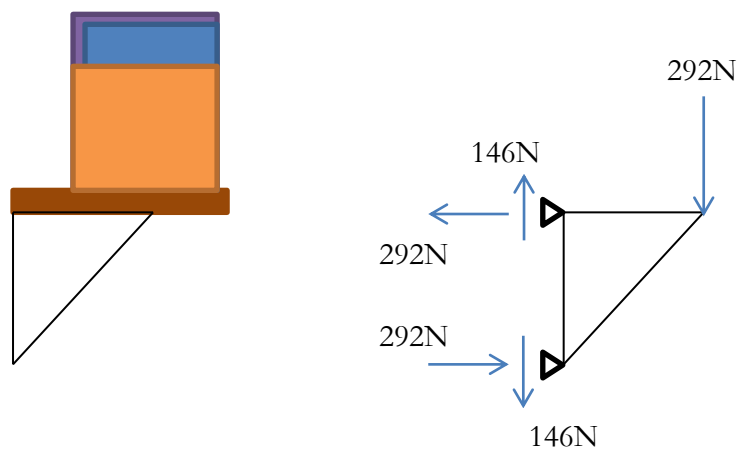
Tabel 5.3 Uittreksterkte verbinding (Addison, 2001, p. 2).

Substraat	Kunststof strook in ICF e-Block					Hout	
Verbinding	3,5mm gipsplaat schroef	4,8mm pancilinder schroef	Ardox spijker	Asfaltnagel	Ardox air spijker	Ardox spijker	Asfaltnagel
Gemiddelde	0,9889	1,220	0,0995	0,2812	0,2448	0,3355	0,7826

[kN]							
Std. dev.	0,0484	0,115	0,0097	0,0403	0,0349	0,0508	0,1266
[kN]							

Uit een ander experiment (Addison & Bailey, 2004) waarin ook de capaciteit om dwarskrachten op te nemen werd onderzocht blijkt dat een 3,5mm schroef in de *fastening strip* van e-Block gemiddeld 412N kan opnemen.

Stel, we willen een boekenplank ophangen. Deze plank is 2m lang, 4cm dik en 30cm breed. Met dat gegeven gaan we uit van een belasting van 42N/m (gezaagd hout C24 als uitgangspunt). De plank is opgelegd op 2 steunen, gelijkbenige driehoeken met een beenlengte van 20cm waarvan we het gewicht hier verwaarlozen en die we schematiseren met een scharnier in elke punt. De plank staat vol, 2 meter boeken die de plank belasten met 250N/m. Een schets en een vereenvoudigd mechanicaschema worden in Figuur 3.1 weergegeven. Als de boekensteun een gelijkbenige driehoek is en elke steun de helft van de kracht opneemt (292N per steun), ontstaat er in de bovenste oplegging een horizontale trekkracht van 292N. Leggen we dit resultaat naast Tabel 5.3, dan kunnen we concluderen dat, wat het opnemen van de trekkracht betreft, zowel de gipsplaatschoef als de pancilinderschroef zal voldoen als verbindingsmiddel. De dwarskracht bedraagt 146N per schroef. Een 3,5mm gipswalschroef kan deze dwarskracht opnemen.



Figuur 5.13 Schets en vereenvoudigd mechanicaschema van een boekenplank.

Aan de hand van dit kleine voorbeeld kunnen we stellen dat het ophangen van kleine installaties aan de kunststof stroken zeker mogelijk is. Het verdient echter geen aanbeveling om zwaardere elementen die ook nog eens dynamisch belast worden aan de kunststof stijlen op te hangen. Keukenkastjes bijvoorbeeld kunnen beter bevestigd worden in de betonnen constructies achter het EPS. Hiervoor is professioneel gereedschap nodig (Engelenhoven, 2012). Ook een afwerking met multiplex in plaats van met gipsplaat kan overwogen worden op plaatsen waar veel systemen aan de wand gehangen moeten worden. Omdat de kunststof stroken om de 200mm geplaatst zijn is de gebruiker gebonden aan deze afstand voor zijn ophangpunten. Om daar minder afhankelijk van te zijn kan een houten strip bevestigd worden waaraan dan het systeem opgehangen kan worden. Maar dat zijn praktische bezwaren. Het voorbeeld van de boekenplank toont aan dat het

niet nodig is om extra voorzieningen te treffen voor het opvangen van huis-tuin-en-keuken producten.

5.7.2 Buitenafwerking

De buitenkant van de gevel zal, net als de binnenwand, in ieder geval al om esthetische redenen afgewerkt worden. Maar ook de blootstelling aan de weersinvloeden en het opvangen van mogelijke belastingen speelt een rol in de keuze voor een buitenafwerking.

EPS is niet heel gevoelig voor weersinvloeden. Zo is het schuim vochtongevoelig, grondwaterneutraal, schimmel- en rotvrij (Stybenex, 1998, p. 13). Aan de temperatuur wordt wel een grens gesteld, deze mag niet oplopen boven 70°C (Stybenex, 1998, p. 7). In de buitenlucht zal de temperatuur in een normale situatie niet zo hoog oplopen. Volgens Stybenex is EPS behalve voor een hoge temperatuur ook gevoelig voor UV-straling (1998, p. 25). De straling tast het materiaal langzaam aan. De invloed van het buitenklimaat op EPS is dus niet erg groot maar wel genoeg om een afdekking noodzakelijk te maken.

Evenals binnen moet ook buiten het EPS beschermd worden tegen belastingen. Het schuim is geen hoogwaardig en hard materiaal. Dit betekent dat het makkelijk beschadigd als er bijvoorbeeld een fiets tegen een EPS-wand wordt gegooid. Ook om deze reden zal de buitenkant van het EPS beschermd moeten worden met een harde afwerkingslaag.

Voor de buitenafwerking van e-Blocks zijn er genoeg mogelijkheden. Eigenlijk alle systemen die bruikbaar zijn in de bouwpraktijk kunnen toegepast worden. Een afwerking met baksteen is voor Nederland karakteristiek. Een metselwerk buitenspouwblad zal wel verbonden moeten worden aan de constructief dragende muur met daarvoor bestemde verbindingsmiddelen (VanderWerf, et al., 1997, p. 173). Deze verbindingen worden door het EPS gestoken waardoor ze na het storten van het beton vast zitten. Aan de andere zijde worden ze ingemetseld. Zo ontstaat een sterke verbinding tussen het betonnen dragende binnenspouwblad en het metselwerk buitenspouwblad. Omdat de EPS-blokken van e-Block voorzien zijn van ingegoten kunststof stijlen zou hierin ook een verbindingsmiddel geschroefd kunnen worden voor de verbinding met het metselwerk (VanderWerf, et al., 2006, p. 116).

Gevelpanelen kunnen bevestigd worden aan de verstevigingsribben die in het EPS gegoten zitten mits de massa van de elementen niet te hoog is. Bij de toepassing van de panelen zal een spouw over het algemeen achterwege gelaten worden. Met gevelpanelen is daarmee een dunner gevelpakket haalbaar dan wanneer de buitenkant van de gevel wordt afgewerkt met metselwerk.

Datzelfde geldt ook bij pleisterwerk dat in een dunne laag aangebracht kan worden op het EPS. In Noord-Amerika is een afwerking met stucwerk populair (VanderWerf, et al., 1997, p. 176). In Europa kennen landen als Duitsland een gevelstuccultuur (Boxtel, 2006). Die pleisterwerktraditie hebben we in Nederland niet, maar volgens Van Boxtel zijn er in ons land inmiddels ook al “tientallen miljoenen vierkante meters van gepleisterde gevelisolatie voorzien”. In Nederland is een gladde afwerking door een stucadoor dus zeker mogelijk.

Op de markt zijn ook steenstrips verkrijgbaar die op het EPS gelijmd kunnen worden. Aan de buitenkant na afwerking dan niet te zien dat er geen echte metselwerk buitenschil is toegepast, maar een steenstrip die daarop lijkt. Bij een bouwproject in Leiden waar e-Block is toegepast

werd ook gebruik gemaakt van deze plakstenen. Het grote voordeel van deze steen is dat het muurpakket aanzienlijk gereduceerd wordt (Oldenbarneveld, 2012). Wat isolatie betreft zal de muur niet veel anders presteren dan met een baksteen afwerking.

6 SWOT-analyse

In Nederland wordt EPS al jaren gebruikt als bouw materiaal, ook in de woningbouw. Op de markt zijn bekistingssystemen van EPS verkrijgbaar voor funderingen en voor vloeren. Op de Amerikaanse markt is dit aanbod breder. Daar worden ook wanden van EPS gebouwd. Terwijl de bouwblokken die deze EPS-isolatie verzorgen voor Amerikaanse begrippen hoge R-waarden halen is de warmtedoorgang in Nederland vergelijkbaar met die van de gebruikelijke systemen. Veel slechter presteert een wand van e-Block niet, maar veel beter dan de een traditionele wand doet een wand met verloren geïsoleerde bekisting het evenmin.

In dit laatste hoofdstuk worden de aspecten tegenover elkaar gezet in een SWOT-analyse. Achtereenvolgens zullen de sterke punten, zwakke punten, kansen en bedreigingen voor e-Block aan de orde komen.

6.1 Sterke punten

Een sterk punt van de verloren geïsoleerde bekistingen is dat van een beproefde methode gebruik gemaakt wordt, beton wordt in een bekisting gestort. In Nederland kennen we beton, mits goed gebruikt, als een betrouwbaar bouw materiaal. Datzelfde materiaal wordt in het ICF-systeem toegepast om de constructie vorm te geven. De eisen die aan het beton gesteld worden zijn daarbij ook nog eens vergelijkbaar met de eisen die bijvoorbeeld de gietbouw aan het beton stelt.

De bekisting wordt een verloren bekisting genoemd maar is dat eigenlijk niet. Verloren geldt wel voor de inzetbaarheid van het systeem als bekisting, maar dat is niet de enige functie. De andere functie, isoleren, kan goed gebruikt worden. De fase waarin isolatie het belangrijkste is, is de exploitatiefase waarin het binnenklimaat van het buitenklimaat geïsoleerd wordt. Maar al veel eerder in het bouwproces komen de voordelen van een geïsoleerde bekisting van pas. Het EPS beschermt ook het beton tegen de extremen in het buitenklimaat. Bij vorst wordt er in Nederland voor gekozen om niet te storten of om verwarmd beton te verpompen in geïsoleerde bekistingen. De bekistingen van e-Block zijn blijvend geïsoleerd en bieden dit voordeel dus altijd. De isolatie vertraagt het drogingsproces van beton, de krimp van het beton vermindert waardoor minder wapening nodig is.

Doordat met het beton een monoliete constructie wordt gevormd die ook nog eens in zijn geheel is ingepakt in EPS wordt het aantal koudebruggen gereduceerd en de luchtdichtheid vergroot. Dit geldt niet alleen voor ICF-wanden, ook vloeren en kozijnen kunnen als het ware in het systeem opgenomen worden. Dit is wel afhankelijk van het vloersysteem dat gekozen wordt. In principe zijn alle in Nederland veelgebruikte vloersystemen toepasbaar. Bij vloersystemen met een isolatielaag kan deze laag vaak aangesloten worden op de binnenisolatie. Van de vloersystemen die in dit rapport besproken zijn doet eigenlijk alleen het systeem van OP-deck dit optimaal, met een minimum aan koudebruggen.

We kunnen ook constateren dat de ICF-wand op het gebied van geluid en brandwerendheid voldoende is. Door de massa van beton wordt de geluidsdoorgang belemmerd. Datzelfde beton zal er ook voor zorgen dat branddoorslag lang tegengehouden wordt. Het EPS levert aan beide aspecten geen bijdrage. Voor brandveiligheid geldt zelfs dat het EPS beschermd moet worden tegen een blootstelling aan vuur. Maar door de binnenaafwerking is deze bescherming vanzelfsprekend.

6.2 Zwakke punten

Bouwfysisch gezien presteert een ICF-wand op zichzelf niet veel beter dan een traditionele wand. Doordat er binnen en buiten de betonnen wand isolatie is aangebracht is het risico op condensatie groter. Uit dit onderzoek is gebleken dat bij een normale situatie geen condensatie op zal treden. Wel hebben we gezien dat het systeem daar kwetsbaar voor is in vochtige ruimtes.

Door de EPS-laag aan de binnenzijde wordt ook de warmte-accumulerende capaciteit van de betonnen wand minder benut dan wanneer deze isolatielaag er niet geweest zou zijn. Weliswaar zal de binnenafwerking van het EPS, vaak gipskartonplaat of pleisterwerk, een kleine bijdrage leveren aan de warmteaccumulatie, de grotere capaciteit van het beton wordt niet gebruikt.

Wat warmteweerstand betreft is EPS op de huidige markt niet het materiaal met de hoogste waarde. Het presteert vergelijkbaar met de meest eenvoudige variant van minerale wol. Het nadeel is daarbij ook nog eens dat men gebonden is aan de vaste EPS-dikte. Voor binnenruimten is dit EPS eigenlijk niet eens nodig, terwijl men voor een buitengevel mogelijk meer isolatie nodig heeft. Meer isolatie zal helemaal nodig zijn als in 2015 de vereiste R_c -waarde omhoog zal gaan van 3,5 naar 5,0 (Belzen, 2012). Hier is wel een oplossing voor, er zijn EPS-platen verkrijgbaar die in de holle ruimte van de blokken geschoven kan worden en waarmee de isolatiewaarde van een gevelpakket vergroot kan worden.

Dat zwakke punt wat de flexibiliteit van de wanddikte betreft raakt ook de betonwanddikte. In Nederland staat de Eurocode het niet toe om een dragende wand van 100mm te storten in een verloren bekisting. De volgende wanddikte die bij e-Block beschikbaar is bedraagt 150mm. Dit is meteen een toename van 50mm voor het wandpakket, 50mm die anders beschikbaar was geweest als vrije ruimte in of buiten het gebouw. Bovendien zal in veel gevallen een grotere fundering nodig zijn om in de nodige draagkracht te kunnen voorzien.

Tot slot is de afwerking een punt van aandacht. Omdat het EPS de binnenzijde van de betonwand bekleedt, zal hier een afwerkingslaag van gipsplaten of stucwerk overheen komen. Hier zijn echter geen zware constructies aan op te hangen. Het beton zit relatief onbereikbaar achter een laag van 67mm.

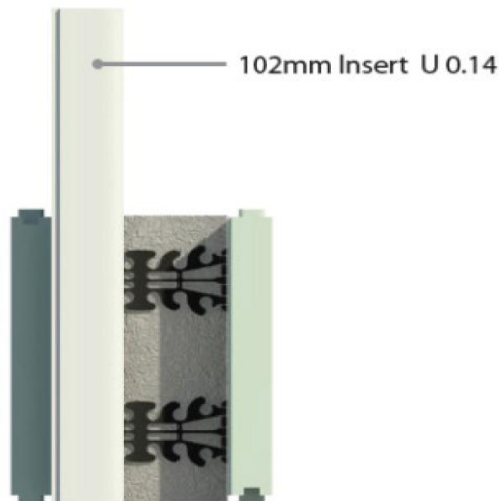
6.3 Kansen

Op verschillende punten presteert een ICF-wand op zichzelf niet beter of zelfs slechter dan een traditionele wand. Dat wil echter niet zeggen dat het ICF-systeem als geheel het slecht doet. Bij de sterke punten werden de permanente en luchtdichte isolatie genoemd. Een combinatie van ICF-wanden en ICF-vloeren zal met die sterke punten voor een kwalitatief hoogwaardig gebouw zorgen.

Een grote kans ligt dan ook in het presenteren van bouwen met verloren geïsoleerde bekistingen als concept. Dit zou dan als bouwmethode functioneren naast de bouwmethodes die we in Nederland al kennen: stapelbouw, gietbouw, prefabbeton montagebouw en houtskeletbouw. Natuurlijk zijn delen van deze nieuwe bouwmethode uitwisselbaar met de andere bouwmethodes, dat geldt ook al voor de huidige bouwmethodes. Kanaalplaatvloeren, een systeem dat we bij stapelbouw zouden kunnen rekenen, worden ook toegepast in gietbouw. Het ICF-concept kan als bouwmethode dan beoordeeld worden ten opzicht van andere bouwmethodes.

Als zwak punt werd het nutteloze EPS op de binnenwanden genoemd. Dit is echter geen negatief punt als ICF wordt gecombineerd met een wandverwarmingssysteem. Warmte die vrijkomt, gaat niet verloren door het accumulerende vermogen van beton. Misschien, en dat is mogelijk een gebied waar nog meer onderzoek in gedaan zou kunnen worden, heeft binnenisolatie van ruimten grote voordelen als het wandverwarmingssysteem van Active Warmth wordt toegepast. Dat lage-temperatuur verwarmingssysteem kwam aan de orde in hoofdstuk 4 bij het onderdeel over warmteaccumulatie. Dit systeem verwarmt ruimten snel als er mensen aanwezig zijn. Als een dergelijk systeem toekomst heeft kan isolatie van binnenwanden ook een rol gaan spelen om warmteverlies tussen ruimten binnenshuis te beperken.

Een ander zwak punt is de niet-flexibele isolatie. Inmiddels worden wel isolatieplaten op de markt gebracht die in de holle ruimte gestoken kan worden voor het beton gestort wordt. Op dit moment zijn diktes van 50mm en 100mm beschikbaar. Hiermee is de isolatie naar wens aan te passen. De blokken van e-Block kunnen daarmee als basissysteem gezien worden waarbij isolatieverbetering met flexibele, additionele isolatie mogelijk is.



Figuur 6.1 Additionele isolatie voor e-Block.

De kunststof stroken die in het EPS gegoten zijn kunnen ten slotte ook als kans gezien worden. In tegenstelling tot het harde beton of steen zijn hier eenvoudig bevestigingsmiddelen in aan te brengen. Bovendien blijkt de trekkracht die op normale schroeven kan worden uitgeoefend ruim voldoende te zijn om bijvoorbeeld een boekenplank aan op te hangen.

6.4 Bedreigingen

De grootste bedreiging voor het systeem is de relatieve onbekendheid. ICF moet een plaats zien te veroveren op de markt van bouwsystemen. Omdat het systeem in de basis al anders is dan andere bouwsystemen zal het zich moeten bewijzen. EPS heeft niet een hele goede naam als isolatiemateriaal bleek uit de interviews. Daar staat wel tegenover dat EPS als bekistingsmateriaal al wel bekend is.

Als op termijn daadwerkelijk de energieprestatie-eis omhoog gaat en de wanden een Rc-waarde van 5,0 moeten halen zal dit ook haalbaar moeten zijn met geïsoleerde bekistingen. Anders zal

een ontwerp met een ICF-systeem al niet eens goedgekeurd kunnen worden. Hogere Rc-waardes zijn al wel haalbaar door een extra isolatielaag buiten of binnen de holle-wandblokken aan te brengen.

Een bedreiging is ook de hoge wanddikte van minimaal 150mm die toegepast moet worden. Hierdoor is meer beton nodig dan in een vergelijkbaar geval bij gietbouw nodig zou zijn. De kosten worden hierdoor opgedreven. Een wijziging van de afmetingen van de blokken of een versoepeling van de Eurocode zullen nodig zijn om dit risico weg te nemen.

In de strijd tussen isolatiematerialen zullen de ICF-systemen geen hoge ogen gooien als het om de warmteweerstand gaat. Daarom zal aantoonbaar gemaakt moeten worden op welke bouwfysische aspecten de ICF-systemen juist wel goed functioneren. Dit heeft ook alles te maken met het presenteren van ICF als een concept. Een risico is namelijk dat het ICF-systeem wordt gecombineerd met andere bouwmethoden die ervoor zorgen dat de voordelen van ICF teniet gedaan worden. Als dit vervolgens geweten wordt aan het functioneren van de geïsoleerde bekistingen zal dat geen goede naam opleveren.

7 Conclusies en aanbevelingen

Uit het onderzoek dat gedaan is en dat verwerkt is in de SWOT-analyse blijkt dat ICF-systemen goed kunnen functioneren op de Nederlandse bouwmarkt. Er wordt gebruik gemaakt van bouwmaterialen die bekend zijn in Nederland: beton voor de constructie en EPS voor de isolatie. Het beton staat daarbij garant voor een sterke constructie. De permanente bekisting van dit beton is dankzij het EPS een geïsoleerde bekisting. In de uitvoeringsfase heeft dit voordelen, de isolatie draagt bij aan een goed hardingsklimaat voor het beton. In de exploitatiefase gedraagt het EPS zich als isolatie.

Er zijn kansen om het product te promoten. Daarvoor is het goed dat ICF als concept, als bouwmethode wordt gepresenteerd. De bouwmethode combineert voordelen van bijvoorbeeld stapel- en gietbouw: de sterke, monoliete constructie van gietbouw en de flexibiliteit van stapelbouw. Daarnaast biedt het makkelijk verwerkbaar EPS mogelijkheden om voorzieningen in de binnenwand aan te brengen zonder zwaar freeswerk.

Er zijn ook nadelen. Bouwfysisch gezien presteert een wandstelsel van ICF slechter dan een traditionele bouwmethode. Het risico op condensatie is groter en de warmteaccumulatie minder dan bij gietbouw, stapelbouw en prefab montagebouw. Wat warmteweerstand betreft is het stelsel niet veel beter dan wanden bij de andere bouwmethoden maar ook niet veel slechter. Eigenlijk is hierin vooral de lage flexibiliteit een nadeel, de EPS-dikte staat min of meer vast in het productaanbod van e-Block. Ook de standaard betondiktes van e-Block passen niet goed bij de Nederlandse markt. In laagbouw zal een wand met een betondikte van 110mm volstaat. Een e-Block met een wanddikte van 110mm bestaat echter niet.

De lage flexibiliteit van de isolatiedikte en de afwezigheid van handige betondiktes in de productcollectie van e-Block zijn bedreigingen voor het product. Zeker omdat het stelsel nog vaste plaats op de markt heeft is het belangrijk dat nadelen worden weggenomen. Het verdient aanbeveling dat de fabrikant nadenkt over de introductie van een e-Block die op maat gemaakt is voor de Nederlandse markt. Voor wat betreft de isolatie kan geïnvesteerd worden in het aanbod van additionele isolatie. Deze extra isolatie wordt nu alleen met diktes van 50mm en 100mm op de markt gebracht. De introductie van dunnere panelen kan ook een oplossing zijn om de betondikte terug te brengen. In blokken met een tussenruimte van 150mm kan de betondikte teruggebracht worden tot de minimale 110mm als er een paneel van 40mm wordt toegepast. Niet alleen hoeft dan minder beton te worden toegepast, ook de isolatiewaarde van de wandconstructie neemt toe.

Bibliografie

- Abspoel, R. et al., 2010. *Constructief ontwerpen 2*. Delft: TU Delft faculteit CîTG.
- Addison, M., 2001. *Fastener Pullout Evaluation of ICF Webbing*, Ontario: Bodycote Materials Testing Canada inc..
- BASF Neopor, 2009. *Brochure: Bouwen en renoveren met Neopor*. Ludwigshafen: BASF SE.
- Belzen, T. v., 2012. Rc-waardecoalitie pakt minister in. *Cobouw*, 15 juni, p. 3.
- Beton Son, 2003. *Spancon breedplaatvloeren*. Son: Beton Son.
- Boom, P., Maessen, W., Noy, D. & Raadschelders, J., 2005. *Bouwmethoden: woningbouw*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Boxtel, R. v., 2006. *Buitengevelisolatie met gepleisterde afwerking*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.nieuwsbank.nl/inp/2006/03/10/F079.htm>
[Geopend 13 juni 2012].
- Cement & Beton, 2010. *Combinatievloer*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.cementenbeton.nl/c/1153-combinatievloer>
[Geopend 11 juni 2012].
- Cement & Beton, 2010. *Staalplaatbetonvloer*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.cementenbeton.nl/s/1298-staalplaatbetonvloer>
[Geopend 11 juni 2012].
- Cement & Betoncentrum, sd *Weerfasen*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.cementenbeton.nl/w/1354-weerfasen>
[Geopend 4 mei 2012].
- CEN, 2004. *NEN-EN 1992-1-1+C2*. Brussel: NEN.
- e-Block, 2012. *e-Block*. [Online]
Beschikbaar op: <http://e-block.nl/nl/e-block>
[Geopend 24 april 2012].
- e-Block, sd *Technische brochure*. Heist-Op-Den-Berg: e-Block.
- Engelenhoven, A. v., 2012. *ICF en het bouwbedrijf* [Interview] (5 mei 2012).
- GietbouwNieuws, 2010. Geïsoleerde funderingsbekisting nieuwe standaard. *GietbouwNieuws*, maart, p. 4.
- Heembeton, 2010. *Bouwsystemen*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.heembeton.nl/heembeton/site/bouwsystemen>
[Geopend 10 mei 2012].

Verloren bekistingen met blijvende waarde

Heembeton, 2010. *Lichtbeton*. [Online]

Beschikbaar op: <http://www.heembeton.nl/heembeton/site/lichtbeton>
[Geopend 10 mei 2012].

Heembeton, 2010. *Maatbeton*. [Online]

Beschikbaar op: <http://www.heembeton.nl/heembeton/site/maatbeton>
[Geopend 10 mei 2012].

Heuveling, J. & Kerkhoven, R., 2012. *Bouwen met betonmortel: betonbouwgijs 2012*. Veenendaal: VOBN.

Homebuilding & Renovating, sd *Insulated Concrete Formwork (ICF)*. [Online]

Beschikbaar op: <http://www.homebuilding.co.uk/advice/key-choices/structural/insulated-concrete-formwork>
[Geopend 16 mei 2012].

ICF Builder Magazine, 2008. *Market report 2008*. [Online]

Beschikbaar op: http://www.icfmag.com/articles/news/08_Market_Report_Review.html
[Geopend 16 mei 2012].

ICF Builder Magazine, 2011. *2011 market report and 2012 forecast*. [Online]

Beschikbaar op: http://www.icfmag.com/articles/features/2011_market_report.html
[Geopend 16 mei 2012].

ICFA (UK), 2012. *What is ICF*. [Online]

Beschikbaar op: <http://www.icfinfo.org.uk/pages/what-is-icf.php>
[Geopend 16 mei 2012].

ICFA (US), sd *About ICFA*. [Online]

Beschikbaar op: <http://www.forms.org/index.cfm/abouticfa>
[Geopend 16 mei 2012].

Janssen, R., 2012. *Architect en woningbouw* [Interview] (7 mei 2012).

Linden, A. v. d. et al., 2006. *Bouwfysica*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.

Loukopoulou, A., 2012. *Building envelope refurbishment of multi-residential postwar buildings; investigation via case study*. Delft: TU Delft.

Neeleman, W., 2011. *Muurverwarming hoog rendement en duurzaam* [Interview] (29 april 2011).

NEN, 2008. *NEN5077+C1*. Delft: Nederlands Normalisatie-instituut.

NEN, 2011. *NEN-EN 1992-1-1+C2/NB*. Delft: NEN.

Nudura, 2008. *Installation Manual*. Ontario: Nudura Corporation.

Oldenbarneveld, C. v., 2012. *e-Block en OP-deck* [Interview] (6 juni 2012).

- PCA, 2008. *Building systems*. [Online]
Beschikbaar op: http://www.cement.org/homes/ch_buildsys.asp
[Geopend 16 mei 2012].
- Rentier, C., Reymers, J. & Salden, M., 2005. *Bouwtechniek: omhulling gevels*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Reppel, 2012. *OP-deck*. [Online]
Beschikbaar op: <http://reppel.nl/nl/staalplaatbetonvloeren/op-deck>
[Geopend 11 juni 2012].
- Spierings, T., Amerongen, R. & Millekamp, H., 2004. *Bouwtechniek: draagstructuur*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff.
- Stybenex, 1998. *EPS en vocht*. Zaltbommel: Stybenex.
- Stybenex, 1998. *EPS in de GWW*. Zaltbommel: Stybenex.
- Stybenex, 2007. *Basisinformatie EPS: eigenschappen en gegevens*. Zaltbommel: Stybenex.
- Stybenex, 2008. *EPS en geluid*. Zaltbommel: Stybenex.
- ThiemeMeulenhoff, sd *Algemene bouwkunde voor makelaars - Aanvullingen*. [Online]
Beschikbaar op: <http://www.hbobouwkunde.nl/hbobouwkunde/pagina.asp?pagkey=55665>
[Geopend 25 mei 2012].
- Tovey, A., Roberts, J. & Kolcommons, M., 2007. *Design and Construction using Insulating Concrete Formwork*. Blackwater: The Concrete Centre.
- VanderWerf, P., Feige, S., Chammas, P. & Lemay, L., 1997. *Insulating Concrete Forms; for residential design and construction*. New York: McGraw-Hill.
- VanderWerf, P., Panushev, I., Nicholson, M. & Kokonowski, D., 2006. *Concrete systems for homes and low-rise construction*. sl:McGraw-Hill.
- VanGeem, M., 2005. *Nadura ICF as an air barrier system*, Skokie: CTLGroup.
- VBI, 2003. *Handboek VBI plaatvloeren: leidraad voor het constructief ontwerp*. Huissen: VBI Ontwikkeling bv.
- Verweij, J., 2012. *Hoofdberekening constructie: 13118*, Veenendaal: IBT Veenendaal b.v..
- VOBN, 2003. *Construeren van gietbouwcasco's: gietbouw in de woningbouw*. Veenendaal: VOBN.
- VOBN, sd *Wandverwarming*. [Online]
Beschikbaar op:
http://www.vobn.nl/menu/Alles_over_gietbouw/Lagetemperatuurverwarming_%28LTV%29/Wandverwarming?session=emdphgp358cf8pljfqot0tmtg2
[Geopend 5 mei 2012].

Verloren bekistingen met blijvende waarde

Bijlagen

Bijlage 1: Interview ing. J.A. de Haan

Ing. J.A. de Haan is constructeur bij ingenieursbureau IBT Veenendaal.

Nederlandse markt

In Nederland kennen we stapelbouw, gietbouw, prefab montagebouw en houtskeletbouw. Geïsoleerde bekistingssystemen zijn hier niet makkelijk in te plaatsen. Moeten ze een plaats krijgen in de categorie gietbouw of is het systeem dermate anders dat het een zelfstandige categorie vormt? Wat productie betreft zouden geïsoleerde bekistingssystemen prima in de gietbouw-categorie passen, er wordt tenslotte beton gestort in een vooraf geïnstalleerde bekisting. Maar de wijze waarop dit gebeurd is bijvoorbeeld al weer verschillend. Bij een geïsoleerde bekisting die wordt samengesteld uit EPS-blokken is geen kraan nodig. Het betonpompen zou eveneens kunnen met een pomp op een auto in plaats van met een kraan. Het systeem loopt nog verder uit de pas met normale gietbouwssystemen als we naar de afwerking kijken. Worden normale gietbouwssystemen bijvoorbeeld afgewerkt met een buitenschil en isolatie, voor geïsoleerde bekistingssystemen volstaat een buitenschil maar moet wel de binnenkant nog afgewerkt worden met gipsplaat of pleisterwerk. Momenteel heeft het hele product in Nederland nog geen naam en categorie. Voor de markt zou het goed zijn als hier snel verandering in komt.

Voordelen

Momenteel wordt het product gepresenteerd als een systeem met verschillende voordelen. De voornaamste voordelen die genoemd worden zijn hoge isolatiewaarden en flexibel bouwen.

De eerste van die twee voordelen, hoge isolatiewaarde, wordt sterk betwijfeld door De Haan. Bij de huidige afmetingen van de EPS-blokken blijkt de isolerende werking vies tegen te vallen. Zijn de huidige Rc-waarden voor wanden ongeveer 4,5, de geïsoleerde bekisting haalt dit maar nauwelijks.

Mogelijkheden om hier verandering in te brengen zijn het aanpassen van de dikte van de EPS-lagen. De huidige 6cm zou dan bijvoorbeeld 10cm kunnen worden. Nadeel is dat het hele muurpakket hiermee wel dikker wordt. Dit nadeel is niet echt noemenswaardig omdat in de huidige bouw een muurdikte van 30cm echt niet meer ongewoon is. Een normale gietbouw- of prefab-wand heeft ook vaak een isolatiepakket van meer dan 10cm nodig om een Rc van 4,5 te halen. Daar komt dan ook de spouwmuur nog bij. Daarmee hebben we al direct een bijkomend voordeel van het geïsoleerde-bekistingssysteem, de muur die gebouwd wordt heeft geen spouw en kan dus massief genoemd worden.

Een andere mogelijkheid is het toepassen van een sandwichpaneel waarmee de isolatiewaarde verhoogd wordt. De vraag is of de isolatiewaarde van de EPS-blokken dan nog wel een voordeel genoemd mag worden. Die isolatie wordt immers verkregen uit een systeem dat aan de buitenkant aangebracht wordt.

Het tweede genoemde voordeel is wel reëel. Bouwen met EPS-blokken is erg flexibel. De blokken kunnen makkelijk op maat gemaakt worden, sluiten dan goed aan en zorgen uiteindelijk voor een sterke betonnen muur. De eenvoud van het systeem intrigeert eveneens, de EPS-blokken kunnen zonder veel ervaring makkelijk gestapeld worden tot een fatsoenlijke wand.

Nadelen

De prijs van een wand lijkt een nadeel te zijn. In Nederland lukt het niet om onder de conventionele prijs te blijven. Daarmee is het de vraag of het systeem zich wel een haalbare plek tussen de bouwsystemen kan verwerven.

Een ander nadeel is de binnenafwerking van gipsplaten of pleisterwerk. Bij het monteren van een boekenplank bijvoorbeeld zal een bevestiging aan het beton door de dikke isolatielaag gemaakt moeten worden. Overigens is dit nadeel ook aanwezig bij houtskeletbouw en is dit nadeel eveneens gemakkelijk af te zetten tegen de moeilijke bevestiging van bijvoorbeeld fotolijstjes of schilderijen aan een betonnen prefab- of gietbouwwand. Dezelfde attributen zijn wel makkelijk te bevestigen aan een gipsplaat.

Uitvoering

De Haan vraagt zich nog wel wat dingen af. Hoe passen de in Nederland gebruikelijke vloeren, zoals kanaalplaatvloeren en breedplaatvloeren op een wand met geïsoleerde bekisting? Volgens De Haan is het handig om basisdetails te hebben waar constructeurs zich op kunnen baseren. Daarnaast vraagt hij zich af of er voor de wapening ook een minimumpercentage geldend is. Welk onderdeel van de Eurocode is hier van toepassing? Dit is ook belangrijk om te weten voor het bepalen van de muurdikte. Voor het storten van beton is wel een minimale breedte nodig zodat de spuitmond van de betonpomp in die tussenruimte past. Als dat tenminste nodig is. Als er van te grote hoogte gestort wordt kan het beton ontmengen en zodoende een slechte kwaliteit van de wand veroorzaken.

Concluderend kunnen we stellen dat het een systeem is dat wel de aandacht trekt. Het gemak waarmee de blokken op elkaar gestapeld worden is een groot voordeel. Een eigen huis bouwen wordt daarmee bijna voorstelbaar. De Haan geeft aan dat hij niet snel een huis in houtskeletbouw zou bouwen. Al het gekraak en gepiep van dat hout geeft ook geen degelijk gevoel. De EPS-blokken inspireren hem daarentegen meer. Het lijkt een eenvoudig systeem met de flexibiliteit van houtskeletbouw en de degelijkheid van betonbouw.

Bijlage 2: Interview ing. A. van Engelenhoven

Ing. A. van Engelenhoven is directeur van Aannemersbedrijf A. van Engelenhoven & Zn. in Ede.

Huidige bouwpraktijk

Van Engelenhoven geeft aan momenteel vooral met stapelbouw zijn woningen te bouwen. Kalkzandsteen en Poriso hebben in zijn bedrijf daarbij het grootste aandeel. Het voordeel hiervan is dat het redelijk flexibel en vooral ook goed betaalbaar is. In prefab heeft de Edese aannemer nog weinig gebouwd. Met een Veenendaalse producent van betonsystemen heeft hij wel eens samengewerkt in een onderzoek naar prefab lichtbetonnen elementen. Uiteindelijk is dit door het bedrijf niet in productie genomen. Ook hele woningen in gietbouw heeft hij niet vaak bij de hand gehad. Dit wordt volgens hem vooral ingezet bij de bouw van meer woningen zoals rijtjeswoningen. Houtskeletbouw wordt binnen zijn bedrijf meer toegepast, maar hele woningen in houtskeletbouw is niet heel gebruikelijk. Vaak zie je wel combinaties van stapelbouw of betonbouw met houtskeletbouw.

Met EPS heeft hij weleens gewerkt, komt hem vooral bekend voor vanuit de funderingstechniek. U-profielen van EPS worden dan volgestort met beton.

De blokken van Nudura, in Nederland e-Block, vindt Van Engelenhoven een interessant concept. De vragen over detailleringen worden al direct op mij afgevuurd. Zelf denkt hij dat dit systeem vooral een concurrent is voor kalkzandsteenblokken.

Voordeel

De hoge bouwsnelheid is een groot voordeel volgens Van Engelenhoven. Daarbij tekent hij meteen aan dat stapelbouw met grote blokken kalkzandsteen ook heel snel gaat. Nadeel is dan dat er nog meer afgewerkt moet worden, zoals isolatie die aangebracht moet worden. En natuurlijk zijn kalkzandsteenblokken zwaar. Transport is dan automatisch een groter vraagstuk dan bij deze EPS-blokken. Lichte blokken heeft natuurlijk ook ARBO-voordelen.

Dat de isolatie meteen in de blokken verwerkt is, is een voordeel. Er hoeft niet achteraf met steenwol of ander isolatiemateriaal gewerkt te worden. Een spouw is direct niet meer nodig.

Nadeel

De aannemer denkt dat de prijs nog wel eens een nadeel kan zijn. Als de prijs marktconform is zou hij het systeem best in gebruik willen nemen.

Verder is een gipsplaat afwerking ook niet iets wat zijn favoriet is. Het ophangen van boekenplanken of zelfs keukenkastjes is veel moeilijker aan gipsplaten dan aan kalkzandsteen- of betonmuren. Bij een pas uitgevoerde klus in houtskeletbouw heeft hij om dit nadeel te ondervangen houten underlayment toegepast. Bij e-Block zou de hele wandafwerking op die wijze uitgevoerd kunnen worden. Elke particulier kan dan zelf aan de muur installeren wat hij wil. Toch is dit ook niet reëel omdat een volledige afwerking met hout wel erg veel duurder is. Eigenlijk ben ik wel benieuwd of een boekenplank bevestigen niet gewoon in het beton achter de EPS-laag kan. Van Engelenhoven heeft daar zijn bedenkingen bij. Een gemiddelde particulier krijgt het volgens hem nooit voor elkaar om een fatsoenlijk recht gat te boren in zo'n dik pakket en daar dan op een duurzame manier bijvoorbeeld een boekenplank aan te bevestigen. Zelf ziet

hij ook nog wel mogelijkheden in een afwerking met cementplaten of een hoogwaardiger gipsplaat. Hieraan kan mee gewicht worden opgehangen.

Een ander punt waar Van Engelenhoven wel wat meer over zou willen weten is de aansluiting van de fundering aan de e-Block wanden. In de huidige gietbouw gebeurt dit vaak door uitstekende stekken. Volgens hem moet dit in het ICF-systeem ook wel op één of andere manier mogelijk zijn. Uitvoeringstechnisch vraagt hij zich ook af hoe het bouwen van dit systeem vormgegeven wordt. Bij de uitvoering worden eisen gesteld aan de hoogte van steigers. Hij vraagt zich af of het mogelijk is om economisch een steiger te bouwen als steeds per verdieping beton gestort moet worden.

Ook de isolatie en warmteaccumulatie komen aan bod. Hoe wordt het vocht bijvoorbeeld afgevoerd als ook de binnenzijde van het gebouw geïsoleerd is.

Bijlage 3: interview ir. R. Janssen

Ir. R. Janssen is architect bij JagerJanssen architecten in Rotterdam

Architect

Achtereenvolgens spreek ik met de architect over woningbouw en het e-Blockstelsel.

Allereerst informeer ik bij Janssen naar hun voornaamste rol in de woningbouw. Met seriebouw houden ze zich nauwelijks bezig. Dit komt vooral ook door de crisis waardoor de hele woningbouwmarkt een beetje op zijn gat ligt. Voor particulieren wordt nog wel gebouwd. Daar heeft hij dan ook nog wel wat projecten. Zo zijn ze momenteel bezig met een particuliere woning in Meppel waar met een Alvon prefabbeton systeem wordt gewerkt. Alvon is een systeem van lichtbeton. Hier heeft de architect voor gekozen omdat het infrezen van leidingen achteraf makkelijker is dan bijvoorbeeld in keiharde betonelementen van Heembeton. In woningbouw levert het in de gebruiksfase wel voordelen op als leidingen nog steeds weggewerkt kunnen worden. Maar ook in de uitvoeringsfase is “freesbaar” beton voordelig. Het scheelt enorm veel ontwikkelingskosten als leidingen achteraf ingebracht kunnen worden. Bij het vooraf instorten komt zeer nauwkeurige detaillering kijken en zijn de kosten voor engineering dus hoog.

Het Rotterdamse architectenbureau doet weinig met traditionele bouw zoals met kalkzandsteen, maar het komt wel voor. Kalkzandsteenblokken zijn zeker op plaatsen met weinig ruimte soms wat makkelijker aan te voeren. In een stad als Rotterdam kan dat van pas komen.

Aan isolatie wordt door het architectenbureau aandacht besteedt. Op de website zag ik al dat ze een duurzaam oogmerk hebben. Dat blijkt ook tijdens het gesprek. Bij de woning in Meppel is bijvoorbeeld 123mm Kingspan isolatie toegepast terwijl deze woning nog in het oude bouwbesluit ontworpen werd. Het oude bouwbesluit eiste een EPC die kleiner was dan 0,8. De woning in Meppel werd echter ontworpen op de nieuwe bouwbesluit met een EPC kleiner dan 0,6. Bij deze isolatieschil van Kingspan hoort een RC van 6. Met gewone rotswol is deze waarde alleen haalbaar als een onhandig dik pakket wordt toegepast.

E-block

Dat hij dikke muurpakketten onhandig vindt blijkt wel als we het over e-Block gaan hebben. Om voldoende isolatie te krijgen met EPS veronderstelt de architect dat we een behoorlijk dikke muur nodig hebben. Als we even snel een rekensommetje maken blijkt wel dat een simpele ICF-muur al snel iets dikker is dan een gemiddelde kalkzandsteenmuur. De isolatie van die kalkzandsteenmuur is dan waarschijnlijk al hoger dan die van de ICF-muur.

EPS is voor de architect wel een bekend materiaal. Allereerst vertelt hij het bouwblokkensysteem al eens op een Engels tv-woonprogramma gezien te hebben. Hier ging het finaal mis. De opdrachtgever van de woning wilde in bijzonder korte tijd de woning – zijn droomhuis - af hebben. De muren met EPS-blokken werden daarom hoog opgetrokken en snel volgestort met beton. Te snel en te hoog waarschijnlijk want de EPS-blokken barsten aan de onderkant uit elkaar.

Op mijn vraag of dit meteen zo’n negatief beeld is van EPS dat hij er nooit mee wil bouwen antwoordt de architect ontkennend. Voor zijn afstuderen heeft hij een drijvend zwembad volledig

uit EPS ontworpen. EPS is volgens hem dus een heel geschikt bouw materiaal. Alleen niet om een fatsoenlijke Nederlandse woning mee te isoleren volgens hem. Meestal heeft hij als architect niet veel te zeggen over het bouwsysteem dat wordt toegepast in een gebouw. De ervaring van de aannemer bepaalt vaak wat voor systeem het wordt. Het geïsoleerde bekistingssysteem zou Jansen dan ook alleen bindend voorschrijven als een voldoende EPS waarde bereikt wordt. Hij vraagt zich af waarom de blokken niet gemaakt worden van een geperst materiaal zoals ook de Kingspan-platen opgebouwd zijn. De lage isolatie van EPS is dus volgens hem een groot nadeel.

Een ander nadeel, zoals eerder al aangestipt, vindt de architect het dikkere wandpakket. Zeker als er minder ruimte is om te bouwen komt elke vierkante centimeter van pas. Maar ook slank en transparant bouwen is minder goed mogelijk met een noodzakelijk dik pakket. Wat dat betreft is houtskeletbouw voor Janssen wel favoriet. In Rotterdam ontwierp het bureau al een restaurant op een plaats waar weinig ruimte was. De wand bleef daar ook erg dun, misschien net 200mm.

Wil dit systeem volgens de architect kans hebben, dan moet er vooral wat gedaan worden aan de RC waarde. Verder heeft hij sowieso nog wel wat twijfels bij de duurzaamheid. Volgens hem is bouwen met hout aan een enorme opmars bezig. Deze hernieuwbare bouwstof geniet duidelijk zijn voorkeur. Hout is bovendien aantrekkelijker. En als het beton tegen EPS gestort wordt, blijft dat bij de sloop dan niet plakken? Dan kan het product zelf wel duurzaam zijn maar bij de sloop levert dat problemen op.

Bijlage 4: rondleiding door dhr. C. van Oldenbarneveld

Dhr. Van Oldenbarneveld is manager bij OP-deck, een vloersysteem van Reppel.

Dhr. Van Oldenbarneveld neemt mij mee voor een rondleiding door ICDuBo, het InnovatieCentrum voor Duurzaam Bouwen op de RDM duurzaamheidscampus op Heijplaat in Rotterdam. Daar staat onder andere een permanente tentoonstelling van het e-Blockstelsel in combinatie met een vloer van OP-deck.

Veel isolatiesystemen, ook die op ICDuBo tentoongesteld staan, zijn extra toevoegingen aan de huidige bouwsystemen op de Nederlandse markt. Van Oldenbarneveld legt uit dat e-Block en OP-deck anders zijn. Die twee systemen samen vormen onderdelen van een heel nieuw concept van bouwen dat de naam *Insulated Concrete Forms* draagt. In ICF zijn eigenlijk de constructies van wanden en vloeren opnieuw ontworpen. Daardoor werkt het heel efficiënt. De isolatie en de bekisting zijn samengevoegd. Om makkelijk te kunnen bouwen met dit systeem zijn er blokken van gemaakt die uiterst flexibel zijn.

Met een demonstratieblok laat Van Oldenbarneveld zien hoe de e-Blocks opvouwbaar zijn. Een revolutionair systeem dat andere ICF-fabrikanten niet leveren. Die transporteren voor een grootdeel lucht, legt hij uit. De e-Blocks kunnen opgeklapt worden waardoor de holle ruimtes die getransporteerd moeten worden tot bijna niets gereduceerd zijn. Elke bouwer kan op de bouwplaats met het grootste gemak het blok weer uitklappen. Zodra het uitgeklapt is kan het op eerder aangebrachte blokken gestapeld worden. Het handige van e-Block is dat het niet uitmaakt in welke richting de blokken geplaatst worden. Alleen moet ervoor gezorgd worden dat de kunststof bevestigingsstrips boven elkaar geplaatst worden en zo in elkaar geklikt kunnen worden.

Van Oldenbarneveld laat de constructie zien zoals die opgebouwd is in de hal. Hij vertelt dat hij de hele constructie in 40 minuten had staan, geholpen door twee onervaren mensen. De blokken kunnen op verschillende manieren afgewerkt worden. In Nederland zijn we baksteen afwerkingen gewend. Bij een toepassing van e-Block in Leiden werden echter een soort baksteen steenstrips gebruikt die op het EPS gelijmd worden. Dit reduceert het wandpakket aanzienlijk omdat niet de baksteenbuitenschil van ongeveer 100mm nodig is en ook de spouw van ongeveer 40mm achterwege wordt gelaten. Daarvoor in de plaats komt een steenstrip van enkele centimeters dikte. Een ander detail waar ik op gewezen wordt is het kozijn in de wand. Dat is vastgeschroefd op EPS delen die de holle ruimte van de wand afsluiten. In die EPS-planken zitten dezelfde bevestigingsstrips als in de blokken. Van Oldenbarneveld vertelt enthousiast dat het systeem zo goed is uitgedacht. Door de EPS planken is een heel goede aansluiting met het kozijn te verkrijgen. Koudebruggen en luchtlekken worden in het hele gebouw dat met de blokken opgebouwd is geminimaliseerd. Dat geldt nog veel sterker als ook het geïsoleerde bekistingssysteem voor vloeren van OP-deck wordt toegepast samen met e-Block.

Op mijn opmerking dat de standaardmaten van 100mm en 150mm betondikte niet echt handig zijn voor de Nederlandse markt wijst Van Oldenbarneveld op een isolatieplatensysteem dat ingevoegd kan worden in de holle ruimten in de wand voordat het beton gestort wordt. Dit reduceert de dikte van het beton en vergroot daarentegen de isolatiewaarde.

Ook een houtvezel-cement composiet presenteert een bouwblokkensysteem op ICDuBo. Eigenlijk is dat een concurrent van e-Block, dat de blokken van EPS maakt. Van Oldenbarneveld vertelt dat het er nu wel leuk uitziet maar dat de blokken toen het beton gestort werd verschillende keren uit elkaar spatten. Er lag dan een grote plas beton op de vloer van de bedrijfshal. Bij de e-Blockwand is dat niet één keer gebeurd. Het voordeel van het e-Blockstelsel is ook dat het al zo uitgebreid is toegepast in Noord-Amerika.

In vergelijking met andere systemen ziet van Oldenbarneveld eigenlijk geen echte nadelen. Ik moet me realiseren dat het systeem heel anders is dan de bouwmethoden die wel gewend zijn. Het flexibele karakter maakt het product juist uniek als bouwsysteem. Samen met de unieke eigenschappen van goede luchtdichtheid en bouwmasse door het gebruik van beton is het een ijzersterk systeem.

In Nederland wordt het systeem onder de afkorting ICF op de markt gebracht. Een echte naam is er nog niet voor, holle-wandblokken zou een kandidaat zijn. ICF wordt internationaal veel gebruikt en is hier en daar op de Nederlandse markt al een bekende afkorting. Zo wordt er door een betonleverancier bijvoorbeeld al een betonmix geleverd met ICF in de naam om aan te geven dat het een geschikte combinatie is voor toepassing in ICF.

Dat wil niet zeggen dat er een speciale betonsamenstelling nodig is voor ICF-systemen. Van Oldenbarneveld vertelt dat het gewone simpele beton toegepast kan worden. Wel is het verstandig om voor de eerste laag een wat hogere consistentieklasse toe te passen. Als die laag wat meer samenhang heeft dan is er minder risico op het openbarsten van de bekisting. In Nederland wordt ook nog niet meer dan 3 meter hoogte gestort. Dan wordt eerst gewacht tot dat beton enigszins verhard is. 3 meter is wel een praktische maat, op die hoogte zit meestal ook een verdiepingsvloer. In de Noord-Amerika wordt wel tot 6 meter hoogte in één keer gestort, dat kan dus wel.







Bijlage 5: bouwfysica berekeningen

Warmteweerstand 1

Bij een wat dikte betreft gelijk gevelpakket zien de Rc-waarden er als volgt uit:

ICF	d	λ	R
	[mm]	[W/(m*K)]	[m ² *(K/W)]
EPS binnen	67	0,035	1,91
Beton	100	2	0,05
EPS buiten	67	0,035	1,91
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,14</u>

Kalkzandsteen	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Kalkzandsteen	100	1	0,10
Minerale wol	134	0,035	3,83
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,19</u>

Cellenbeton	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Cellenbeton	100	0,15	0,67
Minerale wol	134	0,035	3,83
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,76</u>

Poriso	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Poriso	100	0,43	0,23
Minerale wol	134	0,035	3,83
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,32</u>

Gietbouw	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	134	0,035	3,83
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,14</u>

Wandpakket

374 mm



Warmteweerstand 2

Bij een gelijke isolatiewaarde van het gevelpakket zien de wanddiktes er als volgt uit:

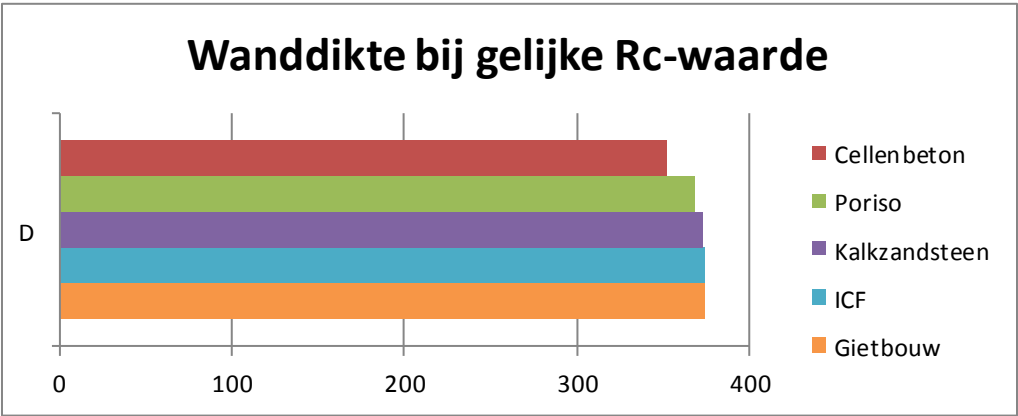
ICF	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
EPS binnen	67	0,035	1,914286
Beton	100	2	0,05
EPS buiten	67	0,035	1,914286
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,138571</u>

Kalkzandsteen	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Kalkzandsteen	100	1	0,1
Minerale wol	132,25	0,035	3,778571
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>372,25</u>		<u>4,138571</u>

Cellenbeton	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Cellenbeton	100	0,15	0,666667
Minerale wol	112,4167	0,035	3,211905
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>352,4167</u>		<u>4,138571</u>

Poriso	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Poriso	100	0,43	0,232558
Minerale wol	127,6105	0,035	3,646013
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>367,6105</u>		<u>4,138571</u>

Gietbouw	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	134	0,035	3,828571
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,138571</u>



Warmteweerstand 3

Bij een wat dikte betreft gelijk gevelpakket zien de Rc-waarden er als volgt uit:

e-Block (0,035)	d	λ	R
	[mm]	[W/(m*K)]	[m ² *(K/W)]
EPS binnen	67	0,035	1,91
Beton	100	2	0,05
EPS buiten	67	0,035	1,91
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>374</u>		<u>4,14</u>

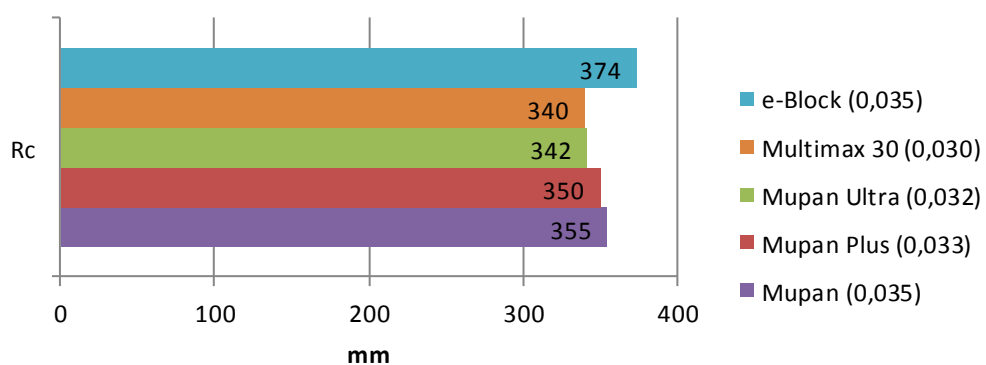
Mupan (0,035)	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	115	0,035	3,29
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>355</u>		<u>3,60</u>

Mupan Plus (0,033)	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	110	0,033	3,33
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>350</u>		<u>3,64</u>

Mupan Ultra (0,032)	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	102	0,032	3,19
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>342</u>		<u>3,50</u>

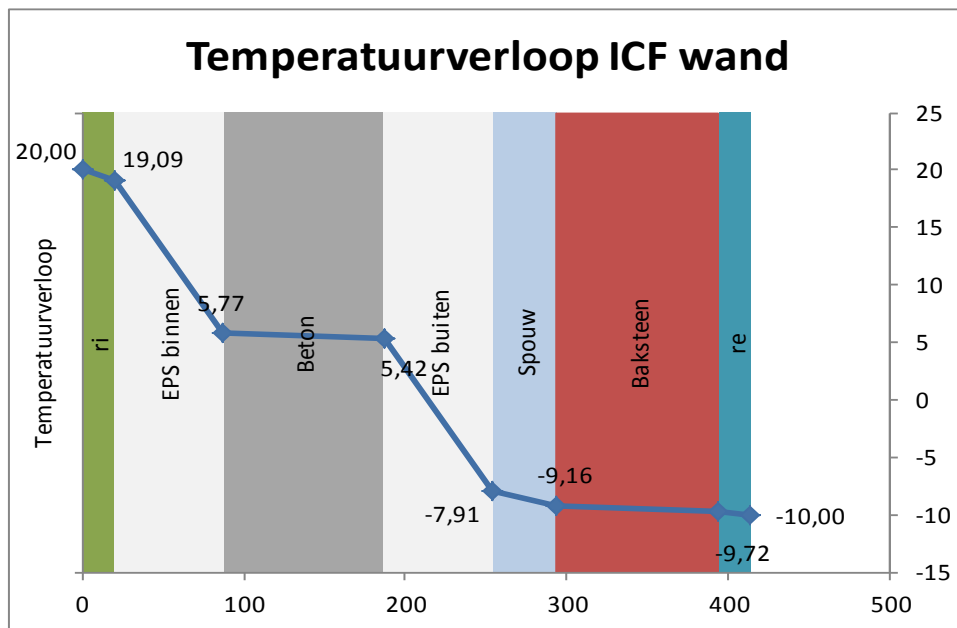
Multimax 30 (0,030)	D(mm)	λ (W/mK)	Rc
Beton	100	2	0,05
Minerale wol	100	0,03	3,33
Spouw	40		0,18
Baksteen	100	1,25	0,08
	<u>340</u>		<u>3,64</u>

Wanddikte spouwmuur met Isover



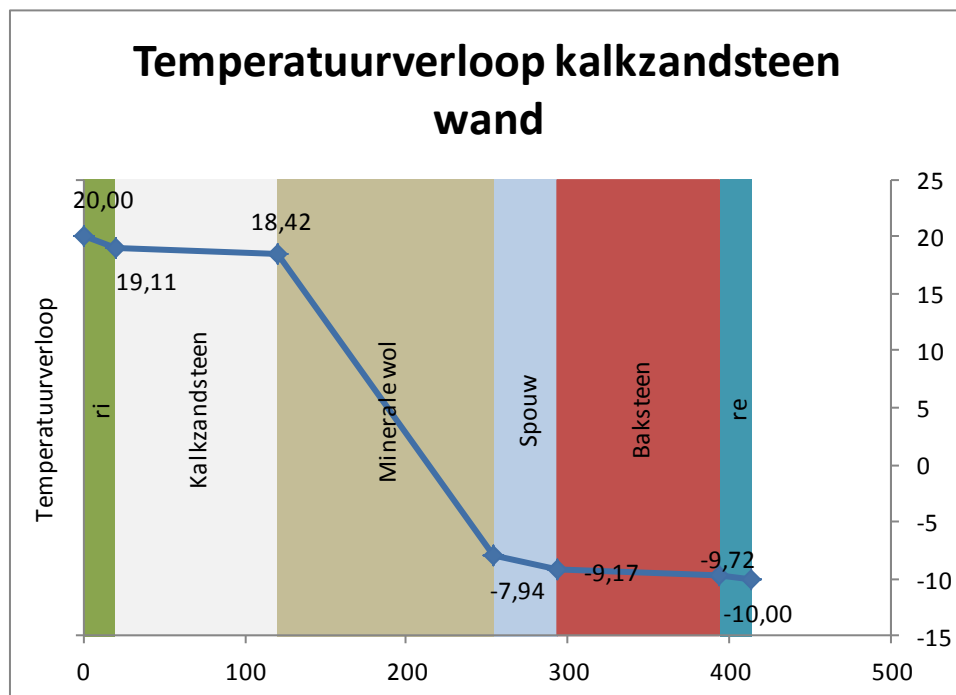
Warmteweerstand 4

Temperatuurverloop	d	λ	$R_n=d/\lambda$	dT_n	T_n	A
ICF	[mm]	[W/mK]	[m ² *K/W]	[°C]	[°C]	[mm]
					20	0
r_i	20		0,13	0,905172		
					19,09483	20
EPS binnen	67	0,035	1,914286	13,32891		
					5,765915	87
Beton	100	2	0,05	0,348143		
					5,417772	187
EPS buiten	67	0,035	1,914286	13,32891		
					-7,91114	254
Spouw	40		0,18	1,253316		
					-9,16446	294
Baksteen	100	1,25	0,08	0,557029		
					-9,72149	394
r_e	20		0,04	0,278515		
			<u>4,308571</u>		-10	414



Temperatuurverloop	d	λ	$R_n=d/\lambda$	dT_n	T_n	A
Kalkzandsteen	[mm]	[W/mK]	[m ² *K/W]	[°C]	[°C]	[mm]
					20	0
r_i	20		0,13	0,894789		
					19,10521	20
Kalkzandsteen	100	1	0,1	0,688299		
					18,41691	120

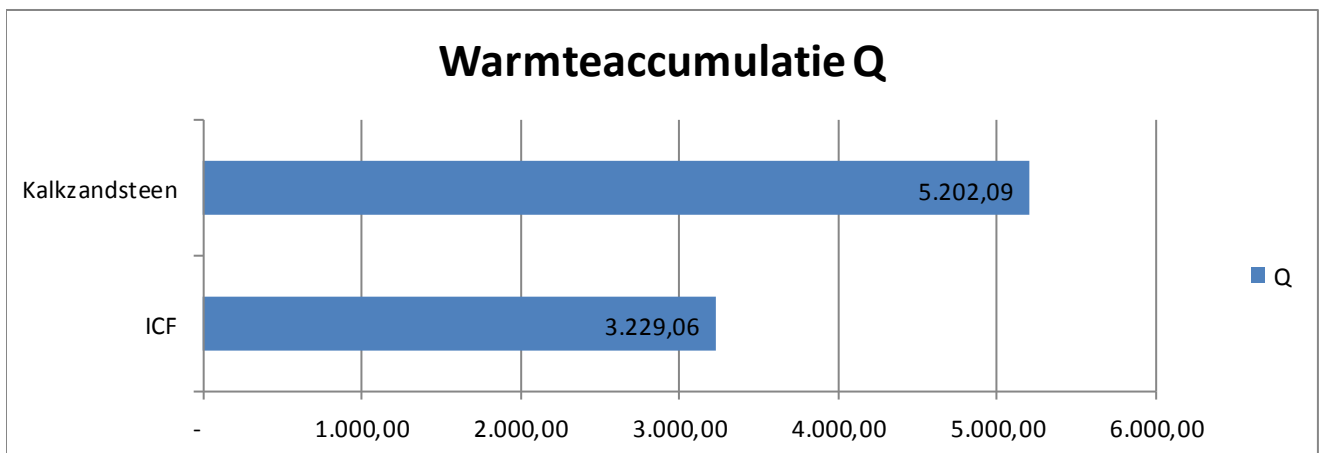
Minerale wol	134	0,035	3,828571	26,35202		
					-7,9351	254
Spouw	40	0	0,18	1,238938		
					-9,17404	294
Baksteen	100	1,25	0,08	0,550639		
					-9,72468	394
r_e	20		0,04	0,27532		
			<u>4,358571</u>		-10	414



Warmteaccumulatie

Warmteaccumulatie	begintemperatuur -10					
ICF	gem T	dT	rho	c	d	Q
	[°C]	[°C]	[kg/m ³]	[J/(kg*K)]	[mm]	[J/m ²]
EPS binnen	12,43037	22,43037	22	1470	67	48.601,68
Beton	5,591844	15,59184	2300	840	100	3.012.344,16
EPS buiten	-1,24668	8,753316	22	1470	67	18.966,51
Baksteen	-8,81631	1,183687	1500	840	100	149.144,56
Totaal						3.229,06

Kalkzandsteen	gem T	dT	rho	c	d	Q
	[°C]	[°C]	[kg/m ³]	[J/(kg*K)]	[mm]	[J/m ²]
Kalkzandsteen	18,76106	28,76106	2000	840	100	4.831.858,41
Minerale wol	5,240905	15,2409	250	840	94	300.855,46
Spouw	-8,55457	1,445428	0	0	40	-
Baksteen	-9,44936	0,550639	1500	840	100	69.380,53
Totaal						5.202,09

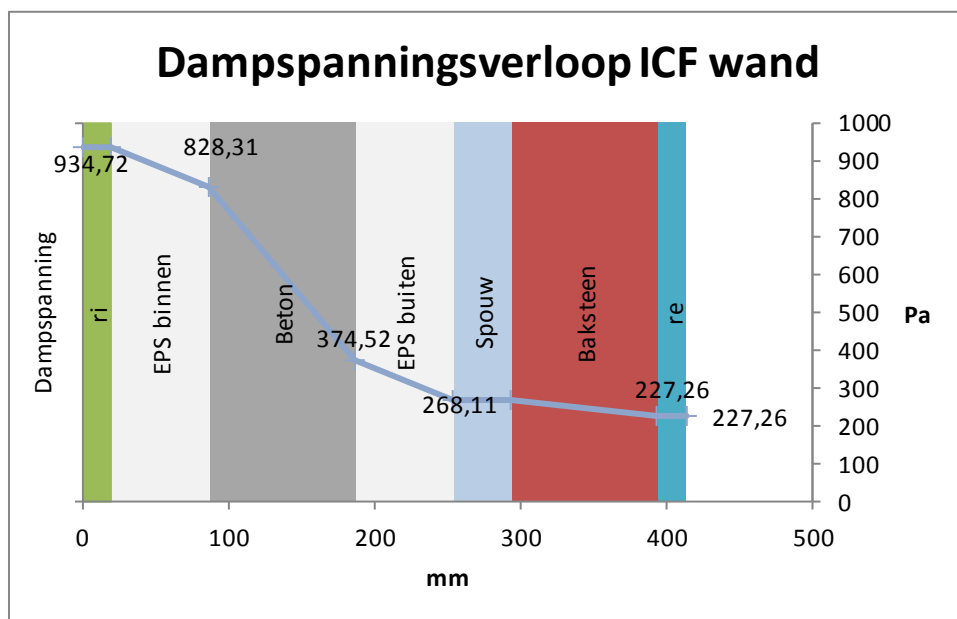


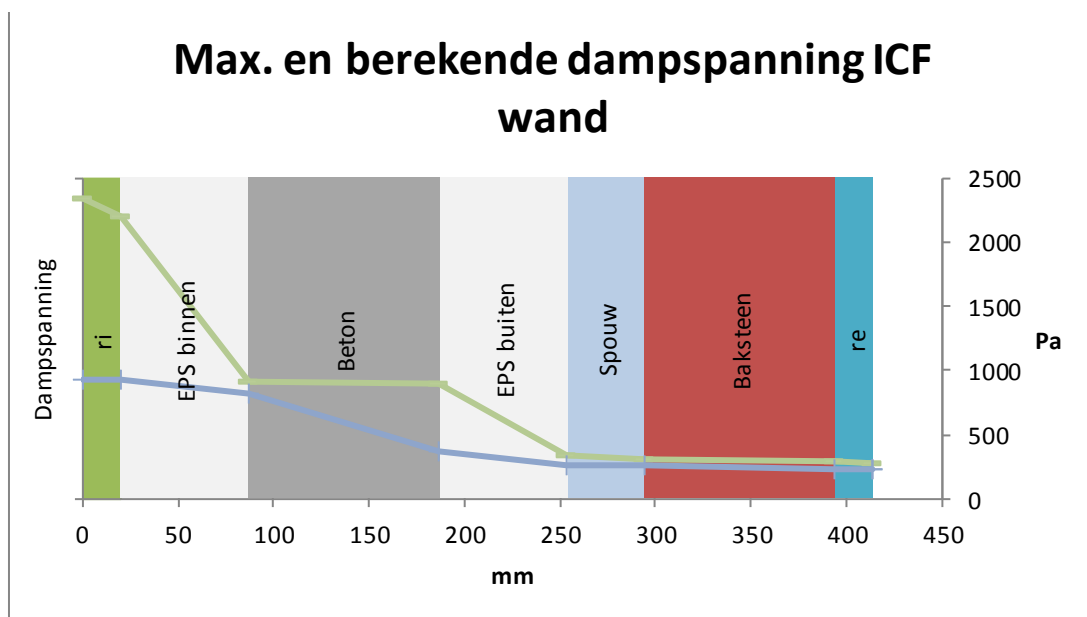
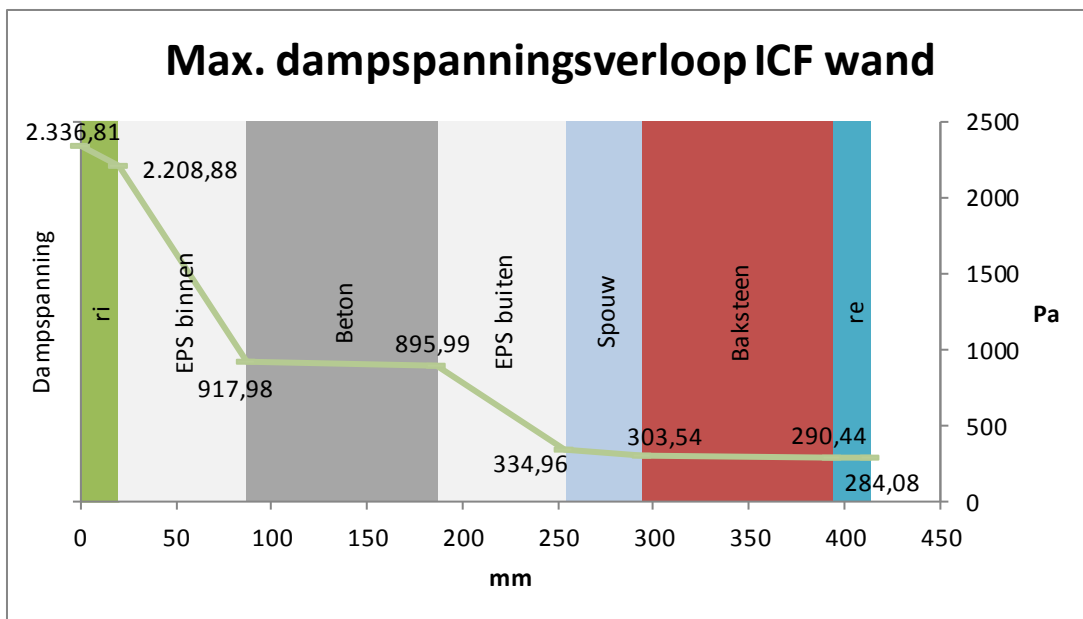
Dampspanning

Gegevens

Ti=	20 °C
Te=	-10 °C
φi=	40,00% %
φe=	80,00% %
Δp=	707,4599 Pa

Dampspanning	d	μ	μ*d _n	Δp _n	p _n	A	p _{max}
ICF	[mm]		[m]	[Pa]	[Pa]	[mm]	[Pa]
lucht binnen					934,7247	0	2336,812
ri	20				934,7247	20	2208,881
EPS binnen	67	35	2,345	106,414	828,3107	87	917,9775
Beton	100	100	10	453,7908	374,5199	187	895,9939
EPS buiten	67	35	2,345	106,414	268,1059	254	334,9631
Spouw	40	0	0	0	268,1059	294	303,5448
Baksteen	100	9	0,9	40,84118	227,2647	394	290,442
re	20				227,2647	414	284,0809
lucht buiten					227,2647	414	
Totaal				15,59			





Bijlage 6: berekening fundering

Fundering voorgevel

omschrijving	l [m]	b [m]	$p.b.$ [kN/m]	$v.b.$ [kN/m]	G [kN]	Q [kN]
dak	2,8	1	0,75	1	2,1	2,8
zoldervloer	2,3	1	0,3	1,75	0,69	4,025
breedplaatvloer 1e vrd	2,3	1	8,25	1,75	18,975	4,025
beg. gr. kanaalplaat	2,3	1	5,4	1,75	12,42	4,025
metselwerk (100mm)	7,6	1	1,5		11,4	0
beton (150mm)	7,6	1	3,6		27,36	0
fundering (200mm)	1,2	1	4,8		5,76	0
					78,705	14,875

$$q_d = 1,35G = 106,2518$$

Berekend volgens rekenmethode strokenfundering uit boek Grondmechanica (Verruijt)

$$q_w = c N_c s_c i_c + q N_q s_q i_q + \gamma N_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

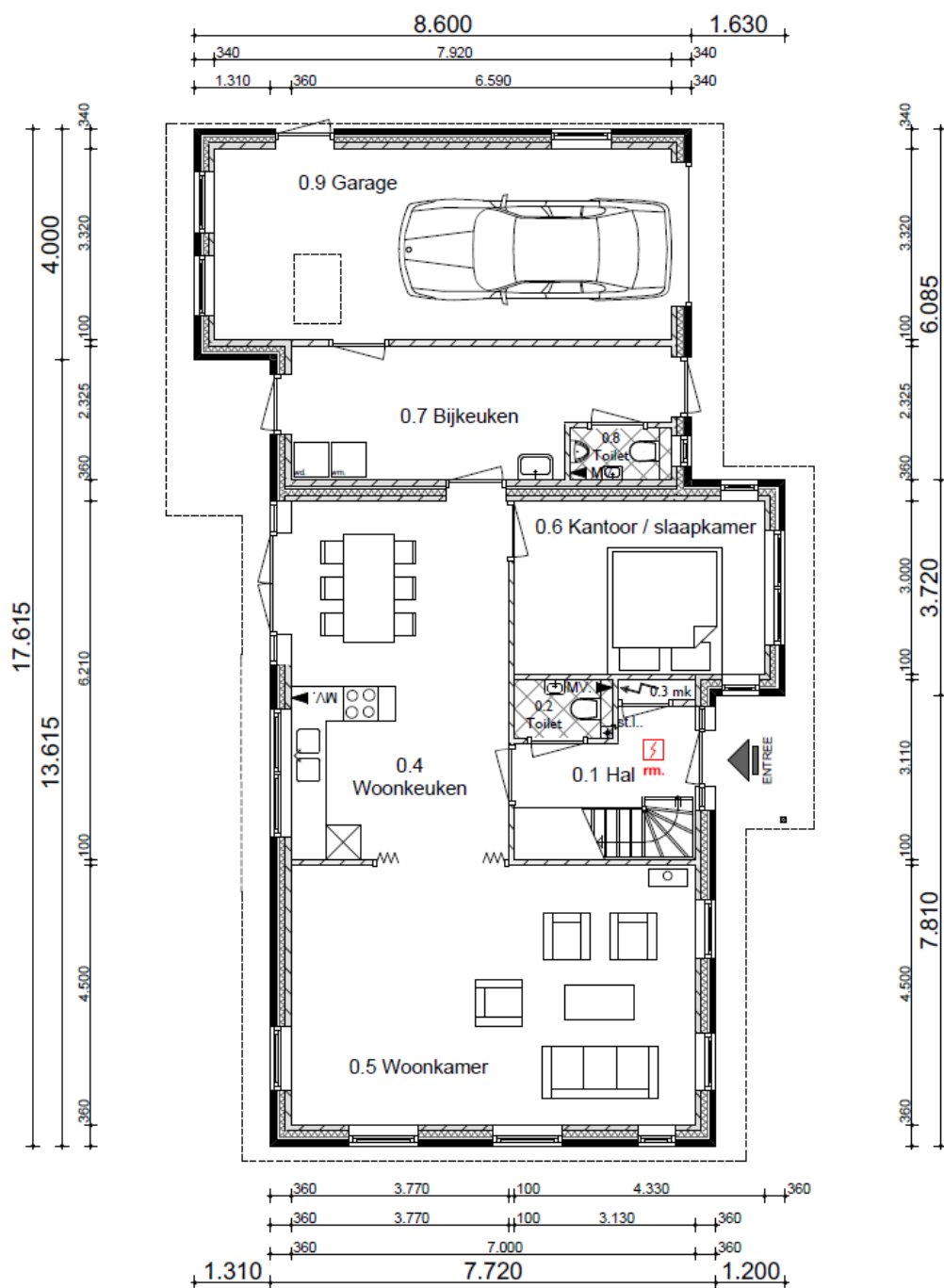
B/L	0,15
ϕ	25,27
c	0
γ	8,18
i_c	1
i_q	1
i_γ	1
s_c	1,03
s_q	1,0205242
s_γ	0,955
N_q	10,97
N_c	21,13
N_γ	9,42
q	3,924

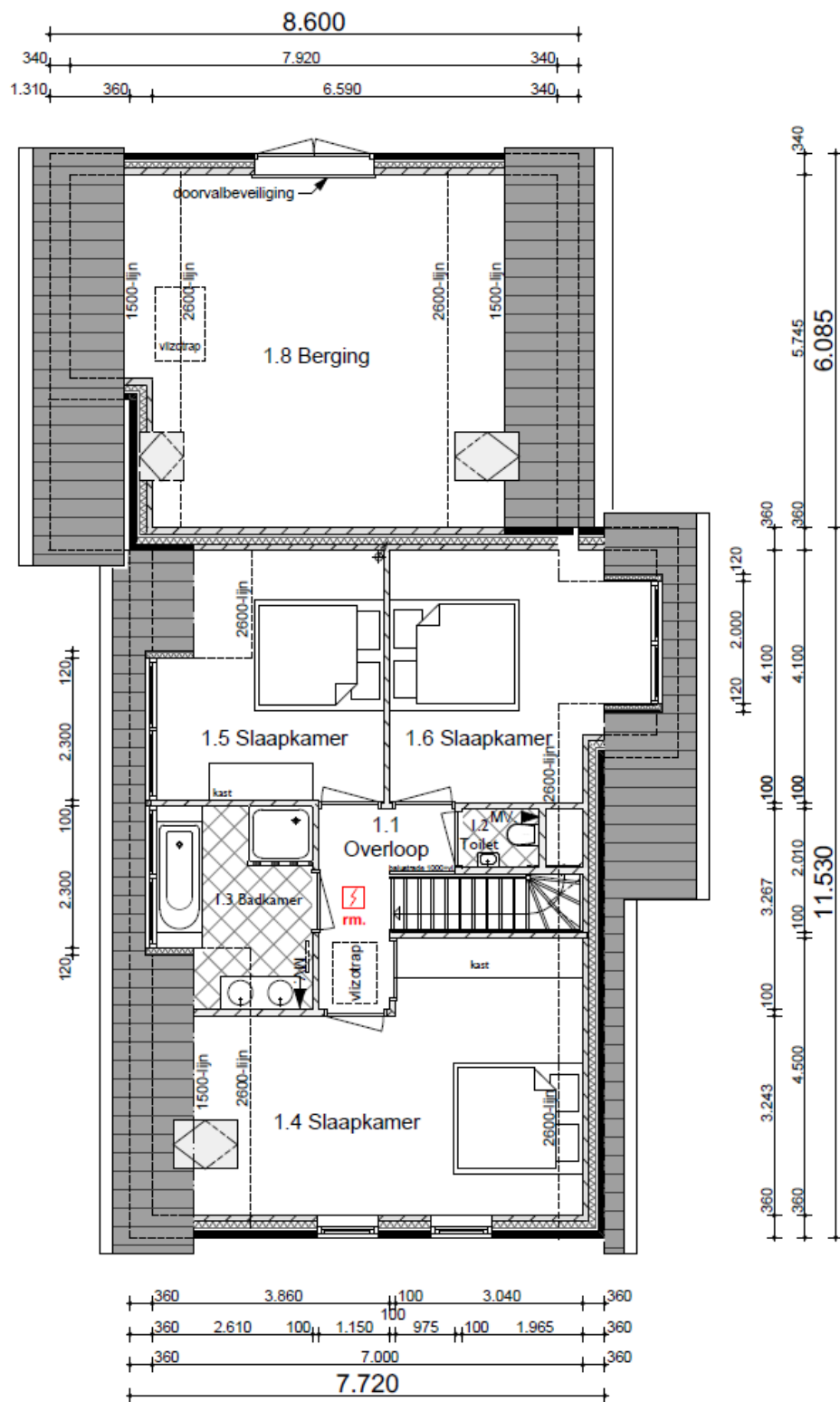
Draagkracht

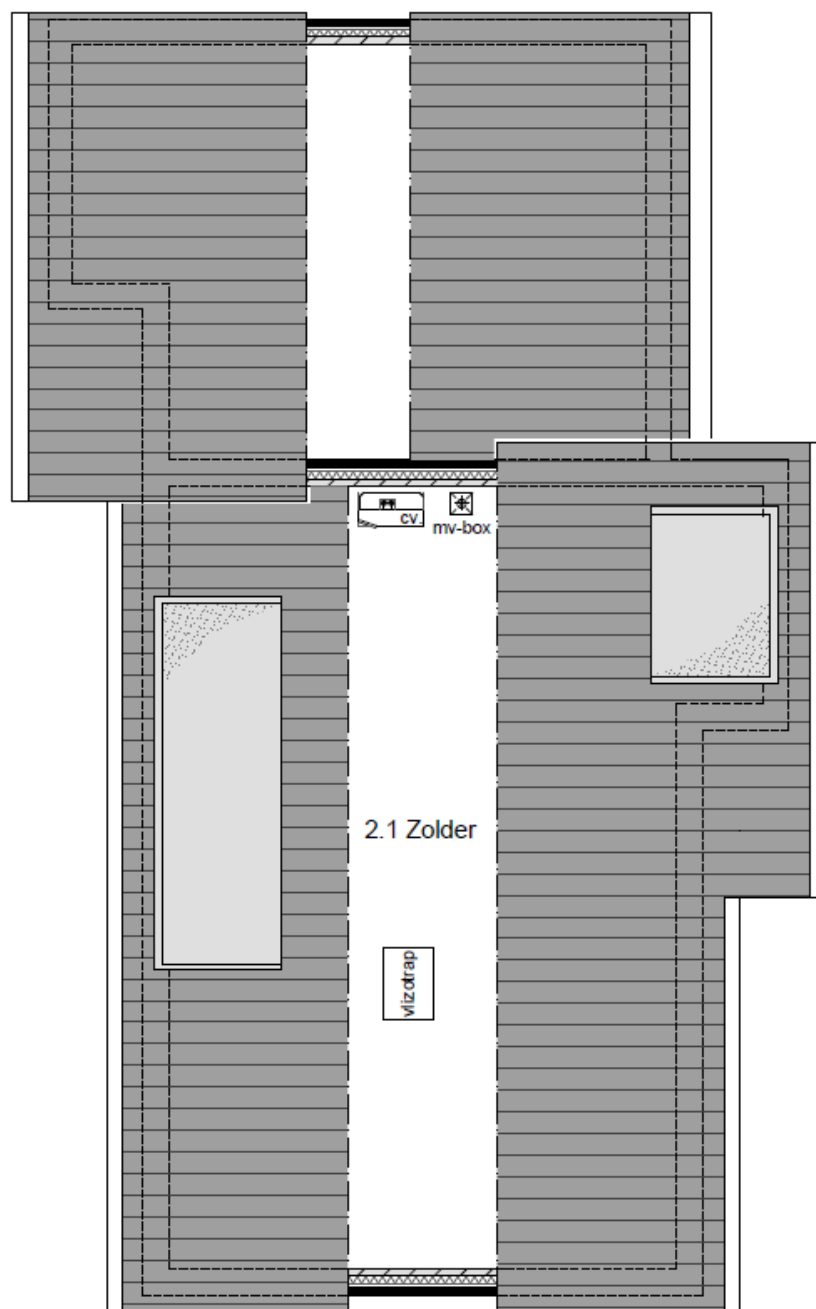
$$q_w = 117,51787 > q_d \quad 117,51787 > 106,2518$$

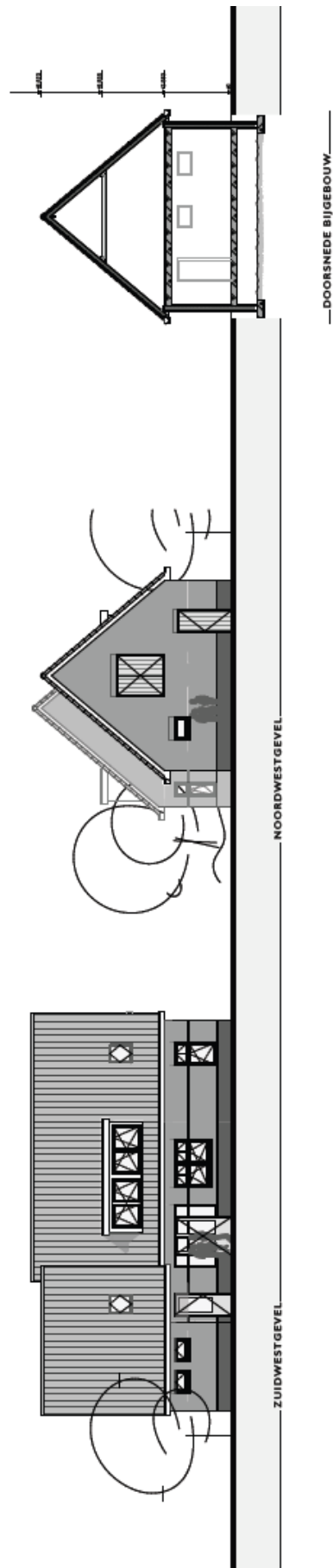
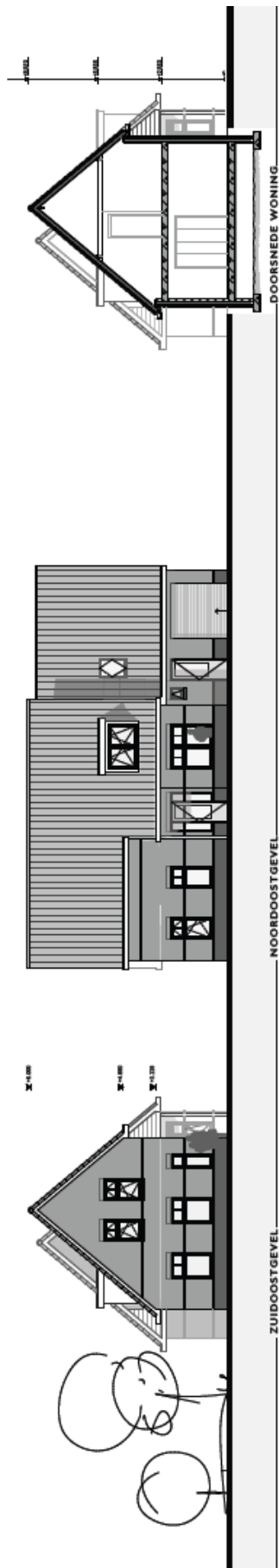
Bijlage 7: tekeningen voorbeeldproject

De woning, gesitueerd in Scherpenzeel, is ontworpen door Liefing Buro voor Bouwkunde. De tekeningen zijn van 21 februari 2012.



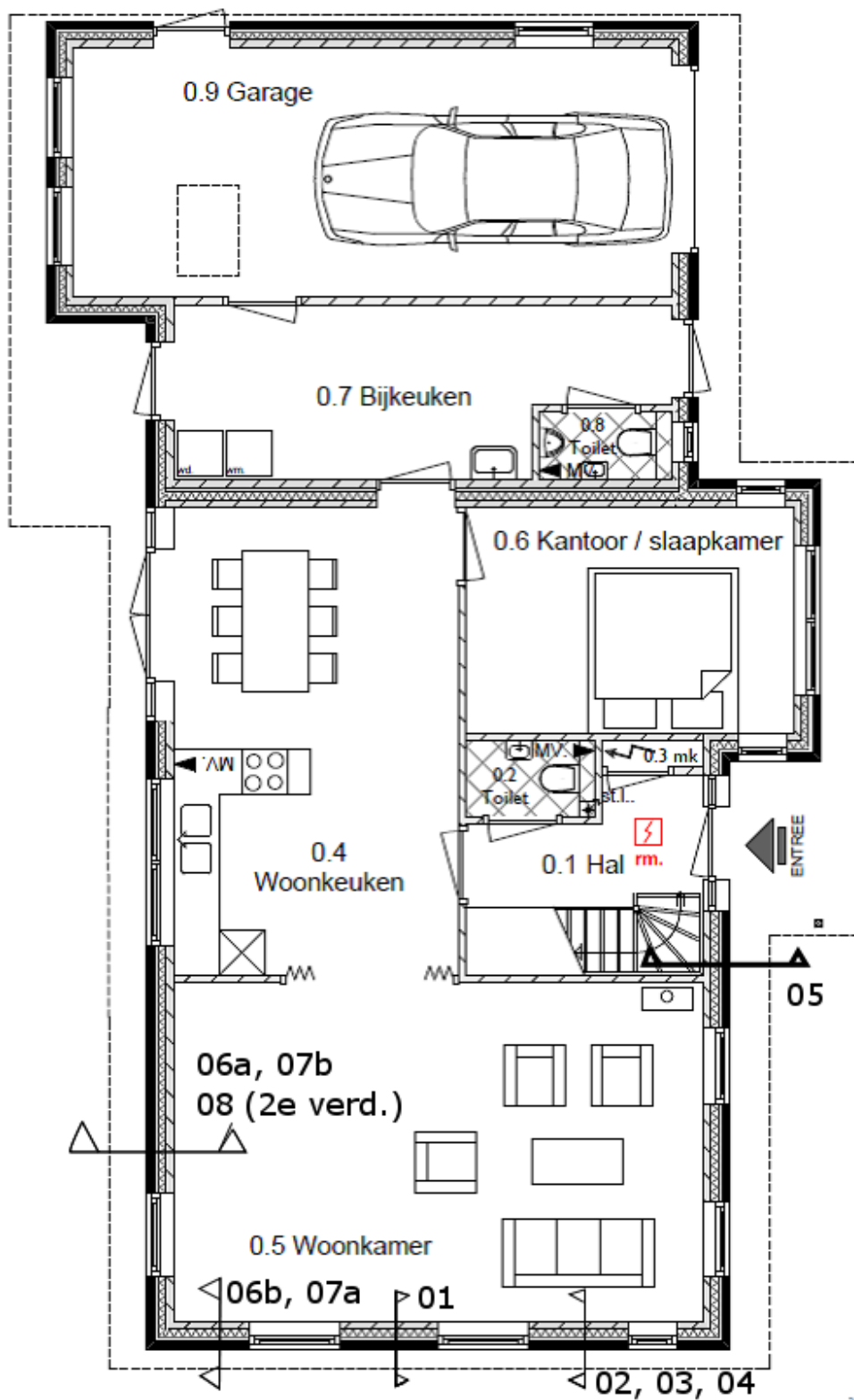


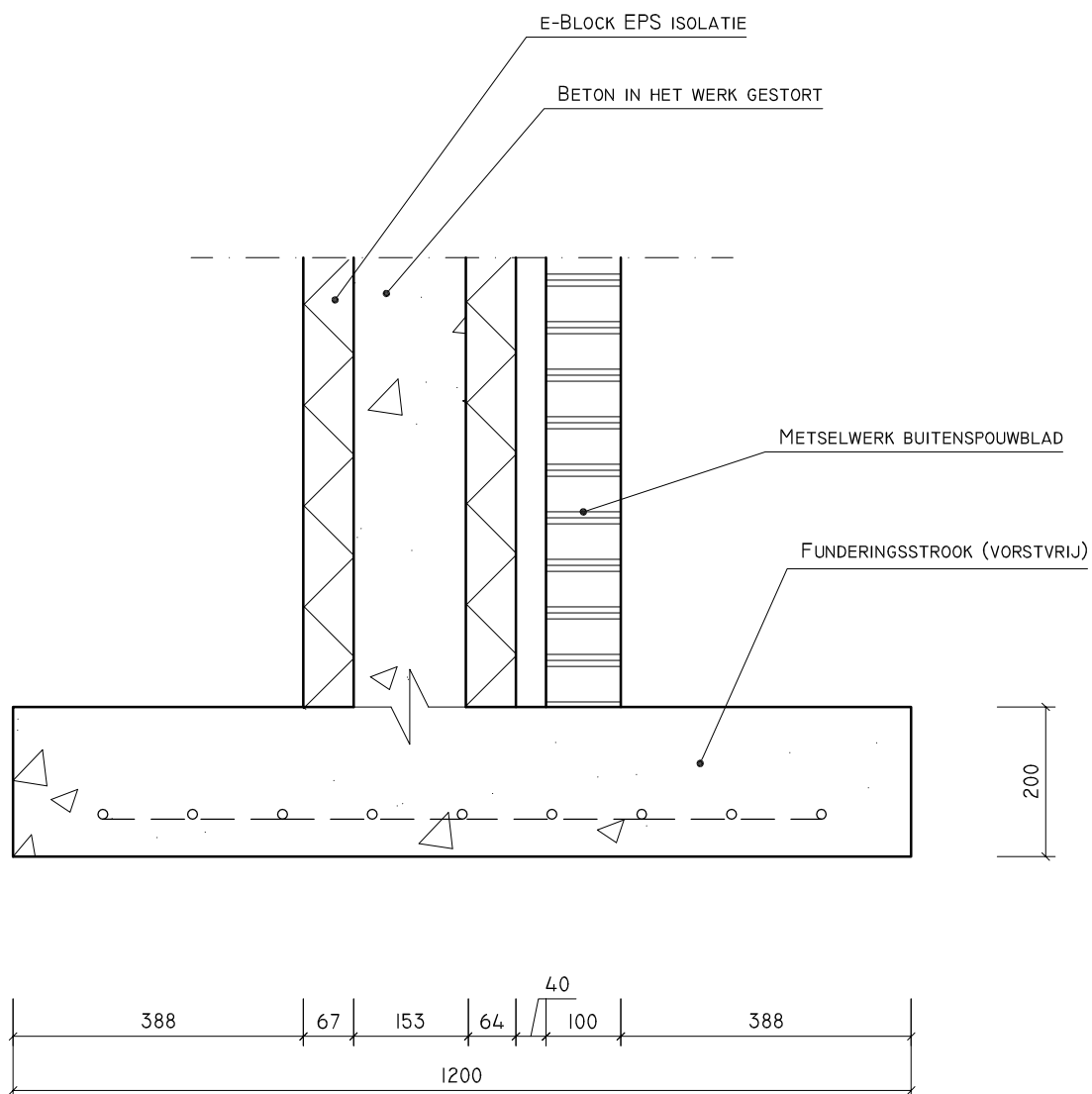




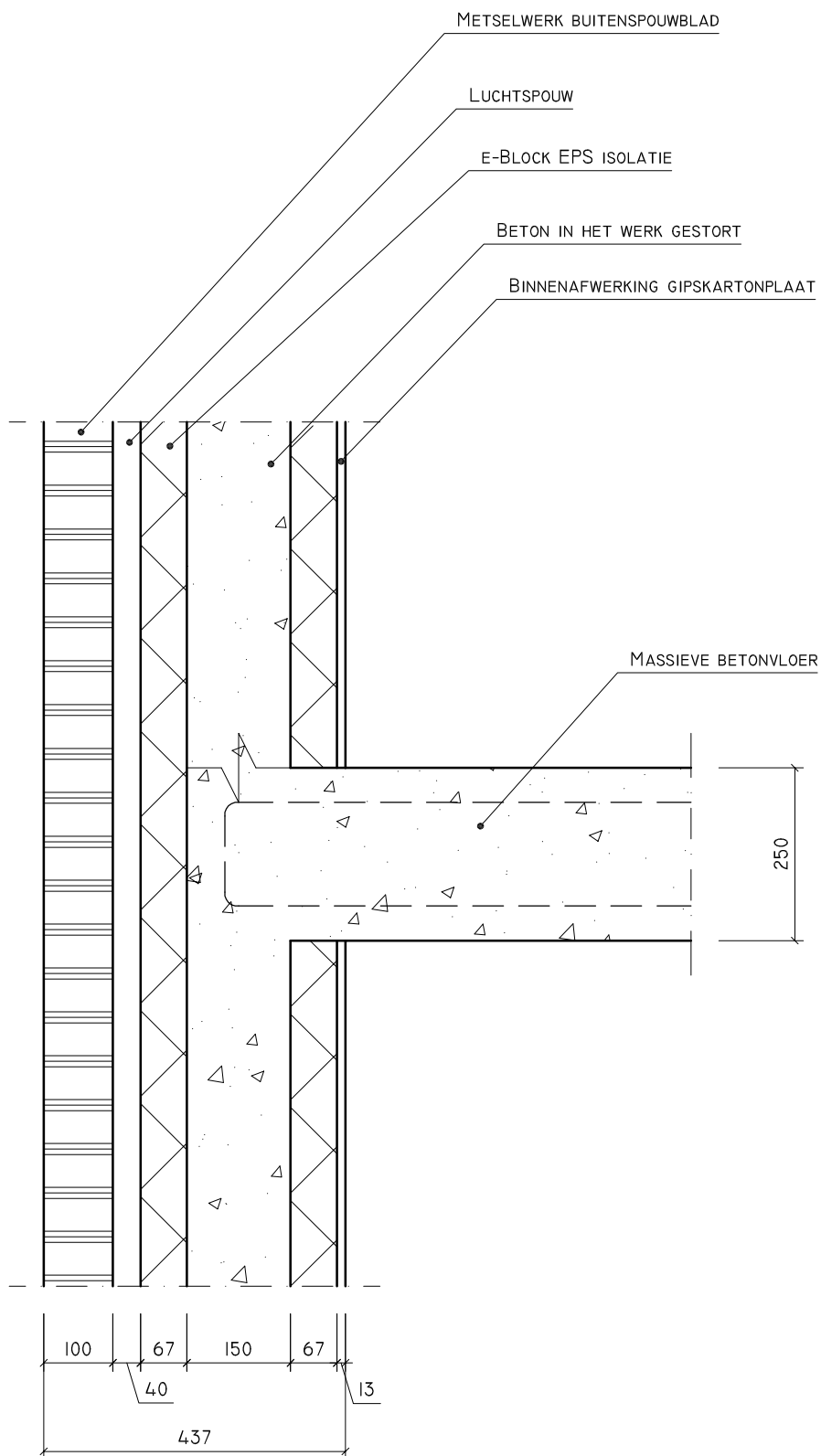
Bijlage 8: tekeningen details

Locatie details 01, 02, 03, 04, 05, 06a, 06b, 07a, 07b en 08 op onderstaand overzicht.

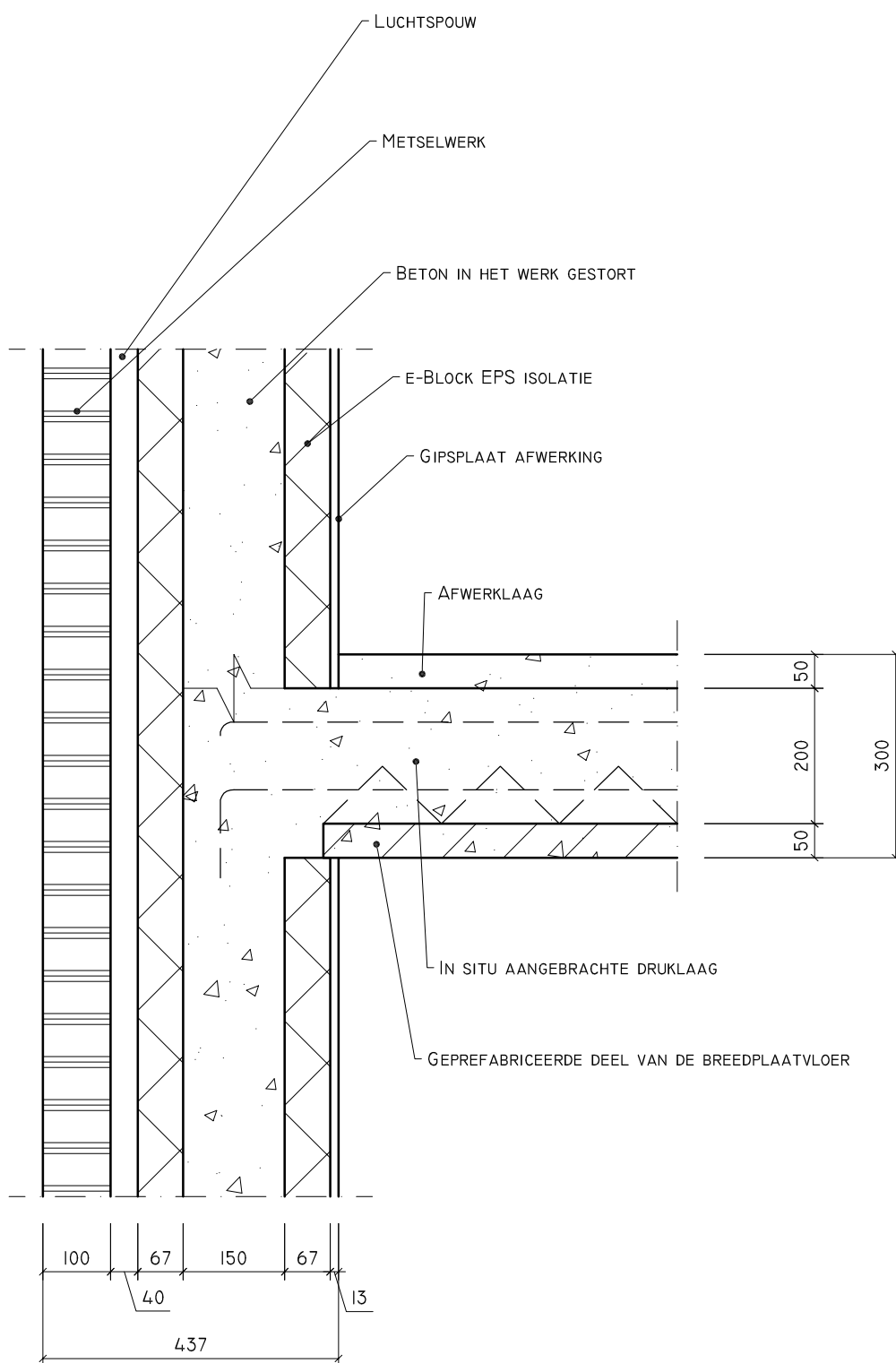




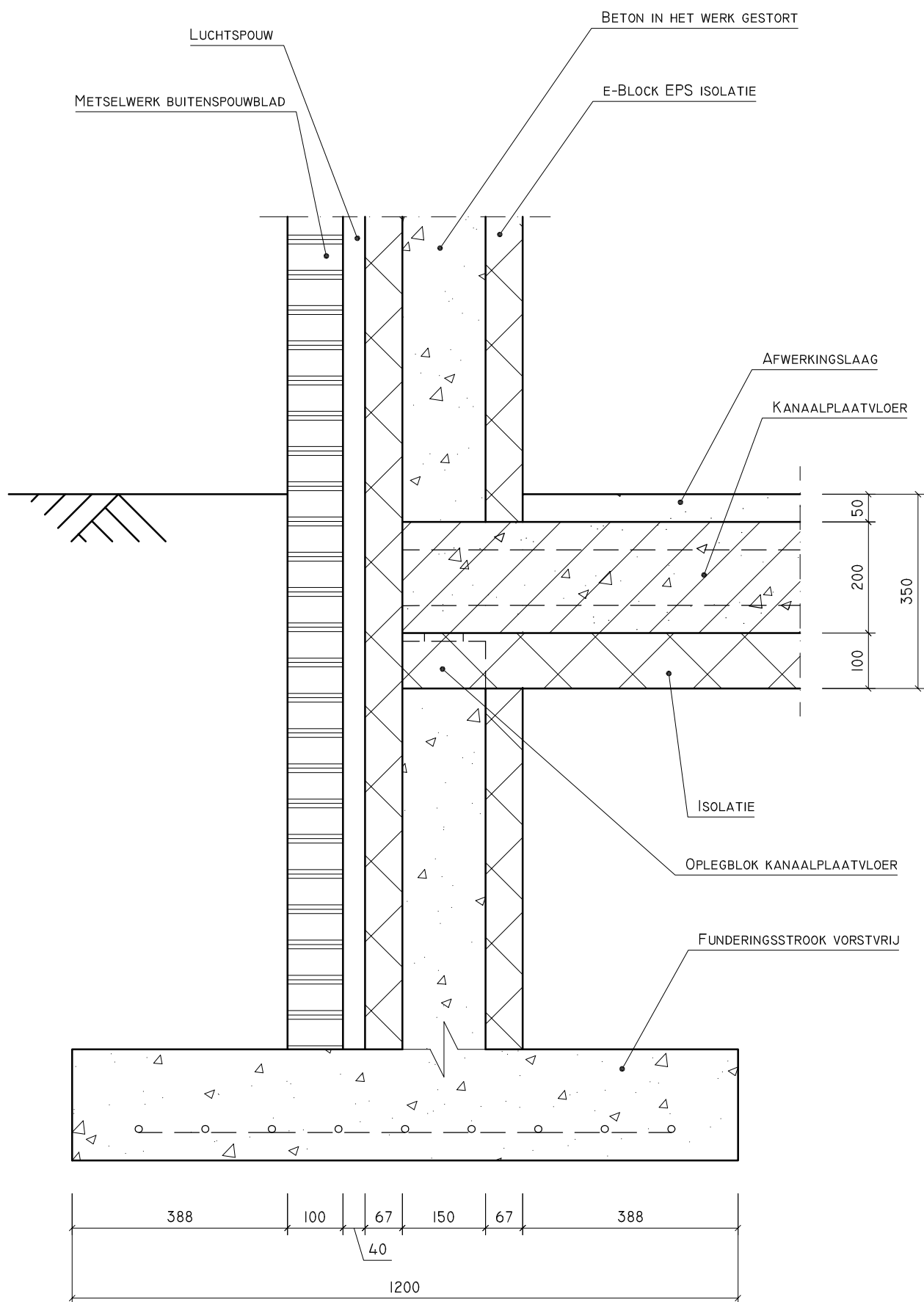
Kenmerk 01	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Aansluiting e-Block op funderingsstrook	Datum 14 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk 02	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail aansluiting massieve vloer en e-Block wand	Datum 14 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk 03	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail aansluiting breedplaatvloer op e-Block wand	Datum 14 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk

04

Project

Bachelor Eindwerk

Omschrijving

Detail aansluiting kanaalplaatvloer op e-Block wand

Naam

Wim van 't Land

Datum

14-6-2012

Formaat

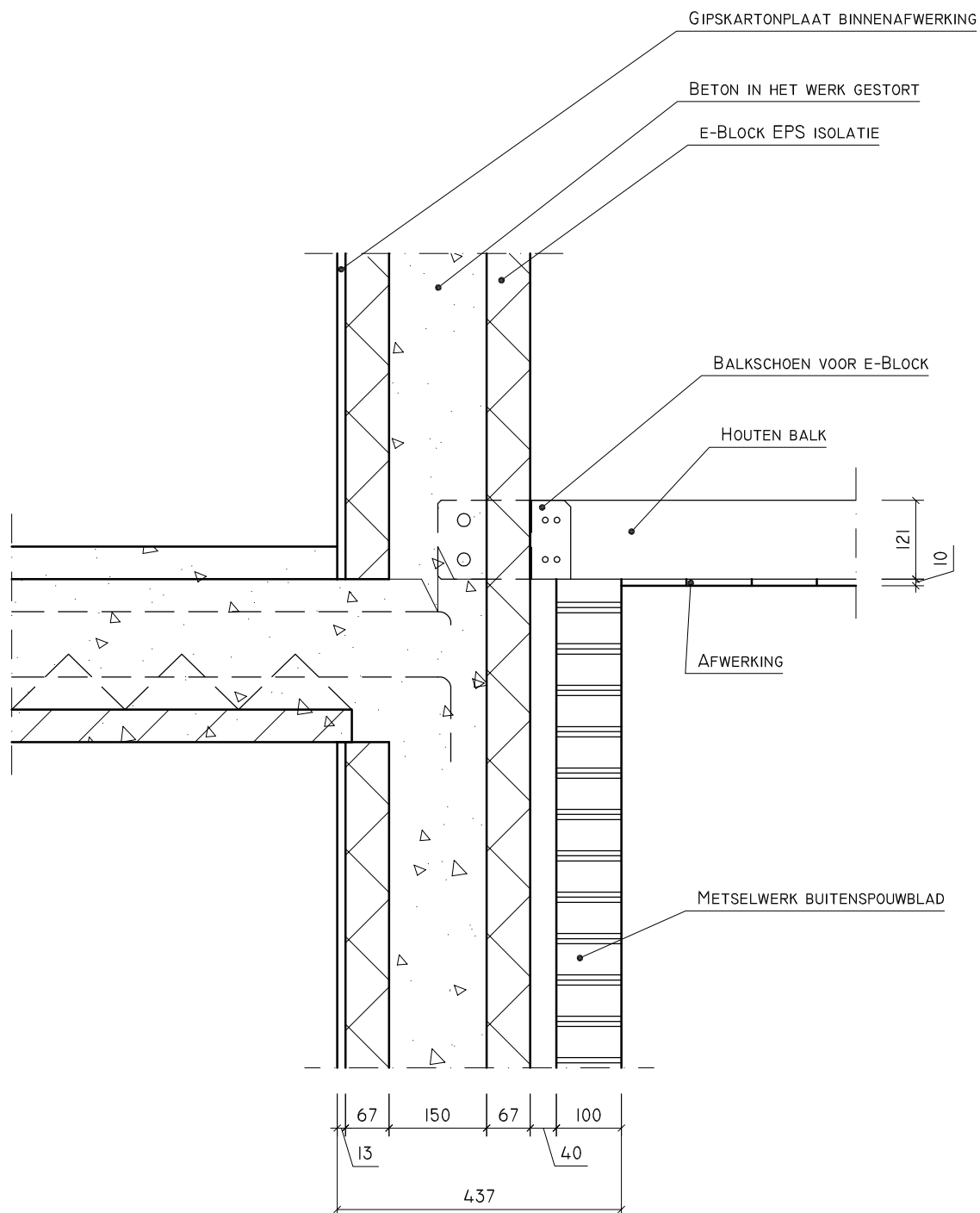
A4

Schaal

1:10

Eenheid

mm



Kenmerk

Project

Bachelor Eindwerk

Naam

Wim van 't Land

Formaat

A4

Schaal

1:10

Omschrijving

Detail aansluiting houten balklaag en e-Block wand

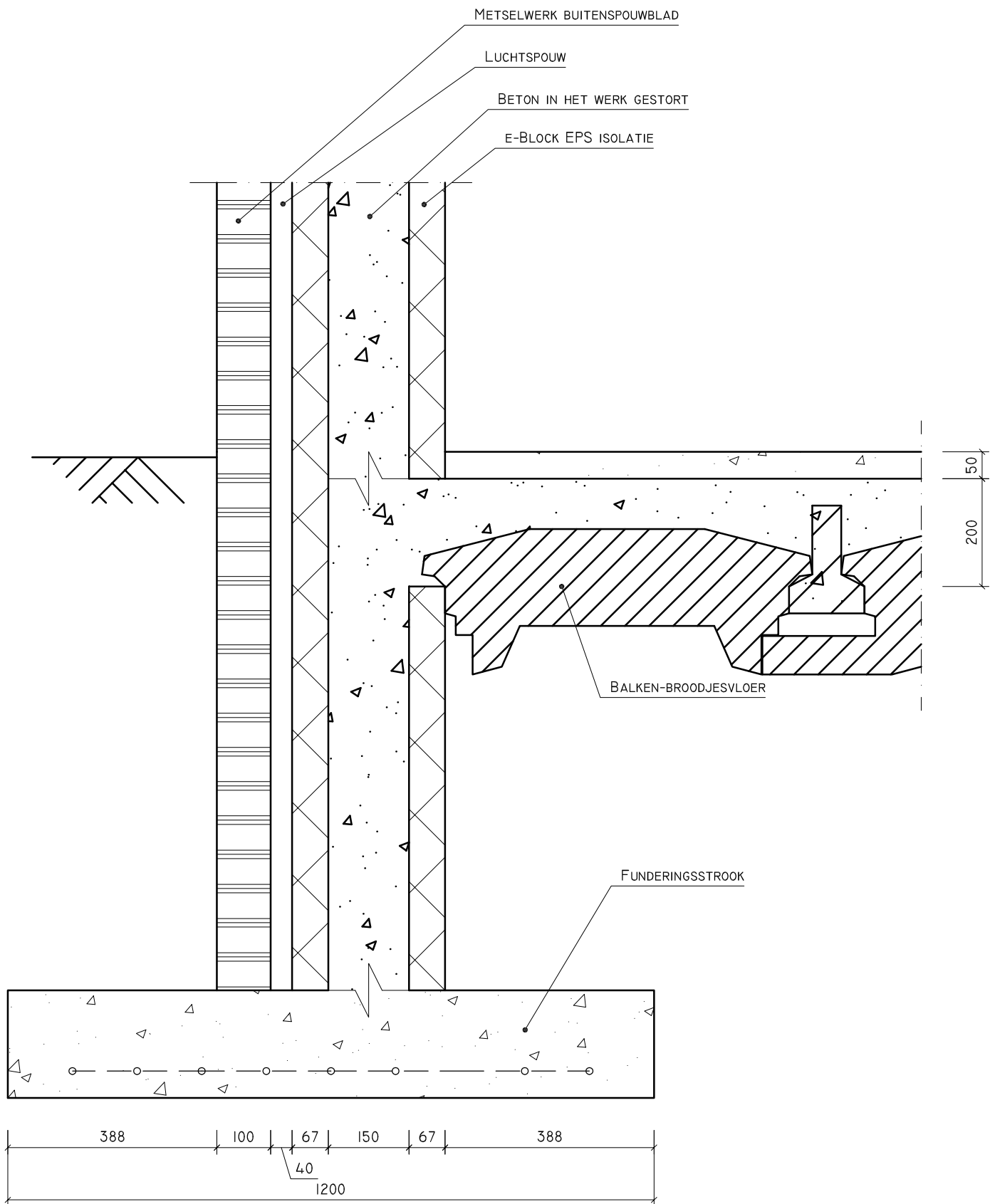
Datum

14 juni 2012

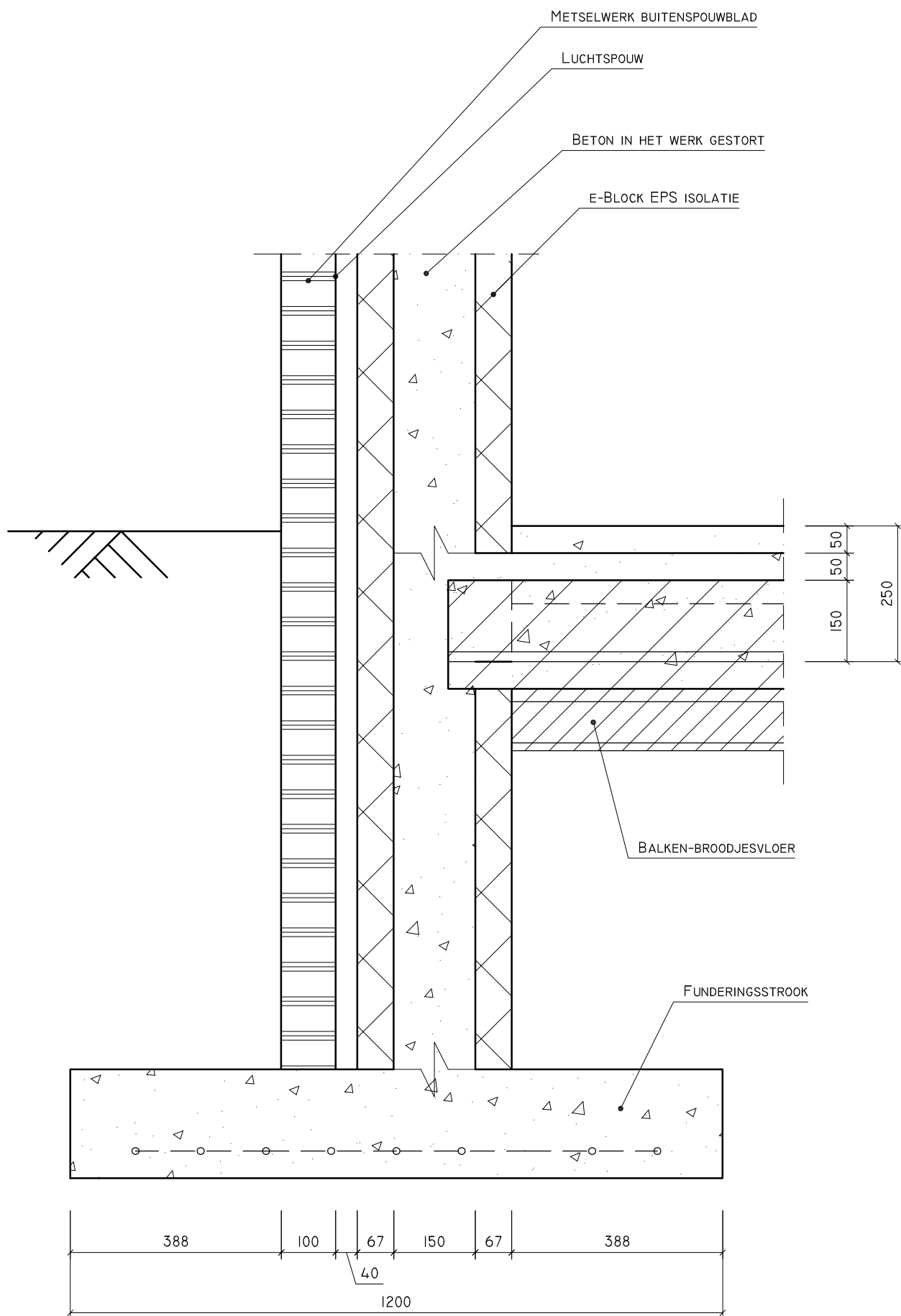
Eenheid

mm

05



Kenmerk 06a	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail aansluiting combinatievloer op e-Block wand	Datum 16 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk

06b

Project

Bachelor Eindwerk

Omschrijving

Detail aansluiting combinatievloer op e-Block wand

Naam

Wim van 't Land

Datum

16 juni 2012

Formaat

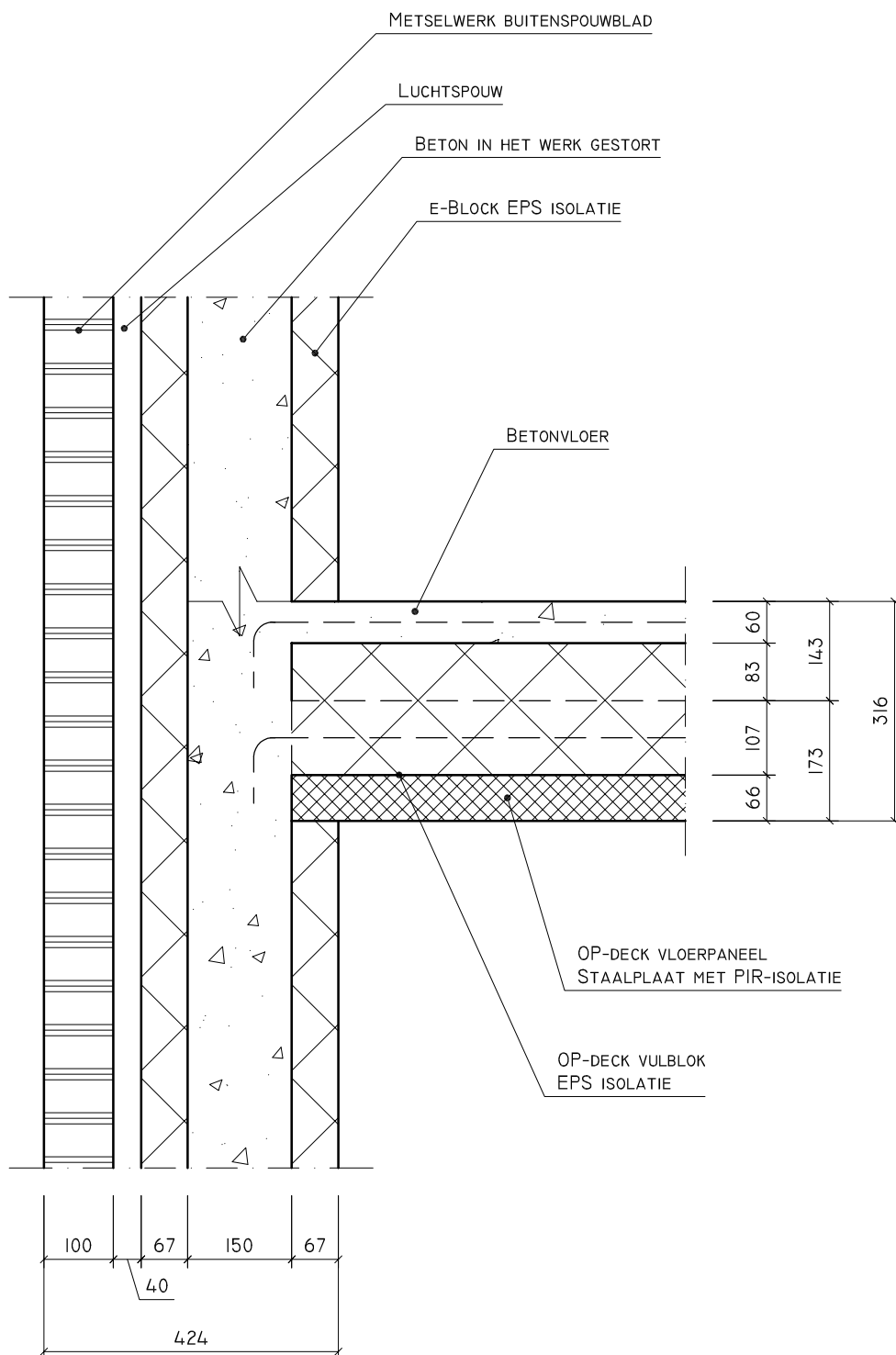
A4

Schaal

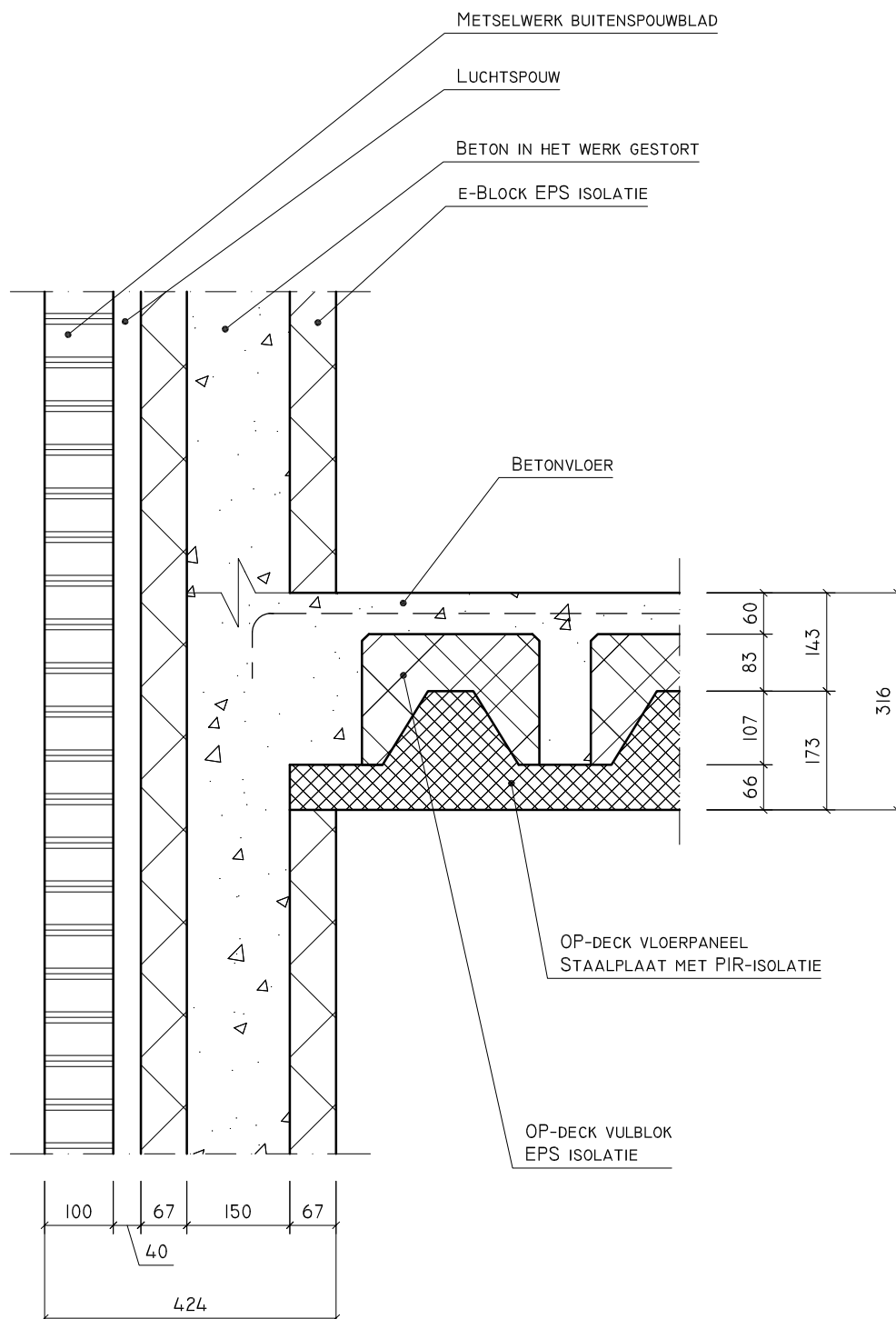
1:10

Eenheid

mm



Kenmerk 07a	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail aansluiting OP-deckvloer op e-Block wand	Datum 16 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk

07b

Project

Bachelor Eindwerk

Omschrijving

Detail aansluiting OP-deckvloer op e-Block wand

Naam

Wim van 't Land

Datum

16 juni 2012

Formaat

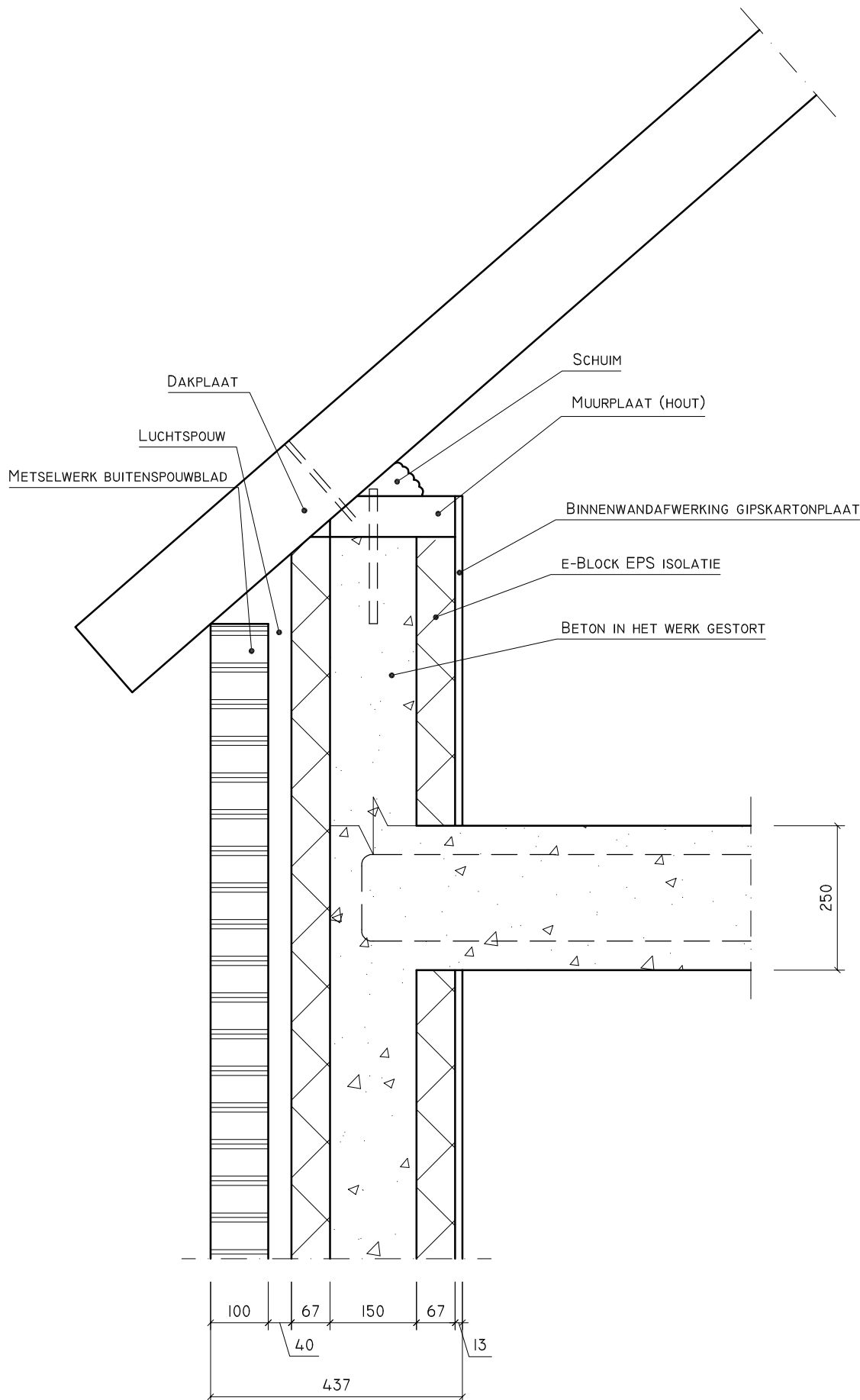
A4

Eenheid

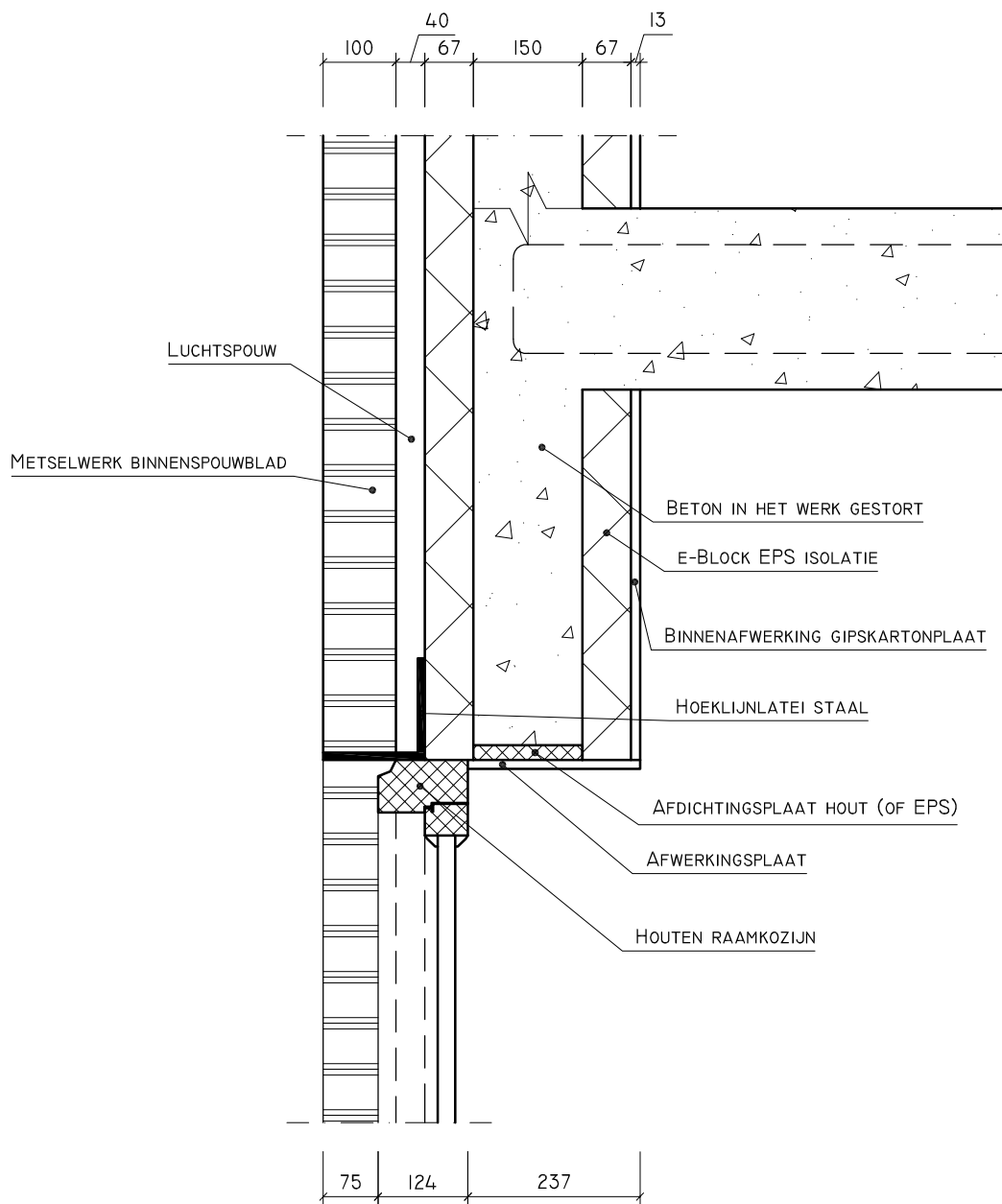
mm

Schaal

1:10



Kenmerk 08	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail aansluiting dak op e-Block wand	Datum 16 juni 2012	Eenheid mm	



Kenmerk 09	Project Bachelor Eindwerk	Naam Wim van 't Land	Formaat A4	Schaal 1:10
	Omschrijving Detail opening in e-Block wand	Datum 16 juni 2012	Eenheid mm	