



27 mei 2019
4734 woorden

LEGOliseren van de gevel

Onderzoeksrapport legoblok element

Keywords: Gevel, legoblok, Legoliseren, legohuis

Auteurs: Rowen Landman
Studentnummer: 1691192

Jawid Hassani
1668039

Afstudeerorganisatie
Plegt-Vos west B.V.
Winthontlaan 6-E
3526 KV Utrecht

Afstudeer begeleider Plegt-Vos
Dhr. F. Wijnberg
Bedrijfsbegeleider B&O
E: floris.wijnberg@plegt-vos.nl

Onderwijsinstelling
Hogeschool Utrecht
Bachelor Built Environment
Padualaan 99
3584 CH Utrecht

Omslag

Ontwerp: Rowen Landman
Foto : J. Hassani, Utrecht 20 Mei '19

Auteurs

Rowen Landman (1691192)
Jawid Hassani (1668039)

Versie

1.1

Plaats en datum

Utrecht, 27 mei 2019

Contactgegevens auteurs

¹Dhr. R. Landman
Erasmushof 25
1277 CB Huizen

T: + 31 (0)6 408 8 38 76
E: rowen.landman@student.hu.nl

²Dhr. J. Hassani
Simonvestdijkstraat 25
4003 DX Tiel

T: + 31 (0)6 206 0 79 55
E: Jawid.hassani@student.hu.nl

Onderwijsinstelling

Hogeschool Utrecht
Bachelor Built Environment
Padualaan 99
3584 CH Utrecht

Specialisatie

¹Duurzame transformatie en renovatie (REGO)
Cursus Code : TBBE-VAFOREGO-18
1^e Examiner : Dhr. R. Laterveer
2^e Examiner : Mevr. K. Grooten

²Design en constructies (ECOS)
TBBE-VAFOECOS-18
Dhr. V. Frowijn
Dhr. O. Verschuren

Afstudeerorganisatie

Plegt-Vos west B.V.
Winthontlaan 6-E
3526 KV Utrecht

Afstudeerbegeleider Plegt-Vos West B.V.

Dhr. F. Wijnberg
Bedrijfsbegeleider B&O
E: floris.wijnberg@plegt-vos.nl

Voorwoord

Voor u ligt het onderzoeksrapport "LEGOliseren van de gevel." Dit onderzoek richt zich op het ontwerpen van een legoblok element voor de gevel. Het ontwerp is middels een iteratie proces gebouwd, getest en geanalyseerd. Dit onderzoeksrapport is geschreven in het kader van het afstuderen van de opleiding Bachelor Built Environment aan de Hogeschool Utrecht en in opdracht van Plegt-Vos West B.V. Dit onderzoek is uitgevoerd door de studenten Jawid Hassani en Rowen Landman in opdracht van bouwbedrijf Plegt-Vos in samenwerking met de Hogeschool Utrecht. Dit onderzoek is verricht in de periode van februari 2019 tot en met mei 2019.

Tijdens onze zoektocht naar een afstudeeropdracht en afstudeerbedrijf zijn we in contact gekomen met Plegt-Vos West B.V. Dit bouwbedrijf had een afstudeeropdracht liggen over het LEGOliseren van de gevel. Dit sprak ons enorm aan, doordat wij allebei zeer geïnteresseerd zijn in nieuwe en innovatieve ideeën. Het zoeken naar de onderzoeksvraag verliep soepel. Wij hebben met veel plezier aan het beantwoorden van de vragen gewerkt.

Graag willen we onze collega's bij Plegt-Vos bedanken voor een prettige samenwerking. Wij willen hun dan ook heel erg bedanken voor hun tijd, kennis, input en middelen. Ook willen wij onze begeleider van Plegt-Vos, Floris Wijnberg, bedanken voor zijn begeleiding van ons proces en het geven van sturing aan het onderzoek 'LEGOliseren van de gevel.' Dit onderzoeksrapport is uitsluitend bestemd voor degene die het van ons ontvangen. Openbaarmaking, verspreiding en/ of verstrekking aan derden is niet gewenst.

Wij wensen u veel leesplezier toe.

Utrecht, 27 mei 2019
Studenten Hogeschool Utrecht

Dhr. J. Hassani en Dhr. R. Landman

1 Abstract (samenvatting)

In dit onderzoek werd er gekeken of het mogelijk is om een gevel te ontwerpen die demontabel is en de bouwtechniek vereenvoudigen. Dit wordt middels het 'LEGOliseren' gerealiseerd. Dit onderzoek beperkt zich tot het ontwerpen van een gevel element oftewel een legoblok element.

Doormiddel van experimenteel onderzoek zijn er alternatieven onderzocht, ontworpen, gebouwd, getest en geanalyseerd. Aan de hand van dit proces wordt het ontwerp met elke iteratie steeds weer verbeterd. In dit onderzoek zijn er twee iteratie gemaakt, elke iteratie is er een ontwerp gebouwd en getest. Aan het einde van de stap testen is er een analyse gemaakt van de resultaten, aan de hand van de gevonden resultaten is er een conclusie geschreven die aanleiding heeft gegeven voor een vervolgonderzoek. Ook is er in de stap analyse een terugkoppeling gemaakt aan het programma van eisen. Hierdoor is het inzichtelijk geworden op welke aspecten het ontwerp er wel en niet voldoet.

Uit het afstudeeronderzoek is gebleken dat het mogelijk is om een demontabel element (legoblok) te ontwerpen. Echter is niet uit dit onderzoek gebleken in hoeverre het legoblok element ook daadwerkelijk de bouw vereenvoudigd. Het bouwen van een gevel met legoblok elementen biedt de volgende voordelen:

- **Makkelijk te demonteren door 1 persoon**
De wanden zijn makkelijk te demonteren door 1persoon, dit komt door het lichte gewicht en simpele aansluitingen van het element. Dit geldt vooral bij de eerste testwand met een lang draadeind waarbij het zeer makkelijk te demonteren was.
- **Licht van gewicht**
Het legoblok is makkelijk hanteerbaar door 1 persoon en weegt onder de 11 kg
- **Compleet element**
Het legoblok is een compleet element dat 1 keer geplaatst en gemonteerd wordt

Echter dient dit concept verder ontwikkeld te worden om hier een acceptabel resultaat neer te kunnen zetten.

Inhoudsopgave

Voorwoord	3
1 Abstract (samenvatting)	4
Inhoudsopgave	5
Figuren en tabellenlijst	7
2 Inleiding	8
2.1 Aanleiding	8
2.2 Probleemanalyse	8
2.3 Doel van het onderzoek	9
2.4 LEGOlisering	10
2.5 Eigen visie	11
2.6 Afbakening	12
2.6.1 Uitgangspunten ontwerp	13
2.6.2 Legoblok elementen	14
2.7 Programma van Eisen (PvE)	16
3 Methodologie	18
3.1 Methode	18
3.2 Aanpak	20
4 Fase 1	21
5 Ontwerpen	21
5.1 Constructief	21
5.1.1 Criteria	21
5.1.2 Multi Criteria Analyse	23
5.1.3 Conclusie	26
5.1.4 Thermische isolatie	27
5.1.5 Criteria	27
5.2 Onderbouwing Multi Criteria Analyse	31
5.2.1 Conclusie	31
.....	31
5.3 Conclusie materiaal analyse	32
5.4 Alternatief 1	33
5.4.1 Alternatief 1A	35
5.4.2 Alternatief 1B	36
6 Bouwen en testen	37
6.1 Bouwen alternatief 1	37

6.2	Testen alternatief 1	40
6.2.1	Monteren en demonteren	40
6.2.2	Resultaten.....	41
6.2.3	Constructie	43
7	Analyse	47
7.1	Conclusie resultaten	47
7.2	Aanbevelingen.....	47
8	Fase 2.....	48
9	Ontwerpen	48
10	Bouwen en testen	49
10.1	Bouwen fase 2	49
10.2	Bevestiging	49
10.3	Luchtdichting.....	49
10.4	Test opstelling	49
10.5	Resultaten.....	49
10.6	Coaten van cellenbetonblokken.....	50
10.7	Testen fase 2.....	52
10.7.1	Testen monteren en demonteren.....	52
10.7.2	Resultaten.....	53
10.7.3	Resultaten luchttest	54
11	Conclusie	55
	Literatuurlijst	57
12	Bijlagenoverzicht	59

Figuren en tabellenlijst

Tabel 3.1 Programma van eisen	17
Afbeelding 2.1 standaard grondgebonden woning Plegt-Vos	13
Afbeelding 2.2 Criteria legoblok element.....	14
Afbeelding 3.1 Schema experimenteel ontwerpen (Thomke, 2003)	18
Afbeelding 3.2 Iteratie proces onderzoek	20

2 Inleiding

2.1 Aanleiding

Naar aanleiding van eerder onderzoek “het legohuis” (Aantjes, Geitel, Martosoedarmo, Verweij, & Asoud, 2018) gemaakt door studenten van de Hogeschool Utrecht in opdracht van Plegt-Vos. Er wordt een vervolgonderzoek opgesteld aan de hand van het onderzoek “het legohuis” en de wensen van de opdrachtgever Plegt-Vos. In het voorafgaande onderzoek (Aantjes et al., 2018) waren de volgende aspecten onderzocht: verschillende mogelijke verbindingen, constructieve-, bouwfysische berekening en een globale kostenberekening. Het legohuis onderzoek was opgezet naar aanleiding van de vraag vanuit Plegt-Vos om een demontabel, modulaire component te moduleren waarmee een woning door één a twee te realiseren is. Het resultaat van dit onderzoek (Aantjes et al., 2018) is een concept dat globaal berekend en uitgewerkt is. Het concept kon nog geoptimaliseerd worden qua: materialen keuze, gewicht, kosten, bouwfysische berekeningen en de stabiliteit. Naar aanleiding van de onderzoeksresultaten van het onderzoek “het legohuis” (Aantjes et al., 2018) wordt er een vervolg onderzoek gedaan naar het optimaliseren van de: materialen keuze, gewicht, kosten, bouwfysische eigenschappen.

2.2 Probleemanalyse

Als bouwbedrijf vindt Plegt-Vos dat het bouwen van een woning sneller en makkelijker gerealiseerd kan worden. Plegt-Vos wil dit verbeteren doormiddel van een nieuw en innovatief bouwsysteem waarbij dit niet nodig is. Doormiddel van het concept Legohuis wil Plegt-Vos dit bereiken. Uit eerder onderzoek (Aantjes et al., 2018) is gebleken dat het mogelijk is om een middels het legohuis concept een woning te realiseren. Echter dient het concept “het legohuis” (Aantjes et al., 2018) nog worden doorontwikkeld op de volgende aspecten: materialen keuze, gewicht, kosten, bouwfysische eigenschappen. Het probleem van dit bestaande onderzoek is dat het concept nog globaal is ontworpen en berekend. Het concept zal dus opnieuw ontworpen en berekend moeten worden. Er dient een legoblok voor de gevel te worden ontworpen die demontabele is, licht van gewicht is, lage kosten heeft, door één a twee personen gerealiseerd kan worden en voldoet aan bouwfysische en constructieve eisen. Hierdoor moet het voor Plegt-Vos inzichtelijk worden hoe het legoblok eruit komt te zien, en of het mogelijk is om een legoblok element te ontwerpen dat aan de eisen voldoet.

2.3 Doel van het onderzoek

Het doel van dit onderzoek is het ontwerpen van een legoblok element voor de gevel, dat geschikt is voor de woningbouw. Er dient een legoblok voor de gevel ontworpen te worden dat, demontabel, licht van gewicht, lage kosten heeft, door één a twee personen gerealiseerd kan worden en voldoet aan bouw fysische en constructieve eisen (zie PvE, Tabel 2.1).

Uit dit onderzoek zal een ontwerp voortkomen dat toepasbaar is voor een vrijstaande woning. Het ontworpen legoblok dient te worden getest en geverifieerd aan de hand van de gestelde eisen in het PvE¹. Het ontwerp bestaat uit een set tekeningen, test resultaten met een analyse en conclusie van het uiteindelijke resultaat.

¹ PvE = programma van eisen, hierin worden alle eisen vastgesteld voor het ontwerpen van het legoblok.

2.4 LEGOlisering

Het concept Legolisering is een combinatie van verschillende bestaande initiatieven in de bouwsector zoals het Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen, Slim Bouwen, Conceptueel Bouwen en de productontwikkeling van individuele bedrijven (Ridder, 2011). Over dit concept is een boek geschreven door Hennes de Ridder. Het concept Legolisering van H. de Ridder samengevat:

De huidige praktijk komt neer op het gefragmenteerd, ambachtelijk ontwerpen en bouwen van een eenmalige, unieke, klantspecifieke bouwwerken, die voor een lange tijd onwrikbaar en moeilijk aanpasbaar op een bepaalde locatie staan. Deze praktijk zal plaats maken voor een geïntigreerd *Research & Development* met co-makers, gericht op het creëren productfamilies met onderliggend: geïndustrialiseerd gemaakte bouwdozen met onderdelen, van waaruit unieke, klantspecifieke bouwwerken kunnen worden gemaakt met hoogwaardige architectuur en kwaliteit, die moeiteloos en zonder overlast zijn aan te passen aan veranderende omstandigheden. (Ridder, 2011, p. 10)

H. de Ridder vergelijkt in zijn boek de huidige manier van werken binnen de gehele sector met zijn concept Legolisering. In zijn boek benadrukt H. de Ridder van standaardisatie en het industrialiseren hiervan. Doormiddel van het industrialiseren van bouwwerken, middels het prefabriceren van elementen, en het monteren van deze elementen op de bouwplaats. Doordat elk elementen kan worden uitgenomen en worden vervangen door een of meerdere elementen. Hierdoor kan een bouwwerk worden aangepast op de volgende aspecten: uitbreiding, inkrimping, andere indeling, uitbreiding installaties en een andere gevel.

Middels een digitale 'catalogus' worden er bouwwerken aan de klant aangeboden, elk bouwwerk bestaat als het ware uit een bouwdoos. In de bouwdoos zitten alle gestandaardiseerde elementen en componenten die nodig zijn voor het bouwen van het bouwwerk. Hoewel elk bouwwerk uit gestandaardiseerde elementen en componenten bestaat, is de variatie en verscheidenheid van de bouwwerken in principe onbeperkt (Ridder, 2011). Echter wordt er wel een bepaalde vaste structuur aangehouden. Dit wordt gedaan doormiddel van het aanbieden van een standaard catalogus, die verschillende bouwwerken aanbiedt, met een groot aantal accessoires.

2.5 Eigen visie

Het legohuis concept

Als een speelgoed legohuis als voorbeeld beschouwd zou worden die door iedere leeftijd gebouwd kan worden, dient het toekomstige legohuis een soort gelijke concept te zijn. Het speelgoed legohuis is makkelijk te bouwen, en het uit elkaar halen van de elementen zijn net zo makkelijk. Dit concept is een voorbeeld van een legohuis speelgoed, waarbij de uitvoeringsmethode en de elementen in werkelijkheid ontwikkeld kan worden om een huis mee te kunnen bouwen. Een doos speelgoed van legohuis heeft een beperkt aantal blokken en daarmee wordt een woning gebouwd met de blokken die er in een doos zitten. Het lego huis die in dit onderzoek ontworpen en ontwikkeld wordt, dient in principe met beschikbare producten zoals een speelgoed legohuis opgebouwd te worden. Dit concept wordt aangehouden voor het ontwerpen en ontwikkelen van een legoblok element.

Concept

Een speelgoed legohuis met alle nodige elementen die in een doos zitten en hierbij zit ook een handleiding boek waarmee het legohuis gebouwd kan worden. Met deze handleiding wordt per stap uitgelegd hoe het gebouwd kan worden. Dit concept voor het oog te hebben, moet de toekomstige legobuis die in praktijk wordt gebouwd, met de soort gelijke handelingen in elkaar gezet kunnen worden.

Materiaal

Een speelgoed lego element is gemaakt van kunststof. Deze lego elementen worden in verschillende vormen, maten en kleuren geproduceerd. Naar het materiaal voor een lego element voor dit onderzoeksrapport moet echter nog worden onderzocht. Het principe van een lego element dient op hetzelfde manier te blijven als een speelgoed lego blok. Het lego element voor dit onderzoek dient te bestaan uit een buiten afwerking, isolatie, verbinding en het dragend element

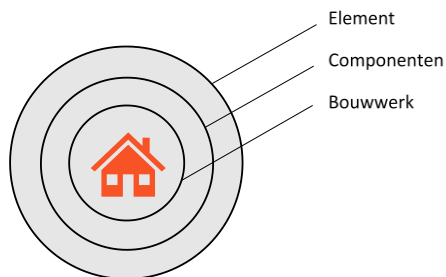
Systeem

Het speelgoed legoblok wordt op elkaar gestapeld en de verbindingen zijn doormiddel van klemstelsysteem. Het demonteren van een speelgoed lego blok is net zo makkelijk als het monteren daarvan. Om het systeem in werkelijkheid toe te passen is het noodzakelijk om verder te worden onderzocht naar de mogelijke bevestigingen en verbindingen.

2.6 Afbakening

Dit onderzoek richt zich op het ontwerpen van het bouwsysteem dat demontabel is en dat toepasbaar is voor in de woningbouw, dit wordt gedaan doormiddel van het concept Legolisering. Dit onderzoek richt zich op het Legoliseren van de gevel van een vrijstaande woning.

Er is onderzoek gedaan op element niveau van het bouwwerk, het element wordt gezien als een Legoblok. Voor het Legoliseren van een gevel voor een vrijstaande woning, de gevel wordt beschouwd als een component van het bouwwerk ook wel de vrijstaande woning te noemen.



Dit onderzoek zal zich vooral richten op het ontwerpen van een gevel element, in dit geval een legoblok. Voor ontwerpen van het legoblok worden de volgende uitgangspunten gebruikt:

Toepassing

Woningbouw

- Vrijstaande woning

In dit onderzoek is er uitgegaan van een twee laags vrijstaande woning, deze is schematische weergegeven in afbeelding 2.1. Aan de hand van de onderstaande afmetingen worden de gevel Legoblokken ontworpen. Er wordt hierbij rekening gehouden met een eventuele derde bouwlaag.

In dit onderzoek worden de vloeren, daken, kozijnen, elektra en de fundering niet verder onderzocht. Echter worden deze wel in het ontwerp meegenomen om een beeld te creëren voor het legoconcept.

2.6.1 Uitgangspunten ontwerp

Om te ontwerpen wordt er gebruik gemaakt van een standaard woning van Plegt-Vos, hiervoor zijn de volgende uitgangspunten gebruikt:

- Breedte: 5 m (extra breedte tot max. 5.70 m)
- Diepte: 9,00 m (extra diepte tot max. 9,40 m)
- Oppervlakte: vanaf 70 m² BVO
- 3 Slaapkamers
- Diverse dakvormen

Aan de hand van de bovenstaande kenmerken zijn er een aantal woningen ontworpen door Plegt-Vos. In de onderstaande afbeelding 2.2 wordt er uitgegaan van een grondgebonden rijtjeswoning met een plat dak. Dit ontwerp zal worden aangehouden voor het ontwerpen van de Legoblok elementen. Echter zal de maatvoering niet exact hetzelfde worden zoals in het ontwerp van Plegt-Vos, de afmetingen van de woning zullen variëren aan de hand van de gekozen materialen van de Legoblok elementen.

Om een legoblok element te ontwerpen moet er een bepaalde afmetingen worden aangehouden. Voor de afmetingen van de gekozen materialen dient er om zo veel mogelijk van standaardafmetingen uit te gaan. De keuze voor standaardafmetingen van materialen voor het legoblok is medebepaald omdat het legoblok zo simpel mogelijk moet zijn. Bij het legoblok element is ervoor gekozen om zo weinig mogelijk speciale materialen met speciale afmetingen toe te passen. Met de standaardafmetingen van materialen die al op de markt zijn, dient er een innovatief legoblok element ontworpen te worden, die moet voldoen aan gestelde eisen van de opdrachtgever. Een legoblok dient te bestaan uit de volgende aspecten: buitenafwerking, isolatie en het dragend element.

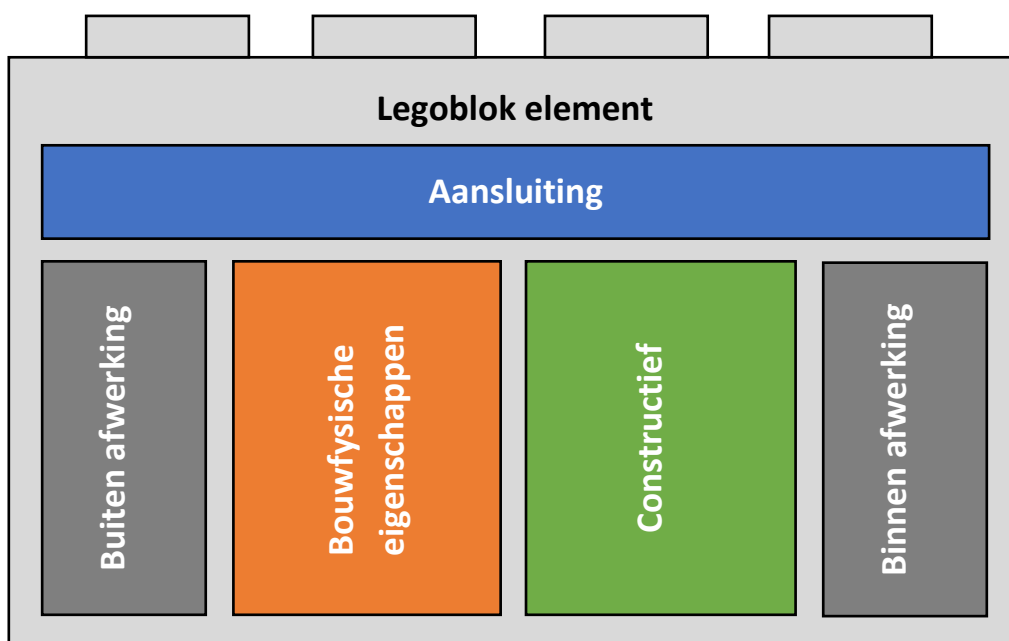


Afbeelding 2.1 standaard grondgebonden woning Plegt-Vos

2.6.2 Legoblok elementen

In dit onderzoek wordt er een legoblok element ontworpen voor het realiseren van de gevels van een vrijstaande woning. Meerdere legoblokken vormen een gevel, de primaire functie van een gevel is het beschermen van de binnenkant tegen de invloeden van buitenaf (regen, sneeuw, wind, hitte, geluid, etc.).

Het legoblok element kan gemaakt worden van een combinatie van materialen of van een enkel materiaal. Er zijn echter worden er wel randvoorwaarden gesteld waaraan het ontwerp van het legoblok element dient te voldoen. Er worden vijf randvoorwaarden gesteld die belangrijk zijn bij het ontwerpen van het legoblok element: binnen afwerking, bouwfysische eigenschappen, constructie, buiten afwerking en verbindingen (zie afbeelding 2.3). Voor het realiseren van een gevel met legoblok elementen zijn er meerdere eisen opgesteld (zie paragraaf 2.5, tabel 3.1).



Afbeelding 2.2 Criteria legoblok element

- **Aansluiting**

De aansluitingen van het element dienen zo simpel mogelijk te zijn en zo min mogelijk plaats te vinden. De aansluitingen van de legoblok elementen dienen demontabel te zijn, dit houdt in dat de legoblok elementen droog met elkaar verbonden worden.

- **Buiten- en binnen afwerking**

De buitenafwerking dient bescherming te bieden tegen de invloeden van buitenaf. Tevens is de buiten- en binnen afwerking op het legoblok element aanwezig voor een esthetische reden.

- **Bouwfysische eigenschappen**

Het legoblok element dient te voldoen aan de gestelde bouwfysische eisen (zie paragraaf 2.5, tabel 3.1). Het element dient bescherming te bieden tegen de invloeden van buitenaf. Het legoblok element dient minimaal te voldoen aan het bouwbesluit (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012) die gelden voor de: warmteweerstand, luchtdichtheid, waterdichtheid en de brandwerendheid. Hierdoor zullen de eisen verhoogd worden in het PvE.

- **Constructief**

Het element dient draagkrachtig genoeg te zijn om eigen gewicht te kunnen dragen en de bijkomende belastingen. Het is ook belangrijk dat het element goed hanteerbaar en licht van gewicht blijft, waardoor het element gestapeld kan worden door één persoon. Hierdoor zal de verwachting zijn dat de element sneller te verwerken zijn. Het element kan uit verschillende materialen bestaan, het idee is om een legoblok te ontwikkelen dat onder de 23 kg valt (zie paragraaf 2.5, tabel 3.1).

2.7 Programma van Eisen (PvE)

Om het ontwerp te toetsen, is er een programma van eisen opgesteld waarin een aantal belangrijke criteria van de opdrachtgever zijn vastgesteld. Middels de criteria die in dit programma van eisen zijn vastgesteld, creëren wij als onderzoekers een houvast voor het onderzoek. Het programma van eisen voor dit onderzoek is opgesteld aan de hand van de eisen die gesteld zijn door de opdrachtgever Plegt-Vos. In de onderstaande tabel 2.1 zijn er een aantal punten weergegeven die gebaseerd zijn op het voorafgaande onderzoek "het legohuis" (Aantjes et al., 2018) en de keuzes van de opdrachtgever Plegt-Vos.

Criteria	Omschrijving
Gewicht 	Het legoblok mag niet zwaarder als 11 kg zijn. Dit i.v.m. het maximale gewicht wat een persoon mag tillen (Ministerie Sociale Zaken en Werkgelegenheid, sd). Dit geldt alleen voor de standaard elementen, zwaardere elementen dan 23kg dienen door twee personen getild te worden. Het maximale gewicht dat door twee personen mag niet meer als 50 kg bedragen. Voor het verrichte van niet langdurige herhaalde werkzaamheden zijn de volgende waarden aangehouden: • Maximaal te tillen gewicht door 1 persoon, 11 kg
Demontabel 	Er is gekozen om het legoblok element demontabel te houden, bij het monteren van de elementen komen er geen natte verbindingen aan te pas. Het legoblok is demontabel gehouden op component niveau. Dit betekent dat de componenten (het legoblok) demontabel met elkaar verbonden dienen te worden. • De verbinding van de legoblok elementen dienen demontabel te zijn • Gebruik van zo min mogelijke materialen en verbindingen ("less is more")
Thermische isolatie 	De minimale eis aan de thermische isolatiewaarden volgens het bouwbesluit 2012 hoofdstuk 5, aansturingstabel 5.1 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012) zijn als volgt: • R_c waarde gevel, 4,50 m²K/w • R_c waarde dak, 6,00 m²K/w • R_c waarde vloer, 3,50 m²K/w Er wordt geen hogere R_c waarde gekozen voor het ontwerpen, dit omdat, naarmate de R_c waarde van de gevel verhoogd wordt worden de lekken in de aansluitingen groter. Aldus Harm Valk van Nieman Raadgevende Ingenieurs (Cobouw, 2013). Indien de R_c waarde wel hoger wordt ontworpen dient er extra aandacht besteed te worden aan de naaddichting.

Luchtdichtheid 	In Nederland zijn er verschillende Luchtdichtheidsklasse, deze wordt op basis van de NEN 2687:1989 onderverdeeld in de volgende drie luchtdichtheidsklasse: • Klasse 1 Basis, voldoet aan het Bouwbesluit geen bijzondere eisen • Klasse 2 Goed, energiezuinig bouwen • Klasse 3 Uitstekend, passief bouwen of andere vormen van zeer energiezuinig bouwen De gevel dient een luchtdoorlatendheid te hebben van 100 dm³/s (met een drukverschil van 10 Pa) bij woningvolume tot en met 250 m² volgens NEN 2687. Het behalen van de QV10 waarde van 0,4 dm³/s per m² wordt berekend aan de hand van meetgegevens zoals beschreven in NEN 2686 en bouwbesluit 2012, hoofdstuk 5, artikel 5.2, tabel 5.1. Deze meetgegevens worden verkregen aan de hand van een blowdoortest volgens NEN 2686 en NEN 13829. Dit is echter niet haalbaar in dit onderzoek, dit in verband de een lange voorbereidingstijd die nodig is voor deze test. (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012)
Regenwerendheid 	Om de regenwerendheid te bepalen van de scheidingsconstructie dient er een proef uitgevoerd te worden zoals is beschreven in NEN 2778, hoofdstuk 5. Dit is echter niet haalbaar om uit te voeren omdat de voorbereidingstijd van de test te lang zou duren. (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012).
Brandveiligheid 	Doordat er een nieuw gevelsysteem wordt ontworpen zal dit getest moeten worden. Ook dient de bouwconstructie (de gevel in het geval van dit onderzoek) te voldoen aan de gestelde eisen van het bouwbesluit 2012, artikel 2.10, tabel 2.10.1 tijdsduur bezwijken (Minister voor Wonen en Rijksdienst, 2018). Een bouwconstructie mag niet bezwijken bij brand in een brandcompartiment waarin die bouwconstructie niet ligt, de bouwconstructie mag niet bezwijken in de hieronder aangegeven tijden: • Indien geen vloer van een verblijfsgebied hoger ligt dan 7 m boven het meetniveau Tijdsduur van de brandwerendheid: 60 minuten • Indien een vloer van een verblijfsgebied hoger ligt dan 7 m en geen vloer van een verblijfsgebied hoger ligt dan 13 m boven het meetniveau Tijdsduur van de brandwerendheid: 90 minuten • Indien een vloer van een verblijfsgebied hoger ligt dan 13 m boven het meetniveau Tijdsduur van de brandwerendheid: 120 minuten
Kosten 	De maximale materiaalkosten per standaard legoblok element dient €15,- Dit geldt niet voor de hoek- en vloerelement

Tabel 2.1 Programma van eisen

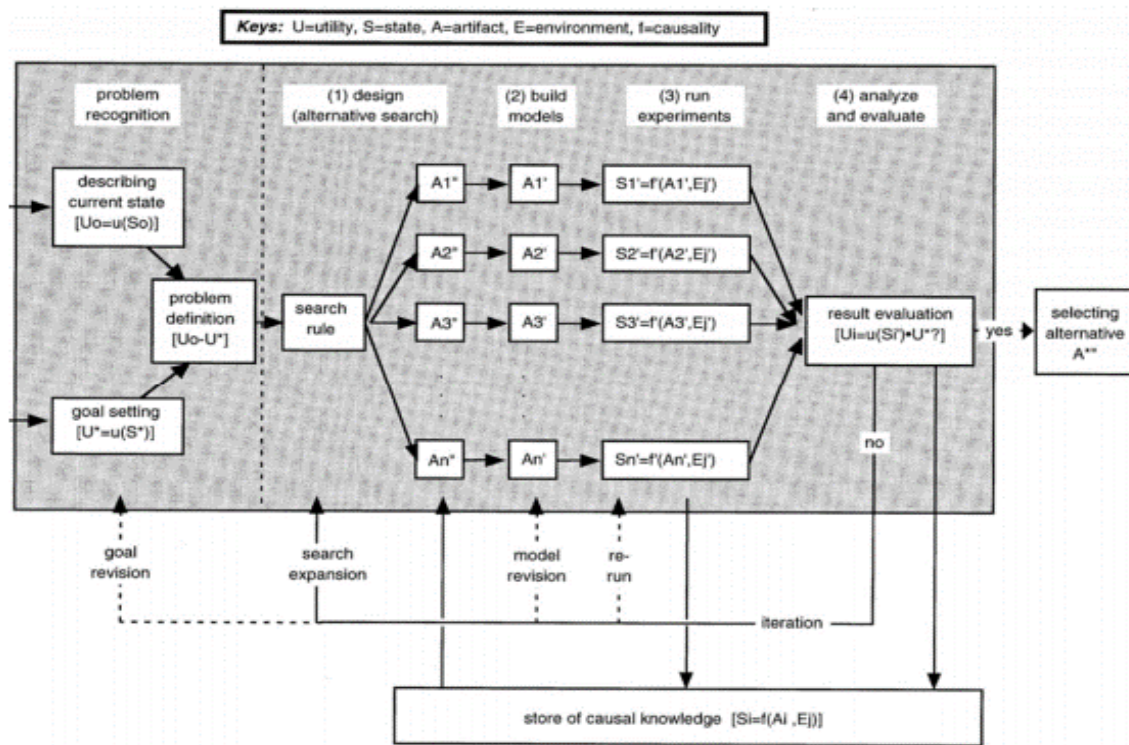
3 Methodologie

In dit onderzoek is kwalitatief onderzoek uitgevoerd om antwoord te geven op de hoofdvraag hoe kan er een legoblok worden ontworpen dat bouwen vereenvoudigt en demontabel bouwen mogelijk maakt? Hiervoor wordt experimenteel onderzoek gedaan en worden er testen verricht om de effecten van de beoogde oplossingen meetbaar te maken.

3.1 Methode

Voor het ontwikkelen van het product (oftewel het Legoblok) wordt er Experimental Design Research gebruikt. In deze paragraaf wordt verder toegelicht hoe en waarom deze methode is toegepast.

Het toepassen van een methode voor een onderzoek is van groot belang, dit bepaalt eenmaal of het onderzoek op de juiste wijze wordt uitgevoerd. In dit onderzoek wordt er gebruik gemaakt van experimenteel ontwerpen. Hiervoor is gekozen omdat aan de hand van dit proces meerdere alternatieven getest kunnen worden, en deze dan ook door te blijven ontwikkelen. Hierdoor wordt het inzichtelijk welke alternatieven er wel en niet werken, dit gebeurt aan de hand van het experimenteren. Onder experimenteren valt het volgende te verstaan, *"het systematisch testen van een hypothese of model, onder gereguleerde omstandigheden, om de eigenschappen, het gedrag en of effecten te ontdekken"* (Woorden.org, 2019). Het experimenteren is een lang proces, en vergt dus veel tijd. Het proces van experimenteren kan echter sneller doormiddel van het gebruiken van gestructureerde manier van experimenteel ontwerpen, dit wordt gedaan aan de hand van het schema getoond in Afbeelding 3.1.



Afbeelding 3.1 Schema experimenteel ontwerpen (Thomke, 2003)

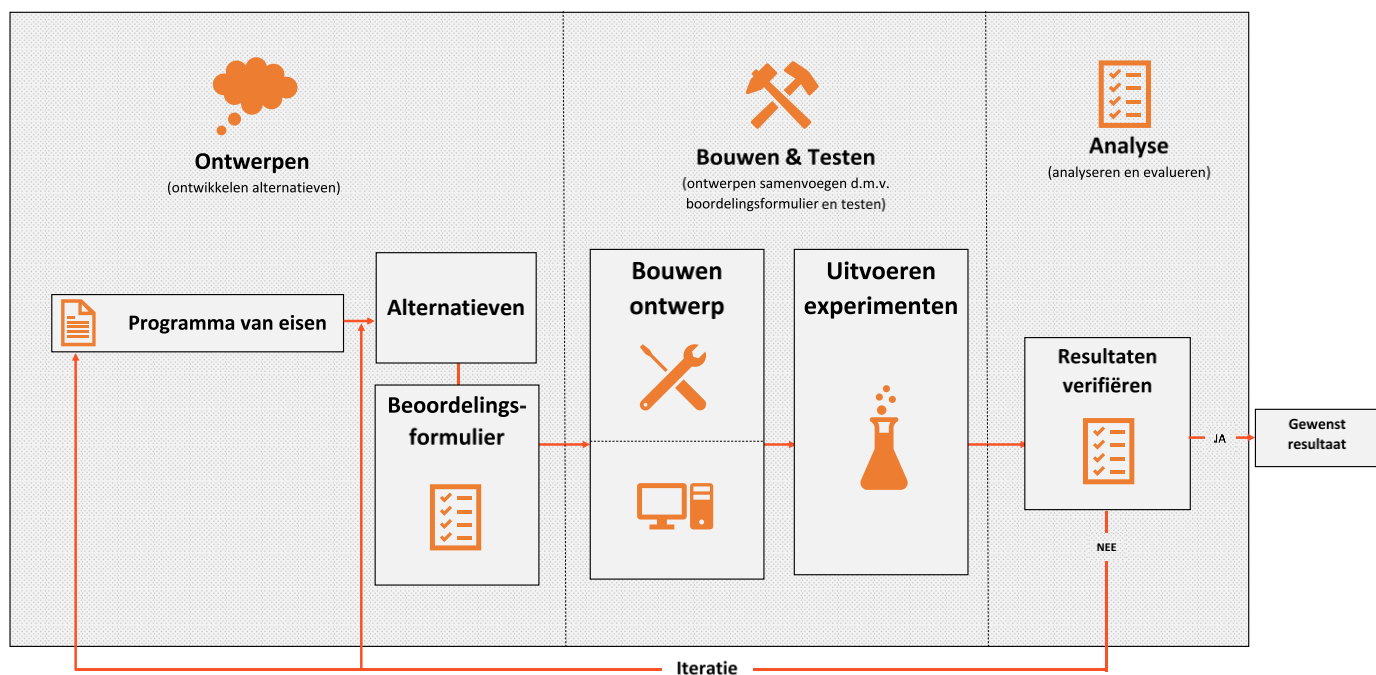
In het schema (afbeelding 3.1) is te zien dat in de eerste stap problem recognition de volgende aspecten staan: describing current state en goal setting. In “describing current state” wordt de huidige staat van het probleem beschreven. In de “goal setting” wordt de gewenste situatie beschreven. Deze twee onderdelen vormen samen de “problem definition.” Hierin worden de alle problemen beschreven, en aan de hand van de problemen kan er een PVE opgesteld worden waarin de eisen van het ontwerp worden omschreven, oftewel de “search rule.” Aan de hand van de “search rule” worden er een aantal varianten ontworpen. Nadat deze alternatieven zijn ontworpen worden deze ook daadwerkelijk gebouwd (build models), dit kan fysiek als virtueel gebeuren. Hierna in het kopje “run experiments” worden de “models” getest, dit kan op verschillende manieren gedaan worden. Dit is afhankelijk van het te testen onderdeel. In de laatste stap “analyze and evaluate” worden de resultaten van de test geanalyseerd en wordt zo de beste oplossing gekozen.

3.2 Aanpak

In dit onderzoek wordt de aanpak ongeveer hetzelfde benadert zoals beschreven in paragraaf 4.1. Echter wordt het proces versnelt door enkelen stappen in het model te versimpelen. Hierdoor kan er in een kortere tijd sneller een ontwerp worden geanalyseerd en geëvalueerd.

In afbeelding 3.2 is ons ontwerpproces weergegeven. Hierin is te zien dat er eerst een plan van eisen is opgesteld. In het plan van eisen zijn alle aspecten beschreven waaraan het ontwerp (ofwel het Legoblok) aan dient te voldoen, het PvE² is terug te vinden in hoofdstuk 3 paragraaf 3.4.1. Aan de hand van het PvE wordt er een ontwerp gemaakt met verschillende alternatieve materialen en verbindingen, dit wordt gedaan doormiddel van schetsen. Met behulp van een beoordelingsformulier (zie hoofdstuk 5, MCA) wordt er inzichtelijk gemaakt wat de plus en minpunten zijn van elk ontwerp. Het beoordelingsformulier bestaat uit de eisen van het PvE.

De alternatieven worden samengevoegd tot één ontwerp in de stap ontwerpen. In de stap bouwen en testen wordt eerst het ontwerp gebouwd, dit gebeurt fysiek en/ of virtueel. Doormiddel van het bouwen van het ontwerp wordt er in de stap testen experimenten uitgevoerd om zo de effecten te meten van de gekozen oplossingen. Vervolgens wordt het ontwerp getest, het verschilt per ontwerp wat er getest wordt. In de stap verificatie worden de testresultaten geanalyseerd en geëvalueerd, is het ontwerp niet het gewenste resultaat, dan begint het proces weer opnieuw.



Afbeelding 3.2 Iteratie proces onderzoek, (R. Landman 2019)

² PvE = programma van eisen, hierin worden alle eisen vastgesteld voor het ontwerpen van het legoblok.

4 Fase 1

In de onderstaande hoofdstukken zijn de stappen doorlopen doormiddel van de gekozen methode zoals beschreven in paragraaf 3.2, het iteratie proces wordt in dit onderzoek beschouwd als een fase. In fase 1 is er onderzoek gedaan naar: de materialen, alternatieve verbindingen, monteren en demonteren van de elementen en de bouwsnelheid van het element.

5 Ontwerpen

In deze stap wordt er een materiaal analyse gemaakt van mogelijke materialen die toegepast kunnen worden voor het Legoblok. Het legoblok dient uit de volgende componenten te bestaan: constructief, isolatie en een buitenafwerking. *(Zie bijgeboekt, hoofdstuk 7, paragraaf 7.1, voor meer tekeningen en details)* Hierbij worden de constructie elementen en de bouw fysische eigenschappen onderzocht.

5.1 Constructief

5.1.1 Criteria

Voor de constructie van de legoblokken zijn er een aantal eisen vanuit de opdrachtgever opgesteld die zijn als volgt:

- Het constructiemateriaal dient inclusief afwerklaag en isolatie onder de 23 kg wegen zoals vastgelegd in PvE. De wens van de opdrachtgever is dat het zo licht mogelijk blijft.
- De constructie element dient een hoog draagvermogen te bieden.
- De kosten van de constructie inclusief isolatie en afwerklaag dient onder de € 15,- te blijven per element.

Deze punten worden meegenomen in de materiaal analyse van de constructie. Om tot een goed resultaat te komen moet er een keuze worden gemaakt, naar welke materialen er onderzocht gaat worden. Voor het constructiemateriaal van een legosteent wordt er naar de volgende materialen onderzocht:

- Beton
- Lichtbeton
- Kalkzandsteen
- Cellenbeton
- Hout

Beton

Beton is een constructiemateriaal dat een zeer hoge vormvrijheid biedt. Beton kan in het werk worden gestort maar ook kan het geprefabriceerd worden waardoor je op de bouwplaats sneller kan bouwen. Omdat beton een hoog draagvermogen heeft en een vormvrijheid biedt, is het interessant om voor het legosysteem verder te onderzoeken als constructiemateriaal.

(Zie bijlageboek hoofdstuk 1)

Lichtbeton

Lichtbeton is een andere soort van beton. Lichtbeton is met een prijs van € 34,50,-/ m² een goedkoop materiaal. Lichtbeton heeft relatief een hoge druksterkte en een lager volumieke massa in vergelijking met beton. Deze eigenschappen van lichtbeton maakt het een interessant variant voor het concept legoliseren. (Zie bijlageboek hoofdstuk 1)

Cellenbeton

Cellenbeton blokken zijn licht van gewicht en hebben een hoge thermische isolatiewaarde in tegenstelling tot beton en lichtbeton. Cellenbeton wordt als blokken geproduceerd en hebben een draagvermogen van 4 N/mm². Ook de kosten voor cellenbeton blokken zijn relatief lager dan beton en lichtbeton. Deze drie maatgevende punten maken dit materiaal een interessant materiaal voor het legoliseren. (Zie bijlageboek hoofdstuk 1)

Kalkzandsteen

Kalkzandsteen met drie verschillende sterkteklasse tussen de CS12-CS20 en in verschillende formaten verkrijgbaar. Deze constructiemateriaal wordt als blokken geprefabriceerd met een volumieke massa van 2000 kg/m³. Door zijn verschillende formaten en een relatief hoog draagvermogen is dit ook een interessante variant voor het legoliseren met dit materiaal. (Zie bijlageboek hoofdstuk 1)

Hout

Hout een constructiemateriaal dat al eeuwen wordt toegepast in de woningen en gebouwen. Hout wordt in verschillende soorten en maten geproduceerd. Hout heeft een lage volumieke massa en een druksterkte tussen de D18 – D80, daarnaast heeft hout een goede thermische isolatie. Deze punten maakt hout interessant voor dit onderzoek. (Zie bijlageboek hoofdstuk 1)

5.1.2 Multi Criteria Analyse

Hieronder is er een aantal Multi Criteria Analyse weergegeven waarin de verschillende constructiematerialen tegen elkaar worden afgewogen. Vervolgens wordt het gekozen materiaal in twee verschillende varianten tegen elkaar afgewogen.

Weging		
0	=	Zeer laag
0,5	=	Laag
1	=	Neutraal
1,5	=	Zwaar
2	=	Zeer zwaar

Tabel 5.2 Weging MCA

Score		
1	=	Zeer slecht
2	=	Slecht
3	=	Matig
4	=	Voldoende
5	=	Goed

Tabel 5.1 Score MCA

Eigenschappen constructiematerialen

Omschrijving	Eenheid	Beton	Lichtbeton	Cellenbeton	Kalkzandsteen	Hout
Thermische isolatie	[W/mK]	2,00	1,19	0,16	0,75	0,17
Gewicht	[kg/m ³]	2000-2800	100- 1900	600	2000	550
Draagvermogen	[N/mm ²]	12 tot 53	12 tot 80	4	12 tot 20	18
Kosten	[€/m ²]	62,85	34,5	18,84	53,10	65,00

Tabel 5.3 overzicht eigenschappen materialen

In de onderstaand tabel zijn de eigenschappen van de vijf verschillende constructiematerialen weergegeven. De thermische isolatie, het gewicht, de draagvermogen en de kosten zijn de wegingspunten die uit de PvE komen. Deze materialen worden tegen elkaar afgewogen en het materiaal met de hoogste score wordt verder uitgewerkt in verschillende varianten.

Constructiematerialen	Weging	Beton		Lichtbeton		Cellenbeton		Kalkzandsteen		Hout	
		Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig
Thermische isolatie	1	1	1	2	2	5	5	4	4	5	5
Gewicht	2	1	2	4	8	4	8	2	4	4	8
Draagvermogen	1,5	5	5	5	8	3	5	4	6	4	6
Kosten	1,5	2	2	4	6	5	8	2	3	2	3
Totaal score			10		24		25		17		22
Gemiddelde			2,5		5,9		6,3		4,3		5,5

Tabel 5.4 overzicht MCA-materialen

Uit de bovenstaand tabel waarin de constructiematerialen tegen elkaar worden afgewogen, komt het cellenbeton als het beste constructiemateriaal voor het legoblok uit. Hiermee is het nu duidelijk geworden dat er met deze materiaal verder wordt ontworpen. Dit materiaal wordt in onderstaande tabellen onderling tegen elkaar afgewogen in twee varianten op de constructieve verbinding.

Varianten 1 en 2

In de onderstaande tabellen worden de twee constructieve bevestigingen tegenover elkaar afgewogen.

Cellenbeton	Alternatief 1 Draadeind		
	weging	score	score x weig
Snel en makkelijk monteerdbaar	1,5	3,0	5
Snel en makkelijk demonteerdbaar	1,0	5,0	5
Maattolerantie	1,5	2,0	3
Kosten	1,0	4,0	4
Gewicht	2,0	5,0	10
Stabiliteit	1,5	5,0	8
Totale score			34
Gemiddelde			5,7

Tabel 5.5 overzicht variant draadeind

Cellenbeton	Alternatief 2 tentstok		
	weging	score	score x weig
Snel en makkelijk monteerdbaar	1,5	5,0	8
Snel en makkelijk demonteerdbaar	1,0	1,0	1
Maattolerantie	1,5	3,0	5
Kosten	1,0	4,0	4
Gewicht	2,0	5,0	10
Stabiliteit	1,5	2,0	3
Totale score			30
Gemiddelde			5,0

Tabel 5.6 overzicht variant tentstok

Onderbouwing Multi Criteria Analyse

Onderstaand wordt de onderbouwing van de Multi criteria analyse weergegeven. Er is een criterium opgesteld voor de verschillende constructiematerialen en vervolgens worden het gekozen constructiemateriaal in twee varianten verdeeld die ook door de Multi criteria analyse wordt getoetst op constructieve verbinding.

Alternatief 1/ 2:

Snel en makkelijk te monteren:

Het lego element dient makkelijk te monteren zijn. Dit is een eis dat is opgesteld door de opdrachtgever. In het lego concept is dit een van de belangrijkste punten die daarom (zwaar 1,5) weegt in dit Multi criteria analyse.

Snel en makkelijk demonteerbaar:

Het lego element zoals het makkelijk monteerbaar moet zijn, is het ook van belang dat het element makkelijk gedemonteerd kan worden. Echter weegt het demonteren van het element niet even zwaar als monteren van het element omdat het demontage zeldzaam is en het veel tijd kost. Daarom weegt het demonteren (neutraal, 1).

Maattolerantie:

Bij het stapelen van de elementen, en aanbrengen van de draadeind/ tentstokken verbinding op de fundering is het van groot belang dat er weinig tot geen maattolerantie ontstaat. Het zou anders leiden tot een niet waterpas wand en grote naden tussen de elementen. Hierdoor weegt de maattolerantie (zwaar. 1,5).

Kosten:

De kosten moet het liefst gelijk aan of onder de € 15,- blijven. Het kan zijn dat de kosten duurder wordt de verwachten en hierbij mag het dan variëren tussen de € 15,- en € 20,-. Daarom weegt het (neutraal, 1).

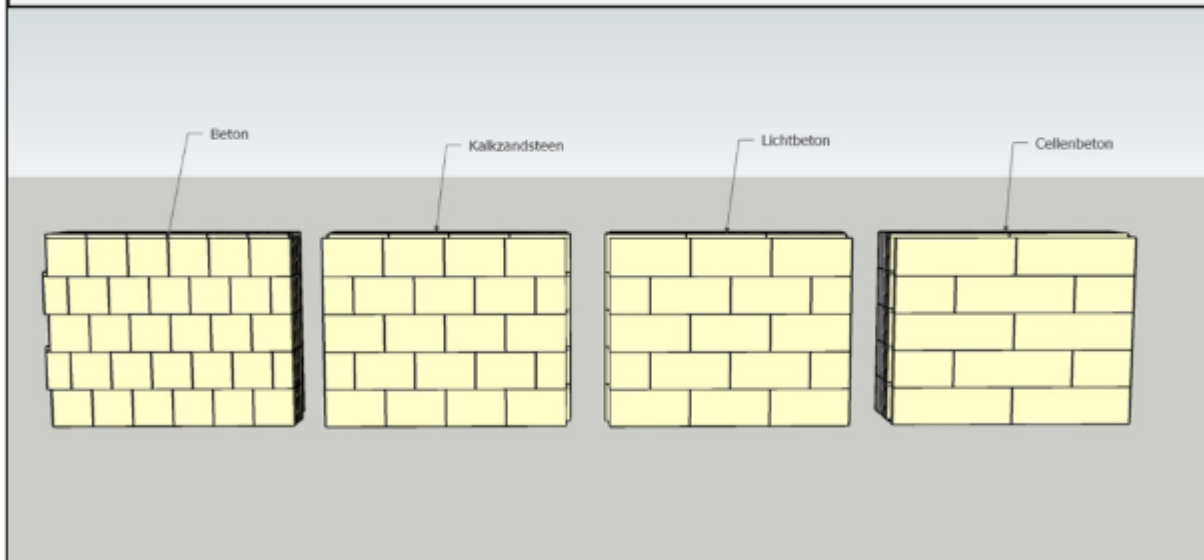
Gewicht:

Het gewicht van de lego elementen zijn bepalend voor de hanteerbaarheid tijdens het stapelen van de elementen. Hierbij is het gewicht (Zeer zwaar, 2) gewogen bij dit MCA. Het element dient door een persoon hanteerbaar te zijn, en zoals vermeld in het bouwbesluit mag het maximaal 23kg wegen (Ministerie Sociale Zaken en Werkgelegenheid, sd). Een lager gewicht van een lego element zal gunstiger zijn voor de totaal op te vangen belasting.

Stabiliteit:

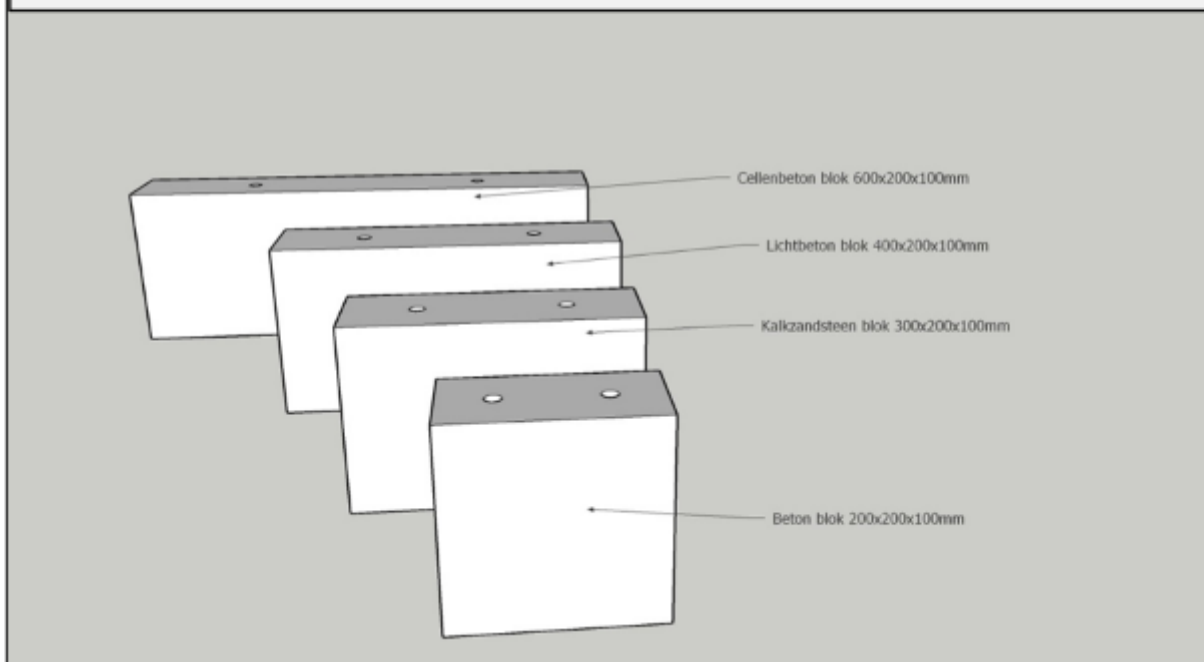
Stabiliteit weegt (zwaar, 1,5) in dit MCA. Het concept die bestaat uit lego elementen moet natuurlijk wel blijven staan tijdens en na de uitvoering. Hierbij is het belangrijk dat de constructie stabiel is.

Op de onderstaand foto worden de blokken opgestapeld als een wand. Hiermee is er duidelijk een verschil merkbaar op het formaat van de blokken en de wanden. Zoals op de foto's is te merken is er een groot verschil tussen beton en cellenbeton wand. De betonwand bestaat uit 30 blokken terwijl de cellenbeton wand uit 10 blokken bestaat. Beide wanden hebben een afmeting van 1000mm hoog en 1200mm breed. Hierbij kan er geconcludeerd worden dat een cellenbeton wand met minder blokken en minder naden het meest gunstige situatie is.



Afbeelding 5.1 vorm legoblokken, (J. Hassani, 2019)

Onderstaand wordt er visueel beeld weergegeven van de verschillende blokken van verschillende materialen. De formaten van de blokken afhankelijk van het materiaal varieert, dit komt door de volumieke massa per materiaal. Beton met een massa van $2000-2800 \text{ kg/m}^3$ vormt de kleinste blok. Kalkzandsteen met een massa 2000 kg/m^3 vormt de twee kleinste blok, Lichtbeton op die manier met een massa tussen $800-2000 \text{ kg/m}^3$ is derde en cellenbeton is de grootste blok met een massa 600 kg/m^3 .



Afbeelding 5.2 vorm constructieve elementen, (J. Hassani, 2019)

5.1.3 Conclusie

Voor de constructieve deel van het legoblok is er een MCA opgesteld, waarin de materialen worden getoetst op verschillenden aspecten zoals genoemd in hoofdstuk 5, paragraaf 5.1.2. Uit de MCA komt er een materiaal als het meest ideale materiaal voor het legoblok. Hierbij is cellenbeton uitgekozen tot het geschikte constructiemateriaal voor het legoblok. Daarnaast zijn er twee constructie bevestigingen tegenover elkaar afgewogen en de gekozen bevestiging wordt uitgevoerd met draadeind.

5.1.4 Thermische isolatie

De minimale eis aan de thermische isolatiewaarden volgens bouwbesluit 2012 (Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties, 2012) zijn als volgt: Rc waarde gevel 4,50 m²K/w, Rc waarde dak 6,00 m²K/w en Rc waarde vloer 3,50 m²K/w.

5.1.5 Criteria

Voor het isolerende deel van het legoblok worden kunststof schuimen onderzocht. Er is voor een kunststofschuim gekozen om de volgende eigenschappen hiervan:

- **Lage λ -waarde**
Kunststof schuimen hebben een lagere λ -waarde (Blok, Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen, 2006), waardoor het materiaal voor een hogere Rc waarde zorgt. Er zal minder (dik) materiaal nodig zijn voor het behalen van de gestelde eis van 4,50m²K/w (zie tabel 2.1).
- **Hoge waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt**
Doormiddel van een hoge waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt (en ook de celstructuur van het materiaal) zijn kunststof schuimen bestand tegen vocht. Doormiddel van de hoge waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt is er geen waterdichte folie nodig.
- **Druksterkte (stootvast)**
Kunststof schuimen hebben een hoge druksterkte en vervormen relatief weinig. Door de hoge druksterkte is het materiaal stootvast en kan de isolatie indien nodig een bijdrage leveren aan de draagkracht van het element.
- **Licht van gewicht**
Kunststof schuimen hebben een lage volumieke massa (Blok, Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen, 2006), dit maakt het materiaal ideaal voor het ontwerpen van licht gewicht legoblok element.

De volgende kunststof schuimen zijn onderzocht voor het isoleren van het legoblok element:

- Geëxpandeerd polystyreen (EPS)
- Geëxtrudeerd polystyreen (XPS)

Geëxpandeerd polystyreen (EPS)

Geëxpandeerd polystyreen (afkorting EPS, expanded polystyreen) is een PS-schuim ook wel een kunststofschuim. EPS is een goed isolatiemateriaal, dit komt door de unieke structuur die het materiaal heeft. Elke kubieke meter EPS bestaat uit 10 miljoen bolletjes, elk bolletje telt 3.000 gesloten cellen gevuld met lucht. Hoe meer bolletjes in het materiaal zitten, des te groter de densiteit. EPS bestaat voor 98% uit lucht en maar 2% polystyreen (Stybenex, 2019), dit maakt EPS een bijzonder licht en goed isolerend materiaal. Doormiddel van de celstructuur kan EPS een grote mechanische druksterkte opnemen. EPS is een mono-materiaal, dit doordat het uit 1 materiaal bestaat namelijk polystyreen. In de onderstaande tabel 5.7 worden de waarde weergegeven voor het beoordelen van de isolatie.

Omschrijving	Grootheid		EPS 60-SE	EPSHR 60 SE	EPS 100-SE	EPS 150-SE	EPS 200-SE	EPS 250-SE
	Notatie	Eenheid						
Warmte geleidingcoëfficiënt	λ	[W/mK]	0,038	0,032	0,036	0,034	0,033	0,033
Waterdamp diffusie-weerstandcoëfficiënt	μ	[-]	20	20	30	40	60	90
Water opname	v/v	%	5,0	5,0	4,0	3,5	3,0	2,0
Druksterkte korte duur (vervorming 10%)	CS (10)	[kPa]	60	60	100	150	200	250
Druksterkte lange duur (vervorming 2%)	CS (2)	[kPa]	18	18	30	45	60	75
Soortelijk gewicht	ν	[kg/m ³]	15	15	20	25	30	35
Afmetingen	Dikte	[mm]	100, 120, 140, 160, 180, 200					
Brandgedrag	-	categorie	Euroklasse E					
Kosten	€	/m ²	25,70					

Tabel 5.7 Overzicht eigenschappen EPS (Isobouw, 2019)

Voordelen

- **Hoge druksterkte**, EPS is te verkrijgen in verschillende druksterktes (zie tabel 1.7). 1kPa staat gelijk aan 1kN/m² en is 100 kg/m²
- **Licht gewicht**, een soortelijk gewicht met een volumieke massa van 15 t/m 35 kg/m³
- **Warmtegeleidingscoëfficiënt**, heeft een lage warmtegeleidingscoëfficiënt waardoor het goed presteert
- **Verouderd niet**, warmte geleidingcoëfficiënt blijft zijn waarde behouden.

Nadelen

- **Een wateropname van max 5%**, hierdoor neemt de warmtegeleidingscoëfficiënt toe met een maximale verhoging van 5%, waardoor het materiaal slechter presteert
- **Is niet tegen alle stoffen bestendig**, zie chemische resistentie (Zie bijlageboek, hoofdstuk 1, paragraaf 1.7, tabel 1.8)
- **Euroklasse E**, heeft een zeer hoge bijdrage aan brand

Geëxtrudeerd polystyreen (XPS)

Geëxtrudeerd polystyreen (afkorting XPS) is een kunststofschuim met een gesloten cellenstructuur, XPS bevat miljoenen gesloten cellen. XPS bestaat uit ongeveer 95% polystyreen en 5% drijfgas, doormiddel van persing verkrijgt het materiaal zijn gesloten celstructuur. Doormiddel van de gesloten celstructuur heeft XPS een hoge druksterkte, is vochtwerend en heeft een lage warmtegeleidingscoëfficiënt waardoor het beter isoleert. XPS-isolatie is meestal glad afgewerkt, echter kan er op het materiaal opgeruwd worden voor een betere hechting van bepleisteringen.

In tabel 5.9 worden de eigenschappen van de verschillende soorten XPS weergegeven. Het getal in de omschrijving van het soort geeft de druksterkte aan, XPS is te verkrijgen in verschillende druksterktes. Wat opvalt is dat alle soorten XPS dezelfde waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt hebben. Doordat de waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt hoog is, is dit materiaal vocht- en rotbestendig.

Omschrijving	Grootheid		Plus	Plus 300	KF	KF	KF	KF
	Notatie	Eenheid	300 S	G	300 S	300 G	500 S	700 S
Warmte geleidingcoëfficiënt	λ	[W/mK]	0,027	0,027	0,034	0,034	0,034	0,034
Waterdamp diffusie-weerstandcoëfficiënt	μ	[-]	140	140	140	140	160	160
Water opname	v/v	%	0,7	-	0,7	-	0,7	0,7
Druksterkte korte duur (vervorming 10%)	CS (10)	[kPa]	300	300	300	300	500	700
Druksterkte lange duur (vervorming 2%)	CS (2)	[kPa]	130	-	130	-	180	250
Soortelijk gewicht	ν	[kg/m ³]	30	30	30	30	35	38
Afmetingen	Dikte	[mm]	100, 120, 140, 160, 180					
Brandgedrag	-	categorie	Euroklasse E					
Kosten	€	/m ²	27,63					

Tabel 5.8 Overzicht eigenschappen (Jackson-insulation, 2019)

Voordelen

- **Hoge druksterkte**, XPS heeft een hoge druksterkte en is verschillende druksterktes te krijgen zie tabel 1.9
- **Wateropname van 0,7%**, door de gesloten cellenstructuur is XPS waterdicht
- **Warmtegeleidingscoëfficiënt**, heeft een lage warmtegeleidingscoëfficiënt waardoor het goed presteert
- **Hoge Waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt**, maakt XPS vocht- en rotbestendig en is zeer geschikt voor vochtige ruimtes
- **Verouderd niet**, warmte geleidingcoëfficiënt blijft zijn waarde behouden.

Nadelen

- **Is niet tegen alle stoffen bestendig**, zie chemische resistentie tabel 1.8
- **Euroklasse E**, heeft een zeer hoge bijdrage aan brand (smelt bij brand)

Multi Criteria Analyse

In deze paragraaf is er een aantal Multi Criteria Analyse weergegeven waarin de verschillende isolatiematerialen tegen elkaar worden afgewogen. Vervolgens is er een materiaal gekozen aan de hand van de gescoorde

Er zijn vijf verschillende scores te behalen, zeer slecht, slecht, matig, voldoende en goed. In de onderstaande tabellen is er per criteria een overzicht gemaakt van te behalen score. Aan de hand van gegeven score zijn de eigenschappen van de materialen beoordeeld in de Multi Criteria Analyse.

Weging	
0	= Zeer laag
0,5	= Laag
1	= Neutraal
1,5	= Zwaar
2	= Zeer zwaar

Tabel 5.9 Weging MCA

Score	
1	= Zeer slecht
2	= Slecht
3	= Matig
4	= Voldoende
5	= Goed

Tabel 5.10 Score MCA

Criteria isolatiematerialen

In de onderstaand tabel zijn de eigenschappen van de twee verschillende isolatiematerialen weergegeven. In dit MCA worden de materialen op de volgende criteria beoordeeld: lage λ -waarde, de waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt, de druksterkte, het gewicht en de kosten. Deze materialen worden tegen elkaar afgewogen en het materiaal met de hoogste score wordt verder uitgewerkt en beoordeeld.

Materiaal		EPS		XPS	
Omschrijving	Weging	Score	score x weing	Score	score x weing
Lage λ -waarde	2	4	8	5	10
Waterdamp diffusie-weerstandcoëfficiënt	0,5	4	2	5	2,5
Druksterkte	0,5	5	2,5	5	2,5
Gewicht	1,5	3	4,5	1	1,5
Kosten	2	5	10	5	10
Totaalscore			27		4,1
Gemiddelde			5,4		4,1

Tabel 5.112 Score MCA

Uit de bovenstaand tabel waarin de isolatiematerialen tegen elkaar worden afgewogen, komt de EPS-isolatie als beste materiaal eruit. Hiermee is het nu duidelijk geworden dat er met dit materiaal verder wordt ontworpen. Dit materiaal wordt in onderstaande tabellen onderling tegen elkaar afgewogen.

Materiaal	Weging	EPS 60-SE		EPSHR 60 SE		EPS 100-SE		EPS 150-SE		EPS 200-SE		EPS 250-SE	
		Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig	Score	score x weig
Lage λ -waarde	2	3	6	4	8	3	6	4	8	4	8	4	8
Waterdamp diffusie-weerstandcoëfficiënt	0,5	2	1	2	1	3	2	3	2	4	2	4	2
Druksterkte	0,5	2	1	2	1	3	2	4	2	5	3	5	3
Gewicht	1,5	5	8	5	8	5	8	4	6	3	5	2	3
Totaal score			16		18		17		18		17		16
Gemiddelde			3,9		4,4		4,1		4,4		4,3		3,9

Tabel 5.123 Score MCA

Uit tabel 5.13 blijkt dat EPS 150-SE het beste uit het uit het MCA komt. Er zal dus met deze gegevens verder gewerkt worden in de stap bouwen en testen.

5.2 Onderbouwing Multi Criteria Analyse

Onderstaand wordt de onderbouwing van de Multi criteria analyse weergegeven. Er is een criterium opgesteld voor de verschillende constructiematerialen en vervolgens worden het gekozen constructiemateriaal in twee varianten verdeeld die ook door de Multi criteria analyse wordt getoetst op constructieve verbinding

Lage λ -waarde

Het lego blok element dient aan de gestelde R_c waarde (zie hoofdstuk 2, tabel 2.1). het is daarom belangrijk dat de het materiaal een lage λ -waarde heeft zodat de dikte van de constructie min mogelijk kan zijn. Want hoe lager de λ -waarde hoe hoger de R_c waarde wordt. Hierdoor heeft de λ -waarde een weging van 2 zwaar gekregen.

Waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt

Het lego blok element dient aan waterbestendig te zijn er is daarom gekozen deze eigenschap van het materiaal mee te nemen in de weging. Echter is de waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt niet een grote factor in de materiaalkeuze. Hierdoor heeft de waterdamp diffusieweerstandcoëfficiënt een weging van 0,5 laag gekregen.

Druksterkte

De druksterkte is bij het ontwerpen van belang om zo een de elementen stootvast te maken. Ook geeft kan het materiaal eventueel meer bijdragen aan het dragen van de constructieve lasten. Echter is ervoor gekozen om dit materiaal niet zwaar mee te laten wegen. De criteria druksterkte heeft een weging van 0,5 laag gekregen.

Gewicht

Het gewicht van de lego elementen zijn bepalend voor de hanteerbaarheid tijdens het stapelen van de elementen. Hierbij is het gewicht (Zeer zwaar, 2) gewogen bij dit MCA. Het element dient door een persoon hanteerbaar te zijn, en zoals vermeld in het bouwbesluit mag het maximaal 23kg wegen (Ministerie Sociale Zaken en Werkgelegenheid, sd). Een lager gewicht van een lego element zal gunstiger zijn voor de totaal op te vangen belasting. Er is daarom gekozen om gewicht een weging van 2 zwaar te geven.

5.2.1 Conclusie

Er is uiteindelijk gekozen voor het toepassen van EPSHR 60 SE, dit omdat deze isolatie net zo hoog scoorde als de EPS 150 SE, maar een uiteindelijk omdat EPSHR 60 SE een lagere lambda waarde en soortelijk gewicht heeft. Waardoor deze dus minder zwaar en dik gedimensioneerd kan worden.

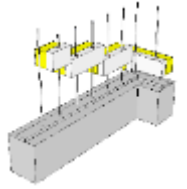
5.3 Conclusie materiaal analyse

In deze stap worden de resultaten weergegeven van de materiaal analyse die toegepast worden voor het Legoblok ontwerp van de eerste fase. Het Legoblok wordt onderverdeeld in drie verschillende aspecten: constructief, thermische warmte en de afwerking. Naar aanleiding van het MCA wordt er een keuze gemaakt voor het soort materiaal. In deze paargraaf wordt het resultaat van de analyse weergegeven.

Uit de gemaakte Multi Criteria Analyses worden de onderstaande materialen gekozen voor het samenstellen van een legoblok. Met deze materialen worden er een aantal legoblokken samengesteld in het praktijk lab van de Hogeschool Utrecht en vervolgens worden deze als een test wand op elkaar gestapeld.

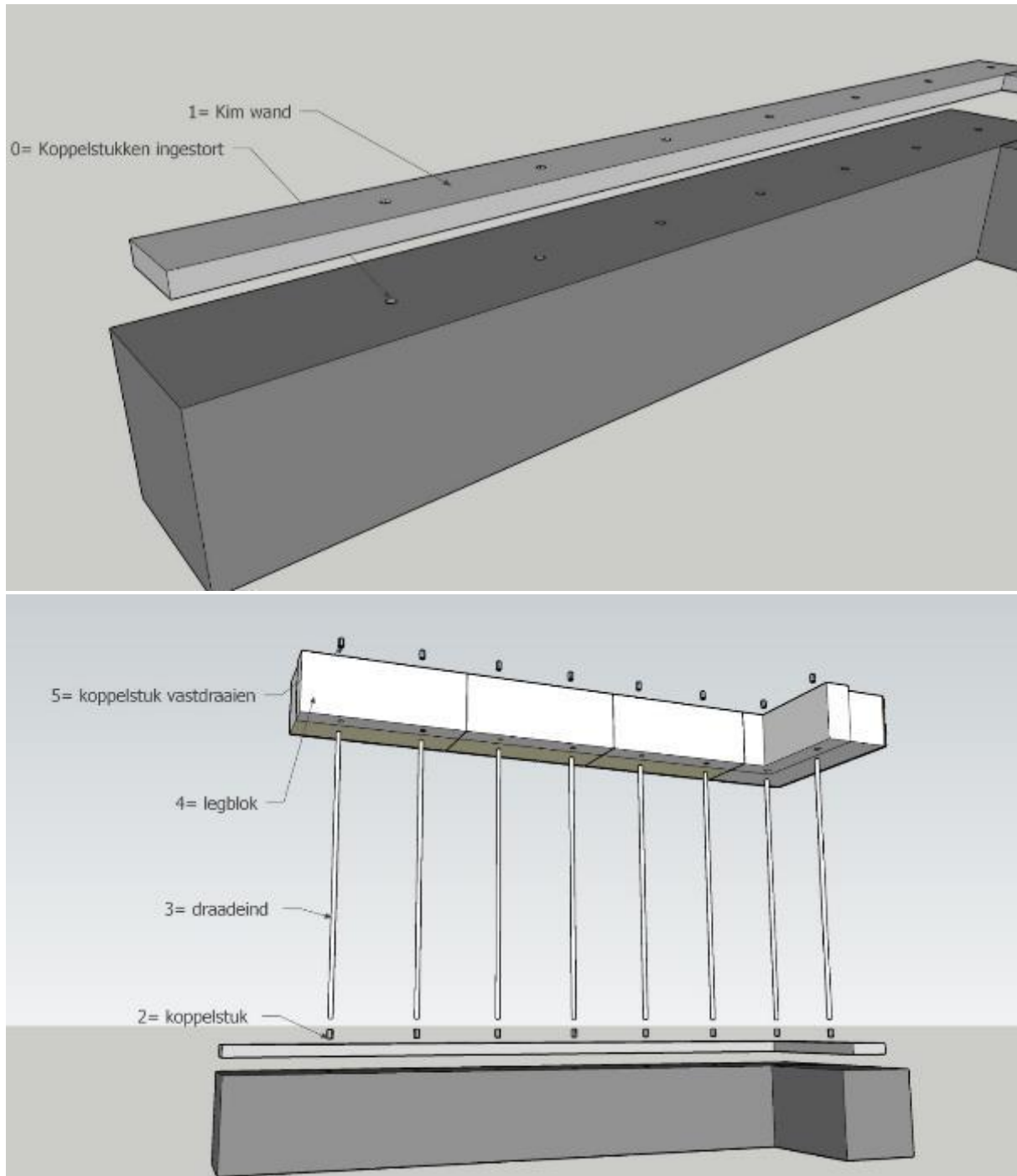
Voor de buitenafwerking is er door de opdrachtgever aangegeven om het uit te voeren in steenstrip. Hierbij hebben de studenten gekozen voor een kunststof steen strip afwerking. De keuze is gebaseerd op het gewicht van kunststof en omdat deze een dikte van ongeveer 5 mm hebben. *Zoals de heer Toon Lips medewerker van Sto Isoned aangaf, hebben de kunststof steen strips vormvrijheid en kunnen in verschillende kleuren en diktes worden geproduceerd.* Dit komt dan ook heel erg gunstig uit voor het legoblok, omdat het totaalgewicht van legoblok zo licht mogelijk moet zijn.

Constructief	: Cellenbeton
Thermische warmte	: EPS-isolatie
Afwerking	: Kunststof steen strips



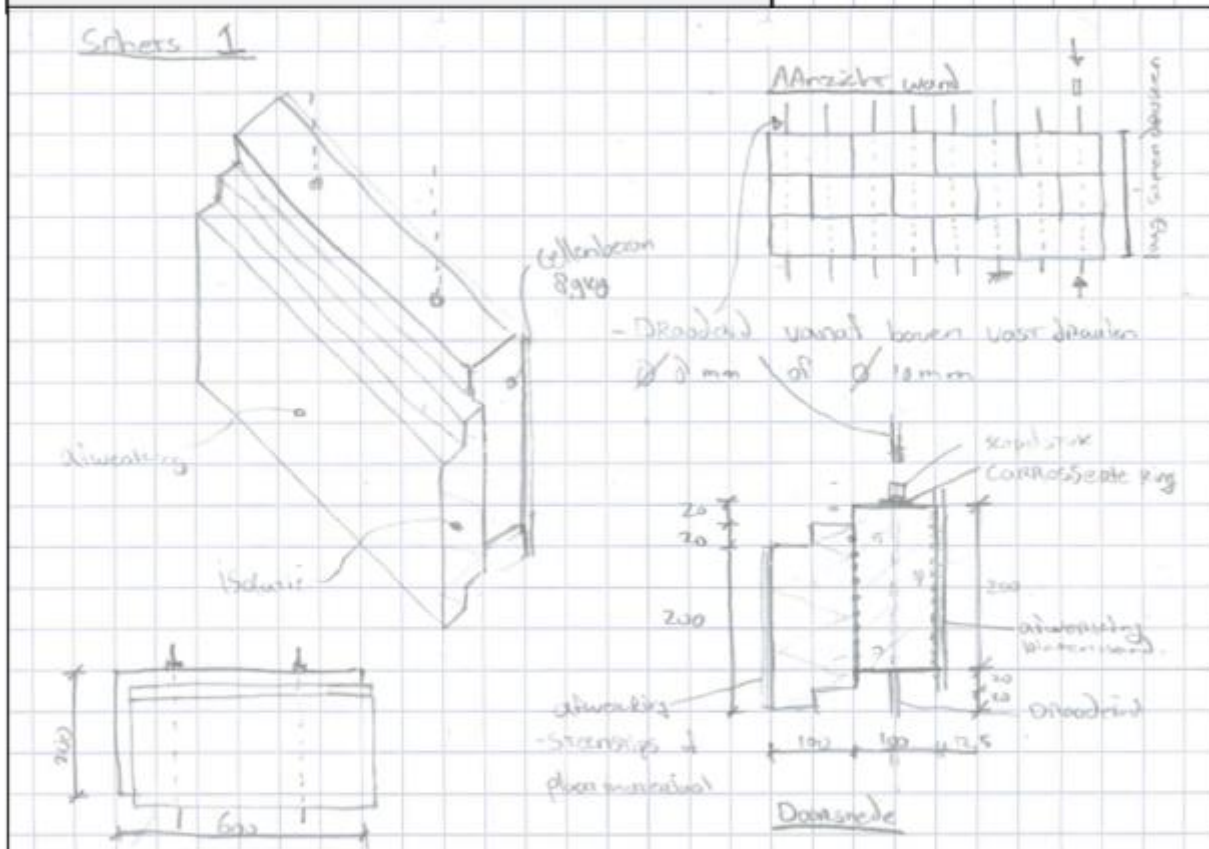
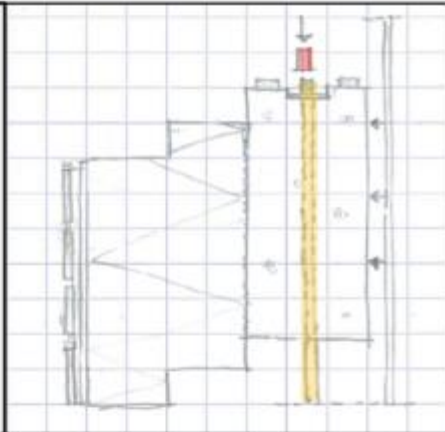
5.4 Alternatief 1

Hier worden de stappen van de opbouw van een lego wand beschreven en aan de hand van afbeelding weergegeven. De fundering wordt prefab aangeleverd waarin de koppelstukken zijn aangestort in de fundering. Vervolgens wordt er een laag kim wand aangebracht die zorgt voor de maattolerantie die in de funderingsbalk zit. Daarna worden de draadeinden in de koppelstukken op de funderingsbalk aangedraaid en vervolgens kunnen de legoblokken over de draadeinden inschoven worden. Deze stappen worden aan hand van de gemaakt afbeeldingen weergegeven.



Afbeelding 5.3 opbouw ontwerpfase 1, (J. Hassani, 2019)

Concept: Bij alternatief I worden de elementen (legoblokken) halfsteensverband gestapeld. De elementen worden vijf lagen hoog gestapeld over een draadeind (geel gekleurd). Doormiddel van het bevestigen van een zeshoekig koppelstuk (rood gekleurd) aan het uiteinde van het draadeind worden de vijf lagen samengedrukt als één geheel. Hierna wordt er een nieuw draadeind bevestigd, zodat de volgende laag gestapeld kan worden. De afdichting van de elementen wordt in de isolatie gemaakt doormiddel van een sponning. Om een extra kierdichting te creëren wordt de isolatie lager aan het dragende element bevestigd.



Voordelen:

- De elementen worden gecentreerd d.m.v. het draadeind er zijn geen extra sponningen nodig
- De vijf lagen worden samengevoegd tot één geheel. Hierbij wordt de wand per vijf laag aan de bovenkant vastgedraaid met een koppelstuk waardoor de blokken worden samengevoegd tot een geheel.

Nadelen:

- De elementen worden pas na vijf lagen vastgezet, hierdoor zijn de lagen die vastgezet zijn niet stabiel omdat deze elementen nog los zitten en kunnen worden verschoven.
- Verticale naden tussen de elementen zijn lastig luchtdicht te maken, er kan hier geen naadafdichting geplaatst worden, deze zal immers gaan scheuren door de wrijving van de elementen.
- De elementen moeten van bovenaf over het draadeind geplaatst worden. Na de eerste vijf lagen is het lastig om verder te stapelen. Wanneer het draadeind voor de tweede laag wordt vastgedraaid krijgt de wand een hoogte van twee meter waardoor het verder stapelen niet meer haalbaar is.

5.4.1 Alternatief 1A

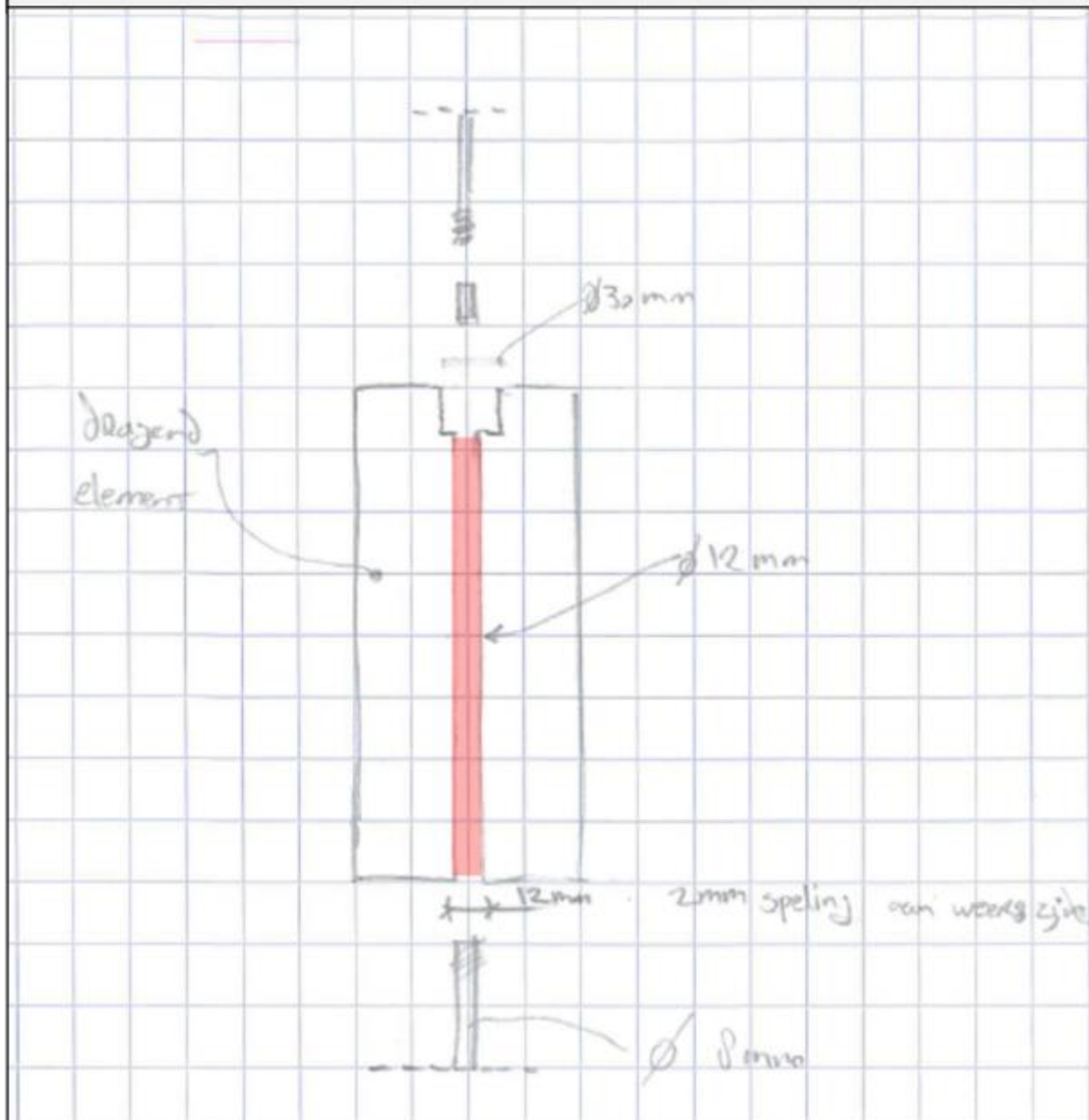
Concept: Bij alternatief 1A worden de gaten in het cellenbeton vergroot rond 8mm naar rond 12mm. Dit heeft het voordeel dat er speling wordt gecreëerd in het blok waardoor het makkelijker recht gezet kan worden.

Voordelen:

- De elementen kunnen makkelijker worden ingeschoven over het draadeind van rond 8mm.
- Door een speling van 4 mm te creëren kunnen de elementen na het stapelen rechtgezet worden.

Nadelen:

- Het draadeind mag niet meer afwijken dan 4mm, t.o.v. de gaten in het element.
- Naden tussen de elementen groter dan 4mm kunnen niet worden gecorrigeerd.



5.4.2 Alternatief 1B

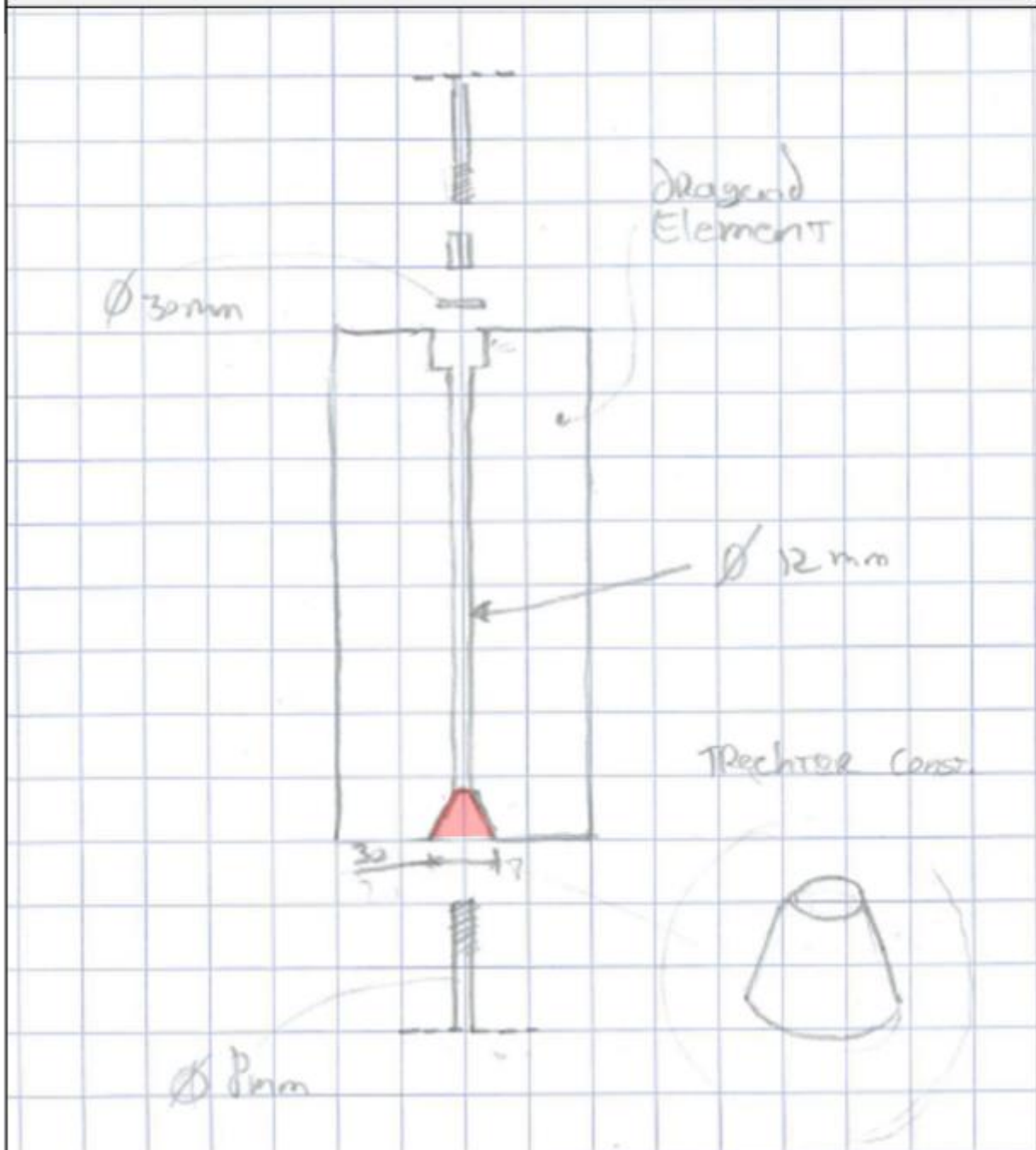
Concept: Bij alternatief 1B wordt aan de onderkant van het dragende element gebruik gemaakt van een gat van rond 12mm. Hierdoor heeft het draadeind 4mm speling.

Voordelen:

- Er is een maattolerantie aanwezig van 7,5mm aan de onderkant van het element d.m.v. het trechterstuk. Hierdoor kan het draadeind makkelijker gecentreerd worden in het element.

Nadelen:

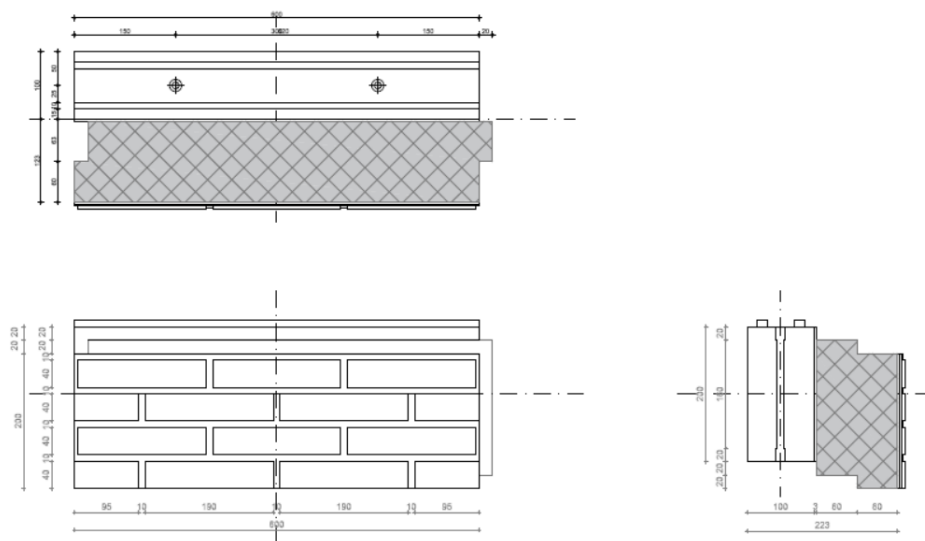
- Het enige nadeel hierbij is dat het een extra element is die moet toegevoegd worden aan het legoblok.



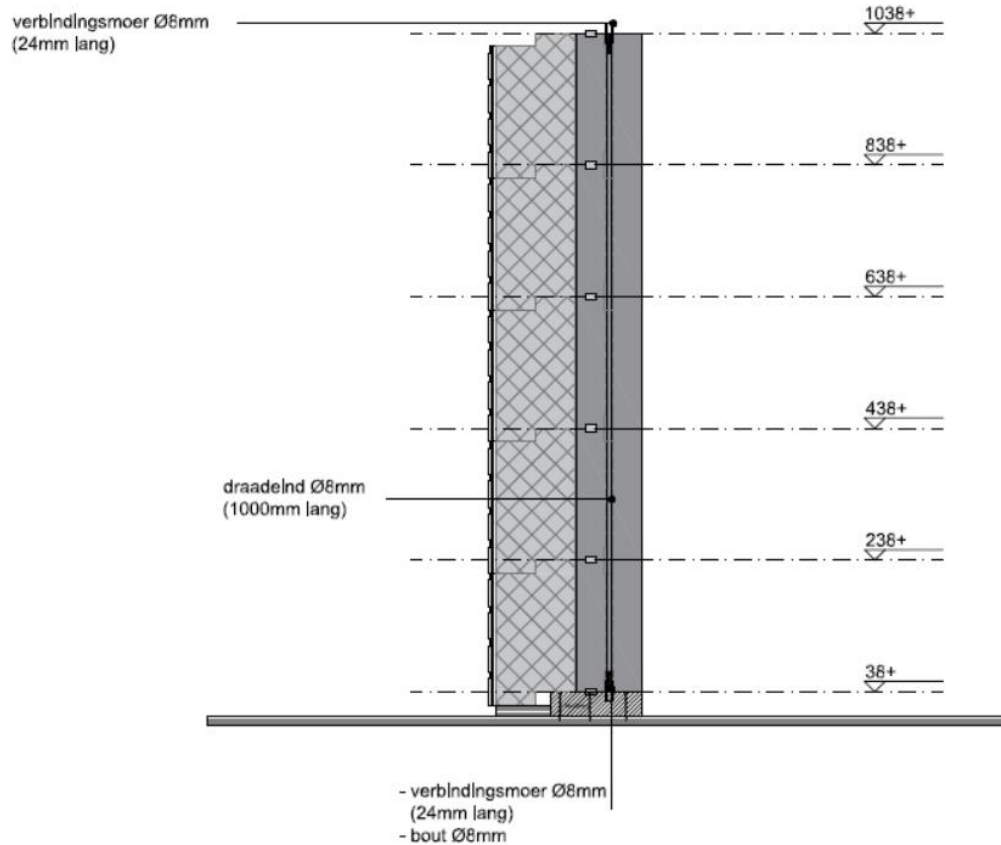
6 Bouwen en testen

6.1 Bouwen alternatief 1

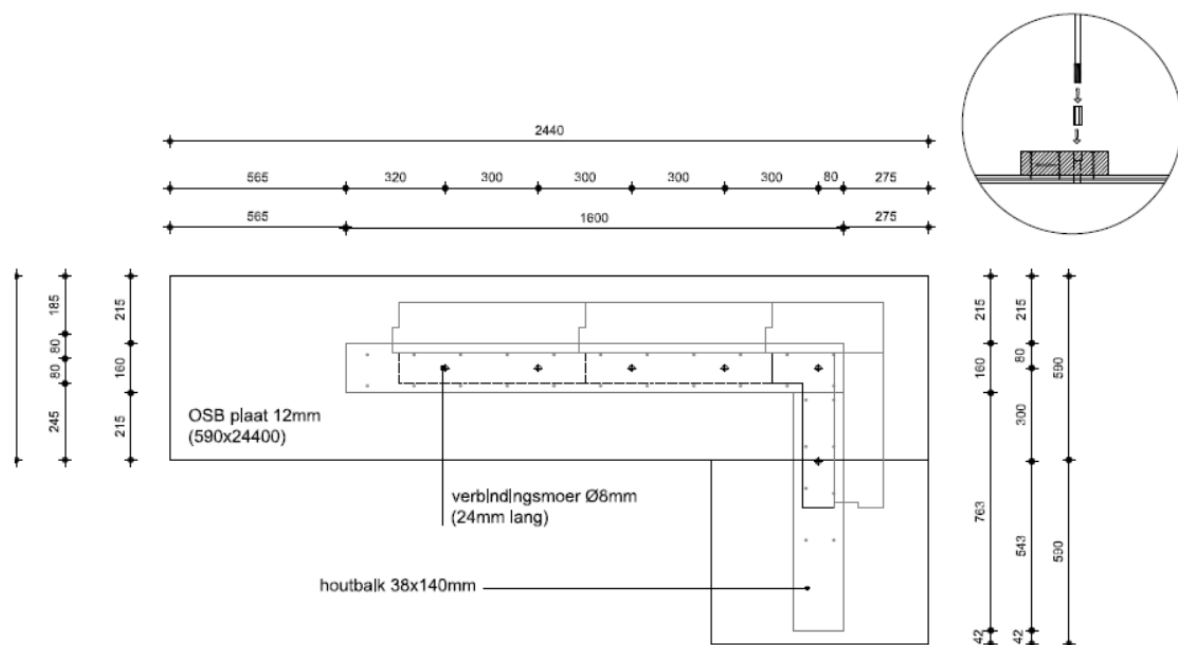
Onderstaand een tekening met de afmetingen van het legoblok die gebruikt is voor het bouwen van de testwand. De draadeinden worden vastgedraaid in de houten balk die fungeert als fundering. Vervolgens worden de legoblokken ingeschoven over het draadeind. De elementen worden vijf lagen hoog gestapeld en hierna worden de koppelstukken aan de bovenzijde van het draadeind vastgedraaid. Hiermee worden de blokken samengedrukt tot een geheel.



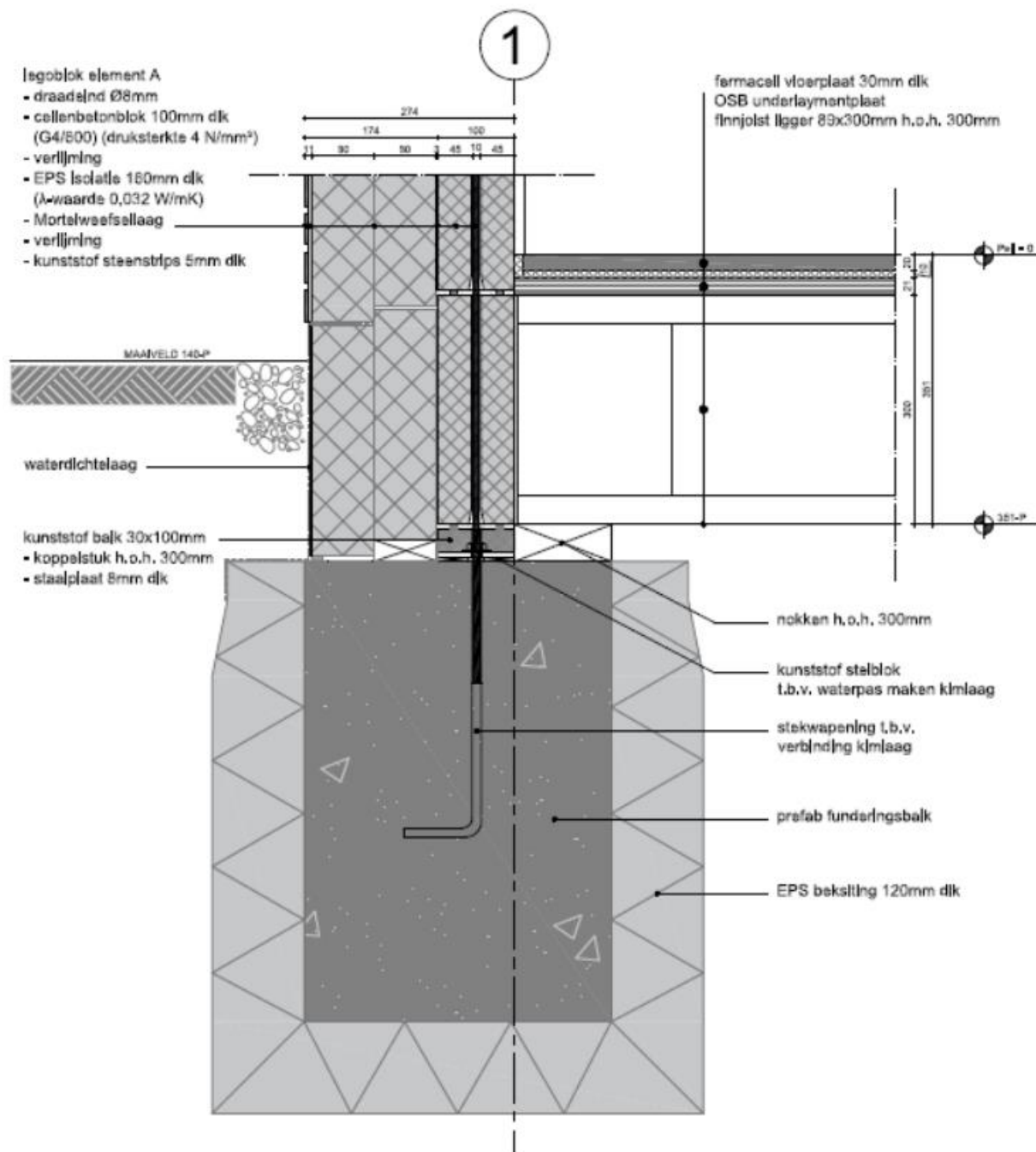
Afbeelding 6.1 aanzicht en doorsnede van het element met maatvoering, (J. Hassani, 2019)



Afbeelding 6.2 een zij aanzicht van de testwand met de afmetingen, (R. Landman, 2019)



Afbeelding 6.3 bovenaanzicht testwand met de afmetingen, (R. Landman, 2019)



Afbeelding 6.4 funderingsdetail, (J. Hassani, 2019)

6.2 Testen alternatief 1

6.2.1 Monteren en demonteren

In deze fase wordt het monteren en demonteren van de legoblokken getest. Dit wordt gedaan doormiddel van het bouwen van een testwand. Hierbij is de wand vijf keer gemonteerd en gedemonteerd. Hierbij worden de bevinding van de test in de volgende paragraaf beschreven.



Afbeelding 6.5 foto's testopstelling (J. Hassani, 2019)

6.2.2 Resultaten

In deze paragraaf worden de bevindingen en resultaten van de test beschreven. Deze bevindingen zijn van de eerste testfase van het legoblok wand. Aan de hand van deze resultaten worden de bevindingen teruggekoppeld aan het PvE. Hierbij is er kritisch gekeken naar het stapelen van blokken, verbindingen, monteren en het demonteren van de elementen. Aan de hand van deze resultaten worden de verbeterpunten meegenomen naar de volgende fase.



Tijdens de uitvoering van deze test zijn er een aantal belangrijke aandachtspunten opgenomen, die van groot belang zijn voor het vervolg van het onderzoek en testfase 2. Uit de maken van het element dienen de staven op de fundering op de millimeter nauwkeurig geplaatst te worden. Dit in verband met het stapelen van de elementen. Uit de test bleek dat de staven niet op exacte afstanden staan waardoor er grote naden tussen de twee elementen ontstond.



Door middel van een boorstelling worden de gaten recht geboord. Het laatste stuk is echter met de hand geboord doordat het standaard niet lang genoeg was. Hierdoor is er een afwijking van 1mm tot 5mm. Dit zorgde er ook voor dat de stenen tijdens de stapelen op elkaar niet soepel gestapeld konden worden. Dit zou geoptimaliseerd kunnen worden tijdens het industrialiseren van het cellenbeton.



Het opmaat snijden van isolatie platen dienen ook op de mm nauwkeurig te worden uitgevoerd. Omdat dit gelijmd wordt aan het cellen beton en deze als een element over het draadeind wordt geschoven. Wanneer de isolatie niet recht en op maat is gesneden kan het gevolgen hebben voor het recht stapelen van de elementen



Bij het stapelen van de blokken is gebleken dat het cellenbeton te poreus is en veel materiaal wegslijt tijdens het schuiven over het draadeind. Dit is een aandachtspunt voor de volgende test om hier rekening mee te houden. Doordat de stenen poreus zijn en wanneer je een aantal keer de steen in en uit schuift kunnen de gaten zich vergroten waardoor de stenen veel grotere spelling creëren.



Tijdens de stapelen van de cellenbeton blokken bleek dat de hoeken heel gevoelig en zwak zijn. De hoeken van cellenbeton blokken breken snel af, dit moet als aandachtspunt worden meegenomen voor de volgende testfase.



Het grote voordeel van cellenbeton blokken is dat het licht is van gewicht. Tijdens de test is dit gebleken dat het optillen van zo een element heel makkelijk uitvoerbaar is door een persoon. Deze blokken hebben een afmeting van 0,6 x 0,2 x 0,1 cm. Totaalgewicht van een lego element van cellenbeton weegt ongeveer 10 kg per stuk.

Conclusie

Uit het eerste experiment is gebleken dat de cellenbeton blokken erg poreuze materialen zijn. De blokken zijn over een draadeinden met een hoogte van 1 meter ingeschoven, waardoor er veel stof uit cellenbeton vrijkomt door de wrijving. Om de blokken over het draadeinde in te schuiven moet er met twee personen worden gewerkt. Hierbij plaatst een persoon de blokken en de tweede persoon moet de draadeinden in het gat van de blokken inrichten. Daarnaast zijn de hoeken van de stenen heel gevoelig en kunnen snel afbreken. De gaten op de funderingsbalk waarin de draadeinden worden vastgedraaid zijn niet waterpas waardoor de draadeinden scheef staan en dit zorgt voor een maattolerantie. Door de maattolerantie op de fundering ontstaan er verticale naden tussen de blokken tussen 5-10 mm. Voor de tweede test zal er extra aandacht moeten worden besteed aan de boven genoemde punten.

6.2.3 Constructie

Voor dit concept zijn de volgende constructieve berekeningen gemaakt:

- Gewichtsberekening (permanent en variabele belastingen)
- Geconcentreerde druk/ lijnbelasting op cellenbeton
- Knik berekening op de wand
- Windbelasting/ stabiliteit van de wand

De boven genoemde berekeningen zijn gemaakt om erachter te komen of de cellenbeton blokken deze belastingen aan kan om vervolgens met dit concept verder te kunnen ontwerpen. In het geval van niet voldoen aan deze belastingen moet er een ander constructiemateriaal worden toegepast. Deze berekeningen zijn uitgevoerd voor de ontwerpfase en het zijn globale berekeningen waarbij voor bepaalde belastingen aannamen zijn gedaan. In deze berekeningen zijn niet alle constructieve aspecten meegenomen zoals: fundering, vloeren, de staven (draadeinde), dak en lateien. Voor het verder ontwikkelen van dit concept, zal er constructief gezien exacte berekeningen moeten worden gemaakt op alle constructieve aspecten.

Om erachter te komen of de cellenbeton blokken voldoen aan de constructieve aspecten moet er berekeningen worden gemaakt. Als blijkt dat de gekozen cellenbeton blokken met de afmetingen van 0,6 x 0,2 x 0,1 m niet voldoende draagvermogen heeft zal er naar een andere afmeting moet worden gekeken of naar een andere alternatief materiaal. Om tot een resultaat te komen is de constructeur Jordan Dorlijn gevraagd om deze berekeningen te maken. Er zijn drie berekeningen uitgevoerd voor de constructie van het legohuis. De drie berekeningen zijn gedaan voor de geconcentreerde belasting op de steen, een knik berekening voor de wand en een stabiliteitsberekening voor de wand. De formules die zijn gebruikt zijn als volgt:

Geconcentreerde drukbelasting

Cellenbeton heeft een draagvermogen van, $f_{c;d} = 4 \text{ N/mm}^2$ uit de berekening komt er een waarde uit van $0,33 \text{ N/mm}^2$. Het cellenbeton voldoet aan de geconcentreerde belasting (zie *bijlageboek hoofdstuk 4, paragraaf 4.2*).

$$\sigma = F/A$$

F = geconcentreerde belasting
A = oppervlakte

N/mm^2
 mm^2

Knik berekening

Op de cellenbeton wand is berekend op knik kracht. Uit de berekening blijkt dat de knik kracht 0,39 N/ 300mm kleiner is dan wat de wand kan hebben 14961 N/ 300mm als knik kracht. Dus de wand voldoet aan de knik kracht (zie *Bijlageboek hoofdstuk 4, paragraaf 4.3*).

$$F_{knk} = \pi^2 * EI / L^2$$

E= elasticiteitsmodulus
I = traagheidsmoment
L= virtuele lengte

N/mm^2
 mm^4
mm

Windbelasting

De cellenbeton wand is berekend op de windbelasting. Uit de berekening blijkt dat de wand stabiel blijft bij een winddruk van $0,5 \text{ kN/m}^2$. De weerstandsmoment M_{Ed} is $\leq M_{Rd}$ buiging, volgens de berekening blijft de wand stabiel (zie Bijlageboek hoofdstuk 4, paragraaf 4.4).

$$M_{Rd} = W \cdot f_{c;d}$$

$$M_{Ed} = \frac{1}{2} \cdot q \cdot H^2$$

$$q = \frac{1}{2} \cdot q_{wind} \cdot D$$

M_{Rd} = buiging

kNm

M_{Ed} = weerstandsmoment

kNm

q_{wind} = 0,5

kN/m²

Naar aanleiding van de gemaakte berekeningen kan er geconcludeerd worden dat de constructie voldoet op de hier boven genoemde aspecten. Hiermee wordt het duidelijk dat er verder kan worden ontworpen met cellenbeton als hoofddraagconstructie.

Lijnbelasting op cellenbeton

Hierbij wordt er een berekening gemaakt door Jawid Hassani waarin de eerste laag cellenbeton op de fundering is meegenomen. Deze berekening is gemaakt voor totale druk die op de eerste laag cellenbeton uitoefent van twee bouwlagen. Om erachter te komen of een cellenbeton met een druksterkte van 4 N/mm^2 de druk aankan, is deze berekening opgesteld met de volgende formule:

$$\sigma = qd/d$$

qd = totaalgewicht

N/mm²

d = dikte cellenbeton

mm

Volgens de berekening kan de cellenbeton blokken het totaal drukbelasting wel aan.

Voor de volledige berekeningen wordt er verwezen naar de bijlageboek hoofdstuk 4, paragraaf 4.5.

1.1.1 Thermische isolatie

Het ontwerp dient te voldoen aan de gestelde eisen voor de thermische isolatie in tabel 3.1. In fase 1 is het ontwerp getest op: de warmteweerstand van het element, de maximale dampspanning en de optredende dampspanning. De gebruikte methode in dit onderzoek is “de methode van Glaser.”

De methode van Glaser heeft als groot voordeel dat een wand snel beoordeeld en geëvalueerd kan worden. Echter zijn er ook een aantal nadelen bij het gebruiken van deze methode namelijk:

- Het model gaat uit van een constanten waarde, terwijl dit niet in de praktijk niet het geval is
- De methode is alleen geschikt voor wanden met een goede luchtdichtheid
- Is niet geschikt voor het berekenen van vocht capaciteiten van materialen

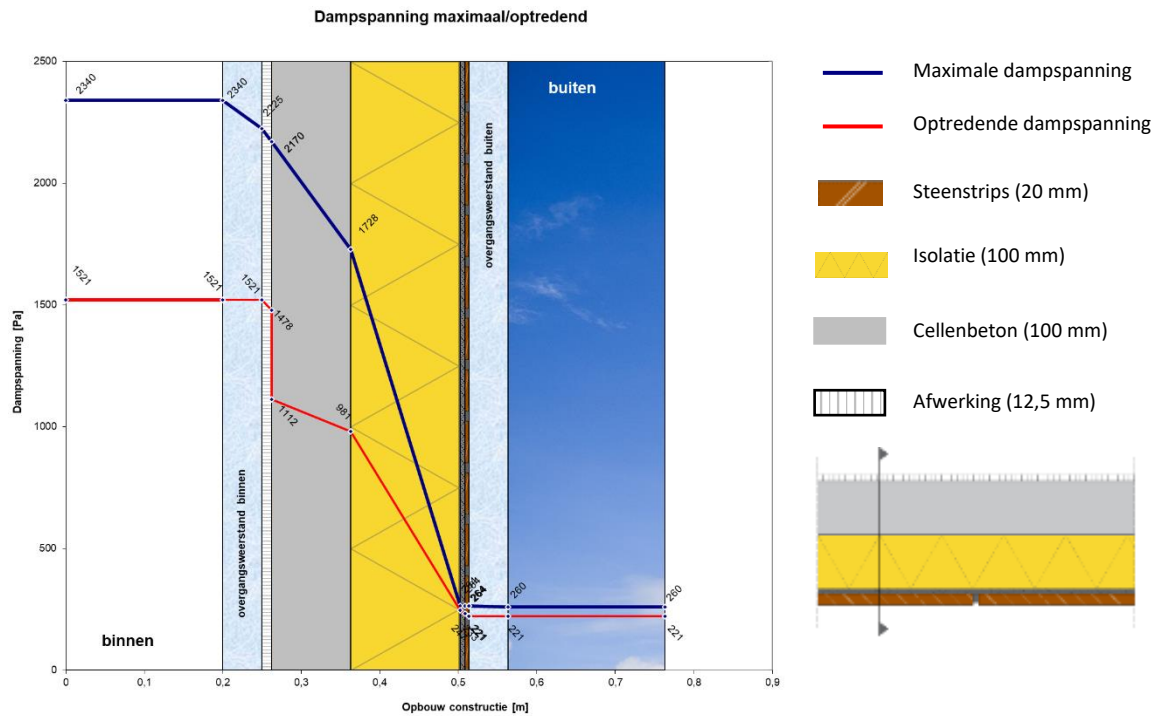
Voor fase 1 zijn de volgende berekeningen gemaakt:

- Warmteweerstand
- Dampspanning maximaal/ optredend

De boven genoemde berekeningen zijn gemaakt om de gestelde R_c waarde te berekenen, en een controle te doen op de optredende dampspanning. Voor het bereken van warmteweerstand is te zien dat de gestelde R_c waarde van $4,50 \text{ m}^2\text{K/w}$ ruimschoots gehaald is en dus voldoet aan de gestelde eis in het PvE.

Temperatuur binnen=	20,00
Temperatuur buiten=	-10,00
T_{verschil} =	30,00
Relatieve vochtigheid binnen=	65
Relatieve vochtigheid buiten=	85
Overgangsweerstand binnen=	0,13
Overgangsweerstand buiten=	0,04

Nr.	Materiaal	D [m]	λ [W/mK]	μ [-]	R_m [m ² K/w]	T_m [°C]	P_{max} [Pa]	P_m [Pa]
	Temperatuur binnen					20,00	2340	1521
	Overgangsweerstand binnen				0,130	19,26	2225	1521
1	Afwerking	0,013	0,160	13,000	0,078	18,81	2170	1478
2	Dampremmende folie	0,000	0,000	140000	0,000	18,81	2170	1112
3	Cellenbeton	0,100	0,160	5,000	0,625	15,25	1728	981
4	EPS Isolatie	0,140	0,032	20,000	4,375	-9,70	264	247
5	Mortellijm	0,006	0,900	9,000	0,007	-9,74	264	233
6	Steenstrips	0,005	0,900	9,000	0,006	-9,77	264	221
	Overgangsweerstand buiten				0,040	-10,00	260	221
	Temperatuur buiten					-10,00		
R_{tot}		5,260						
R_c		5,090	voldoet wel aan eis					
						4,500	m ² K/w van bouwbesluit	



Figuur 6.1 dampspanning maximaal/ optredend

Dampspanning

Wat opvalt is dat de maximale dampspanning en de optredende dampspanning lijnen elkaar net niet raken (zie figuur 4.1). Dit is te zien in de tabel en grafiek, in de tabel is het af te lezen aan de P_m waarde die optreedt, deze is niet groter dan de P_{max} . Het gevolg hiervan is dat er geen inwendige condensatie plaats zal vinden in de constructie.

7 Analyse

7.1 Conclusie resultaten

Uit de eerste fase kan er geconcludeerd worden dat het ontwerp van legoblok wel voldoet aan de volgende aspecten:

- **Gewicht**
Het gewicht van legoblokken zijn onder de gestelde eis namelijk: 11 kg per blok. Het legoblok uit deze testfase heeft een gewicht van 9,73 kg.
- **Demontabel**
Naar aanleiding van de uitgevoerde praktijk testen is gebleken dat dit ontwerp makkelijk te monteren en te demonteren is. Echter moet het monteren van de elementen door twee personen worden uitgevoerd.
- **Thermische isolatie**
Uit de Rc berekening is gebleken dat het ontwerp voldoet aan de thermische eisen.
- **Constructief**
Uit de gemaakt constructie berekeningen is er gebleken dat de cellenbeton blokken voldoen aan de drukbelasting, winbelasting, knik op de wand en een lijnbelasting.

7.2 Aanbevelingen

Voor de volgende fase zullen er verbeterlagen moeten worden gemaakt. Hierbij kan er kritisch worden gekeken naar de volgende punten:

- **Luchtdichtheid**
Tijdens de uitvoering van de testwand is gebleken dat er veel naden en kieren aanwezig waren tussen de elementen. Dit komt vooral omdat de materialen handmatig zijn bewerkt en dit kan voor grote maattolerantie zorgen. De aanbeveling luidt hier om de materialen zoveel mogelijk te industrialiseren om de maattolerantie te minimaliseren.
- **Het monteren van de elementen**
Uit de testfase is gebleken dat het monteren van de elementen door twee personen moeten worden uitgevoerd. Dit kan worden geoptimaliseerd waarbij het door een persoon gemonteerd kan worden.
- **Kwaliteit cellenbetonblokken**
Uit de berekeningen bleek dat het voldoet aan de brekende belastingen. Echter blijkt het materiaal erg gevoelig te zijn bij de randen en hoeken. Daarnaast is cellenbeton heel erg poreus waardoor er veel stof vrijkomt. Dit wordt als aandachtspunt gesteld voor de volgende fase.

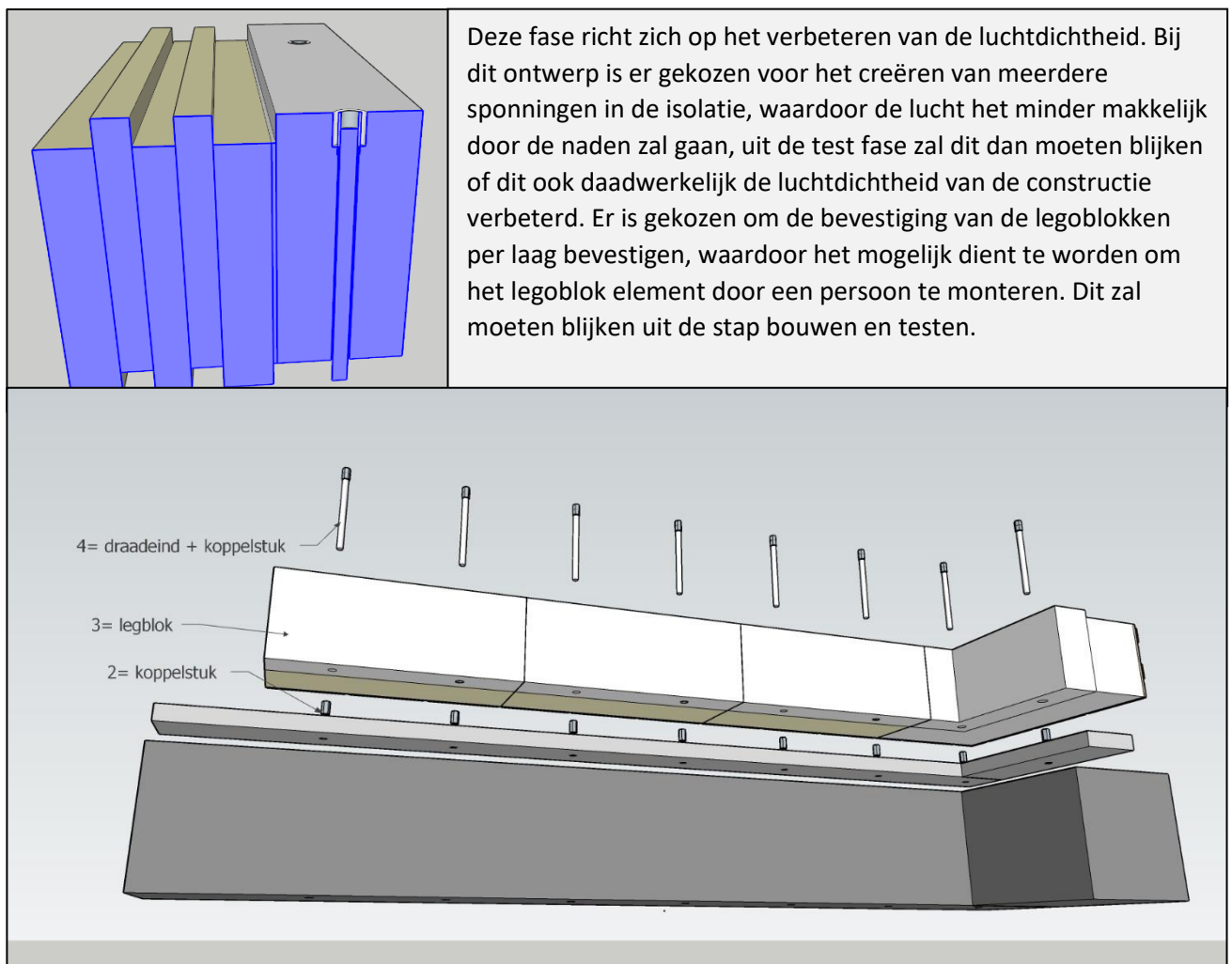
8 Fase 2

In de onderstaande hoofdstukken zijn de stappen doorlopen doormiddel van de gekozen methode zoals beschreven in paragraaf 3.2, het iteratie proces wordt in dit onderzoek beschouwd als een fase. In fase 2 is er onderzoek gedaan naar:

- Luchtdichtheid
- Het monteren van de elementen
- Kwaliteit cellenbetonblokken

9 Ontwerpen

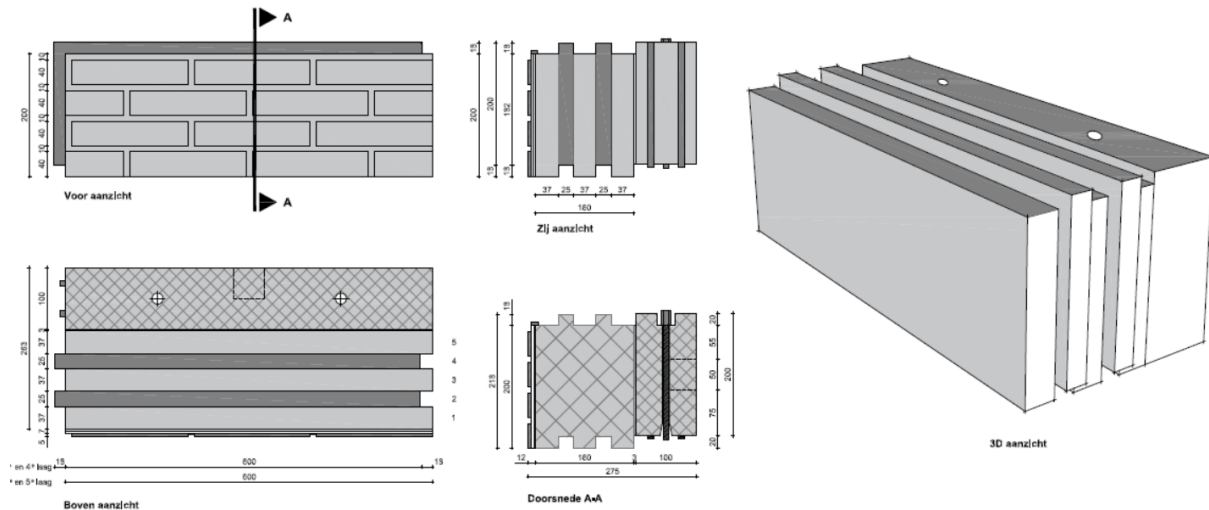
Het ontwerp uit de fase 1 is in de fase twee verder ontwikkeld naar de aangegeven aanbevelingen in hoofdstuk 7, paragraaf 7.2. Hierbij is het huidige ontwerp aangepast naar een nieuwe versie hiervan. (Zie bijlageboek hoofdstuk 7, paragraaf 7.2 voor meer tekeningen en details)



10 Bouwen en testen

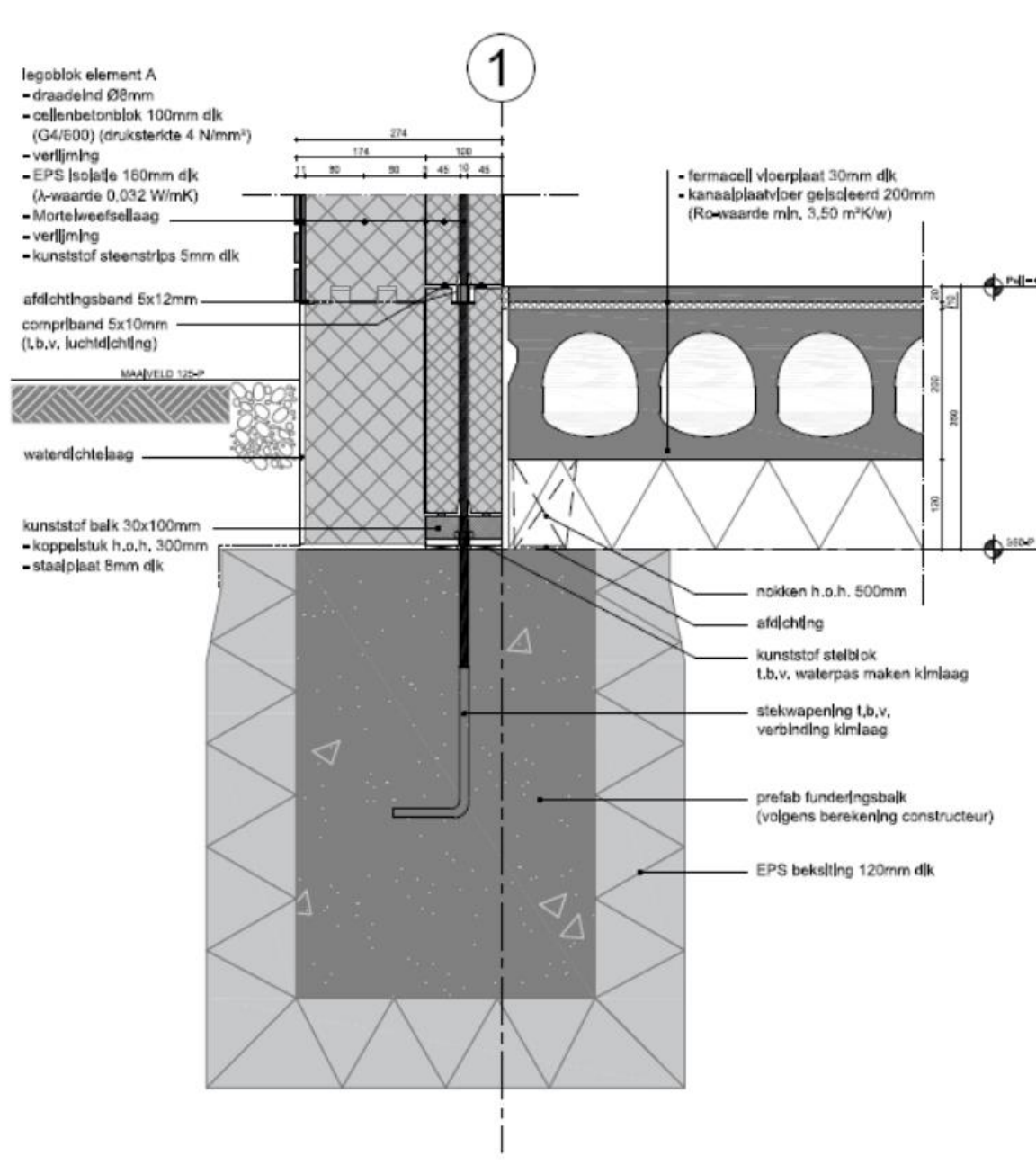
10.1 Bouwen fase 2

Onderstaand een tekening met de afmetingen van het legoblok die gebruikt is voor het bouwen van de testwand. Voor de eerste laag worden eerst het draadeinde vastgedraaid aan de houten balk die fungeert als de funderingsbalk. Vervolgens worden de blokken gestapeld en per laag vanaf de bovenzijde doormiddel van draad aan de onderzijde vastgedraaid. Hiermee worden de blokken samengedrukt tot een geheel.



Figuur 10.1 overzicht legoblok element (R. Landman, 2019)

10.6



Figuur 10.2 aansluiting fundering met legoblok element (R. Landman, 2019)

Coaten van cellenbetonblokken

Martijn Meeuwse de managing directeur van RibbStyle is op verzoek van bedrijfsleider B&O Floris Wijnberg op kantoor geweest om meer informatie te delen over coating producten van RibbStyle. De afstudeerders Jawid Hassani en Rowen Landman hebben deze bespreking bijgewoond. Na de bespreking is er door de studenten het initiatief genomen om voor een aantal coating monsters te vragen. Op verzoek van studenten is er twee coating monsters met specificatie opgestuurd naar Plegt-Vos. Met deze coating worden de cellenbeton blokken gecoat om te zien wat het effect van de coaten zijn. Er zijn twee type coating monsters opgestuurd namelijk control coat en prototype xella coating.

De xella coating, is een prototype coating wat door RibbStyle wordt geproduceerd en hiervoor hebben zij nog geen specificaties beschikbaar.

De control coating bestaat uit volgende eigenschappen:

- Elasticiteit ruim 400%
- Extreem gasdicht
- Hoog vastestofgehalte
- Bevat geen teer of asfaltachtige stoffen
- Behoudt zijn originele laagdikte
- Goede bestendigheid tegen sommige mineraalzuren, oliën en alkaliën
- Onverzeepbaar
- Duurzaam en stijlvast

(RibbStyle, 2019)

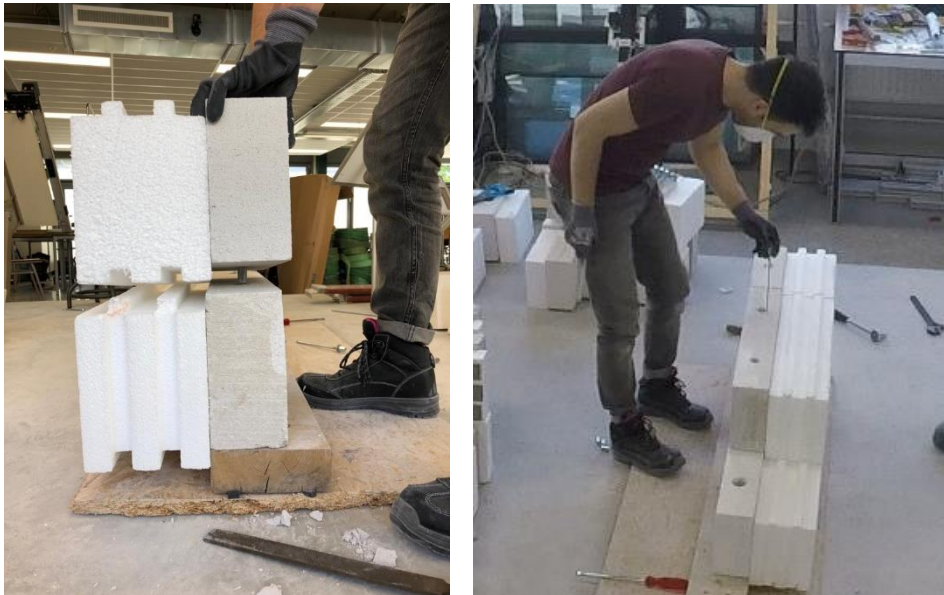


Voor de tweede testfase is er gebruik gemaakt van deze twee typen coating. Doormiddel van deze coating willen wij testen of het inderdaad de stenen stofvrij maakt en of het de sterkte van cellenbeton blokken verhoogt.

10.7 Testen fase 2

10.7.1 Testen monteren en demonteren

In deze fase is het monteren en demonteren van de legoblokken met een kort draadeind getest. Het testen is verricht middels het fysiek bouwen van de wand. In de volgende paragraaf zijn de bevindingen van de test beschreven. Ook is de luchtdichtheid getest doormiddel van een rooktest.

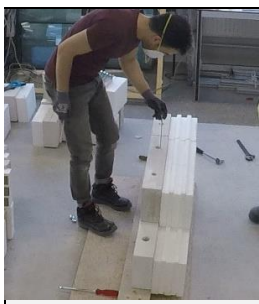


Afbeelding 10.1 foto's test opstelling (R. Landman 2019)

10.7.2 Resultaten



Het draadeind vanaf de bovenzijde aandraaien werkte niet zoals wij het hadden verwacht. De koppelstukken die vastgelijmd waren aan het draadeind, draaide zich los bij een bepaald kracht. Dit was bij alle koppelstukken het geval.



De draadeinden vanaf de bovenzijde vastdraaien werkte niet zoals het ontworpen was. Het centreren van het draadeinde boven de koppelstukken bleek niet vloeiend te gaan. Dit kwam doordat er maattolerantie aanwezig was van twee millimeter rondom de gaten in het cellenbeton.



Bij het demonteren van de elementen viel ons op dat het koppelstuk van de onderste laag naar boven draaide waardoor het niet mogelijk was om de elementen uit elkaar te halen.



Zoals op deze foto is te zien staat deze wand vanaf de derde laag scheef. De oorzaak hiervoor is, dat de sponningen van de isolatie overmaat had. De isolatie drukte niet genoeg samen omdat het een druksterkte van 150 kPa waardoor de wand scheef ging staan.



De naden tussen de elementen zowel verticaal als horizontaal waren minder zichtbaar in vergelijking met de eerste testfase. Dit komt omdat met dit bouwmethode de blokken van boven en zijanten ingeschoven kunnen worden, waardoor de blokken beter tegen elkaar aanschuiven.

10.7.3 Resultaten luchttest

Luchttest	Beschrijving
	Voor de tweede testfase hebben de studenten Jawid Hassani en Rowen Landman een luchttest uitgevoerd in de klimaatkamer van praktijk lab op de Hogeschool Utrecht. In eerste instantie zouden de verbindingen met korte draadeinde worden uitgevoerd, omdat deze methode niet goed werkte is ervoor gekozen om deze test met lange draadeind uit te voeren.
	De testwand is opgebouwd in het klimaatkamer en vervolgens de rest van de openingen afgewerkt met plastikzaken zoals op de foto is zien. De naden zijn afgewerkt met tape en Compriband. Uit deze test bleek dat er door de verticale naden van de wand veel lucht uit kwam. Omdat het lucht niet op de foto vastgelegd kon worden, is er door rook te creëren de luchtlekkage vastgelegd.
	De horizontale naden waren goed luchtdicht, hier werd er dan ook geen lucht lekken waargenomen.
	

11 Conclusie

Conclusie

Naar eenduidige en demontabele aansluitingen is er een onderzoek verricht door de studenten van de Hogeschool Utrecht. Dit onderzoek heeft een basis gegeven voor de uiteindelijke ontwikkeling wat antwoord geeft op de volgende hoofdvraag:



“Hoe kan er een legoblok worden ontworpen dat bouwen vereenvoudigt en demontabel bouwen mogelijk maakt?”

De reden waarom deze vraag onderzocht is, omdat er vanuit Plegt-Vos West B.V. de vraag is om het vorige onderzoek verder te ontwikkelen. Het antwoord op de vraag luidt: LEGOliseren van de bouw. Dit concept is het eindresultaat van dit afstudeeronderzoek en geeft antwoord op gestelde hoofdvraag. Er kan een aantal conclusies worden getrokken aan de hand van het doorlopen door het verder ontwikkelen van het concept legoblokken.

Uit dit afstudeeronderzoek waarbij in het praktijk testen zijn uitgevoerd, blijkt de gebouwde legoblok wanden niet volledig voldoen aan de gestelde eisen. Uit beide praktijktesten blijkt dat de gestelde luchtdichtingseisen lastig haalbaar zijn. Daarnaast sluiten de blokken niet prefect op elkaar waardoor dit de kans op luchtlekken vergroot. Dit is dan ook gebleken uit de tweede test fase, hierbij bleek de test wand niet voldeed aan gestelde eis van luchtdichtheid. Dit zal verder door ontwikkeld moet worden naar aanleiding verder onderzoek en testen.

Om terug komen op de hoofdvraag van het onderzoek is, kan er geconcludeerd worden dat hoewel het concept demontabel en licht van gewicht is nog niet het gewenste resultaat geeft wat de opdrachtgever verlangt.

Uit het afstudeeronderzoek is gebleken dat het mogelijk is om een demontabel element (legoblok) te ontwerpen. Echter is niet uit dit onderzoek gebleken in hoeverre het legoblok element ook daadwerkelijk de bouw vereenvoudigt. Het bouwen van een gevel met legoblok elementen biedt de volgende voordelen:

- **Makkelijk te demonteren door 1 persoon**
De wanden zijn makkelijk te demonteren door 1persoon, dit komt door het lichte gewicht en simpele aansluitingen van het element. Dit geldt vooral bij de eerste testwand met een lang draadeind waarbij het zeer makkelijk te demonteren was.
- **Licht van gewicht**
Het legoblok is makkelijk hanteerbaar door 1 persoon en weegt onder de 11 kg
- **Compleet element**
Het legoblok is een compleet element dat 1 keer geplaatst en gemonteerd wordt

Aanbevelingen

De uit dit onderzoek voortgekomen ontwerpen zijn verwerkt in de praktijk. De ontwerpen zijn gevalideerd door het in de praktijk op te bouwen en te testen. In het praktijk lab van de Hogeschool Utrecht zijn er twee test wanden opgebouwd uit legoblokken. Deze twee wanden zijn in twee fases uitgevoerd, waarbij in fase 1 de eerst ontwerp is toegepast en bij fase twee het ontwerp verder ontwikkeld en daaruit een tweede test wand opgebouwd. Echter is deze validatie te beperkt geweest om met alle zekerheid te zeggen dat dit legoblok concept de oplossing biedt voor de onderzoeksvraag. Om deze reden wordt Plegt-Vos West B.V. aanbevolen om dit concept te blijven door ontwikkelen. Het nadeel bij het door ontwikkelen van dit concept is dat het veel tijd kost en er zullen test wanden en of kleinschalige woningen moeten worden gebouwd met legoblokken voor het door ontwikkelen.

Uit de verrichte testen blijkt dat het ontwerp nog verder doorontwikkeld dient te worden op de volgende aspecten:

- **Luchtdichting**
In de laatste test fase is de luchtdichting van de gevel getest, hieruit is gebleken dat de verticale naden een luchtlek vormen. Dit kan verholpen worden middels het toepassen van extra naaddichting ter plaatse van de verticale naden, echter zal dit verder getest moeten worden. Behalen QV10-waarde van $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 Of het mogelijk is om de gestelde QV10-waarde van $0,4 \text{ dm}^3/\text{s}$ per m^2 te behalen zal moeten blijken uit een verdere berekening en testen. Hierbij luidt het advies dat er dan ook dat de luchtdoorlatendheid van de gevel verder getest dient te worden, dit middels een blowdoor test.
- **Brandwerendheid van de gevel**
Het testen van de brandwerendheid van het ontwerp heeft in dit onderzoek niet kunnen plaats vinden. Er wordt dan ook aanbevolen om de bezwijkingstijdsduur van de gevel verder te onderzoeken.
- **Industrialiseren van de elementen**
Doormiddel van het industrialiseren van de elementen kan er nog nauwkeuriger gebouwd worden waardoor ook minder naden ontstaan.
- **Constructief**
Op het gebied van de constructieve aspecten zullen er meer berekeningen gemaakt moeten worden door een constructeur. Dit is mogelijk op het moment dat dit concept verder is ontwikkeld in het gebied van meerder aspecten zoals: vloeren, daken, installatie, openingen in de gevel, vloeren en voor de fundering.

Literatuurlijst

- Aantjes, B., Geitel, L., Martosoedarmo, L., Verweij, F., & Asoud, M. (2018). *Het Legohuis*. Utrecht: Hogeschool Utrecht.
- Block, B. (sd). Prefab beton . *Prefab beton B-Block*. B safe Solution. Opgeroepen op april 17, 2019, van <https://www.b-block.eu/prefab-beton/>
- Blok, R. (2006). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff. Opgeroepen op April 2019
- Blok, R. (2006). *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff. Opgeroepen op april 15, 2019
- Cobouw . (2019, April 12). *Cobouw Bouwkosten*. Opgeroepen op April 12, 2019, van www.bouwkosten.nl: http://www.bouwkosten.nl.hu.idm.oclc.org/Kleinschalig_nieuwbouw/Bouwdeelkosten_bouwkundig/_Metselen_binnenwand,_betonblokken,_halfsteensverband/kostengegevens-kostenkengetallen/1557911-Element_SfB_1.htm
- Cobouw. (2013, Maart 29). Hogere Rc-waarde gevel niet efficiënt. *Cobouw*, 1. Opgeroepen op Mei 15, 2019, van <https://www.cobouw.nl/bouwbreed/nieuws/2013/03/hogere-rc-waarde-gevel-niet-efficient-10124707>
- Cobouw. (2019, april 15). *Cobouw Bouwkosten*. Opgeroepen op april 15, 2019, van www.bouwkosten.nl.hu.idm.oclc.org: http://www.bouwkosten.nl.hu.idm.oclc.org/Kleinschalig_nieuwbouw/Bouwdeelkosten_bouwkundig/_Metselen_binnenwand,_kalkzandsteen,_metselblokken/kostengegevens-kostenkengetallen/1557909-Element_SfB_1.htm
- Isobouw. (2019). *AIRPOP® ISOLATIEPLATEN*. Opgeroepen op Maart 4, 2019, van [www.isobouw.nl: https://www.isobouw.nl/media/10800/170482_isobouw_brochure_airpop-lr.pdf](https://www.isobouw.nl/media/10800/170482_isobouw_brochure_airpop-lr.pdf)
- Jackson-insulation. (2019). *Producten*. Opgeroepen op Maart 6, 2019, van [www.jackson-insulation.nl: https://www.jackson-insulation.nl/downloads-service/download/jackodur-technische-gegevens/](https://www.jackson-insulation.nl/downloads-service/download/jackodur-technische-gegevens/)
- Kerkhoven, R. (2018, december 19). *Betonhuis Betonmortel*. Opgeroepen op april 12, 2019, van <http://betonhuis-betonmortel.nl: http://betonhuis-betonmortel.nl/beton-kenniscentrum/beton/beton-bestellen/sterkteklasse>
- Kort, E. (2008-2009, - -). *Lambda waarde materialen*. Opgeroepen op April 12, 2019, van www.ekbouwadvies.nl: http://www.ekbouwadvies.nl/tabellen/lambdamaterialen.asp
- Minister voor Wonen en Rijksdienst. (2018, november 03). *Artikel 2.84 Weerstand tegen branddoorslag en brandoverslag*. Opgeroepen op maart 18, 2019, van Bouwbesluit online: https://www.bouwbesluitonline.nl/Inhoud/docs/wet/bb2012_nvt/artikelsgewijs/hfd2/afd2-10/par2-10-1/art2-84
- Ministerie Sociale Zaken en Werkgelegenheid. (sd). *Hoeveel mag een werknemer tillen?* Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Arboportaal: <https://www.arboportaal.nl/onderwerpen/tillen-en-dragen/vraag-en-antwoord/hoeveel-mag-een-werknemer-tillen>

- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012, Oktober 17). *Aansturingstabel 5.1*. Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Bouwbesluit online: [https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-1?tableid=docs/wet/bb2012\[18\]/hfd5/afd5-1](https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1/art5-1?tableid=docs/wet/bb2012[18]/hfd5/afd5-1)
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2012, Oktober 17). *Afdeling 5.1 Energiezuinigheid, nieuwbouw*. Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Bouwbesluit Online: <https://rijksoverheid.bouwbesluit.com/Inhoud/docs/wet/bb2012/hfd5/afd5-1#art5.3>
- Ravenshorst, G., Delft University, & Koninklijke VVNH. (2017, maart). *Houteigenschappen*. Opgeroepen op april 15, 2019, van www.houtinfo.nl: http://www.houtinfo.nl/sites/default/files/Infoblad_Houteigenschappen-Sterktegegevens.pdf
- Ridder, H. d. (2011). *LEGOLisering van de bouw*. Amersfoort: Mauritsgroen mgmc.
- Rijkswaterstaat Ministerie van infrastructuur en Waterstaat. (2012, Oktober 17). *Bescherming tegen geluid van buiten*. Opgeroepen op Februari 22, 2019, van Kenniscentrum infomil: <https://www.infomil.nl/onderwerpen/geluid/regelgeving/wet-algemene/toestemming-bouwen/bescherming-geluid/#Minimumeisuitwendigescheidingsconstructie>
- Silka xella. (2019, april 15). *Silka Kalkzandsteen*. Opgeroepen op april 15, 2019, van www.xella.nl: https://www.xella.nl/nl/docs/TD_silka_stenen_blokken.pdf
- Spierings, T. G., Amerongen, R. P., & Millekamp, H. (2004). *Jellema 3 Draagstructuur*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff. Opgeroepen op april 15, 2019
- Stybenex. (2002). *Basisinformatie EPS*. Opgeroepen op Maart 4, 2019, van www.stybenex.nl: <https://stybenex.nl/wp-content/uploads/2014/12/basisinformatie-EPS-2007.pdf>
- Stybenex. (2019). *Basisinformatie EPS*. Opgeroepen op Maart 4, 2019, van www.stybenex.nl: <https://stybenex.nl/wp-content/uploads/2014/12/basisinformatie-EPS-2007.pdf>
- Thomke, S. (2003). *Experimentation matters: unlocking the potential of new technologies for innovation*. Boston, MA, Amerika: Harverd Business School Press.
- Wentzel, P., van Eekelen, A. M., Bodegraven, P., & Rip, J. (2005). *Jellema 10 Ontwerpen*. Utrecht/Zutphen: ThiemeMeulenhoff,.
- Woorden.org. (2019). Nederlands woordenboek. Opgeroepen op April 4, 2019, van <https://www.woorden.org/>
- Xella. (2019, april 19). *Xella blokken*. Opgeroepen op april 19, 2019, van www.xella.nl: <https://www.xella.nl/ytong-blokken.php>
- Xella Group. (2019, April 12). *Xella*. Opgeroepen op April 12, 2019, van www.xella.nl: <https://www.xella.nl/ytong-cellenbeton.php>
- Xella Group. (2019, April 12). *Xella*. Opgeroepen op April 12, 2019, van www.xella.nl: https://www.xella.nl/nl/docs/TD_ytong_blokken.pdf
- Xella Nederland BV. (2019). *Ytong blokken*. Opgeroepen op April 11, 2019, van www.xella.nl: https://www.xella.nl/nl/docs/TD_ytong_blokken.pdf

12 Bijlagenoverzicht

Dit onderzoek wordt uitgevoerd door Rowen Landman en Jawid Hassani studenten aan de Hogeschool Utrecht. In dit hoofdstuk van plan van aanpak wordt de taakverdeling concreet beschreven. De takenverdeling is gebaseerd aan de gevolgde specialisaties die de studenten hebben gevolgd tijdens de studie. Hierbij heeft Rowen Landman de specialisatie Duurzame transformatie en renovatie gevolgd en Jawid Hassani heeft de specialisatie Design en Constructie gevolgd. Dit onderzoek bevat zowel Design en constructie als Duurzame transformatie en renovatie, waarbij duidelijk wordt dat Rowen Landman de taken uitvoert die betrekking hebben tot Duurzame transformatie en renovatie en Jawid Hassani voert de taken uit die betrokken zijn bij het design en constructie. Doormiddel van de onderstaande takenlijst worden de takenverdeling in beeld gebracht

Omschrijving taak	Persoon	Methode
Materiaal 1. Constructie: welke materiaal wordt er gebruikt voor de constructie? 2. Vorm en afmeting: Welke materiaal wordt er gebruikt voor het maken van de kern en de body van het legoblok 3. Afwerking: Wat voor materiaal wordt er gebruikt voor de afwerking van het binnenblad en het buitenblad van het legoblok? 4. Afdichting: Welke (lucht) afdichting wordt er toegepast? 5. Verbinding: Hoe worden de legoblok elementen met elkaar verbonden? 6. Duurzaamheid: Hoe duurzaam is het gebruikte materiaal?	1. J. Hassani 2. J. Hassani R. Landman 3. J. Hassani R. Landman 4. R. Landman 5. J. Hassani R. Landman 6. J. Hassani R. Landman	Er wordt vooronderzoek gedaan naar de mogelijk materialen voor de punten 1 t/m 6 aan de hand van deskresearch en literatuuronderzoek. De mogelijke materialen worden getoetst doormiddel van een Multi Criteria Analyse. De gekozen materialen dienen te voldoen aan de eisen van de opdrachtgever deze worden opgesteld in het Programma van Eisen in paragraaf 2.1. Voor het testen van de verbindingen wordt er een concept variant gemaakt in het praktijk lab van de Hogeschool Utrecht van het monteren en demonteren van het legoblok.
Constructie 1. Gewicht: Wat is het gewicht van het legoblok? 2. Dimensionering van constructie: Wat zijn de afmetingen van de constructie? 3. Draagvermogen: wat is de maximale drukkracht van de constructie van het legoblok?	1. J. Hassani 2. J. Hassani 3. J. Hassani	Er worden constructieve berekeningen gemaakt voor het Legoblok op de volgende punten: gewicht berekening, dimensionering van constructie en draagvermogen. Er wordt een concept variant gemaakt in het praktijk lab van de Hogeschool Utrecht zodat het draagvermogen van het legoblok getest kan worden. De constructie dient te voldoen aan de eisen van de opdrachtgever deze worden opgesteld in het Programma van Eisen in paragraaf 2.1.
Bouwfysische eigenschappen 1. Thermische isolatie: Hoe kan er getest worden of het legoblok systeem thermisch voldoet aan de eisen van het bouwbesluit die worden gesteld voor de vloer, gevel en het dak?	1. R. Landman 2. R. Landman	Er wordt een Rc berekening en dampspanning berekening gemaakt om zo een beeld te krijgen van het aspect thermische isolatie. Er wordt een dampspanning berekening gemaakt om te testen of er geen condensatie ontstaat in het legoblok element. De berekeningen dienen te voldoen aan het bouwbesluit en deze eisen zijn ook terug te vinden in paragraaf 2.1 programma van eisen.