

SuperLight 2030

Scriptie

Flexibiliteit in detail

Door

Hermen v.d. Schootbrugge

Onder begeleiding van
Hogeschool Utrecht

In samenwerking met
Architectuurbureau Sluijmer & van Leeuwen

Colofon

Elburg, 02 december 2014

Auteur

Hermen v.d. Schootbrugge
Pluutstraat 134
8081 MD, Elburg
+31(0)643977745
hermen.vandeschootbrugge@student.hu.nl
hschootbrugge@gmail.com
Bouwkunde (BWK); Bouwtechniek (BTK)

Onderwijsinstelling

Hogeschool Utrecht
Instituut Gebouwde Omgeving
Faculteit Natuur & Techniek
Bouwkunde
Nijenoord 1; 3552 AS te Utrecht



Eerste begeleider

Rogier Laterveer (Architect/Hogeschool docent)
Rogier.laterveer@hu.nl
088 481 8426 / +31614434089

Tweede begeleider

Martin van Dijkhuizen (Hogeschooldocent)
Martin.vandijkhuizen@hu.nl
088 481 8253

Afstudeerbedrijf

Sluijmer en van Leeuwen B.V.
Kerkstraat 21
3581 RA, Utrecht
030 2318761



Bedrijfsbegeleiders

Dhr. J.M. Sluijmer
Dhr. Wouter van Riet Paap

I have not failed. I've just found 10,000 ways that won't work.



Thomas A. Edison

Samenvatting

De inefficiëntie, de lange processen en de enorme materiaalverspilling van het hedendaagse bouwen vormen gezamenlijk een groot probleem binnen de bouwsector. De oplossing hierop is echter dichterbij dan men denkt. Om processen efficiënter te maken, bouwfouten te reduceren en materiaalverspilling tegen te gaan speelt de flexibiliteit van een bouwwerken een grote rol. Met een flexibel karakter kan een bouwwerk op diverse problemen een antwoord geven en inspelen op een veranderende maatschappij. Flexibiliteit is echter niets nieuws binnen de bouwsector. De zoektocht naar implementatie van flexibiliteit binnen de bouwsector is namelijk al langere tijd gaande. Zo zijn er al diverse concepten en methodes opgesteld en beproefd om te kijken of deze gehoor konden/kunnen geven aan de veranderende wensen en eisen van de klant en de ontstane problemen. Echter, vaak ging dit gepaard met hoge ontwikkelings- en uitvoeringskosten vanwege het innovatieve karakter, waardoor veel concepten en methodes nooit hun maximale potentie hebben bereikt. Tegenwoordig speelt dit echter geen rol meer, doordat moderne technieken en innovatieve ontwikkelingen binnen de industriële wereld er voor zorgen dat toepassing van deze methodes en concepten eenvoudiger en toegankelijker zijn geworden voor de bouwsector.

Ondanks dat tegenwoordig de mogelijkheden voor realisatie toegankelijker zijn geworden loopt men nog steeds tegen problemen aan. Hetgeen wat bij al deze concepten en methodes namelijk ontbreekt, is de vertaalslag van deze theorieën naar technische oplossingen. De bouwsector moet op een innovatieve en technische manier gehoor geven aan de vraag naar flexibiliteit door zowel de bestaande als nieuwe bouwwerken gereed te maken voor de flexibele toekomst. Veel architectenbureaus proberen dit te doen door te handelen volgens de reeds opgestelde en bedachte methodes en concepten, echter bieden deze nog steeds geen technisch antwoord op hoe de flexibiliteit van een systeem verwezenlijkt of verhoogd kan worden.

Architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen is één van deze bureaus, welke een innovatief systeem ontwikkeld hebben genaamd 'SuperLight 2030'. Echter, zij kwamen in aanraking met hetzelfde probleem, namelijk hoe het systeem in flexibiliteit verhoogd kon worden door middel van technische oplossingen. Om een antwoord te bieden op deze vraag is er systematisch te werk gegaan. Veel concepten en methodes zijn met elkaar vergeleken waarna diverse richtlijnen voor flexibiliteit zijn opgesteld. Het was echter van hoog belang dat er een koppeling plaatsvond tussen deze theoretische richtlijnen en de praktische oplossing. Om dit te realiseren zijn er, aan de hand van deze richtlijnen, criteria opgesteld om de theoretische flexibiliteit te integreren in de techniek. Hierbij is nauwkeurig gekeken naar wat er op technisch niveau toegepast of uitgevoerd moest worden om ervoor te zorgen dat de maximale flexibiliteit behaald wordt. Vervolgens is deze criteria toegepast op het ontwerpen van producten welke een antwoord moeten geven op bepaalde technische knooppunten die de systeemflexibiliteit van het SuperLight 2030 systeem belemmerde. Hiermee is gecontroleerd of de criteria in theorie een antwoord kon bieden op het probleem en de flexibiliteit kon waarborgen. Hierna is er doormiddel van een terugkoppeling naar het praktische werkveld gevalideerd of het product in praktijk even flexibel is als in theorie.

De opgestelde richtlijnen en criteria om een hoge of verhoogde flexibiliteit te behalen kunnen tevens toegepast worden op reeds bestaande of ontwikkelde systemen. Hierdoor kan er vastgesteld worden of een verhoging in flexibiliteit kan plaatsvinden of hoe er technische gehandeld moet worden om tot een flexibele oplossing te komen.

Summary

The inefficiency, long processes and a vast amount of material waste of the modern construction industry has created a big commonly problem. Nonetheless, the solution to this significant problem might be closer than you think. The flexibility of a building is highly important to optimize processes, reduce mistakes during construction and obviate material waste. A building with a flexible character can provide the answer for multiple problems and prepare for a changing environment. However, flexibility is not new to the construction industry. The search for implementation of flexibility within the construction industry has been going on for a reasonable amount of time now. For example, there have been developed and tested many different concepts and methods to see if they could solve the current problems or intermediate between the constant changing environment and the static characteristics of traditional buildings. Unfortunately the reason why most of these systems or methods never reached their full potential is because of the high development and implementation costs due to the innovative specifications of the system. Nowadays this cannot be the reason for failure anymore, because modern techniques and innovative developments within the industrial branch allow us to simplify the production and implementation of these methods and concepts.

In spite of the simplified methods to create such innovative systems there is still a problem which remains. All of the previously developed concepts and methods have one common denominator, which is the lack of translation of the theoretic knowledge in a technical solution. The construction industry has to answer through innovation and technique to the demand of flexibility by preparing old and new buildings for a flexible future. Many architectural firms tried this by implementing the previously developed methods and concepts, but without the technical answer to how the flexibility of such an innovative system can be realized or increased.

The architectural firm 'Sluijmer en van Leeuwen' is one of these firm who developed an innovative system which goes by the name of 'SuperLight 2030'. They experienced the same problem while composing this system, of how they could enhance and increase the system's flexibility through technical solutions. In order to create a solutions there has been a systematic approach. Many different concepts and methods are compared to one another after which multiple guidelines were established to create flexibility. It was of a high importance to create a connection between the theoretical guidelines and the practical possibilities. In order to achieve this, the guidelines have been used to create multiple criteria to make sure that the theoretical flexibility will be integrated in the technical aspects of the system. During the establishment of these criteria, there has been a precise research to see what there had to be implemented or carried out to make sure that the technical solutions would be as flexible as possible. After that, the criteria has been applied on designs of products which should solve some specific technical problems which obstructed and interfered with the system's flexibility. With this it has been checked if the criteria is capable of creating a theoretical solution to the problem whilst the integrity of the flexibility is maintained or enhanced. Finally there has been feedback from the field to validate if the theoretical findings were correct.

The established guidelines and criteria to realize a high or enhanced flexibility, also can be used on already existing or developed systems. Through this method it can be accurately decided if there could be an enhancement of flexibility within a system or what the technical solution should contain in order to be of high flexibility.

Inhoudsopgave

Woord vooraf.....	13
1. INLEIDING.....	15
1.1 Aanleiding.....	15
1.2 Probleemstelling.....	16
1.3 Onderzoeksvragen	16
1.3.1 Praktijkvraag.....	16
1.3.2 Doelstelling	16
1.3.3 Onderzoeksvraag	16
1.4 Afbakening.....	16
1.5 Onderzoeksmethoden.....	17
1.6 Structuur scriptie.....	17
1.7 Aanpak.....	17
2. WAT IS FLEXIBILITEIT.....	18
2.1 Taalkundige definities.....	18
2.2 Flexibiliteit in de bouwsector.....	19
3. FLEXIBILITEIT; NU EN HET VERLEDEN.....	20
3.1 Hedendaagse concepten.....	21
3.1.1 Slimbouwen.....	22
3.1.2. Industrieel, Flexibel en Demontabel	23
3.1.3 Living Building Concept	24
4. COHESIE FLEXIBILITEIT EN DUURZAAMHEID.....	26
4.1 Verduurzaming.....	26
4.2 Flexibiliteit als antwoord op verandering.....	27
4.3 Integratie flexibiliteit.....	28
4.3.1 Standaardisatie.....	28
4.3.2 Demontage, recycling & hergebruik	30
4.3.3 Theory of levels	32
4.4 Conclusie.....	34
5. SUPERLIGHT 2030	35
5.2 Prototype.....	35
5.2.1 Locatie.....	35
5.2.2 Ontwerp.....	36
5.3 Technische specificaties systeem.....	36
5.3.1 Fundering.....	36

5.3.2 Panelen.....	36
5.3.3 Kozijnen en plaatsing hiervan in de panelen.....	37
5.3.4 Koppelprofielen.....	37
5.3.5 Constructie.....	38
3.6 Duurzaamheid en flexibiliteit.....	38
6. SUPERLIGHT EN FLEXIBILITEIT	39
6.1 Inventarisatie.....	39
6.1.1 Fundering.....	39
6.1.2 Nutsaansluiting	39
6.1.3 Binnenwanden.....	39
6.1.4 Gevelafwerking.....	40
6.1.5 Installaties.....	40
6.1.6 Verlaagd plafond	40
6.1.7 Keuze.....	40
6.2 Criteria.....	40
6.2.1 Industriële fabricage.....	40
6.2.2 Assemblage & demontage.....	41
6.2.3 Levensduur.....	41
6.2.4 Recycling.....	41
6.2.5 Opdrachtgever.....	41
6.2.5 Conclusie.....	41
7. GEVELSYSTEEM	43
7.1 Gevelafwerking.....	43
7.2 Ontwerp gevelsysteem	43
7.2.1 Afmeting	43
7.2.2 Bevestiging	44
7.2.3 Gevelafwerking.....	46
7.2.4 Gewicht.....	48
7.2.5 Ontwerp.....	48
7.3 Toetsing	50
7.3.1 Industriële productie.....	50
7.3.2 Assemblage en demontage.....	51
7.3.3 Levensduur.....	51
7.3.4 Recycling.....	51
7.3.5 Systeem specifiek: opdrachtgever	51

7.3.6 Conclusie.....	52
8. FUNDERING.....	53
8.1 Krinner schroefpalen.....	53
8.1.1 Positionering palen.....	54
8.2 Universele bevestiging schroefpalen	54
8.2.1 Ontwerp.....	55
8.2.2 Bevestiging	55
8.2.3 Materiaal	56
8.2.4 Afmetingen.....	56
8.2.5 Krachten verloop	57
8.3 Toetsing	57
8.3.1 Industriële productie.....	57
8.3.2 Assemblage en demontage.....	58
8.3.3 Levensduur.....	58
8.3.4 Recycling.....	58
8.3.5 Systeem specifiek: opdrachtgever	58
9. VALIDATIE.....	59
9.1 Conclusie.....	59
9.1.1 Productie fundering.....	59
9.1.2 Productie gevelsysteem	60
9.1.3 Plaatsing fundering.....	60
9.1.4 Plaatsing gevelsysteem.....	61
10. CONCLUSIE.....	62
11. BEGRIPPENLIJST.....	63
12. LITERATUURLIJST.....	65
13. BIJLAGEN.....	67

De scriptie welke u in handen heeft is het eindproduct van mijn Bachelor Build Environment aan de Hogeschool Utrecht. Gedurende 8 maanden is er aan de totstandkoming van dit product gewerkt, waarbij de vakbekwaamheid getoetst wordt voor de opleiding Bouwkunde binnen het Instituut Gebouwde Omgeving.

Toen ik na de middelbare school aan mijn HBO opleiding begon, moet ik toegeven dat ik het onderschatte. Echter, gedurende mijn studie ben ik er achter gekomen dat het niet 'vanzelf' gaat. Mijn studie heeft veel 'ups' en 'downs' gekend, waardoor ik heb geleerd en ervaren heb dat het gaat om kracht, gedrevenheid en discipline. Desondanks verscheidene tegenslagen heb ik niet opgegeven en vol moed doorgezet, wat mij tot dit eindstation heeft gebracht.

Gedurende een lange tijd was ik opzoek naar een plek om mijn afstudeerperiode te volbrengen. Deze zoektocht verliep echter in eerste instantie niet uitermate succesvol totdat Architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen daar verandering in bracht. Middels een tip van mijn eerste begeleider, welke ik in een bui van wanhoop toesprak, werd ik gewezen op het project SuperLight 2030 wat geleid wordt door de heren Hans Sluijmer en Wouter van Riet Paap. Ik werd direct enthousiast over het onderwerp gezien het een zeer innovatief en uniek project is, waar ik graag deel van wilde uitmaken. Na enig telefonisch contact nodigden zij mij uit op gesprek en zagen zij de kans om mij in te zetten voor het SuperLight 2030 project. Daarom wil ik Hans Sluijmer en Wouter van Riet Paap in het bijzonder mijn dank betuigen vanwege hun bereidheid voor het geven van de benodigde begeleiding en kansen en voor de inhoudelijke begeleiding tijdens mijn tijd op het kantoor van architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen.

Daarnaast wil ik mijn eerste begeleider, Rogier Laterveer, en tweede begeleider, Martin van Dijkhuizen, bedanken voor de fijne samenwerking en inhoudelijke leiding welke zij mij gegeven hebben tijdens mijn afstudeertraject. Zonder hen vakkundige kennis zou ik niet zijn waar ik nu ben. Ook wil ik mijn mede afstudeerders Michel Vonk en Frank Frericks danken voor de gemoedswillige en ontspannen sfeer welke er heerste tijdens het afstuderen. Ik heb het als fijn ervaren om samen met hen bezig te zijn voor dit project en wanneer daar tijd voor was tevens met hen te lachen.

Tot slot wil ik mijn vriendin, ouders, naaste familie en vrienden enorm bedanken voor de verleende steun en motivatie, welke in sommige periodes van mijn studie en afstuderen onmisbaar was.

Graag wens ik u veel leesplezier toe.

Hermen v.d. Schootbrugge

Utrecht, december 2014

1. INLEIDING

We zien de wereld om ons heen steeds harder groeien, dit zorgt er voor dat de maatschappij steeds meer en eerder vraagt om verandering(en). Op alle vlakken en in alle vakgebieden zien we veranderingen tot stand komen, hetzij procesmatig of op technisch gebied. Het is vanwege deze veranderingen en groei dat de vraag van de gebruiker en opdrachtgever ook constant veranderd. De bouwsector moet hier op een slimme manier mee omgaan en mee veranderen met de maatschappij om ons heen. Het is al gebleken dat de bouwsector als geheel is achtergebleven in vergelijking met andere branches in binnen- en buitenland, zoals de automobieliindustrie en de vliegtuigindustrie (Toekomstbestendig Bouwen, 2013). Het is nu aan de bouwsector om op de juiste manier mee te veranderen en in te spelen op de veranderende maatschappij en dus wensen van gebruiker en opdrachtgever.

Bij architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen wordt geprobeerd door ontwikkeling van het nieuwe bouwsysteem SuperLight 2030, gehoor te geven aan de constante veranderingen en hierdoor nieuwe impuls te geven aan de bouwsector. Al lang wekte de inefficiëntie van het bouwen, de lange processen en de enorme materiaalverspilling in de bouw al jaren lang een ergernis op. Het bouwsysteem SuperLight 2030 vindt zijn oorsprong in een woningbouwproject van enkele jaren geleden. Dit project typeerde zichzelf met een daklijst die geprefabriceerd kon worden en zodoende de bouwtijd en de arbeidsintensiviteit op de bouwplaats aanzienlijk kon reduceren. De dakgoot bestond uit aluminium verlijmd op EPS. Het architectuurbureau werd geïntrigeerd in het systeem en zag meer mogelijkheden met de toepassing en combinatie van deze materialen. Dit bracht Sluijmer en van Leeuwen op het idee om complete woningen te ontwerpen met panelen van dezelfde materiaal samenstelling. Hierdoor realiseren zij het doel waar lange tijd naar gestreefd is en waar het in de praktijk vaak aan ontbreekt, namelijk het efficiënt gebruiken van materiaal en tijd.

De markt waar SuperLight 2030 zich als firma op wil richten is de markt van op maat ontworpen woningen. De bouwelementen (vloeren, daken en wanden) zijn opgetrokken uit één en hetzelfde materiaal en hebben allen dezelfde vorm. Het bouwsysteem is opgebouwd uit diverse modules welke op de bouwplaats slechts aan elkaar gemonteerd hoeven te worden om een woning te verwezenlijken. De combinatie van het toepassen van eenzelfde bouwmethodiek en de toe te passen materialen brengt in ieder geval drie voordelen met zich mee, namelijk prefabricatie, de zeer lichte massa van het systeem en een grote ontwerp vrijheid.

Het uiteindelijke doel van dit onderzoek is het vergroten van de flexibiliteit van het bouwsysteem SuperLight 2030 en de kennisbank over systeemflexibiliteit. Echter, om dit te realiseren is het van groot belang om er eerst achter te komen wat flexibiliteit inhoud en betekent voor de bouwsector.

1.1 Aanleiding

Het doel van het SuperLight 2030 bouwsysteem is het creëren van op maat ontworpen woningen met geprefabriceerde elementen waarbij flexibiliteit een allesbepalende factor is. Ter promotie en verduidelijking van het systeem wil Sluijmer & van Leeuwen een prototype verwezenlijken waarin SuperLight 2030 BV zich later zal huisvesten en wat tevens te koop zal staan als woning. Het prototype moet een indruk geven waartoe het SuperLight bouwsysteem in staat is en de verkoop stimuleren. Tijdens het uitwerken en ontwikkelen van het bouwsysteem en het prototype kwam het architectuurbureau er al snel achter dat de complexiteit van het systeem aanzienlijk toenam naarmate implementatie van andere systemen gerealiseerd moest worden. Hierdoor realiseerden zij zich dat het systeem op technisch gebied enkele verbeteringen moest ondergaan om de visie van SuperLight 2030 te waarborgen. De detaillering moet zowel geperfectioneerd als geoptimaliseerd worden om de kwaliteit(en) van het systeem te waarborgen en de samenwerking met andere systemen te realiseren. Deze zijn namelijk: flexibel, duurzaam, eenvoudig, demontabel en licht (SuperLight 2030, 2012). Door de kwaliteiten te kennen kan er gericht gehandeld worden en kan het onderzoek binnen

het theoretisch kader gestuurd worden. Wanneer er in de technische uitwerking geen gehoor zal worden gegeven aan de kwaliteitswaarborging van het systeem, zal het zijn doel missen. Gezien ieder project, bouwwerk en systeem uniek is, bestaat er geen literatuur of ‘handleiding’ over hoe de flexibiliteit van de technische knooppunten bij het desbetreffende systeem vergroot kunnen worden door middel van standaardisatie. Hierdoor is het van belang dat er bij het SuperLight 2030 bouwsysteem een project gericht onderzoek wordt uitgevoerd naar hoe de flexibiliteit van het systeem vergroot kan worden door standaardisatie van de technische knooppunten.

1.2 Probleemstelling

Het doel van het SuperLight 2030 systeem is een geprefabriceerd bouwsysteem produceren, waarbij flexibiliteit allesbepalend is. Tijdens de ontwikkeling van het SuperLight 2030 systeem kwamen er steeds meer problemen aan het licht. De probleemstelling die hieruit gevormd is luidt: *“de technische complexiteit van het SuperLight bouwsysteem wordt te groot waardoor het doel van het SuperLight 2030 systeem gemist wordt, namelijk flexibiliteit”*. Dit gaf voldoende aanleiding voor het onderzoek naar, op welke wijze een grotere systeemflexibiliteit behaald kan worden op detail niveau binnen het SuperLight 2030 bouwsysteem.

De deelvragen welke uit de probleemstelling zijn verwerkt en als ondersteuning dienen op het beantwoorden van de onderzoeksvraag, luiden als volgt:

1. Wat is flexibiliteit?
2. Wat maakt een systeem flexibel?
3. Hoe kan op detail niveau de flexibiliteit van het SuperLight bouwsysteem vergroot worden?

1.3 Onderzoeksvragen

1.3.1 Praktijkvraag

Hoe kan bouwtechniek flexibiliteit aanbrengen in het SuperLight 2030 prototype met een grote diversiteit aan systemen (gevel, binnenwanden, vloeren, etc.), zonder dat dit de kwaliteiten van het systeem aantast?

1.3.2 Doelstelling

De systeemflexibiliteit van het bouwsysteem SuperLight 2030 op detail niveau vergroten.

1.3.3 Onderzoeksvraag

Hoe kan op detail niveau een grotere systeemflexibiliteit behaald worden, binnen het SuperLight 2030 prototype?

1.4 Afbakening

Het onderzoek zal in het teken staan van het vergroten van de flexibiliteit van het SuperLight 2030 bouwsysteem op technisch niveau. Hetgeen hierbij onderzocht zal worden is wat flexibiliteit precies inhoudt binnen de bouwkunde en hoe een systeem als SuperLight 2030 een verhoogde flexibiliteit kan verkrijgen door technische detaillering. Vervolgens zal de gevonden kennis toegepast worden op de technische details en zal hier een conclusie uit getrokken worden.

Zoals, onder het hoofdstuk ‘aanleiding’ ook al is vermeld, is ieder project, bouwwerk of systeem uniek. Het is daarom van groot belang dat er specifiek wordt gekeken naar de ‘problemen’ die het bouwsysteem SuperLight 2030 ondervindt op de technische knooppunten. Andere systemen kunnen echter wel als bron dienen voor inspiratie of voorbeeld.

1.5 Onderzoeksmethoden

Over het desbetreffende onderwerp is (zoals eerder vermeld) weinig literatuur geschreven. Dit komt doordat het per project op technisch vlak verschilt hoe de flexibiliteit hiervan vergroot kan worden. Wel is er veel informatie te vinden over raakvlakken tussen verschillende projecten die mede bepalend zijn voor de flexibiliteit van een systeem (hierbij zou gedacht kunnen worden aan processtructuur, prefabricatie als basis voor een systeem, etc.). Hierom heeft er dan ook een kwalitatief onderzoek plaats gevonden om meer inzicht te krijgen in de reeds bestaande literatuur. Een kwalitatief onderzoek kan onderverdeeld worden in 2 soorten, namelijk een deskresearch en een fieldresearch. Bij dit onderzoek is er sprake van beide soorten, gezien de voorkennis over de 'raakvlakken' in de literatuur beschreven staat en de systeem specifieke eigenschappen/problemen niet. Om deze problemen op te lossen zal er een fieldresearch plaats moeten vinden waarbij een iteratief proces doorlopen wordt.

1.6 Structuur scriptie

In het tweede hoofdstuk zal worden gedefinieerd wat de term flexibiliteit inhoud en wat dit betekent binnen het vakgebied van de bouwkunde. Tevens zullen verschillende voorbeelden van reeds ontwikkelde systemen besproken worden. De structuur zal de volgorde van de deelvragen handhaven om uniformiteit in het onderzoek te creëren zodat, wanneer duidelijk is wat flexibiliteit inhoud en wat het betekent voor de bouw, er systeem specifiek te werk gegaan kan worden. Er zal gekeken worden naar de historie die de bouwkunde al kent over de term flexibel bouwen en wat dit betekent voor de huidige ontwikkelingen in flexibele en duurzame bouw van het heden. Om een antwoord te kunnen geven op de onderzoeksvraag zal er onderzocht worden wat de verhouding is tussen detaillering en flexibiliteit. Uiteindelijk zal de verworven kennis toegepast worden op de detaillering van het SuperLight 2030 prototype om een grotere systeemflexibiliteit te verkrijgen.

1.7 Aanpak

Dit onderzoek zal, zoals in hoofdstuk 1.5 al gemeld is, een kwalitatief onderzoek vormen. Analyses van diverse bouwconcepten zullen definiëren wat flexibiliteit betekent voor de bouw en hoe hier al aandacht aan is geschonken. De resultaten van deze analyses zullen later in het onderzoek indirect de grondslag vormen voor het flexibiliseren van het bouwsysteem SuperLight 2030. Met behulp van de bevindingen uit de analyses kunnen de technische details van het SuperLight 2030 bouwsysteem beoordeeld worden of deze veranderd kunnen worden t.b.v. de flexibiliteit of juist niet.

2. WAT IS FLEXIBILITEIT

Om de systeem specifieke problemen gericht te kunnen oplossen zal er eerst een exacte definitie en omvang van de term 'flexibiliteit' gegeven moeten worden. Uiteraard is er de definitie uit het woordenboek, echter biedt dit nog onvoldoende inzicht wat betreft de omvang van de term in relatie tot het vakgebied. Deze beschrijving van flexibiliteit zal het theoretisch kader vormen waar het onderzoek binnen zal vallen. Tevens is dit van groot belang gezien de uitkomst van deze definitie kenbare gevolgen zal hebben voor de uitwerking van de bouwtechnische vraagstukken. In dit hoofdstuk zal duidelijk worden gemaakt wat de definitie is van de term 'flexibiliteit' en hoe dit zich uit binnen de bouw als discipline/vakgebied. Verder zullen er, als ondersteuning bij de definiëring van 'flexibiliteit', diverse bouwsystemen behandeld worden waarbij flexibiliteit tevens hoog in het vaandel staat en wat dit voor impact heeft op het systeem.

2.1 Taalkundige definities

Volgens het Van Koenen Nederlands woordenboek is de exacte definitie van het woord flexibiliteit '*het flexibel zijn*'. Om dus een juiste definitie te geven moet er eerst worden gekeken naar het woord 'flexibel' (zie onderstaande definities).

Flexi-bel; *bn, bw* 1 buigzaam, soepel: *~materiaal*; 2 (*van personen*) meegaand, plooibaar, soepel: *zich ~opstellen*; 3 gemakkelijk aan te passen aan veranderende omstandigheden (*tegenst* vast): *~e wisselkoersen*; *~e werktijden* die variëren, niet vaststaan (Koenen woordenboek; Nederlands, 1999).

Flexi-bel (*bijvoeglijk naamwoord, bijwoord*); 1 variabel: *flexibele werktijden*; 2 soepel, buigzaam; 3 (*van personen*) meegaand, plooibaar (Van Dale Groot Woordenboek, 2010).

Flexible; 1 ADJ A **flexible** object or material can be bent easily without breaking; 2 ADJ Something or someone that is **flexible** is able to change and adapt easily to new conditions and circumstances (Collins Cobuild Intermediate Dictionary, 2008).

Uit bovenstaande definities is te concluderen dat de exacte definitie van het woord flexibiliteit, het aanpassingsvermogen is op een veranderende omgeving en aan veranderende omstandigheden. Zoals in de inleiding al is verwoord, vraagt de huidige maatschappij om steeds meer verandering. Het flexibel maken van een bouwsysteem, waardoor het systeem het aanpassingsvermogen zal hebben om mee te veranderen met de wensen/eisen, zal daarom exact inspelen op de behoefte van het heden en de toekomst.

Het feit dat bouwwerken in de huidige maatschappij op een bepaalde wijze vervaardigd moeten worden om in te spelen op de eisen en wensen van het heden en de toekomst wordt ook wel *toekomstbestendig bouwen* genoemd. Een onderzoek vanuit Industrieel Ontwerpen kan bijdragen aan een nieuwe visie op duurzame projecten gericht op bouw voor de tijdelijkheid (Toekomstbestendig Bouwen, 2013). In dit onderzoek is de definitie van het begrip toekomstbestendigheid voor bouwwerken: "Een bouwwerk dat na een bepaalde tijd op een duurzame manier kan worden aangepast om op een veranderende behoefte in te kunnen spelen" (Toekomstbestendig Bouwen, 2013). Uit deze uitleg blijkt dat duurzaamheid nauw verbonden is met de flexibiliteit van een bouwwerk. De vraag die men zich hieruit zou kunnen stellen is of een bouwwerk nog wel flexibel is wanneer het niet duurzaam is of kan worden aangepast? Om dit te kunnen beantwoorden moet eerst gedefinieerd worden wat duurzaamheid precies inhoudt. Net als de definitie van 'flexibel' wordt ook de term 'duurzaam' vastgesteld om een uniforme werkwijze te hanteren.

Duurzaam I *bn* –zamer, –st 1 lang durend: *een –zame vrede*; 2 weinig aan slijtage of bederf onderhevig: *eikenhout is –*; 3 langdurig en veelvuldig: *bevestigd door – gebruik*; II *bw* voor lange tijd: *de vijand – het hoofd bieden* (Koenen woordenboek; Nederlands, 1999).

Duurzaam (*bijvoeglijk naamwoord, bijwoord*; vergrotende trap: *duurzamer*, overtreffende trap: *duurzaamst*); 1 lang durend; 2 weinig aan slijtage of bederf onderhevig; 3 het milieu weinig belastend (Van Dale Groot Woordenboek, 2010).

Sustainable, ADJ A **sustainable** plan, method, or system can be continued at the same pace or level of activity without harming its efficiency and the people affected by it (Collins Cobuild Intermediate Dictionary, 2008).

Durable, ADJ **Durable** materials or products are strong and last a long time (Collins Cobuild Intermediate Dictionary, 2008).

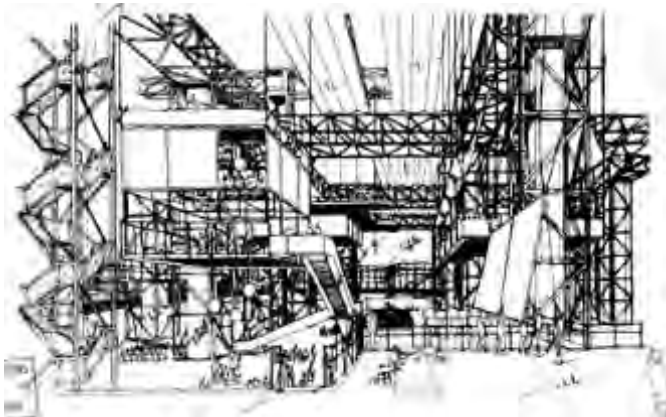
Uit de verschillende definities van duurzaam blijkt dat het voornamelijk gaat over levensduur en efficiëntie. Zoals te zien is heeft de Engelse taal 2 verschillende termen in tegenstelling tot het Nederlands, welke slechts 1 definitie kent. In dit specifieke geval heeft de context meer affiniteit met de definitie van *durable*, hoewel er een lichte vermenging plaatsvindt met de term *sustainable*. Dit komt (zoals aan de definities al te zien) doordat er op twee niveaus gesproken wordt, namelijk het niveau van het bouwwerk zelf en het niveau van het proces (assemblage).

2.2 Flexibiliteit in de bouwsector

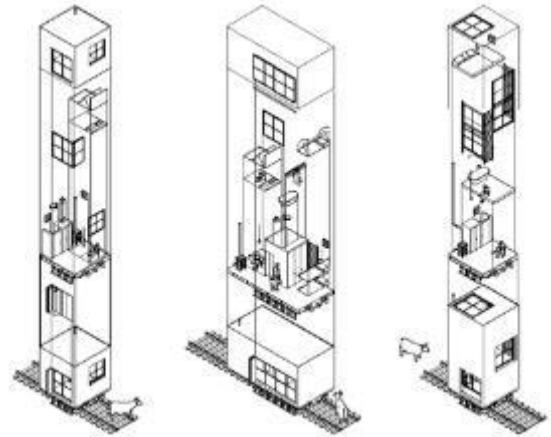
Nu de taalkundige definitie van flexibiliteit is vastgesteld, kan er gekeken worden wat deze precies inhoudt voor de bouwsector en hoe hier invulling aan gegeven wordt. Wanneer er gezocht wordt naar deze invulling is dit te benaderen vanuit twee verschillende invalshoeken, namelijk die van de techniek en het proces. Er is veel literatuur te vinden welke de nadruk leggen op een bepaalde methode of het proces, echter geen hiervan spreekt over de techniek welke deze flexibiliteit mogelijk maakt of kan verhogen. Zo brengt diverse geraadpleegde literatuur, zoals LEGOlisering, het Slimbouwen concept, Toekomstbestendig bouwen en verschillende artikelen over modulair bouwen, de bouwsector meer richtlijnen over procesmatige veranderingen en samenwerkingsverbanden dan technische richtlijnen om een verhoging van flexibiliteit te verwezenlijken. Uiteraard is dit ook zeer belangrijk en levert dit een grote bijdrage aan de bouwsector, echter de vertaalslag naar de techniek van de bouwkunde ontbreekt vaak. Er zal dus goed gekeken moeten worden naar hoe deze conceptuele informatiestroom omgezet kan worden naar technische oplossingen.

3. FLEXIBILITEIT; NU EN HET VERLEDEN

Voordat er gekeken wordt naar wat flexibiliteit exact betekent voor de bouw en wat de samenhang hiervan is met duurzaamheid, is het verstandig om eerst te kijken naar reeds ontwikkelde methodes en pogingen welke in het verleden gedaan zijn met betrekking tot flexibiliteit en demontage. Er zijn veel voorbeelden uit het verleden te noemen waarbij flexibiliteit een voorname rol speelde. Zo was Cedric Price een architect die het idee van flexibele assemblage van onafhankelijke componenten aanhing en hiermee een voorloper in dit nieuwe concept met zijn ontwerpen als het Fun Palace en het Potteries Thinkbelt project (Transformable Building Structures, 2006).



Figuur 1; Fun Palace door Cedric Price



Figuur 2; Potteries Thinkbelt project door Cedric Price

In het ontwerp van het Fun Palace maakte Price al een duidelijk verschil tussen constructie en functie. Zo konden er verschillende componenten in en uit de hoofdconstructie geklikt worden en was het mogelijk om de structuur van de constructie aan te passen met behulp van verplaatsbare muren, daken en kranen. Echter in een tijd waarin men bouwde voor 'de eeuwigheid' was er helaas weinig behoefte aan dergelijke systemen en is het nooit gerealiseerd. Desalniettemin heeft het concept van Price z'n Fun Palace gediend als inspiratie voor velen in de wereld van flexibele bouw.

In de jaren '60 werd er veel experimentele architectuur ontwikkeld welke gelinkt was aan de spanningen van de Koude Oorlog en de sombere monotonie van de meeste nieuwe stedelijke ontwikkelingen (Transformable Building Structures, 2006). Tegelijkertijd ontstonden er wereldwijd verschillende groeperingen die de conventionele manier van architectuur op de proef wilde stellen door middel van het toepassen van nieuwe materialen, technologie en technieken. De focus van deze groepen lag voornamelijk bij concepten welke het aanpassingsvermogen als drijfkracht voor innovatie hadden (Transformable Building Structures, 2006). De voornaamste groepen waren: Archigram in het Verenigd Koninkrijk, Metabolists in Japan, EAT (Experiments in Art and Architecture) in de VS en UFO en Superstudio in Italië. Samen hebben zij veel toonaangevende concepten en gebouwen ontwikkeld waaronder de 'Walking city' van Archigram. Dit is een



Figuur 1; Walking cities concept ontwikkeld door Archigram

concept waarbij complete flats zich letterlijk konden loskoppelen van het perceel en zich kon verplaatsen naar een nieuwe locatie. Doordat er op het moment van deze ontwikkelingen weinig behoefte was aan flexibele bouw (zoals eerder genoemd), was er weinig belangstelling voor deze concepten en vraag naar dergelijke bouwwerken. Indien er investeerders waren die wel geïnteresseerd waren geraakt, dan kregen deze vaak te maken met hoge kosten vanwege de innovatie materialen en ingewikkelde technieken die destijds gebruikt werden om deze concepten te realiseren.

Zoals eerder vermeld heeft Price z'n werk gefunctioneerd als een inspiratiebron voor velen. Zijn werk waarbij de toepassing van verschillende industriële technologieën om aanpasbaarheid en een grotere bouw efficiëntie te verwezenlijken is duidelijk terug te zien in het ontwerp van Renzo Piano en Richard Rogers in het George Pompidou Centre in Parijs. Zonder het Fun Palace van Price was het niet mogelijk geweest voor de twee architecten om het Pompidou Centre te realiseren (figuur 3) (Transformable Building Structures, 2006). In dit project is duidelijk het onderscheid te zien tussen de verschillende functionele groepen en hoe de aandacht gevestigd wordt op de constructie. Tevens heeft het ontwerp van het Pompidou Centre een bijdrage geleverd aan de architectuur door alle componenten van het bouwwerk op gelijkwaardig niveau te behandelen en installaties te gebruiken als decoratie (Transformable Building Structures, 2006).



Figuur 3; Uitwendige installaties Pompidou Centre



Figuur 4; Het George Pompidou Centre in Parijs door Renzo Piano & Richard Rogers

3.1 Hedendaagse concepten

Naast de vele (bekende) voorbeelden waarbij flexibiliteit een grote rol heeft gespeeld in bouwwerken zijn er ook bepaalde concepten in de loop der tijd ontstaan. Men kan hier bijvoorbeeld denken aan Industrieel Flexibel & Demontabel (IFD), het Living Building Concept (LBC) en Slimbouwen. Ondanks dat het onderlinge verschil tussen deze concepten groot kan lijken en zelfs van doel kunnen verschillen is er een bindende factor, namelijk flexibiliteit. Nu is flexibiliteit een breed begrip en dit kan ook terug gezien worden in de methodes waarbij pogingen gedaan worden om dit te implementeren in de bouw door middel van onder andere assemblage, demontage, industriële vervaardiging en standaardisatie van componenten. Al deze concepten dragen weer bij aan de visie die Pieter Huijbregts heeft ontwikkeld genaamd het Conceptueel Bouwen. Het doel hiervan is dat de klant een keuze kan maken uit de verschillende concepten zoals de eerder genoemde concepten. Pieter Huijbregts ziet de andere concepten dan ook als vormen van Conceptueel Bouwen (Het Living Building Concept, Conceptueel Bouwen of Slimbouwen?, 2007).

3.1.1 Slimbouwen

In 2005 heeft Jos Lichtenberg een boek uitgebracht genaamd Slimbouwen. Dit boek weerspiegelt zijn gedachtegang over een nieuw concept wat de bouw zal moeten *resetten*. De motivatie hiervoor zijn de vele problemen welke zich voordoen in de bouw



Figuur 5; Logo Slimbouwen®; Bron: www.slimbouwen.nl

zoals de enorme hoeveelheden bouw- en sloop afval, de grote CO₂-uitstoot, en het grootschalige energieverbruik. Slimbouwen kan een oplossing bieden aan deze problemen door het bouwproces opnieuw in te delen in een beperkt aantal bouwstenen, namelijk: casco, schil, installaties en afbouw. Doordat het proces is 'opgeknapt' kan er op iedere bouwsteen een hoofdverantwoordelijke worden aangesteld, waarbij het gehele bouwproces wordt geleid door één bouwregisseur. Dit moet naar eigen zeggen het bouwproces efficiënter maken, de bouwtijd verkorten en de faalkosten reduceren. Door integraal ontwerpen en een strikte scheiding tussen de bouwstenen, welke ontstaat door de fragmentatie van het bouwproces, zullen de hoofdverantwoordelijken een eigen plek in het proces krijgen.

Aan de hand van de verschillende bouwstenen zullen de projecten, welke volgens het Slimbouwen concept gerealiseerd worden, uit diverse lagen bestaan. "In essentie gaat het om het ontkoppelen van leidingen van de bouwkundige delen" (Het Living Building Concept, Conceptueel Bouwen of Slimbouwen?, 2007). De flexibiliteit wordt in dit concept verkregen doordat de producten gescheiden worden op basis van hun levensduur en de positionering hiervan. Zo worden bijvoorbeeld de leiding bereikbaar gehouden in de gebruiksfase. Tevens mag de constructie geen obstakel vormen bij latere veranderingen (Slimbouwen, 2010). De verschillende projecten welke volgens het Slimbouwen concept gerealiseerd zijn volgen allemaal FRED. Dit zijn de kernwaarden van Slimbouwen en staan voor Flexibel, Reduceren van de footprint, Efficiëntie en Duurzaamheid.

Flexibiliteit/levensduurbestendig bouwen

Door flexibiliteit in het bouwwerk te integreren door eerder genoemde methodes wordt er ruimte voor verandering en aanpasbaarheid gecreëerd. Door deze flexibiliteit zal de levensduur vergroot worden van het bouwwerk (Slimbouwen, 2010).

Reductie van materiaal en volume

Het reduceren van de totale milieubelasting welke de bouw veroorzaakt kan worden gerealiseerd door veel aandacht te besteden aan het selecteren van lichtere materialen en slanker construeren (Slimbouwen, 2010).

Efficiëntie door industrialisatie van het bouwproces

De industrialisatie van het proces wordt vergroot doordat de leidingen gescheiden worden en installaties een aparte plek in het proces krijgen wordt het industriële proces ondersteund. De industrialisatie zorgt op zijn beurt vervolgens weer voor minder faalkosten, een verhoogde kwaliteit van de producten en een efficiënter bouwproces (Slimbouwen, 2010).

Duurzaamheid

Om een toekomstgerichte visie te hanteren zullen de gebouwen welke vervaardigd zijn volgens het concept Slimbouwen ook duurzaam moeten wezen. Deze duurzaamheid wordt al enigszins verkregen door middel van de flexibiliteit en reductie in materialen en milieubelasting. Nieuwe samenwerkingsverbanden welke in de nabije toekomst zijn zullen moeten zorgen voor een 'zero energy policy' moeten zorgen (Slimbouwen, 2010).

Voorbeeld projecten

Enkele projecten waarbij het Slimbouwen concept al zijn toegepast zijn:

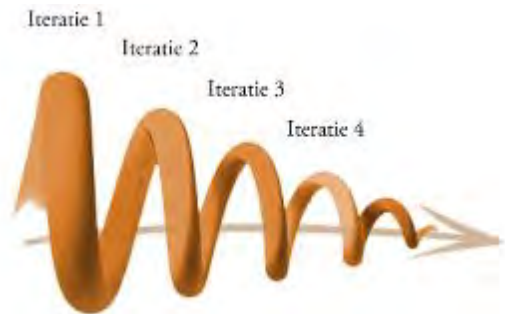
- Kantoorgebouw Solarlux te Nijverdal; oplevering 2010
- Pilotwoning Het Dorp te Arnhem; oplevering 2012
- Venco Campus te Meerheide; oplevering 2012

3.1.2. Industrieel, Flexibel en Demontabel

IFD Bouwen bestaat al enkele jaren. Als sinds 1998 bestaat er een nationaal programma IFD met als doel zoveel mogelijk informatie te verspreiden over IFD Bouwen en uiteindelijk ervoor te zorgen dat dit ook geïmplementeerd werd. Veel partijen in de bouw proberen dit dan ook al jaren toe te passen. Echter, niet iedere partij hoeft hetzelfde te fungeren. De ene partij zal de nadruk meer leggen op het industriële karakter, terwijl de andere partij zich meer richt op het flexibele aspect (Wat is IFD Bouwen, 2004). Zoals de naam het al zegt bevat IFD Bouwen drie wezenlijke hoofdpunten, namelijk industrieel bouwen, flexibel bouwen en demontabel bouwen.

Industrieel bouwen

Bij industrieel bouwen draait het voornamelijk om de vergroting van de efficiëntie van het bouwproces. Dit houdt in dat zowel de efficiëntie van het industrieel produceren van elementen als de assemblage op de bouwplaats zelf vergroot moet worden (Wat is IFD Bouwen, 2004). Om industriële vervaardiging rendabel te maken is het van groot belang om grootschalige productie te verwezenlijken. Om dit doel te bereiken zal er veel gebruik gemaakt worden van standaardisatie in de bouwelementen waardoor repetitie zal optreden. Middels deze standaardisatie zullen de producten steeds verbeteringen ondergaan en zal het proces geoptimaliseerd worden, waardoor een iteratief leerproces optreedt (figuur 6). Dit leerproces heeft een uitermate positieve werking op de producten waardoor de kwaliteit hoog zal zijn en de kosten laag. Door industrieel te fabriceren kan er onder geconditioneerde omstandigheden gewerkt worden waardoor er minder kans is op faalkosten of meerwerk (LEGOLisering van de bouw, 2011). Buiten de productie om zorgt industriële vervaardiging van producten ook voor een grotere efficiëntie op de bouwplaats. Waarbij voorheen sprake was van fabricage is er nu sprake van montage.



Figuur 6; Werking van een iteratief leerproces (leercurve)

Flexibel bouwen

Wanneer men het heeft over flexibel bouwen kan er onderscheid gemaakt worden in twee hoofdzaken, namelijk de aanpasbaarheid van de productie op de wensen van de opdrachtgever en de aanpassingsmogelijkheden na voltooiing van het bouwwerk (Wat is IFD Bouwen, 2004). Het is belangrijk bij flexibel bouwen om een duidelijk onderscheid te maken tussen de levensduur van de verschillende elementen. De constructie zal bijvoorbeeld een langere levensduur hebben dan de afwerking en zal daardoor minder snel worden aangepast/vervangen. Naast de flexibiliteit die aangeboden wordt in de productie is er ook flexibiliteit door variatie. Wanneer er sprake is van industriële fabricage krijgt men te maken met standaard producten, wat kan leiden tot standaard bouwwerken. Om dit te voorkomen is het belangrijk dat er een grote variatie aan keuzemogelijkheden is aan elementen zodat de diversiteit van elementtypes toch uniciteit kan realiseren (Wat is IFD Bouwen, 2004) (LEGOLisering van de bouw, 2011). Dit concept komt sterk overeen met die van de keukenbranche voor particulieren, waarbij uit een vastgesteld aanbod van elementen een keuze kan worden gemaakt en dit tot een uniek resultaat kan leiden.

Demontabel bouwen

Demontabel bouwen en flexibel bouwen zijn nauw met elkaar verbonden. De demontabele eigenschap kan namelijk gezien worden als een vorm van flexibiliteit in de bouw. Het demontabele karakter van een bouwwerk speelt voornamelijk in op het duurzame aspect van bouwwerken. Door demontage kan hergebruik tot op een zo hoog mogelijk niveau toegepast worden. Een belangrijke voorwaarde bij demontabel bouwen is dat de verbindingen tussen de diverse elementen zo gemakkelijk mogelijk gerealiseerd zijn en na realisering van een bouwwerk bereikbaar blijven, waardoor deze zonder overbodige moeite gedemonteerd kunnen worden. Het is van groot belang dat bij deze demontage de omliggende

elementen en de elementen zelf onbeschadigd blijven en zo min mogelijk vervuild worden met andere materialen.

Voorbeeld projecten

Enkele projecten welke als voorbeeld kunnen dienen voor het IFD Bouwen concept zijn:

- Runshopping Center Oosterpoort te Roosendaal
- Slimfit Woningen te Almere
- Flexline Levensloopbestendige Woning te Hengelo
- Provinciehuis te Leuven

In **figuur 7** is het IFD Bouwen concept puntsgewijs verwoord en samengevat voor een nog beter overzicht.

	Karakteristiek	Toelichting
Industrieel	Monteren	Zoveel mogelijk productievoorbereiding in de fabriek, op de bouwplaats alleen monteren, geen improvisatie.
	Projectongebonden productontwikkeling	Herhaalde toepassing van ontwikkelde bouwproducten, hergebruik van kennis en ervaring.
	Weersafhankelijk	De productie gebeurt in ateliers die afgeschermd zijn van weer en wind. Op de werf worden de werken minder gehinderd door het weer.
Flexibel	Keuzevrijheid	Fris in het bouwproces voldoende aandacht voor de keuzevrijheid voor de eerste gebruiker.
	Aanpasbaar	Volgende gebruikers kunnen eenvoudig wijzigingen doorvoeren of nieuwe functies herbergen.
	Ontkoppeld	Onderdelen van een gebouw met een onderling sterk afwijkende gebruikscyclus zijn ontkoppeld.
Demontabel	Herbestemming	Gebouwen kunnen (gedeeltelijk) gedemonteerd worden om ze geschikt te maken voor nieuwe functies.
	Recyclage	Bouwdelen zijn geschikt voor volwaardig hergebruik of bouwonderdelen / materialen zijn recycleerbaar.
	Minder afval	Afval in het bouwproces wordt teruggevoerd, zowel tijdens productieproces, bouwfase als einde levensduur fase.

Figuur 7; Samenvatting IFD Bouwen; bron: IFD Bouwen 2002

3.1.3 Living Building Concept

Dit is een zeer recent gepresenteerd concept door Hennes de Ridder in zijn boek *LEGOLisering*. Het is een concept wat een combinatie en een doorvertaling is van diverse bestaande initiatieven in de bouwsector zoals het Industrieel, Flexibel en Demontabel (IFD) bouwen, Slim Bouwen, Conceptueel Bouwen en de opkomende initiatieven tot echte productontwikkeling van individuele bedrijven (*LEGOLisering van de bouw*, 2011). De Ridder noemt dit het *Living Building Concept*. Hierin spreekt hij over de positieve bijdrage die de bouw ons als mens heeft geleverd, maar ook de negatieve bijdrage die het heeft op de samenleving, wat voortkomt uit de primitieve manier van werken en hoe de bouwsector moet veranderen om dit probleem op te lossen. Ieder gebouw wordt als een uniek object in verschillende delen vervaardigd, waardoor er geen kennis opgebouwd wordt wat betreft efficiëntie en optimalisatie. De grote lijn van het concept is dat de bouw uit duurzaamheidsoverwegingen kan en moet veranderen van een sector die op ambachtelijke wijze maatwerk voor een opdrachtgever maakt in een sector die op industriële wijze maatwerk voor eindgebruikers maakt (*LEGOLisering van de bouw*, 2011). De visie van dit concept is dat “met de nieuwe benadering in de bouw binnen twintig jaar een halvering kan worden bereikt van de waarde die de bouw nu aan de maatschappij en natuur onttrekt, en een verdubbeling van de waarde die door de bouw aan de maatschappij

en natuur wordt toegekend” (LEGOLisering van de bouw, 2011). De industriële fabricage waar de Ridder zo naar verlangt zal er voor zorgen dat er een positieve marktwerking

plaatsvindt waardoor de kwaliteit van de producten hoog wordt en de prijs juist laag. Zoals eerder gezegd in paragraaf 3.1.2. zal er een iteratief leerproces doorlopen worden wat betreft de samenstelling als de fabricage van het product. Wanneer elementen eenmaal industrieel vervaardigd worden zal men moeten parametriseren, wat staat voor het aanbrenge van variatie binnen een vaste structuur (zie paragraaf 3.1.2. ‘Flexibel bouwen’). Hieruit komt sterk naar voren dat het Living Building Concept van Hennes de Ridder een doorvertaling is van het flexibel bouwen uit het IFD concept, echter wat het Living Building Concept juist karakteriseert is dat de klant binnen dit concept altijd de context bepaald, maar nooit het product (net als bij LEGO®).



Figuur 8; Impressie van de simpliciteit van het LEGO® systeem

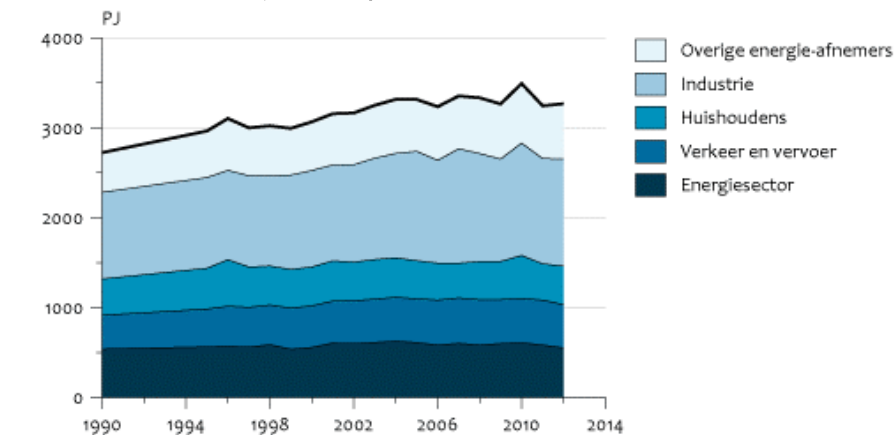
Voorbeeld project

Een project welke gerealiseerd is met behulp van het living building concept is:

- Herbestemming kantoorpand te Nieuwegein; m.m.v. Jutphaas Wonen

4. COHESIE FLEXIBILITEIT EN DUURZAAMHEID

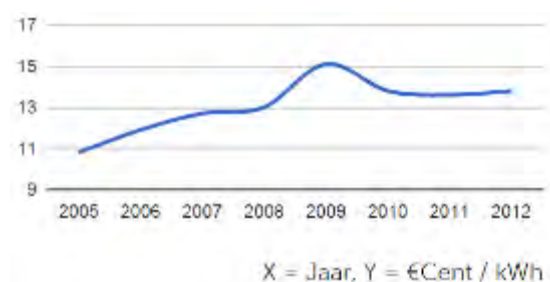
Flexibiliteit is nauw verbonden aan duurzaamheid en zou hier zelfs als ‘tool’ van gezien kunnen worden. Wanneer de flexibiliteit van een bouwsysteem verhoogd wordt kan dit een positieve uitwerking hebben op de duurzaamheid van het gebouw en de omgeving. De reden dat er tegenwoordig zoveel aandacht aan duurzaamheid wordt besteed hangt af van diverse factoren. Er is geconstateerd dat de wereld op een punt is aangekomen waarbij er teveel energie en grondstoffen verbruikt worden en dat er teveel schadelijke stoffen uitgestoten of afgevoerd worden (Waarom is duurzaamheid ook alweer belangrijk?, 2012). Zo raken de fossiele brandstoffen en de grondstoffen van de aarde uitgeput. De vraag is groter dan het aanbod, waardoor de wereldbevolking jaarlijks groeit met 1,1%, terwijl de groei van het bruto nationaal product wel vier maal zo groot is (Waarom is duurzaamheid ook alweer belangrijk?, 2012). Ook het energieverbruik groeit mee met onze industrie, economie en leefwijze (zie figuur 9) (Centraal Bureau voor de Statistiek, 2015).



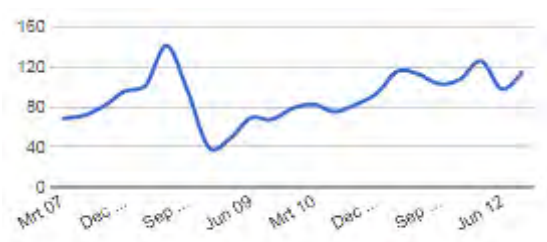
Figuur 9; Energieverbruik naar sector; bron: CBS

4.1 Verduurzaming

Om actie te ondernemen tegen de uitputting van fossiele grondstoffen en de negatieve effecten op het milieu te verminderen is het belangrijk om duurzame oplossingen te implementeren in onze leefwereld. De reden dat duurzaamheid in de Nederlandse bouwsector zo'n grote rol speelt is vanwege de zeer grote milieubelasting van deze sector. Zo is de bouw verantwoordelijk voor 25% van al het wegtransport, 40% van de nationale afvalberg en respectievelijk 50% van alle energieconsumptie en CO₂ emissie (LEGOlisering van de bouw, 2011). De conventionele manier van bouwen zal dus moeten veranderen door implementatie van innovatievere oplossingen. De onttrokken waarde van de bouwsector kan door toepassing van diverse concepten maar liefst gehalveerd worden en de toegevoegde waarde zelfs verdubbelen (LEGOlisering van de bouw, 2011).



Figuur 10; Stijgende leveringsprijs stroom; bron: CBS

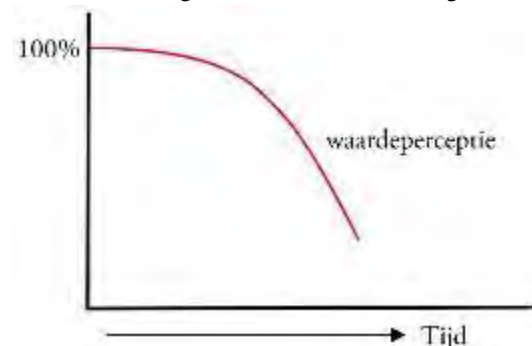


Figuur 11; Stijgende grondstofprijzen; bron: CBS

Verduurzaming wordt al op veel verschillende manieren toegepast in de bouwsector. Zo worden productie- en bouwprocessen efficiënter gemaakt (o.a. LEAN bouwen), maar wordt er ook veel aandacht besteed aan de energieprestatie en levensduur van een bouwwerk. Tegenwoordig wordt er zoveel mogelijk richting het zogenoemde ‘energieneutraal’ gebouwd, wat inhoudt dat het bouwwerk zelf net zoveel energie opwekt als dat het (huishouden) verbruikt, kortom geheel zelfvoorzienend. De reden dat deze vorm van bouwen steeds meer in trek raakt heeft naast de stijging in energieverbruik ook te maken met de stijgende energie- en grondstofprijzen zoals in figuur 10 & 11 zijn weergegeven.

4.2 Flexibiliteit als antwoord op verandering

Een punt waar de bouwsector nog hard aan kan werken, betreft recycling en hergebruik van materialen en componenten van bouwwerken. Dit is echter een probleem wat dieper ligt dan in eerste oogopslag lijkt. Ten grondslag van het probleem ligt de onvermijdelijke ‘verandering’. Deze verandering vindt zowel plaats op persoonlijk niveau als op maatschappelijk niveau. Zo weet Elma Durmisevic in haar proefschrift over *‘Transformable Building Structures’* te melden dat recente trends in de bouw er op wijzen dat de behoefte aan verandering steeds meer toe neemt en dit als gevolg heeft dat de zogenoemde ‘cycles’ van het gebruik van gebouwen steeds korter worden. Een ‘life-cycle’ staat voor de totale cyclus van veranderingen welke een organisme door moet gaan van geboorte tot dood (Collins Cobuild Intermediate Dictionary, 2008). Wanneer we dit vertalen naar een bouwwerk, wordt hiermee geduid op de cyclus van veranderingen (hetzij op functioneel, esthetisch of technisch gebied) van nieuwbouw tot aan de sloop. De reden dat deze ‘life-cycles’ steeds korter worden is dat de waardeperceptie van de gebruikers, omgeving en belanghebbenden af neemt, vanaf de start van de bouwopgave, naarmate tijd toe neemt (zie figuur 12) (LEGOlisering van de bouw, 2011). Volgens het onderzoek van Elma Durmisevic neemt deze waardeperceptie steeds sneller af, waardoor het noodzaak is dat er een oplossing gevonden moet worden om deze juist langer in stand te houden. Wanneer bouwwerken de flexibiliteit bezitten om aangepast te worden aan de steeds veranderende eisen en wensen van gebruikers zal het bouwwerk als geheel een langere ‘life-cycle’ hebben. Hieruit blijkt dat de verhoging van de flexibiliteit van bouwwerken een positieve invloed kan uitoefenen op de duurzaamheid van het bouwwerk zelf.



Figuur 12; Daling waardeperceptie uitgezet t.o.v. tijd

De huidige gebouwen zijn door gebrek aan implementatie van flexibiliteit van een monolithische aard [LEGO], wat dhr. H. de Ridder in zijn boek *‘LEGOlisering’* constateert: “Werkelijk alles zit aan elkaar vast.” Dit gaat niet alleen over materialen op elementair niveau, maar ook over componenten zoals wanden, daken, kozijnen, etc. De aanleiding voor het gebrek aan recycling ligt bij de manier waarop bouwwerken tot op heden vervaardigd zijn. Door de steeds veranderende maatschappij (veranderende economie, techniek, diversiteit in werk en leef patronen en constante migratie van populatie) begint de levensduur van bouwwerken met een monolithische aard een probleem te vormen (Transformable Building Structures, 2006) (LEGOlisering van de bouw, 2011) (Wat is IFD Bouwen, 2004). De bouwwerken zijn er namelijk niet voor gemaakt om mee te veranderen of naar wens te worden aangepast, wat uiteindelijk weer leidt tot de sloop hiervan. Echter, wanneer de bouwwerken gesloopt worden betekent dit nog niet dat deze al aan

sloop toe waren, de technische integriteit van een bouwwerk komt door de veranderende wensen en eisen niet toe aan veroudering (LEGOLisering van de bouw, 2011). Wanneer er dus gesloopt wordt levert dit slechts materialen en componenten op van laagwaardige kwaliteit. In dit geval wordt er juist gesproken van ‘downcycling’ in plaats van recycling.

4.3 Integratie flexibiliteit

Flexibiliteit kan op verschillende manieren in een bouwwerk of bouwsysteem geïmplementeerd worden. Zo kan standaardisatie van elementen, componenten en technische knooppunten de flexibiliteit van een bouwwerk verhogen, maar ook de integratie van demontage en toepassing van de ‘theory of levels’. Om duidelijkheid te verkrijgen over hoe de flexibiliteit van een bouwsysteem verhoogd kan worden door implementatie van deze aspecten zullen deze individueel uit- en toegelicht worden.

4.3.1 Standaardisatie

Bij standaardisatie komt meer kijken dan in eerste instantie lijkt. De belangrijkste redenen om standaardisatie als tool binnen de bouw toe te passen is dat het gebruikt kan worden om het produceren van bouwwerken, elementen of componenten gemakkelijker, efficiënter en duurzamer te maken. Buiten deze redenen om brengt standaardisatie nog meer voordelen met zich mee. Om een beter inzicht te krijgen wat standaardisatie kan betekenen voor de bouw zijn alle voordelen individueel behandeld.

Industrialisatie

Standaardisatie bij een bouwsysteem zorgt er voor dat de elementen, componenten en de relaties tussen elkaar vereenvoudigd zijn en een ‘statisch’ karakter hebben. Dit houdt in dat er geen variabelen meespelen in de fabricage van een elementen of component en de te vervaardigen producten exact volgens tekening/ontwerp worden uitgevoerd waardoor deze nooit van elkaar zullen verschillen. Deze manier van produceren is al langere tijd in gebruik bij andere branches, ondanks dat het voor de bouwsector een relatief nieuw concept is. Wanneer men de bouwsector vergelijkt met andere branches zoals de automobielenindustrie en de vliegtuigindustrie is te zien dat deze zeer achterloopt op de kennis van het industrieel produceren van producten. Wanneer men kijkt naar de productie in hedendaagse autofabrieken kan er geconstateerd worden dat bij de assemblage en productie van elementen en componenten haast geen mens meer ingezet wordt (zie figuur 13). Deze volledig geautomatiseerde fabrieken zijn het product van jarenlang onderzoek en implementatie van standaardisatie bij industrieel fabriceren. Ondanks dat in de bouwsector het bouwwerk het eindproduct zal zijn zoals een auto dit is binnen een autofabriek, zal dit toch nooit geheel overeenkomen. Gezien bouwwerken vaak grotere afmetingen hebben zal het transport van vooraf geassembleerde bouwwerken een probleem vormen. Desalniettemin betekent deze beperking niet dat industrieel produceren niet voor de bouw is weggelegd. De elementen en componenten waar een bouwwerk uit bestaat zijn uitermate geschikt voor industriële prefabricage waarna deze op de bouwplaats slechts nog geassembleerd te hoeven worden.



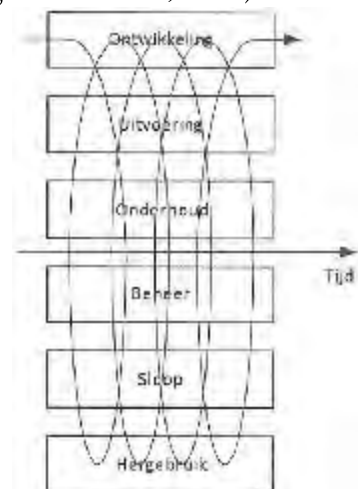
Figuur 13; Volledig geautomatiseerde productiebaan in een autofabriek

Een ander groot voordeel van industrieel produceren is dat er onder zeer constante en gecontroleerde omstandigheden geproduceerd kan worden. Dit betekent dat de kwaliteit van de producten altijd van hoogwaardig niveau is en dat de productie niet meer weersafhankelijk is zoals bij het traditioneel 'gefragmenteerd' vervaardigen van bouwwerken. Hierdoor zullen veel onnodige kosten voorkomen worden welke tegenwoordig nog veel voorkomen. Zo kan er efficiënter geproduceerd worden, zijn er minder faalkosten (vanwege de maatvastheid en gecontroleerde productieomgeving) en zijn de projecten minder weersafhankelijk. Tevens verkleinen deze factoren de kans op uitloop van een project.

Repetitie-effecten

Om als producent de leider in de markt te worden van het product wat geproduceerd wordt, speelt parametriseren van het product een belangrijke rol (LEGOLisering van de bouw, 2011). Parametriseren staat voor het aanbrengen van variatie binnen een vaste structuur. De reden waarom parametrisatie een belangrijk aspect is van een bouwsysteem is dat klanten altijd een waarde blijven hechten aan de uniciteit van een bouwwerk. Doordat er verschillende parameters ontwikkeld worden kan hierop worden ingespeeld. Gezien standaardisatie juist voor een vaste structuur zorgt binnen een bouwwerk of bouwsysteem zal de uniciteit van bouwwerken wegvallen. Dit kan zich vervolgens uiten in een lagere afname van het bouwsysteem (gezien de behoefte aan verandering) (Transformable Building Structures, 2006). De parametrisatie van een bouwwerk of bouwsysteem uit zich in de variëteit van onderdelen en elementen. Dit kan bijvoorbeeld de keuze zijn tussen verschillende soorten gevelafwerkingen of diverse soorten kozijnen. De verschillen worden verwezenlijkt door variatie in de onderdelen en elementen in plaats van het gebruik van accessoires. Variatie op component niveau is mogelijk, echter dient er hierbij rekening te worden gehouden met de invloed die dit kan uitoefenen op de structuur van het bouwsysteem (LEGOLisering van de bouw, 2011). Dit zou eventueel een ongewenst effect kunnen veroorzaken, namelijk het afwijken van de vastgestelde standaarden, wat de complexiteit van de parametrisatie en de industriële fabricage kan verhogen.

Doordat de verschillende parameters exact op de vaste structuur van het systeem of bouwwerk zijn afgesteld kunnen deze parameters (wanneer vooraf aangegeven) direct bij het industrieel fabriceren doorgevoerd worden. Door het vaste karakter van de parameters (net als het systeem of bouwwerk zelf) kan er van elke realisatie geleerd worden gezien er precies bekend is waar de knelpunten zich bevinden. Hierdoor kunnen de parameters individueel aangepast worden, wanneer er zich problemen voordoen, waardoor het product kwalitatief hoogwaardig wordt. Dit betekent dat producenten door middel van het iteratieve proces op den duur producten kunnen leveren voor een concurrerende prijs met een zeer hoge kwaliteitsstandaard.



Figuur 14; Kennisstroom ontwikkeling productmodules; Bron: LEGOLisering H de Ridder

Productiviteit

Standaardisatie staat tevens voor productiviteit. Door middel van het parametriseren van systemen en het industrieel fabriceren van de desbetreffende producten kunnen zowel een hoge effectiviteit als efficiëntie behaald worden, wat vervolgens weer zorgt voor een hoge productiviteit (LEGOLisering van de bouw, 2011). Zoals de Ridder verklaart in zijn methodiek 'LEGOLisering' wordt efficiëntie gedefinieerd als de norminspanning gedeeld door de werkelijke inspanning (de inspanningen worden bepaald door tijd en geld). Wanneer de werkelijke inspanning lager ligt dan de norminspanning dan is er sprake van een hoge efficiëntie.

Bij effectiviteit is het net andersom waardoor de definitie hiervan bepaald wordt door de werkelijke prestatie te delen door de normprestatie. De beoogde productiviteit is vervolgens het product van deze effectiviteit en de efficiëntie (LEGOlisering van de bouw, 2011). Effectiviteit is afhankelijk van het aantal fouten welke zich voor doen in het productieproces. Uiteraard is een (gewenste) effectiviteit van 100% niet reëel, echter voor een gemiddeld bedrijf in volle productie ligt deze waarde tussen de 99% en 100%. De reden waarom deze waarde zo hoog ligt bij industriële productie is omdat er constant een leercurve plaatsvindt waarbij geleerd wordt van fouten, waardoor op den duur onnodige fouten uit het proces 'gefilterd' zijn. In de bouw ontbreekt het vaak aan deze leercurven gezien het eenmalige en unieke karakter van hedendaagse bouwwerken. Wanneer er gestandaardiseerd wordt is het mogelijk om middels industriële fabricage een productiviteit te behalen welke in de traditionele bouw niet haalbaar is (LEGOlisering van de bouw, 2011).

4.3.2 Demontage, recycling & hergebruik

Zoals in paragraaf 4.2 al is behandeld zorgt verandering voor het snelle waardeverlies van bouwwerken. Door het monolithische karakter van bouwwerken is sloop onvermijdelijk wanneer er iets aan het bouwwerk veranderd wordt. Door de lange levensduur van huidige bouwwerken zorgt de snel veranderende omgeving en de behoefte naar verandering voor een snellere veroudering van bouwwerken. Doordat dit effect zich voor doet wordt er op veel verschillende manier geprobeerd de waarde van het bouwwerken juist in stand te houden. Dit gebeurt door verbeteringen, verbouwingen, renovatie en in het ergste geval sloop. Vanwege het eerder genoemde monolithische karakter zal er bij al deze verschillende manieren een vorm van sloop plaatsvinden. Dit zorgt voor veel onnodig afval, gezien de levensduur van de materialen vaak niet eens ten einde is. Wanneer er dan gesloopt wordt zullen er alleen nog maar materialen vrijkomen welke een lage kwaliteit hebben en dus laagwaardig te gebruiken zijn (LEGOlisering van de bouw, 2011). Hieruit blijkt dat er bij de traditionele manier van bouwen (en verbouwen) sprake is van downcycling in plaats van recycling. Nu is recycling een duurzame methode om bepaalde materialen opnieuw te gebruiken, echter hergebruik is een beter alternatief. Dit komt doordat hergebruik in vergelijking met recycling minder energie vraagt (LEGOlisering van de bouw, 2011). De voorwaarde echter bij hergebruik is dat de elementen of componenten waardevol moeten zijn, gezien het anders niet rendabel is deze opnieuw toe te passen. Tevens wordt hergebruik mogelijk gemaakt door een industrieel gefabriceerd en demontabel karakter binnen het systeem. De elementen of componenten welke vervangen dienen te worden, moeten gemakkelijk los te koppelen zijn van het systeem en gemakkelijk bij een ander bouwwerk van hetzelfde systeem toe te passen zijn. Eventueel kunnen deze elementen of componenten gerepareerd of gereviseerd worden om andere gelijkwaardige producten van dienst te zijn.

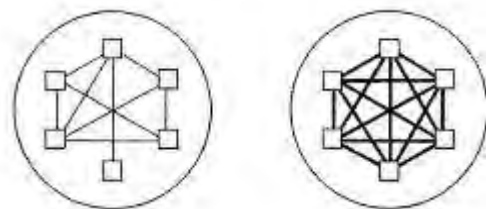
Volgens Durmisevic ligt het probleem van bestaande bouwwerken namelijk in het feit dat deze een verzameling van materialen en systemen zijn voor een specifiek doeleinde. Hierdoor ontstaan er twee verschillende 'life cycles', namelijk één welke gaat over de levensduur en duurzaamheid van materialen en één over de functie die het materiaal, element of component moet vervullen (gebruikscyclus). Steward Brand heeft in een eerder onderzoek deze verschillende cycli omschreven in de "shearing layers of change" (afschuivende lagen van verandering). In figuur 15 is de verdeling van Brand te zien, met bijbehorende vertaling, waarin de traag veranderende niveaus zijn uitgezet tegenover de snel(ler) veranderende niveaus.

The slow time levels represent the elements with: • High durability (60-100 years or more) • High level of flexibility towards spatial and functional changes The fast time levels represent the elements: • With short life cycle (5-60 years) • Elements which are exposed to the change due to the change of the requirements (related to the new user or to the new technical requirement)	De traag veranderende tijd levels vertegenwoordigen de elementen met een: • Hoge duurzaamheid (60-100 jaar of meer) • Hoog level van flexibiliteit naar ruimtelijke en functionele veranderingen De snel veranderende levels vertegenwoordigen de elementen met een: • Korte 'life cycle' (5-60 jaar) • Elementen welke onderhevig zijn aan verandering door de veranderende eisen/wensen (gerelateerd aan de nieuwe gebruiker of de nieuwe technische eisen)
--	---

Figuur 15; "Shearing layers of change" door Steward Brand; Bron: Transformable Building Structures door Elma Durmisevic

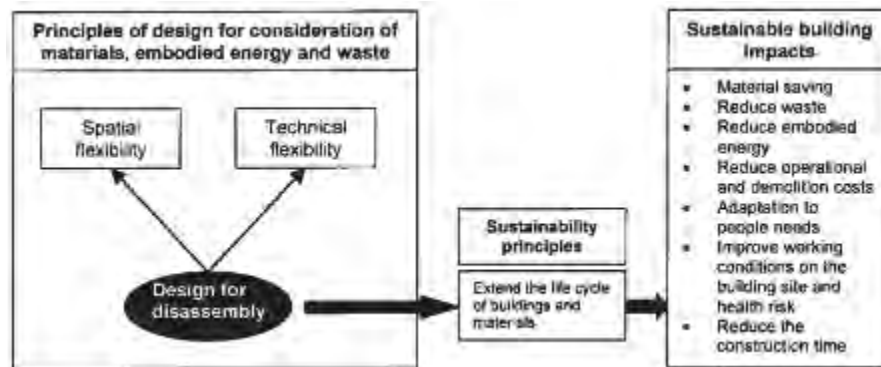
Om gehoor te kunnen geven aan deze verdeling is een hoge mate van demontage vereist. Hierdoor kunnen elementen en componenten eenvoudig vervangen of verplaatst worden wanneer één van de twee cycli ten einde zou zijn gekomen. Hierdoor krijgen de vervaardigde bouwwerken meer de eigenschappen van een systeem dan die van een eenmalig "kunstwerk" (Ridder, 2011). Tevens is het mogelijk om de verdeling van Brand toe te passen doordat de klant juist de context van het systeem bepaald in plaats van de gedetailleerde specificaties. Dit betekent dat de structuur van het systeem vast ligt wat weer een hoge mate van demontage mogelijk maakt. Door middel van de eerder genoemde parametrisatie kan er gehoor worden gegeven aan de wens naar uniciteit in een bouwwerk op elk gewenst moment zonder dat dit nadelige effecten met zich meebrengt ten opzichte van het milieu en de flexibiliteit van het systeem (LEGOlisering van de bouw, 2011). Volgens de Ridder en Durmisevic heeft dit een positief effect op de verschillende 'life cycles', gezien de technische levensduur voorheen langer was dan de werkelijke levensduur van het bouwwerk omdat er vaak gesloopt werd terwijl de technische levensduur van bepaalde elementen en materialen nog niet ten einde was. Door toepassing van deze maatregelen en verdeling wordt voorkomen dat een element ten prooi zou vallen aan sloop, zonder dat alle cycli van een element of component volbracht zijn. Doordat een element pas gerecycled zou worden als alle cycli doorlopen zijn, wordt de totale levensduur van een element of component drastisch verlengt (Transformable Building Structures, 2006).

Het hergebruik van een element of component hangt echter samen met de coherentie binnen het systeem. Om demontage op een juiste manier te implementeren in een systeem is een zwak coherent systeem vereist. Dit betekent elementen en componenten zo eenvoudig mogelijk vervangen of verplaatst kunnen worden zonder dat dit nadelige effecten als gevolg heeft op de omringende objecten. In figuur 16 is een schematische weergave te zien van de coherentie binnen een systeem.



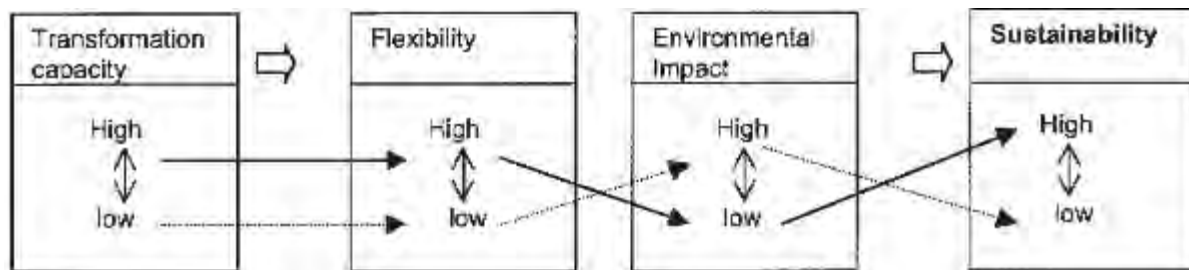
Figuur 16; Schematische weergave zwak coherent systeem (links) en sterk coherent systeem (rechts); Bron: LEGOlisering door H. de Ridder

In onderstaand figuur is samengevat wat de relatie tussen demontage en duurzaam bouwen inhoud en wat hiervan de positieve effecten zijn.



Figuur 17; Relatie tussen demontage en duurzaam bouwen

Tevens is uit het onderzoek van Elma Durmisevic gebleken dat hoe hoger de capaciteit van het bouwwerk ligt om te transformeren, hoe lager de impact is van dit bouwwerk op het milieu en daarom hoe groter de duurzaamheid hiervan (zie figuur 17).



Figuur 18; Cohesie flexibiliteit en duurzaamheid; Bron: Transformable Building Structures door Elma Durmisevic

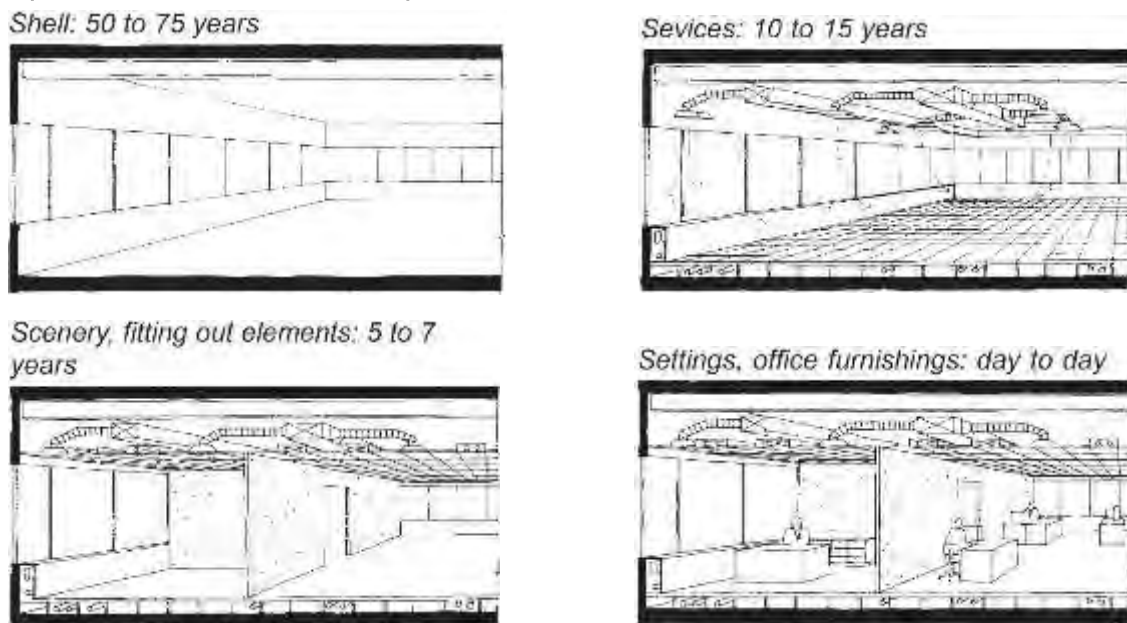
4.3.3 Theory of levels

Men kan stellen dat de 'theory of levels' verder gaat met de "shearing layers of change" van Brand door hier een extra dimensie aan toe te voegen. Zo wordt er naast de gebruikscyclus van de elementen en componenten gekeken naar de afwijkende technische 'life cycle'. Dit zijn twee wezenlijk verschillende dingen gezien de gebruikscyclus afhangt van de frequentie van ruimtelijke veranderingen, terwijl de technische 'life-cycle' afhangt van de duurzaamheid van materialen (Transformable Building Structures, 2006). De theorie kan toegepast worden voor het herkennen van veranderende lagen binnen een constructie. Doordat de verschillende lagen hiermee gedefinieerd kunnen worden, kan er een hiërarchie samengesteld worden van de diverse levels welke zich binnen de constructie bevinden. Een bouwwerk bevat namelijk snel veranderende levels en traag veranderende levels. Verschillende personen hebben deze levels gedefinieerd binnen de 'theory of levels' zoals Habraken met zijn 'control/decision making' levels en de functionaliteit levels om functies met verschillende veranderingssnelheden te herkennen van Francis Duffy en Steward Brand.

Wat vaak wordt aangenomen binnen de 'theory of levels' is dat een level dominant kan zijn over een ander level. Deze dominantie wordt aangenomen door de veranderingssnelheid van die levels. Zoals Elma in haar onderzoek stelt: "Hoe dynamisch een systeem is, wordt bepaald door de trage componenten". Met haar onderzoek biedt Elma een additionele kijk op constructies door levels van technische samenstelling te creëren die zowel de functionele als materiele bouw levels vertegenwoordigen. Bij analyses van bouwwerken kunnen deze levels helpen verschillende materialen van elkaar te scheiden welke onderling verschillende functionele en technische 'life cycles' hebben (Transformable Building Structures, 2006). Vanuit deze verschillende 'life cycles' kan gesteld worden dat snel veranderende levels de sloop uitlokken van trager veranderende levels. Zoals eerder genoemd kan

dit betekenen dat bepaalde materialen onnodig ten prooi vallen aan sloop vanwege de sterke onderlinge cohesie (paragraaf 4.3.2). Volgens Elma kan er gesteld worden dat de ultieme taak van ontwerpen voor demontage het reduceren van onderlinge dominantie tussen functionele en fysieke levels binnen een constructie is. Wanneer de onderlinge dominantie minimaal zou zijn, zouden de elementen allemaal praktisch dezelfde levensduur hebben, waardoor onnodige sloop vermeden wordt.

Duffy en Brand hebben een benadering gecreëerd om veranderende levels in een bouwwerk te systematiseren. Zij stellen dat de gebruikscyclus, van de verschillende componenten waar een bouwwerk uit opgebouwd is, gevolgd toonaangevend moet zijn voor de systematisering van een gebouw. Tijdens een onderzoek van Duffy naar de aard van veranderingen binnen kantoorgebouwen, definieerde hij deze bouwwerken middels 4 verschillende lagen, namelijk: “Shell, Services, Scenery en Set”, oftewel de 4 S'en (zie figuur 19) (Transformable Building Structures, 2006).

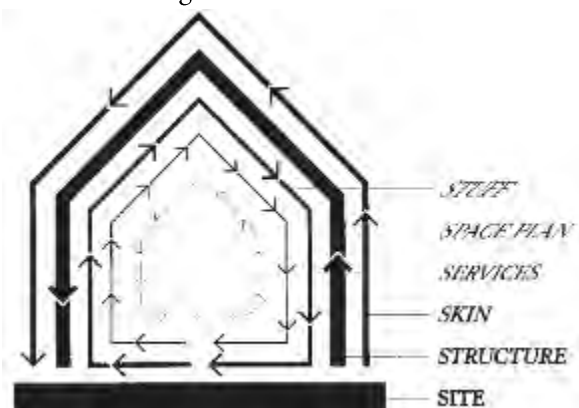


Figuur 29; De verschillende lagen opgesteld door Francis Duffy; Bron: Transformable Building Structures door Elma Durmisevic

Toelichting figuur

- Shell staat voor de hoofddraagconstructie van het gebouw en heeft een gemiddelde levensduur van 50-75 jaar.
- Services zijn de installaties zoals bekabeling, leidingen, ventilatie, etc. De gemiddelde levensduur hiervoor staat op 15-20 jaar.
- Scenery is de afwerking waarvan de gemiddelde levensduur tussen de 5 en 7 jaar staat.
- Set is het interieur welke geplaatst en verplaatst wordt door de gebruikers in een kwestie van weken of maanden.

Als toevoeging op de 4 S'en van Duffy, heeft Brand een ander model opgesteld voor systematisering van levels. Dit model bestaat uit: “Site, structure, skin, services, space plan en stuff” (wat gezien zou kunnen worden als de 6 S'en van Brand). In figuur 20 is de onderlinge verhouding van deze lagen schematisch in de vorm van een bouwwerk weergegeven waaruit tevens aan de dikte van de lijnen te zien is wat de dominantie van deze lagen is.



Figuur 20; Model voor verschillende lagen door Steward Brand; Bron: Transformable Building Structures door Elma Durmisevic

Toelichting figuur

- Site staat in dit model voor de stedelijke positionering (dit is het perceel waar het bouwwerk op staat). Volgens Duffy en Brand is het perceel eeuwig.
- Structure staat voor de fundatie en de dragende elementen, welke gemiddeld tussen de 30 en 300 jaar mee gaan
- Skin is de afwerking van het exterieur inclusief de daken en façades. Voor deze afwerking staat een levensduur van grofweg 20 jaar.
- Services omvat alle installaties zoals verwarming, ventilatie, elektriciteitsbedrading, etc. De gestelde levensduur hiervan ligt volgens Brand tussen de 7 en 15 jaar.
- Space plan is de lay-out van het interieur, inclusief verticale scheidingen, deuren, plafonds en vloeren. Een 'commerciële' ruimte kan volgens Brand iedere 3 jaar veranderen.
- Stuff staat voor het meubilair dat dagelijks, wekelijks of maandelijks verplaatst wordt.

De hierboven genoemde modellen benaderen de transformatie van bouwwerken slechts uit één dimensie en benadrukken dat demontage noodzakelijk is gezien de verschillende elementen en componenten allen een specifieke 'life cycle' hebben. Echter, naast deze genoemde dimensie bestaat een tweede, namelijk die van de technische 'life cycles'. Zo geeft Elma een voorbeeld in haar onderzoek van een façade welke een afwijkende functionele 'life cycle' kan hebben ten opzichte van de technische 'life cycle' van dit element. De façade kan opgebouwd uit zijn diverse materialen waarvan de technische 'life cycles' kunnen variëren tussen de 10 en 100 jaar, terwijl de functionele 'life cycle' van dit totale element slechts 20 jaar kan bedragen. Doordat er aanzienlijk verschil plaatsvindt tussen de functionele en technische 'life cycles' stelt Elma dat de façades de mogelijkheid moeten hebben om onafhankelijk van het bouwwerk te zijn. Hierdoor zal de functionele 'life cycle' niet meer interfereren met de technische 'life cycle', waardoor de materialen optimaal tot hun recht komen. Vanwege het verschil in duurzaamheid van materialen stelt Elma ook dat de schikking hiervan binnen een component of element als een onafhankelijk deel gezien moeten worden. Daardoor zal de transformatie van bouwwerken en de onafhankelijkheid van componenten hiervan niet meer afhangen van de assemblage en de gebruikscyclus (Transformable Building Structures, 2006). Door deze methode te handhaven zal er een systematisering van de materialen plaatsvinden waarbij de nadruk ligt op de gewenste functionaliteit en op welke wijze het gearrangeerd is. Dit is tevens het probleem bij ontwerpen voor demontage volgens Elma gezien zij in haar onderzoek vermeldt: *“De specificatie van materialen en hoe deze zijn gearrangeerd binnen de technische samenstelling van een gebouw, welke goed is voor de transformatie capaciteit van het gebouw en de recycling van materialen, is het dominante probleem in ontwerpen voor demontage”*.

4.4 Conclusie

Om gehoor te geven aan de benodigde verduurzaming van de bouwsector, is het van groot belang om de focus te leggen op flexibiliteit bij de ontwikkeling van nieuwe bouwwerken. Zoals eerder genoemd kan dit op veel verschillende manieren geïmplementeerd worden. Al deze aspecten geven zowel individueel als collectief een duurzame impuls aan het te ontwikkelen bouwwerk en daarmee indirect aan de bouwsector. Door deze methodes toe te passen zal er niet alleen op veel verschillende aspecten bespaard worden (zoals materialen, kosten, tijd, etc.) maar zal tevens de levensduur van ieder element, component en materiaal optimaal benut worden. Om een verhoogde flexibiliteit binnen het SuperLight 2030 bouwsysteem te verwezenlijken betekent dit dat er tevens aandacht besteedt moet worden aan het arrangeren van materialen op levensduur binnen de te ontwikkelen producten. Hierdoor kunnen de componenten de maximale levensduur benutten.

5. SUPERLIGHT 2030

Om een goede terugkoppeling van de kennis op de casus in het onderzoek te verwezenlijken is het noodzaak om eerst duidelijkheid te creëren omtrent het SuperLight 2030 systeem. Architectuurbureau Sluijmer & van Leeuwen is al enkele jaren bezig geweest met het ontwikkelen en is momenteel bezig met het verfijnen en productie gereed maken van het bouwsysteem. Er is al reeds een bouwvergunning gegeven voor het prototype om gebouwd te worden op het KubusEiland te Utrecht, echter er zijn nog veel technische uitdagingen binnen het systeem.

5.2 Prototype

Om de praktijk te testen welke achter de theorie ligt, willen dhr. H. Sluijmer en W. van Riet Paap een prototype maken van het SuperLight 2030 bouwsysteem. Hiermee kan gezien laten worden wat de diverse uitwerkingmogelijkheden zijn wat het SuperLight 2030 bouwsysteem met zich mee brengt en kan direct gekeken worden hoe de assemblage zich in de praktijk gedraagt. Voor het prototype is een bouwvergunning aangevraagd in februari 2014 welke inmiddels verleend is. Wanneer een bouwsysteem voor het eerst in de praktijk uitgevoerd wordt, is het logisch dat er nog tegen enkele kinderziektes/beperkingen aangelopen worden, waardoor het van groot belang is dat het getest wordt bij een prototype. Dit prototype zal fungeren als het (nieuwe) hoofdkantoor SuperLight 2030, echter het staat ook te koop voor particulieren. Het is puur gebaseerd om te laten zien aan particulieren waar het bouwsysteem toe in staat is en om te bewijzen, zoals dhr. H. Sluijmer altijd aangeeft, dat er geen lelijk gebouw te maken is met het SuperLight 2030 bouwsysteem.

5.2.1 Locatie

Zoals eerder vermeld zal het prototype vervaardigd worden op het KubusEiland te Utrecht (rood ingevuld op figuur 21). Dit zogenoemde eiland ligt in het westen ten opzichte van het centrum van Utrecht en heeft een directe ontsluiting met de A2 en station Utrecht Terwijde. Het is een bijzonder kavel-project waarbij 45 woningen op een eiland geplaatst zullen worden, welke aan specifieke eisen moeten voldoen. Het project verkrijgt zijn unieke status door de volgende eisen:



Figuur 21; KubusEiland te Utrecht (rood ingevuld)

- De kubusvorm van alle woningen. De woningen krijgen een afmeting tussen de 9x9x9 tot 10x10x10 meter. Er komen in totaal 8 twee-onder-één dak woningen die gezamenlijk 12x12x12 meter zijn.
- De kavels liggen op een eiland, omgeven door water. Er is één toegangsbrug naar het eiland.
- Op het eiland treft u hoogteverschil aan tussen de kavels en de weg, wat zorgt voor extra privacy.
- Naast de privétuinen direct bij de woningen, bezitten de bewoners gezamenlijk een centraal gelegen binnentuin. De bewoners mogen zelf de inrichting bepalen.
- De kavels variëren van 320 m² tot 810 m² en van € 214.500 tot € 403.500 incl. BTW.



Figuur 22; concept diverse SuperLight woningen op het KubusEiland; Bron: afstudeeronderzoek dhr. W. Disseldorp

Vanwege het kleine animo voor de kavels op het KubusEiland heeft Architectuurbureau Sluijmer & van Leeuwen de mogelijkheid gekregen van de gemeente Utrecht om een kavel ter beschikking te krijgen voor het symbolische bedrag van €1,-. Tevens heeft de gemeente Utrecht toegezegd dat zij nog 5 kavels vrij zouden geven voor variaties op het prototype, wanneer het eerste prototype een succes is. In onderstaande figuren is weergegeven waar het KubusEiland zich exact bevindt ten opzichte van het centrum van Utrecht en wat de kavelverdeling op het eiland zelf is.



Figuur 23; Locatie KubusEiland ten opzichte van Utrecht Centraal



Figuur 24; Kavelverdeling KubusEiland

5.2.2 Ontwerp

Het ontwerp bestaat uit een samenkomst van twee rechthoekige volumes, welke haaks op elkaar geplaatst zijn, wat tot stand is gekomen gezien het gebouw de weergave van een kubus moet verwezenlijken (zie eisen van KubusEiland voor nieuwbouw). Ieder volume staat voor een verdieping, waardoor er een overstek gevormd wordt wat als carport kan functioneren (alles dient zich volgens de eisen van het KubusEiland binnen de kubus van 10x10x10 te bevinden). Echter de gemeente Utrecht was nog



Figuur 25; Ontwerp prototype KubusEiland

niet geheel content met het ontwerp van het SuperLight 2030 prototype, waardoor er enkele aanpassingen gedaan moesten worden. De gemeente vond dat er in het ontwerp niet duidelijk genoeg naar voren kwam dat het een kubus betreft. Vervolgens is er voor gekozen om een stalen frame, vervaardigd van stalen extrusie profielen, op en om het bouwwerk te plaatsen wat de ribben van een kubus vormt, waardoor duidelijk wordt dat de rechthoekige volumes geëxtraheerd zijn uit- en hun oorsprong vinden in de kubus vorm (zie figuur 25).

5.3 Technische specificaties systeem

5.3.1 Fundering

Als fundering voor het SuperLight 2030 bouwsysteem is er gekozen voor een zeer flexibele lichtgewicht fundering. Het voordeel van SuperLight is dat het een bouwsysteem is wat relatief gezien licht van gewicht is. Dit betekent dat er voor andere funderingsmogelijkheden gekozen kan worden dan bij traditionele bouw. De fundering in kwestie zijn de schroefpalen van de firma Krinner. Dit zijn stalen palen (met een beperkte lengte) welke de grond in worden geboord. Dit betekent dat wanneer het gebouw gedemonteerd wordt voor eventuele verplaatsing de funderingspalen simpel weer uit de grond geschroefd kunnen worden en zodanig de mogelijkheid hebben om mee te verplaatsen. In figuur 26 is te zien hoe de schroefpalen als fundering voor een lichtgewicht woning gebruikt kunnen worden. Het nadeel van de toegepaste schroefpalen is dat tot op heden de palen nog niet beschikbaar zijn met een lengte groter dan 3 meter. Dit betekent dat de gewenste lengte (uit het Sonderingsrapport blijkt dat op het KubusEiland een grotere lengte nodig is) nog niet gecertificeerd is. Krinner heeft echter bekend gemaakt dat zij hier mee bezig zijn en dat er al succesvolle testen gedaan zijn met palen in een grotere diepte.



Figuur 26; Voorbeeld woningen met Krinner schroefpalen toegepast als fundering



Figuur 27; Voorbeelden Krinner schroefpaal

5.3.2 Panelen

Het SuperLight 2030 bouwsysteem is een samenstelling van slim ontworpen panelen welke precies op elkaar aansluiten middels een stalen koppelprofiel en welke door een boutverbinding aan elkaar gekoppeld kunnen worden. De panelen van SuperLight hebben vaste maten en zijn daardoor uitermate goed geschikt voor prefabricatie. Binnen het systeem hebben alle paneeltypes dezelfde afwerking en samenstelling, namelijk EPS

(geëxpandeerd polystyreen) waarop aluminium aan beide zijden verlijmd is met PU-lijm (polyurethaanhars). Het onderscheid tussen de panelen kan gemaakt worden door te kijken naar de functie, zo zijn er vloerpanelen (welke tevens als dak fungeren) en gevelpanelen. Binnen deze groeperingen bevinden zich ook weer subtypes door afwijkende maten, sparingen of de plaatsing van de koppelprofielen op de panelen. Verder is de hoogte van de gevelpanelen bij ieder paneel binnen dit type hetzelfde, namelijk 2800mm (incl. 1mm stelruimte aan onder- en bovenkant). Dit komt ook voor bij de vloerpanelen, echter dit is dan de breedte en de lengte van de panelen (een vloerpaneel heeft een lengte van 6000mm en een breedte van 1500mm, beide zijn incl. 2mm stelruimte). De enige universele maat welke voorkomt bij elk type en subtype is de dikte van het paneel wat 300mm bevat incl. 2mm stelruimte. In onderstaand overzicht staan de diverse paneeltypes vermeld met de bijbehorende subtypes.

Gevelpanelen ¹ :	Vloerpanelen:
1200	V 6000
1200L ²	VT 6000
1200R ³	
1500	*deze panelen kunnen voorkomen met verschillende afwerkingen, namelijk:
1500L	K1 K1,L1 K1,L2 K1,L1,L2 K2 K2,L2 K2,L1 K2,L1,L2 K1,K2
1500R	K1,K2,L1 K1,K2,L2 ⁵
1500LR ⁴	

¹: Al deze panelen kunnen ook weer variëren doordat er een kozijn aan de linker- of rechterzijde geplaatst worden
²: L staat voor afwerking met koppelprofielen aan de linkerzijde van het paneel
³: R staat voor afwerking met koppelprofielen aan de rechterzijde van het paneel
⁴: LR staat voor afwerking met koppelprofielen aan de linker- en rechterzijde van het paneel
⁵: K1/2 staat voor Kopse kant 1 of 2, L1/2 staat voor langszijde 1 of 2, deze becijfering geeft aan welke kant wordt afgewerkt met koppelprofielen

5.3.3 Kozijnen en plaatsing hiervan in de panelen

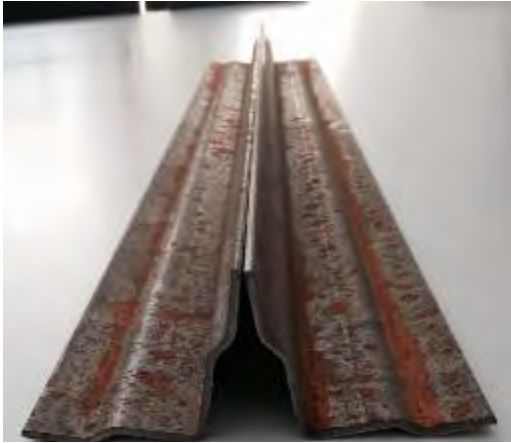
De kozijnen die toegepast worden in het SuperLight prototype is de Reynaers CS77 serie uit de Reynaers aluminium systemen. Vanwege de computervloeren welke worden toegepast zullen de kozijnen geplaatst worden op een stelkozijn van 80 tot 90mm hoog. De kozijnen welke draaiende delen bevatten zullen echter hoger geplaatst worden gezien deze anders niet open kunnen in verband met de hoogte van de computervloer.



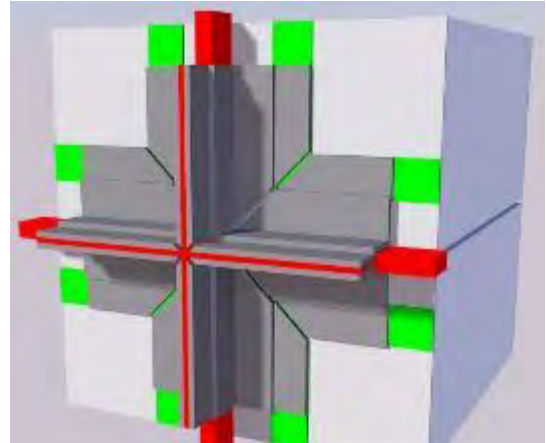
Figuur 28; Reynaers CS 77 kozijn

5.3.4 Koppelprofielen

Om de panelen te koppelen aan elkaar en hierdoor een stijf geheel te vormen, worden de panelen aan elkaar bevestigd door middel van koppelprofielen. De profielen zijn geplaatst rondom de randen van de panelen en worden via een boutverbinding aan elkaar bevestigd. Het koppelprofiel is een stalen extrusie profiel in een 'L' vorm (zie figuur 29). In de koppelprofielen wordt tevens de lucht- en waterdichting verzekerd middels een nano-geïmpregneerde compriband. Doordat de profielen strak tegen elkaar aan gedrukt worden door de boutverbinding zal de nano-geïmpregneerde compriband strak tussen de profielen gedrukt worden waardoor dit lucht- en waterdicht wordt. De profielen hebben overigens een afmeting van 60x60x4mm waarbij de lengte verschilt gezien de positionering van het profiel (lengte of breedte op paneel).



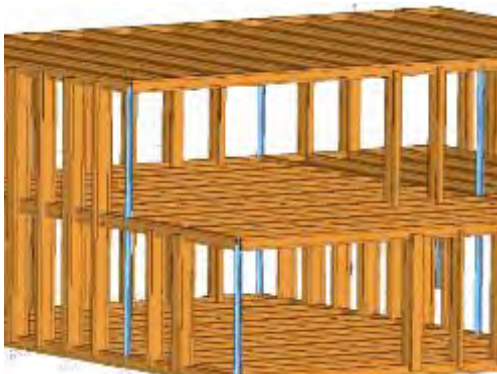
Figuur 29; Stalen extrusie profielen (koppelprofielen)



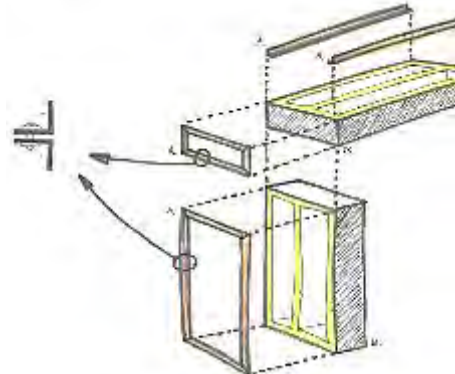
Figuur 303; 3D weergave knooppunt met koppelprofielen

5.3.5 Constructie

In eerste instantie zouden de panelen geheel bestaan uit EPS met daarop aluminium verlijmd en aan de zijkanten de koppelprofielen verlijmd. De stabiliteit zou volledig door de panelen geleverd worden, echter had de gemeente hier zo haar twijfels over of dit te allen tijde zou voldoen (bijvoorbeeld bij geval van brand). Hierdoor wilde de gemeente maatregelen zien wat de constructie ten positieve zou beïnvloeden en dus 'sterker' zou maken. Om dit probleem op te lossen is er gekozen voor een eenvoudig houten raamwerk binnen in de panelen. Hierdoor nemen de panelen in gewicht iets toe, echter de stabiliteit welke de panelen kunnen leveren is groter.



Figuur 31; Constructie model



Figuur 32; Schematische weergave houten raamwerk in de panelen

Doordat ieder paneel (inclusief de vloerpanelen) een houten raamwerk bevat kan de constructie berekend worden met een houten model als zijnde houtskeletbouw (zie figuur 31). Gezien het aluminium rondom het hele paneel verlijmd is aan de inhoud resulteert dit in een stijf geheel wat er voor zorgt dat er een juiste schijfwerking in de constructie plaats vindt. Op de plekken waar panelen vervangen zijn door kozijnen, bevindt zich aan de boven- en onderzijde van de sparing in de gevel een koppelprofiel wat als trekstang fungeert en zodoende de krachten afvoert naar aangrenzende panelen.

3.6 Duurzaamheid en flexibiliteit

Wat betreft duurzaamheid qua materialen is SuperLight 2030 geen vooroplopend systeem. De vervaardiging van het EPS vereist namelijk de verwerking van aardolie en bij het produceren van aluminium is veel energie benodigd. De duurzaamheid, en daarmee ook meteen de flexibiliteit, zit bij het systeem in de plaatsing van de panelen. De panelen worden geprefabriceerd aangeleverd en kunnen eenvoudig bevestigd worden, dit betekent ook dat deze weer eenvoudig verwijderd of vervangen kunnen worden. De panelen krijgen hierdoor een lange levenscyclus waardoor het geheel weer duurzaam uitvalt. Het SuperLight systeem stelt in staat om zonder al te veel moeite het bouwwerk naar wens samen te stellen en te veranderen.

6. SUPERLIGHT EN FLEXIBILITEIT

Gezien het SuperLight 2030 bouwsysteem van zichzelf al gericht is op een hoog niveau flexibiliteit, komt het systeem goed in aanmerking om een flexibele oplossing te creëren voor resterende oplossingen. Hierdoor zal het systeem een maximale flexibiliteit behalen waardoor het een perfecte uitwerking van de visie zal worden. Om dit te verwezenlijken zal er aandacht besteedt moeten worden aan de elementen, componenten en technische knooppunten welke hier nog niet voldoende op aangepast zijn. Zo zijn er enkele complicaties binnen het bouwsysteem welke nog niet stroken met de visie van het SuperLight 2030 bouwsysteem en waarbij flexibiliteit dus praktisch niet aanwezig is. Zoals in eerdere hoofdstukken besproken is, kan flexibiliteit zich op veel verschillende manieren kenmerken binnen een bouwsysteem. Wanneer er dus naar een oplossing gezocht wordt is het van belang dat zoveel mogelijk van deze aspecten geïmplementeerd worden om zekerheid te creëren omtrent de integratie van flexibiliteit in de oplossing.

6.1 Inventarisatie

Om het SuperLight 2030 bouwsysteem flexibeler te maken moet er eerst bepaald worden welke elementen, componenten of technische knooppunten tot op heden de flexibiliteit van het systeem belemmeren. Na deze inventarisatie zal er een keuze gemaakt worden uit de verschillende opties deze uit te werken en te flexibiliseren. In onderstaande opsomming staan de elementen genoemd die op dit moment nog flexibilisering vereisen voor een juiste verwerking binnen het SuperLight 2030 bouwsysteem.

- Fundering
- Nutsaansluiting
- Binnenwanden
- Gevelafwerking
- Installaties
- Verlaagd plafond

6.1.1 Fundering

Normaliter wordt een bouwwerk zodanig bevestigd aan de fundering dat deze onafscheidelijk worden. Traditioneel gebouwde bouwwerken zijn er namelijk niet op ingesteld om verderop in de 'life cycle' gedemonteerd en eventueel verplaatst te worden. Vanwege het gebrek aan dit soort flexibiliteit in de traditionele bouw zijn er weinig tot geen oplossingen of opties om de fundering zodanig met het bouwwerk te koppelen dat dit wel mogelijk wordt.

6.1.2 Nutsaansluiting

De nutsaansluiting is altijd een vast gegeven. Dit zijn leidingen welke van buitenaf de woning moeten binnen dringen om de woning aan te sluiten op het gas, water en elektra. Doordat hierbij altijd gebruik wordt gemaakt van standaard leidingen is het niet mogelijk om deze eenvoudig af te sluiten en los te koppelen. Dit maakt demontage onnodig moeizaam en staat hiermee de flexibiliteit van het systeem in de weg

6.1.3 Binnenwanden

Net als bij de andere elementen van het SuperLight systeem moeten de binnenwanden geplaatst, veranderd en vervangen kunnen worden naar wens. De binnenwanden mogen bij plaatsing geen permanente schade aan de SuperLight panelen aanrichten gezien deze later een andere functie kunnen vervullen (hierbij kan er gedacht worden aan vloerpanelen welke tevens als dak toegepast worden). Desondanks het feit dat de binnenwanden slechts beperkt bevestigd kunnen worden aan de binnenzijde van de SuperLight panelen, moeten deze wel voldoende stabiliteit bieden.

6.1.4 Gevelafwerking

De gevelafwerking moet naar wens aangepast kunnen worden wanneer daar behoefte aan is. Tevens worden de panelen geleverd zonder gevelafwerking en moet dit slechts tot een optie behoren (geen gevelafwerking is ook een optie). Indien de gevelafwerking bevestigd zou worden aan het SuperLight paneel moet dit er ook weer gemakkelijk afgehaald kunnen worden. Tevens mogen er geen veranderingen plaatsvinden in de opbouw/structuur van de SuperLight panelen.

6.1.5 Installaties

Gezien de installaties later aangebracht worden dan de SuperLight panelen vormen deze een probleem wanneer het bouwwerk gedemonteerd moet worden. In dit geval zouden bij demontage eerst alle installaties en leidingen verwijderd moeten worden (welke vaak situatie afhankelijk geplaatst zijn) waarna het bouwwerk pas gedemonteerd kan worden. Tevens is er slechts een kleine kans dat diezelfde installaties weer opnieuw toegepast kunnen worden.

6.1.6 Verlaagd plafond

Een verlaagd plafond is noodzakelijk gezien hier vaak armaturen en dergelijke objecten aan bevestigd worden. Indien er geen verlaagd plafond toegepast zou worden, zou men dit moeten doen aan de SuperLight panelen, wat echter permanente schade met zich meebrengt. Wanneer er echter een verlaagd plafond toegepast wordt, doet er zich hetzelfde probleem voor als bij de binnenwanden. Voor een hoog demontage gehalte moet het dus mogelijk zijn om het geplaatste verlaagd plafond simpel te verwijderen en eventueel opnieuw toe te passen.

6.1.7 Keuze

Gezien er voor de realisatie van het SuperLight prototype slechts een beperkte tijd beschikbaar was, had architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen er het meeste belang bij dat de *gevelafwerking* en de *fundering* uitgewerkt werden. Dit gezien het niet zeker was hoe lang het prototype er zou staan en zij een hoge esthetische waarde willen creëren bij het prototype.

6.2 Criteria

Om de te ontwikkelen systemen zo goed mogelijk af te stellen op de visie en de technische kwaliteiten/aspecten van het SuperLight 2030 systeem, is er bepaalde criteria opgesteld binnen welke kaders de producten moet vallen. Door het kader vooraf op te stellen wordt voorkomen dat deze achteraf afbraak doen aan het systeem of dat het niet compatibel is met de technische aspecten van het SuperLight 2030 systeem. De criteria zijn ontstaan door de verschillende aspecten van flexibiliteit individueel te benaderen. De criteria waar de producten aan moeten voldoen luiden als volgt:

6.2.1 Industriële fabricage

Het product moet een maatvastheid bevatten waardoor het op industrieel niveau geproduceerd kan worden. Dit houdt in dat parametrisatie niet mag zorgen voor verschillende afmetingen binnen het product. Ongeacht de verschillende varianten moet het product een vaste afmeting hebben welke exact is afgestemd op de maten van het SuperLight bouwsysteem waar het product mee in aanraking komt (wat per product kan verschillen, gezien dit situatie afhankelijk is). De reden hiervoor is dat het product op ieder SuperLight bouwwerk toegepast moet kunnen worden zonder verandering te brengen in de samenstelling van het SuperLight bouwsysteem. Hierdoor kan er geconstateerd worden dat er door middel van standaardisatie voor gezorgd moet worden dat het product universeel gemaakt moet worden. Dit moet er voor zorgen dat het product toepasbaar is op alle mogelijke situaties (waar het voor ontwikkeld is) zonder dat er individuele/specifieke aanpassingen doorgevoerd hoeven te worden.

6.2.2 Assemblage & demontage

Met het oog op demontage moet het te ontwikkelen product gemakkelijk te demonteren zijn voor vervanging of verplaatsing. Dat de aansluiting/bevestiging van het product op het SuperLight bouwsysteem hierbij een grote rol spelen is overduidelijk, echter buiten de manier van bevestiging om, moet hierbij tevens rekening gehouden worden met het totaal gewicht van het paneel. Wanneer het product te zwaar zouden zijn, zou dit de geschiktheid voor demontage aanzienlijk verminderen. Een ander belangrijk aandachtspunt om de flexibiliteit te verhogen is dat, wanneer de producten een esthetische functie vervullen, er de mogelijkheid moet zijn dit zonder hulpmiddelen te kunnen die de functie (tijdelijk) moeten overnemen. Wanneer dit niet zo zou zijn, dan zou dat ten koste gaan van de demontage mogelijkheden. Om demontage dus zo eenvoudig mogelijk te maken moet ervoor gezorgd worden dat al het benodigde materieel om het product te koppelen en ontkoppelen van het SuperLight bouwsysteem geïntegreerd is in het product. Hierdoor kan het product altijd bevestigd en ontkoppeld worden wanneer daar vraag naar is.

6.2.3 Levensduur

Wanneer er meer dan één materiaalsoort toegepast wordt binnen het product is het belangrijk om rekening te houden met de verschillende levensduren van deze materialen. Om een zo duurzaam mogelijk product te ontwikkelen zal er bij vervaardiging rekening gehouden moeten worden met deze verschillende levensduren. Dit kan door de assemblage/samenstelling van het product aan te passen zodat het materiaal met de kortste levensduur het eenvoudigst vervangen kan worden. Wanneer het product een lange tijd mee zou gaan, kunnen eenvoudig de specifieke onderdelen met een kortere levensduur vervangen worden om de totale levensduur van het product te verhogen. Hierdoor wordt de totale levensduur van het product aanzienlijk verhoogd.

6.2.4 Recycling

Om recycling, aan het einde van de 'life cycle' of gebruikscyclus van het product, in acht te nemen bij de ontwikkeling is het belangrijk dat er gelet wordt op de diversiteit aan materialen welke worden toegepast. Dit gezien het product lastiger verwerkt kan worden voor recycling wanneer het een groot scala aan materialen bevat. Het is dus belangrijk dat materialen gecombineerd worden voor verschillende functies, zodat dit het totaal aan toegepaste materialen verlaagd. Wanneer het echter onvermijdelijk is om meerdere materialen toe te passen dan dienen deze zo eenvoudig mogelijk bevestigd te worden.

6.2.5 Opdrachtgever

Vanuit de opdrachtgever Sluijmer en van Leeuwen is ook een eis gesteld met betrekking tot het SuperLight bouwsysteem, namelijk dat de SuperLight panelen onaangetast moeten blijven ongeacht het product. In verband met de industriële productie, het hergebruik en de veelzijdige toepassing van de SuperLight panelen, mag er niets veranderd worden aan het systeem. Zo mogen er geen gaten geboord worden of elementen of objecten bevestigd worden aan de panelen wat sporen achterlaat.

6.2.5 Conclusie

Om duidelijke kaders te creëren waar de producten aan moeten voldoen zijn bovenstaande criteria omgevormd tot een lijst met zogenoemde 'ontwerpregels' waar het product uiteindelijk aan getest kan worden. Door deze test uit te voeren kan er gekeken worden of het desbetreffende product de theoretische doelstelling heeft behaald.

Industriële fabricage

1. Parametrisatie mag geen verschil veroorzaken in de maatvoering van het product.
2. De afmetingen moeten exact afgestemd zijn op de maten van het bouwsysteem waar het product mee in aanraking komt (dit kan per product verschillen).
3. Door middel van standaardisatie moet het product universeel zijn (toepasbaar op alle mogelijke situaties zonder individuele/speciale aanpassingen aan het product).

Assemblage en demontage

1. Alle benodigde onderdelen om het product te koppelen en ontkoppelen aan en van het bouwsysteem moet geïntegreerd zijn in het product.
2. Indien het product een esthetische functie heeft, moet het zodanig te vervangen en verplaatsen zijn dat dit zonder hulpmiddelen kan (die het product tijdelijk moeten overnemen).

Levensduur

1. De materialen met de kortste levensduur moeten het gemakkelijkst te vervangen zijn (de positionering hiervan kan per product verschillen).

Recycling

1. Er moeten zo min mogelijk verschillende soorten materialen toegepast worden (geen toevoeging van nieuwe materialen bij parametrisatie).

Systeem specifiek: opdrachtgever

1. Er mogen geen aanpassingen of ingrepen toegepast worden op de SuperLight panelen of de koppelprofielen (dit is inclusief boren, schroeven, etc.).

7. GEVELSYSTEEM

Voor de realisatie van het SuperLight 2030 prototype is er weinig tot geen aandacht besteed aan de mogelijkheden betreft gevelbekleding. Tegenwoordig zijn er veel verschillende manieren waarop gevels van bouwwerken afgewerkt kunnen worden, echter deze vragen allemaal om specifieke bevestigingsmethodes welke traditioneel en statisch van karakter zijn. Gezien SuperLight in het teken staat van flexibiliteit is het taak om een systeem te ontwikkelen welke hier op aansluit en dezelfde visie wat betreft flexibiliteit aanhoudt. Vanwege de steeds grotere behoefte aan verandering (Transformable Building Structures, 2006) (LEGOlisering van de bouw, 2011) is het uiteindelijke doel dat diverse gevelbekledingen door middel van een universeel systeem naar wens geplaatst, vervangen of verplaatst worden zonder overbodige moeite. De klant moet in staat zijn om binnen de vaste structuur van het systeem zelf de gevelafwerking naar keuze kan toepassen. Dit betekent dat de klant zelf ook in staat moet dit te bewerkstelligen zonder uitgebreide technische kennis.

7.1 Gevelafwerking

Voor de gevelafwerking van een bouwwerk is er een zeer breed scala aan mogelijkheden beschikbaar, echter als uitgangspunt (uit praktische overweging) worden de wensen van architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen aangehouden. Zij wilden in eerste instantie het SuperLight 2030 systeem kunnen aanbieden aan klanten met drie verschillende soorten afwerking, namelijk hout (rabat), baksteen en metaal (lamellen). Om goed in beeld te krijgen wat de verschillende specificaties en eisen zijn van deze afwerkingen, zijn deze individueel behandeld waarbij direct getoetst is op geschiktheid voor toepassing (zie bijlage 1). Voor de verschillende afwerkingen gelden echter enkele algemene eisen. Zo mag bijvoorbeeld de gevelafwerking vanwege de esthetische eis vanuit architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen niet buiten de gevel uitkomen, wat inhoudt dat er aandacht besteed moet worden aan de dikte van het totale pakket van de gevelafwerking. De extrusieprofielen hebben een maat van 60x60mm, echter hier zit een lichtelijke knik in de beide lippen van het profiel. Dit betekent dat de maximale vrij ruimte van 52mm overblijft zonder dat de gevelafwerking buiten de gevels zou treden.

7.2 Ontwerp gevelsysteem

Bij het ontwikkelen van het universele ophangstelsel moest er met meerder aspecten rekening gehouden worden. Zo moest er gekeken worden naar de minimale diepte in verband met de dikte van de gevelpakketten en de positionering van het regelwerk op het systeem om ervoor te zorgen dat iedere gewenste afwerking hier direct op bevestigd kan worden. Buiten deze eisen om, mag het systeem geen invloed uitoefenen op de samenstelling van de SuperLight 2030 panelen en dient het eenvoudig te zijn bij zowel bevestiging als demontage echter moet het wel zodanig bevestigd zijn dat het veilig en stabiel is. Om een duidelijk beeld te krijgen van het ontwikkelde systeem zal er systematisch worden verklaard waarom bepaalde keuzes zijn gemaakt. Het wordt geadviseerd om bij de volgende hoofdstukken bijlage 1 & 2 te gebruiken als ondersteuning en te raadplegen bij onduidelijkheden.

7.2.1 Afmeting

Als eerste dient er gekeken te worden naar de afmetingen van het ophangstelsel. Dit is onder te verdelen in 3 categorieën, namelijk de panelen met een breedte van 300mm, 1200mm en 1500mm. Het is belangrijk om de afwerking van de kopse kant (die van 300mm) niet te vergeten, gezien het op hoeken voorkomt dat deze in zicht is. De hoogte is voor ieder paneel gelijk, namelijk 2800mm (de kopse kanten van de vloerpanelen dienen niet bekleed te worden met een gevelafwerking volgens de eis vanuit architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen). Bij al deze maten moet er rekening gehouden worden met stelruimte en de ruimte

die de koppelprofielen innemen. De koppelprofielen hebben een afmeting van 60x60x4mm, echter deze bevatten een lichte knik in beide lippen (zie figuur 33). De werkelijke ruimte die daarom tussen de koppelprofielen overblijft, is eenvoudig te berekenen

Vrije ruimte in de breedte:

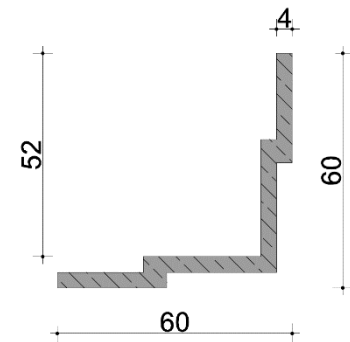
$(60-52) \times 2 = 8\text{mm}$; $300-8-4(\text{stelruimte})=288\text{mm}$

$(60-52) \times 2 = 8\text{mm}$; $1200-8-4(\text{stelruimte})=1188\text{mm}$

$(60-52) \times 2 = 8\text{mm}$; $1500-8-4(\text{stelruimte})=1488\text{mm}$

Vrije ruimte in de lengte:

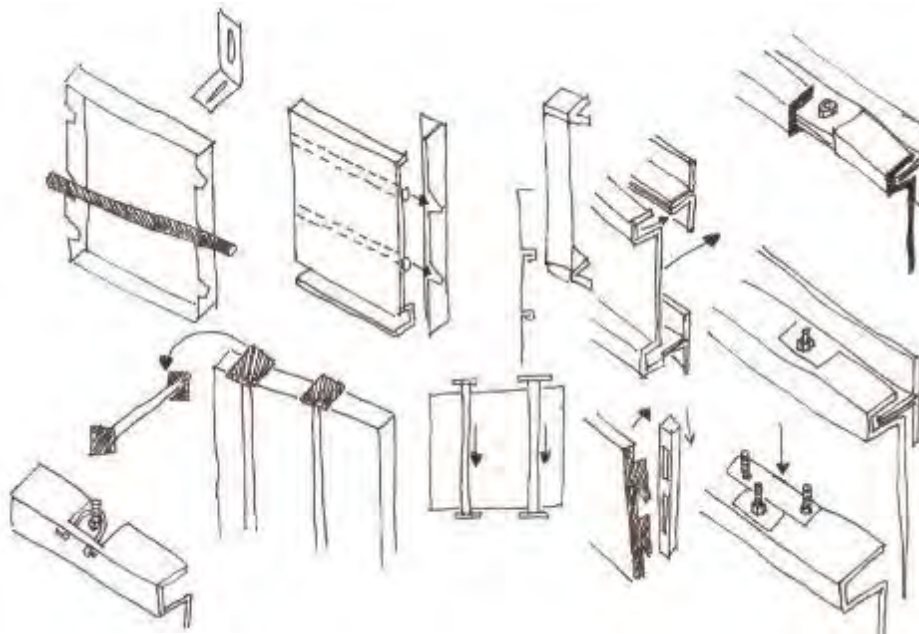
$(60-52) \times 2 = 8\text{mm}$; $2800-8-4(\text{stelruimte})=2788\text{mm}$



Figuur 33; Koppelprofiel met bijbehorende maten

7.2.2 Bevestiging

Nu de maten bekend zijn moet er echter bepaald worden hoe het paneel bevestigd zal worden aan de SuperLight 2030 panelen. Gezien de panelen intact moeten blijven en het systeem een hoge flexibiliteit moet bevatten, wordt schroeven en boren vermeden (dit is te statisch van karakter). Om tot het juiste systeem te komen is er een vorm van 'trial-and-error' doorstaan. Er zijn eerst diverse bevestigingsmethodes bedacht en geschetst waarna vervolgens werd gekeken naar de haalbaarheid. Al snel bleken veel opties niet in aanmerking te komen voor realisatie gezien deze andere objecten in de weg zaten of dat er diversiteit in het ophangstelsel kwam (buiten de breedte maat om).



Figuur 34; Schetsen met diverse concepten voor de bevestiging van het ophangstelsel

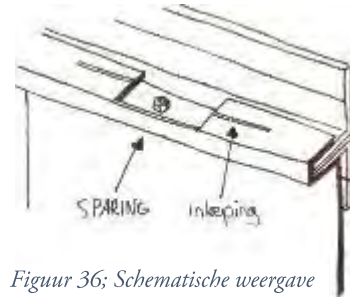
Zodoende is het idee voor ophanging of inklemming ontstaan. Hierdoor kunnen objecten bevestigd kunnen worden zonder dat deze echt 'vast' zitten. Dit is exact de functie die het systeem moet bekleden, namelijk dat het optioneel toegepast, vervangen en verplaatst kan worden door de klant zelf. Het idee is geïnspireerd op de inklemming van boekenplanken aan een muur (zie figuur 35). Op deze manier kan het systeem bevestigd worden aan de koppelprofielen van de SuperLight panelen zonder dat gevolgen heeft voor deze koppelprofielen of



Figuur 35; Klem die toegepast wordt om een plank aan een muur te bevestigen door inklemming; Bron: <http://i00.i.aliimg.com>

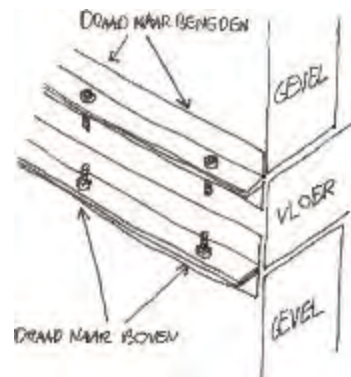
panelen. Door het eigen gewicht van het ophangstelsel worden de elementen al enigszins klem gezet (het hangt namelijk aan het bovenste koppelprofiel en steunt op het onderste koppelprofiel), waarnaast het ook nog eens een passende vorm heeft (zie bijlage 2). Het enige wat nog rest is een beveiliging/zekering om het systeem ervan te weerhouden zomaar los te raken van de SuperLight panelen (dit door eventuele invloeden van buitenaf zoals zuiging van wind op de gevel of eventuele trillingen).

Het ophangstelsel zal sparringen moeten bevatten om over de koppelprofielen heen geplaatst te worden. Dit is nodig doordat de boutverbinding tussen de koppelprofielen, boven het profiel uitsteekt (zie figuur 38 & 39). Door vernuftig gebruik te maken van deze situatie kan er voor gezorgd worden dat het ophangstelsel zichzelf achter de bouten zekert, middels een schuif van een aangepast L-profiel. Aan beide zijden van de sparring zal er een inkeping gezaagd worden in het staal (zie figuur 36), waardoor de schuif in de fabriek eenvoudig bevestigd kan worden aan het systeem. Dit L-profiel zal door de gezaagde inkeping worden gestoken waardoor deze aan het systeem blijft hangen. Zo wordt voorkomen dat er bij assemblage van het gevelsysteem losse onderdelen worden gebruikt. Na plaatsing van het gevelsysteem kan de schuif achter de bout langs worden geschoven, waardoor het systeem 'gezekerd' wordt. Doordat de bouten zich h.o.h. om de 300mm op de koppelprofielen bevinden en 148mm van de uiteinden, kunnen de vrijkomende krachten zich hier evenredig over verdelen (tevens zitten deze zekeringen aan de onderzijde van het element). Echter, de voorwaarden die bij horen zijn:



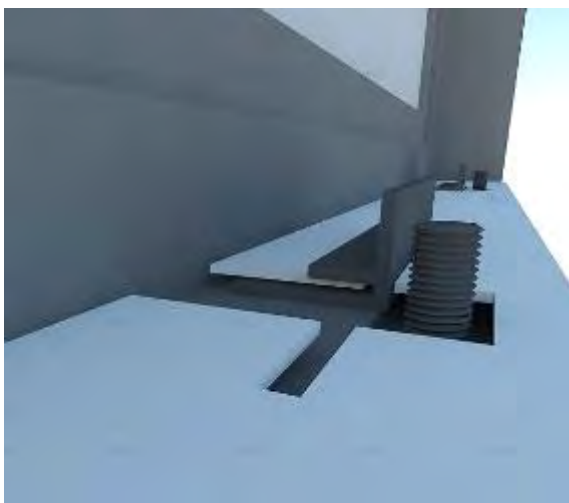
Figuur 36; Schematische weergave positie sparring

1. De bouten aan de bovenzijde moeten met de draad naar boven wijzen en de bouten onderaan met de draad naar beneden (zie figuur 37). Echter dit kan zonder moeite worden opgenomen in de assemblage instructies, waardoor dit geen probleem hoeft te vormen.
2. De draad moet minimaal 20mm (over gedimensioneerd i.v.m. veiligheid) boven de rand van het koppelprofiel uitsteken in verband met de bevestiging, zodat er geen gevaar is dat de zekering er overheen schiet wanneer er krachten op worden uitgeoefend.

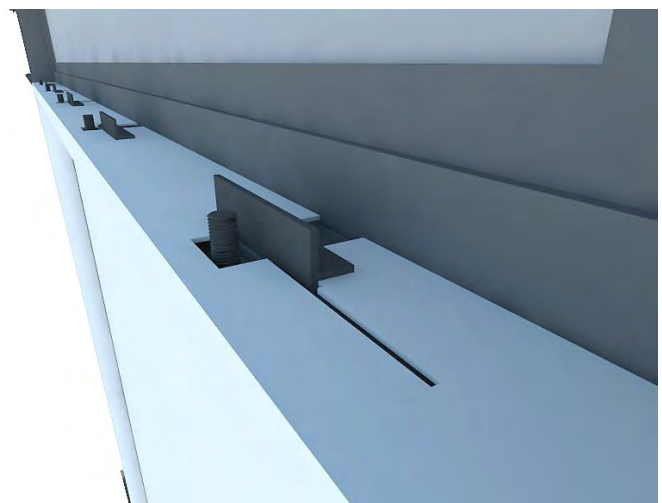


Figuur 37; Positionering draad bij bevestiging SuperLight panelen

Een gedetailleerde uitwerking van dit systeem kan gevonden worden in bijlage 2

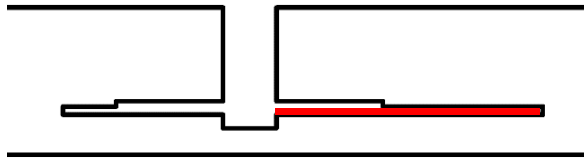


Figuur 38; Schuif in open positie

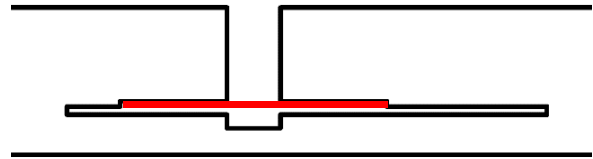


Figuur 39; Schuif in dichte positie

Tevens zal de inkeping een speciale vorm hebben waardoor het na het dichtschuiven van de schuif niet meer mogelijk is voor de schuif om zelf terug te schuiven (bij eventuele trillingen e.d.). In de figuren 40 & 41 is te zien dat de inkeping een verdieping heeft, waar de schuif precies in valt. Voor de exacte maatvoering van de inkepingen en sparingen t.o.v. het totale product kan bijlage 3 geraadpleegd worden.



Figuur 40; Schuif in open positie



Figuur 41; Schuif in dichte positie

7.2.3 Gevelafwerking

Bij de plaatsing van de verschillende gevelafwerkingen binnen het ontwikkelde ophangstelsel was het van groot belang om te controleren of deze niet buiten de koppelprofielen uitkwamen na bevestiging. Tot groot genoegen was dit alleen het geval bij toepassing van de lamellen, echter zoals eerder verklaard is dit gedoogd door Sluijmer en van Leeuwen vanwege de esthetische kwaliteit welke het totale systeem met zich mee brengt. Nadat de totaal diktes van de 'gevelpakketten' gecontroleerd waren was het zaak om te bepalen hoe het rachelwerk op het ophangstelsel bevestigd zou worden. Er is voor gekozen om enigszins de verdeling aan te houden welke terug te zien is bij de boutverbindingen in de koppelprofielen. Vanuit beide zijdes zal de eerste rachel plaatsvinden op 40 mm afstand om de zijkanalen vrij te houden voor de stijlen die nodig zijn bij het lamellen systeem. Vervolgens zullen de overige rachels vanaf de rechterzijde van het paneel met een h.o.h. maat van 300mm geplaatst worden (zie bijlage 4). Bij het paneel met een breedte van 300mm betekent dit dat deze slechts 2 rachels bevat. Het paneel van 1200mm zal er echter 4 bevatten en het paneel met een breedte van 1500mm zal 5 rachels bevatten.

Bij de plaatsing van de gevelafwerking is tevens gekeken naar de levensduur van materialen. Om een langere levensduur van het complete product te garanderen moeten de verschillende materialen op volgorde van levensduur geplaatst worden. Dit houdt in dat de materialen met de kortste levensduur het eenvoudigst vervangen moeten kunnen worden. Na onderzoek blijkt dat het praktisch niet mogelijk is om een concrete levensduur van alle gebruikte materialen te verkrijgen. Dit komt doordat de levensduur van veel verschillende aspecten afhangt. Enkele factoren waar de levensduur van een materiaal van afhangt zijn bijvoorbeeld het binnenklimaat, het buitenklimaat, de omgeving, het gebruik, de kwaliteit (Levensduur van bouwmaterialen voor massiefbouw, 2012). Desalniettemin heeft de Stichting Bouwresearch Rotterdam onderzoek gedaan naar diverse levensduren (Levensduur van bouwproducten, 1998), echter deze zijn van reeds samengestelde producten zoals kozijnen, ramen, deuren, etc. De levensduur van bijvoorbeeld de steenstrips, de stalen behuizing en de aluminium lamellen kunnen hier wel uitgehaald worden door soortgelijke componenten als uitgangspunt te nemen. Doordat de levensduur van zodanig veel factoren afhangt is het voor bepaalde materialen niet te bepalen wat de exacte systeem specifieke levensduur zal zijn, mits dat deze in de praktijk gemeten zouden zijn. Echter, hier kunnen aannames over gemaakt worden. Om duidelijkheid te creëren wat betreft de verschillende levensduren, zijn alle toegepaste materialen in onderstaande tabel weergegeven met de daarbij gevonden waardes.

LEVENSDUUR MATERIALEN

Meranti hout (rabat) ¹	25+
Aluminium Lamellen ²	35
Steenstrips ³	75
Cementgebonden houtvezelplaat ⁴	-
Verduurzaamd Vuren hout (regelwerk) ⁵	
S235 staal ⁶	75

Tabel 1; Tabel met levensduur van toegepaste materialen; Bron 1: www.centrum-hout.nl; Bron 2, 3 & 6: Levensduur van bouwproducten, door: SBR; Bron 4: www.milieuadvieswinkel.be, www.nibe.org

Meranti

Om de levensduur vast te stellen van het meranti hout wat voor de rabatdelen gebruikt zal worden, wordt de levensduur van het hout aan de hand van de duurzaamheidsklasse aangehouden. Meranti hout bevindt zich in de duurzaamheidsklasse I en is goed weersbestendig, hierdoor zal het een te verwachten levensduur hebben van minimaal 25+ jaar.

Lamellen

Bij de aluminium lamellen is de waarde volgens *Levensduur van bouwproducten* aangehouden voor gecoat aluminium (kozijnen, lichte profielen; woningbouw). Dit gezien het klimaat en de omgeving van de lamellen sterk lijkt op die van aluminium kozijnen. Tevens is bestaan beide producten uit hetzelfde materiaal.

Steenstrips

Net als bij de lamellen is hier een soortgelijke waarde voor aangehouden in verband met de sterke overeenkomsten tussen beide producten. Volgens *Levensduur van bouwproducten* is de geschatte levensduur voor gevelmetselwerk van bak-, beton- & kalkzandsteen 75 jaar.

Cementgebonden houtvezelplaat

Volgens het Nederlands Instituut voor Bouwbiologie en Ecologie (NIBE) is licht de te verwachten levensduur van cementgebonden houtvezelplaat op 50 jaar.

Verduurzaamd vuren hout

Volgens de duurzaamheidsklasse van vuren hout zou het regelwerk een geschatte levensduur hebben van 5-10 jaar, echter bij deze duurzaamheidsklassen wordt er vanuit gegaan op een hoge belasting (constante blootstelling aan weersinvloeden e.d.). Gezien het regelwerk zich op een goed geventileerde positie bevindt in het product en het bijna nooit blootgesteld zal worden aan extreme vochtigheid, mag er gesteld worden dat deze schatting enigszins laag is (Levensduur van bouwmaterialen voor massiefbouw, 2012). Tevens zal er een grotere afmeting worden gebruikt dan normaal (25mm i.p.v. 19mm), gezien dit de levensduur van het regelwerk zal verhogen (Gevelbekleding van massief hout, 2012). De mate waarin deze verhoging van levensduur zal plaatsvinden, blijft echter onduidelijk en zal de praktijk moeten uitwijzen. In het belang van het onderzoek zal de levensduur van het regelwerk zal er aangenomen worden dat de positieve uitwerkingen van de genomen maatregel(en) zorgen voor een totale levensduur van 10-20 jaar.

S235 staal

Over de geschatte levensduur van s235 constructiestaal is weinig bekend. Zo geeft het *Tabellenboek voor bouw- en waterbouwkundigen* geen informatie over de levensduur van staal en tevens geven (grote) leveranciers zoals 'Maasstaal' hier ook geen uitspraken over. Uit de praktijk kan echter geconcludeerd worden dat (mits op de juiste manier behandeld met coatings e.d.) dit staal een lange levensduur heeft. Zo stelt het SBR ook in *Levensduur van bouwproducten* dat een latei van (thermisch verzinkt) staal een verwachte

levensduur heeft van 75 jaar. Gezien de overeenkomsten net als bij de lamellen en steenstrips kan er voor de achterconstructie van het product worden uitgegaan dat deze dezelfde geschatte levensduur zal hebben.

7.2.4 Gewicht

Bij het bepalen van de samenstelling van het gevelsysteem is er ook rekening gehouden met het gewicht. Om het product van voldoende sterkte te voorzien en de gewenste esthetische waarde te behalen is het niet mogelijk om het systeem dusdanig licht van gewicht te maken dat deze zonder hijsen bevestigd kan worden. Echter door te kiezen voor de minimale dikte van 1,5mm, welke geldt bij warmgewalste elementen, is het gewicht gereduceerd tot het minimale. Binnen de gevraagde gevelafwerking was echter weinig tot geen gewicht te reduceren behalve op de indeling van het regelwerk op het gevelsysteem. Door sparingen in dit regelwerk aan te brengen werd niet alleen de ventilatie bevorderd maar dus ook bespaard op gewicht. Tevens sparen de sparingen op de boven en onderkant van het systeem ook gewicht uit, echter dit is in geringe mate. In onderstaande tabellen staan enkele grove berekeningen om een indicatie te geven van het totaal gewicht en het verschil tussen de verschillende gevelafwerkingen. Als indicatie zijn de totaal gewichten van de gevelafwerking berekend bij het grootste paneel (2800x1500mm). Dit betekent dat de overige panelen onder dit gewicht zullen blijven. Bij iedere tabel is het regelwerk meegenomen in de berekening welke een afmeting heeft van 19x44mm. met een totale lengte van 13,6 meter (hier zijn de onderbrekingen tussen de rachsels en de stelruimtes aan boven- en onderzijde al van afgetrokken). Om een grove uitkomst van het totaalgewicht van het paneel te berekenen moet hier het gewicht van het stalen ophangstelsel nog bij opgeteld worden. Bij benadering kan hierbij uitgegaan worden van een gewicht van 56 kg (Gewicht staal berekenen, 2014).

Materiaal	Afmeting (mm)	M ³	Volumiek gewicht	Totaal gewicht
Vurenhout (rachels)	25x44x13600	0,015	450 kg/m ³	6,75 kg
Meranti (rabat)	1800mm ² x1457	0,00262x22 (in totaal 22 lagen rabat)	640 kg/m ³	36,9 kg
Materiaal	Afmeting (mm)	M ³	Volumiek gewicht	Totaal gewicht
Vurenhout (rachels)	25x44x13600	0,015	450 kg/m ³	6,75 kg
Steenstrips	2747x1469	4 m ²	20-30 kg/m ²	80-120 kg

Materiaal	Afmeting (mm)	M ³	Volumiek gewicht	Totaal gewicht
Vurenhout (rachels)	25x44x13600	0,011	450 kg/m ³	6,75 kg
Lamellen				onbekend

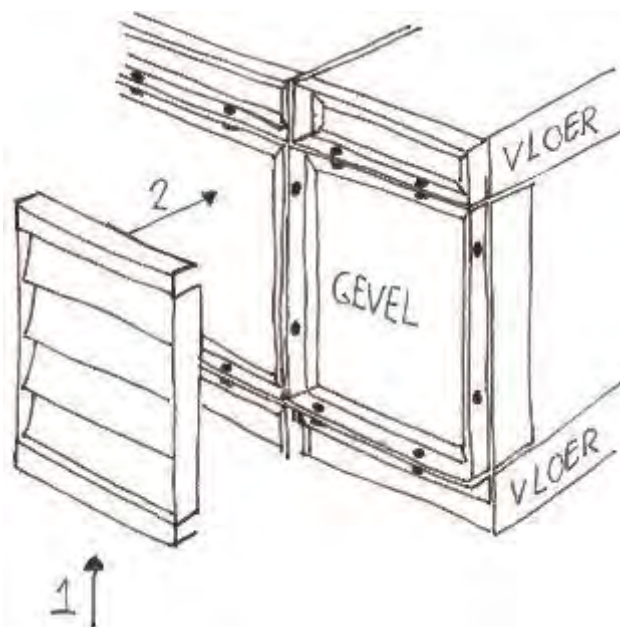
7.2.5 Ontwerp

Bij het ontwerp van het gevelsysteem is zoveel mogelijk nagedacht over simpliciteit en praktijk. Het moet (eenvoudig) te produceren zijn, te bevestigen en te demonteren en hierbij rekening houdend met de bestaande structuur van de SuperLight panelen. Het gevelsysteem moest exact tussen de koppelprofielen vallen welke zowel aan de boven-, onder- en zijkant bevestigd zijn om zoveel mogelijk de esthetische waarde intact te houden. Hierdoor ontstaat er een 'bak' constructie waarbij het systeem verzonken ligt in het SuperLight paneel. Aan de zijkanten is het systeem afgewerkt met een stalen strip, welke voorkomt dat de achterliggende constructie in zicht is. Hier moest rekening mee gehouden worden gezien het SuperLight

paneel grenzend aan een kozijn geen koppelprofiel aan die zijkant heeft. Uiteraard was het ontwerp niet direct optimaal en is het product 'getweakt', wat inhoudt dat er enkele aanpassingen gedaan zijn ten goede van de werking van het product. Deze veranderingen in het ontwerp zijn terug te vinden in bijlage 5.

Er is gekozen om de maximale diepte van 52mm vrije ruimte te benutten gezien hierdoor alle gevelafwerkingen binnen de randen van het systeem vallen en er voldoende ruimte is voor de plaatsing van regelwerk. Ondanks dat de maximale vrije ruimte benut is, kan er alsnog een 'spouw' plaatsvinden van 12mm tussen het SuperLight paneel en het opgehangen gevelsysteem. Hierdoor kan het vocht wat hier tussenkomt middels ventilatie verdampen. Tevens is er 4mm langs de zijkanten vrijgehouden om deze ventilatie te verwezenlijken en eventueel overtollig vocht af te voeren. Met verdere vochtafvoer hoeft geen tot weinig rekening gehouden te worden gezien de koppelprofielen normaal gesproken ook al blootgesteld zouden zijn aan alle weersinvloeden. Door de kap welke over de koppelprofielen valt wordt de esthetische waarde in stand gehouden, welke in eerste instantie gecreëerd is door architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen met de stalen koppelprofielen. Tevens beschermt deze kap een de koppelprofielen waardoor het nog moeilijker wordt voor vocht om op de kopse kant van deze profielen binnen te dringen (ondanks dat deze ook al met nano-geïmpregneerde compriband is afgesloten).

Tevens is er rekening gehouden met de manier van bevestigen aan de SuperLight panelen. Er zal eerst een verticale beweging plaats moeten vinden, waarna een horizontale beweging zal volgen (zie figuur 42). Vanwege de stelruimte van 4mm aan beide zijdes van het gevelsysteem kan er niet aan de zijkanten gehesen worden, gezien dan de koppelprofielen van de SuperLight panelen de bevestiging verhinderen. Dit betekent dus dat er aan de bovenkant en/of onderkant gehesen moet worden. Door de vormgeving en maatvoering van het systeem is het echter niet mogelijk hier hijsogen of haken in aan te brengen, waardoor er gewerkt zal moeten worden met hijsen door middel van inklemming. Nadat diverse opties getoetst zijn bleek er één optie in aanmerking te komen om het systeem op een veilige manier te hijsen. Dit is doormiddel van toepassing van een Tigrip®



Figuur 42; Stappen voor het hijsen van het systeem aan SuperLight paneel

TCH 1.0 hijsklem (Tigrip Horizontal Lifting Clamps - TCH, 2015), waarmee verticaal gehesen kan worden. Door de vormgeving en afmetingen van de hijsklemmen op de markt is het niet mogelijk om aan de onderkant te hijsen, gezien dan de gevelafwerking in de weg zit. Hierdoor is het noodzaak om uitsluitend aan de bovenkant van het systeem te hijsen. Doordat de hijsklemmen aan de voorkant van het paneel bevestigd worden, kan het paneel horizontaal bevestigd worden totdat deze zich op de gewenste positie bevindt. In figuur 43 is de Tigrip® TCH 1.0 hijsklem weergegeven, waar op gezien kan worden dat de onderste lip invloed heeft op de gevelafwerking. Om hijsen met deze klemmen mogelijk te maken is er, inclusief stelruimte, 20mm ruimte vrijgehouden tussen het stalen frame van het gevelsysteem en de gevelafwerking (de onderste lip van de hijsklem heeft een dikte van 15mm). Wanneer hier tijdens de productie geen rekening mee wordt gehouden, zou dit voor grote problemen kunnen zorgen tijdens de montage.



Figuur 43; Tigrip® TCH 1.0 hijsklem; Bron: Product catalogus Tigrip®

Door meerdere hijsklemmen toe te passen kunnen de krachten evenredig verdeeld worden over de volle breedte van het element. Tevens moet er bij de assemblage rekeningen worden gehouden met de sparingsen in de bovenkant van het systeem bij het plaatsen van de hijsklemmen.

7.3 Toetsing

Nu er een ontwerp tot stand is gekomen nadat alle wensen en eisen bijeen gekomen zijn, is het van belang dat er achteraf wordt gekeken of het ontwerp nog wel aan de opgestelde criteria voldoet. Het komt vaak voor dat enkele criterium vergeten worden of tijdens het proces verloren gaan. Het product zal stapsgewijs getoetst worden aan de in hoofdstuk 6.2.5 opgestelde 'ontwerpregels'.

7.3.1 Industriële productie

Parametrisatie mag geen verschil veroorzaken in de maatvoering van het product

Om te voorkomen dat de parametrisatie een verschil in de maatvoering zou veroorzaken is er gekeken welk aspect van welke gevelafwerking hier bepalend voor zijn. Uiteraard heeft het product een vaste afmeting welke gebaseerd is op het SuperLight systeem waardoor daar niets aan kan veranderen. De positionering van het regelwerk was echter wel afhankelijk van de diverse gevelafwerkingen. Zo moest er aan beide zijdes van het product ruimte worden gehouden voor de plaatsing van de stijlen van het lamellen systeem, waardoor de eerste regels verder naar binnen geplaatst moesten worden. Wat de hoogte betreft waren de rabatdelen bepalend voor het regelwerk. In de breedte kunnen rabatdelen op de gewenste maat gezaagd worden, echter het rabat heeft een vaste hoogte maat (breedte van de planken). Om ervoor te zorgen dat het regelwerk niet boven of onder het rabat uit zou komen is bepaald dat deze aan de onder- en bovenkant zich 20mm uit de kant moet bevinden. Hierdoor is het mogelijk dat het regelwerk te allen tijde bevestigd kan worden ongeacht de gevelafwerking.

De afmetingen moeten exact afgestemd zijn op de maten van het bouwsysteem waar het product mee in aanraking komt

Bij ontwikkeling van het product zijn de diverse maten van het SuperLight systeem als uitgangspunt genomen, waar vervolgens verder op ontwikkeld is. Dit betekent dat de breedte maat van het gevel product is afgestemd op de breedte van de SuperLight panelen en dat deze kleiner is dan 300, 1200 en 1500mm. Teven is de maximale diepte van het product gebaseerd op de maat van de extrusieprofielen. De flensen van deze koppelprofielen steken 60mm uit, waardoor de diepte van het product kleiner is dan 55mm (hierbij is tevens rekening gehouden met de dikte van het koppelprofiel). Hiermee wordt voorkomen dat het product buiten de extrusie profielen uitsteekt, wat afbraak doet aan de esthetische waarde. De hoogte maat is echter voor elk SuperLight paneel hetzelfde waardoor de hoogte van het product dan ook niet groter is dan 2800mm.

Door middel van standaardisatie moet het product universeel zijn (toepasbaar op alle mogelijke situaties zonder individuele/speciale aanpassingen aan het product)

Om dit aspect te integreren in het product moest er eerst gezocht worden naar de afwijkingen binnen het SuperLight bouwsysteem. Doordat het bouwsysteem van zichzelf al is gestandaardiseerd, deden er zich geen onregelmatigheden voor in de gevels. Doordat iedere zijde van een SuperLight paneel is voorzien van een koppelprofiel (ongeacht of er zich een kozijn of ander SuperLight paneel naast bevindt) kon hier gebruik van worden gemaakt bij de ontwikkeling van het product. Door deze koppelprofielen als 'referentiepunt' te nemen zal het mogelijk zijn (afhankelijk van de breedte van het paneel) het product op iedere gewenst SuperLight paneel te bevestigen. De maten van de bovenste en onderste 'bek' van het product (welke over de koppelprofielen heen schuift) en de sparingsen welke hier in zijn gemaakt voor de bouten zijn exact afgestemd op het SuperLight bouwsysteem. Dit betekent dat wanneer er een product geplaatst moet worden, welke vervaardigd is voor een SuperLight paneel met een breedte van 1200mm, deze ook daadwerkelijk op elk gewenst SuperLight paneel met een breedte van 1200mm geplaatst kan worden.

7.3.2 Assemblage en demontage

Alle benodigde onderdelen om het product te koppelen en ontkoppelen aan en van het bouwsysteem moet geïntegreerd zijn in het product

Het product wordt door middel van diverse schuiven bevestigd aan het SuperLight systeem. Deze schuif kan vanwege zijn vormgeving niet zomaar van het product af, waardoor er de zekerheid is dat bij bevestiging alle benodigde middelen aanwezig zijn. Tevens hoeft er bij ontkoppeling ook geen aanvullend materieel te komen en kunnen de schuiven eenvoudig open geschoven worden.

Tevens is er bij de ontwikkeling van het product zoveel mogelijk op het gewicht gelet om het product zo licht mogelijk te houden. Dit komt de vatbaarheid voor demontage ten goede, waardoor het gemakkelijk wordt het product te verplaatsen of vervangen.

Indien het product een esthetische functie heeft, moet het zodanig te vervangen en verplaatsen zijn dat dit zonder hulpmiddelen kan (die het product tijdelijk moeten overnemen).

Doordat het product slechts een eenzijdige 'relatie' (er mag niets verbonden worden aan het product, het product mag uitsluitend aan het product verbonden worden) aangaat met het bouwsysteem, kan het door eigen materieel geplaatst en gedemonteerd worden. Dit betekent dat er geen functies zijn welke door hulpmiddelen ingevuld moeten worden wanneer er sprake is van demontage van het product.

7.3.3 Levensduur

De materialen met de kortste levensduur moeten het gemakkelijkst te vervangen zijn (de positionering hiervan kan per product verschillen)

Bij dit product was de meest logische indeling dat het materiaal met de kortste levensduur zich vooraan bevindt en met de langste levensduur achteraan. Echter, vanwege de verschillende soorten gevelafwerking is het niet mogelijk geweest om dit bij alle varianten te verwezenlijken. Voor de achterconstructie is er (tevens vanwege het draagkrachtige vermogen) voor de toepassing van staal gekozen. Vervolgens zal het regelwerk hier op geplaatst worden wat een kortere levensduur heeft dan de achterconstructie waarna uiteindelijk de gevelafwerking op het product geplaatst wordt. Bij de variant met steenstrips als gevelafwerking komt het helaas voor dat het regelwerk, wat zich achter de steenstrips bevindt, een kortere levensduur heeft dan de steenstrips zelf. Om dit echter zo gunstig mogelijk te beïnvloeden is er een dikker regelwerk (25mm i.p.v. 19mm) toegepast, wat de levensduur van het regelwerk verhoogt.

7.3.4 Recycling

Er moeten zo min mogelijk verschillende soorten materialen toegepast worden (geen toevoeging van nieuwe materialen bij parametrisatie)

Bij het ontwikkelen van het gevelsysteem is er rekening gehouden met de toepassing van de hoeveelheid verschillende materialen. Het aantal verschillende soorten is hierdoor op een minimum gebleven. Door de achterconstructie uit één en hetzelfde materiaal te vervaardigen scheelt dit aanzienlijk in arbeid bij het recyclen. Wanneer het gevelsysteem aan het einde van de 'life cycle' gerecycled zou worden, hoeft slechts de gevelafwerking eruit gehaald te worden (incl. het regelwerk) waarna een kale constructie overblijft zonder diversiteit aan materialen. Binnen de samenstelling van de gevelpakketten was echter weinig te veranderen gezien er speciaal gerelateerde materialen toegepast moeten worden (bij steenstrips is dit bijvoorbeeld een special hechtingslijm en een cementgebonden houtvezelplaat).

7.3.5 Systeem specifiek: opdrachtgever

Er mogen geen aanpassingen of ingrepen toegepast worden op de SuperLight panelen of de koppelprofielen (dit is inclusief boren, schroeven, etc.)

Zoals te zien is in bijlage 2 wordt er geen gebruik van dergelijke verbinden om het product te bevestigen aan het SuperLight systeem. Deze eis is gedurende de ontwikkeling van het systeem

constant in acht genomen en gold als één van de belangrijkste eisen. De reden hiervoor is dat wanneer een SuperLight paneel beschadigd wordt deze niet wederom hergebruikt kan, wat de flexibiliteit van het systeem ernstig aan zou tasten. Om de opdrachtgever zoveel mogelijk te behartigen is er zoveel mogelijk geprobeerd de esthetische waarde van het SuperLight bouwsysteem niet aan te tasten. Zo is er het ontwerp van het product gebruik gemaakt van een 'kap' welke de koppelprofielen geheel bedekt. In het aanzicht zal een metalen strook te zien zijn van hetzelfde materiaal als de koppelprofielen met een dikte van 30mm. Dit betekent dat het aanzicht van de profielen met 12mm gegroeid is, echter dit zijn voor het oog van veraf dusdanig kleine afmetingen dat dit het totaal beeld nauwelijks zal beïnvloeden. Om tevens gehoor te geven aan de gestelde eis vanuit architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen wat betreft de soorten gevelafwerking, zijn de 3 gewenste afwerkingen als voorbeeld toegepast op het gevelsysteem. Hierdoor wordt ook bevestigd dat het gevelsysteem ongevoelig is voor het type gevelafwerking dat toegepast wordt. Door de diepte van het gevelsysteem zo maximaal mogelijk te houden vallen de gewenste afwerkingen (rabatdelen en steenstrips) binnen de koppelprofielen waardoor deze niet, vanaf de zijkant gezien, uitsteken.

7.3.6 Conclusie

Na de toetsing aan de opgestelde criteria blijkt dat het product aan alle criteria voldoet op één na, namelijk de samenstelling van het product op levensduur. Ondanks dat het niet mogelijk is om een regelwerk toe te passen wat een langere levensduur heeft dan alle mogelijke gevelafwerking, zijn er maatregelen getroffen om het probleem zo nihil mogelijk te maken. Tevens doet het gevonden probleem zich slechts bij één van de drie variaties voor.

8. FUNDERING

Bij een traditionele fundering is er totaal geen sprake van flexibiliteit. Het is vanwege deze reden dat architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen dan ook heeft gekozen om een ander type fundering toe te passen bij het SuperLight 2030 bouwsysteem. Het gaat hier namelijk om de Krinner schroefpalen (zie hoofdstuk 5.3.1) welke in eerste instantie voor veranda's en andere lichte constructies is bedoeld. Doordat het SuperLight 2030 een zodanig licht systeem van zichzelf is, is het mogelijk om deze palen toe te passen. Echter, de bevestiging van de SuperLight vloerpanelen aan de funderingspalen is een resterende uitdaging gebleven voor het SuperLight 2030 prototype. De palen zijn zodanig geconstrueerd dat deze middels een bevestigde koppelplaat vast gebout kunnen worden aan de bovenliggende constructie. Voor SuperLight is dit echter geen optie gezien daardoor de panelen beschadigd zouden worden en er niet geschroefd kan worden in het EPS. Hierdoor wordt het hergebruik van de panelen tegengewerkt (dit gezien de vloerpanelen tevens als dak toegepast worden) waardoor er gezocht moet worden naar een oplossing welke het hergebruik behartigd en strookt met de visie wat betreft flexibiliteit binnen het SuperLight 2030 bouwsysteem. Het doel van het te ontwerpen product is dat deze er voor zorgt dat de vloerpanelen 'geborgd/bevestigd' worden aan de funderingspalen zonder dat deze beschadigen (hetzij door verschuiven of bevestigingen met bouten e.d.).

8.1 Krinner schroefpalen

Om een goede oplossing te ontwikkelen voor de bevestiging van de SuperLight vloerpanelen aan de schroefpalen is het eerst noodzaak om duidelijkheid te creëren omtrent de technische specificaties van de Krinner schroeffundamenten. Er zijn diverse soorten schroefpalen bij de firma Krinner waar uit gekozen kan worden voor toepassing bij het SuperLight 2030 bouwsysteem. Uit al deze verschillende soorten is er gekozen voor het type Krinner KSF M 114x3000 M24, gezien deze paal de grootste lengte tot nu toe heeft en al met succes getest is op grotere dieptes. De schroefpalen zijn vervaardigd uit thermisch verzinkt S355 constructie staal zodat deze ongevoelig zijn voor diverse weersinvloeden en draagkracht genoeg bevatten. In figuur 44 zijn de diverse technische specificaties van de Krinner KSF M paal te zien, waarop de te ontwikkelen oplossing afgestemd zal worden.

De palen worden door middel van een hydraulisch gestuurd apparaat langzaam de grond ingeboord (zie figuur 45). Verder zijn de palen hol van binnen en worden na plaatsing niet gevuld met een grout mengsel

KSF M 114x3000 M24	
a	Lengte (mm) (± 25 mm) 3075
b	Buiten diameter (mm) 114,30
c	Binnen diameter (mm) 107,10
d	Draad M24
e	Kopplaat diameter (mm) 150
f	Kopplaat gaten 6 x Ø14
g	Flens sleutel maat (mm) 160
h	Flens buiten diameter (mm) 182
i	Flens dikte (mm) 10



Figuur 44; Technische specificaties Krinner schroefpaal KSF M; Bron: <http://www.schraubfundamente.de/>

voor extra draagkracht. Alle krachten worden afgevoerd via de 'wand' van de buis. Het grote voordeel van de Krinner schroefpalen is dat deze weer losgeschroefd kunnen worden nadat de gebruikscyclus is doorlopen. Hierna kunnen deze eenvoudig weer toegepast worden bij een nieuw/ander SuperLight 2030 project. Hierdoor sluiten de Krinner schroefpalen perfect aan bij de visie van het SuperLight 2030 bouwsysteem waardoor ook deze eis vanuit architectuurbureau Sluijmer en van Leeuwen gesteld wordt.



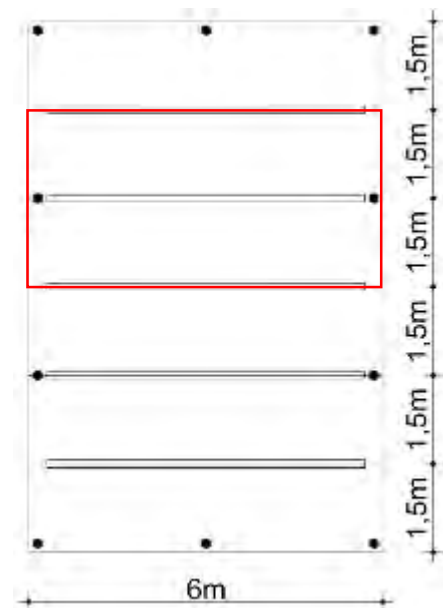
Figuur 45; Benodigd materieel voor plaatsing Krinner schroefpalen; Bron: <http://www.schraubfundamente.de/>

8.1.1 Positionering palen

Naast de technische specificaties van de toe te passen schroefpalen is het ook belangrijk om de positie van deze palen, ten opzichte van de SuperLight vloerpanelen, te bekijken. De positie van de palen heeft namelijk veel invloed op het te ontwikkelen product. De positie bepaald namelijk of bepaalde oplossingen wel of niet kunnen plaatsvinden zonder dat er zich complicaties voordoen (met bijvoorbeeld koppelprofielen van de SuperLight panelen).

De palen zijn volgens het ingezonden constructie rapport geplaatst, wat inhoudt in dat er onder de hoeken palen geplaatst zullen worden en over de lengte en breedte met een h.o.h. maat van 3m. Dit is een logische verdeling, gezien de krachten op deze plekken lineair afgedragen kunnen worden naar de fundering. Het dak en de verdiepingsvloer dragen de krachten namelijk door de gevelpanelen af naar de fundering. In deze situatie zal er maximaal de krachten van 2 vloeren op 1 paal afgedragen worden (met het rode kader in figuur 46 is aangegeven welke oppervlakte op de fundering komt te rusten).

Wanneer dit te groot wordt (door bijvoorbeeld palen om de 4,5m te plaatsen) kan het zijn dat het bouwwerk misschien niet overal inzetbaar is, aangezien er dan grotere drukkrachten op de fundering komt te staan, waardoor er grotere en langere palen geplaatst moeten worden. In figuur 46 is tevens de paneel verdeling te zien van de begane grond dat bij het SuperLight 2030 prototype van toepassing is. Tevens is op het figuur te zien dat de palen zich iets uit de rand van de vloerpanelen bevinden. Dit komt doordat de onderkant van de vloerpanelen zijn afgewerkt met koppelprofielen met een esthetische reden.



Figuur 46; Positionering schroefpalen t.o.v. SuperLight vloerpanelen

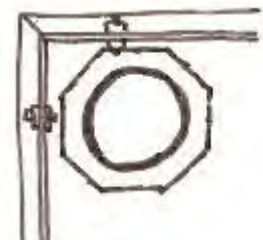
8.2 Universele bevestiging schroefpalen

In tegenstelling tot bij het ontwerp van het gevelsysteem is het ontwerp voor de universele bevestiging aan de schroefpalen compleet gebaseerd op het technische aspect. Ondanks dat het een compleet ander probleem betreft moet het desalniettemin voldoen aan dezelfde criteria, echter met enkele aanpassingen. Zo hoeft er bij de ontwikkelen van de bevestiging weinig rekening gehouden worden met het gewicht (uiteraard is een excessief totaal gewicht onnodig en zal dit ook niet voorkomen) en de samenstelling op levensduur. Dit komt door de positionering van het product. Het product moet uiteraard flexibel zijn, echter de nadruk zal hierbij liggen op demontage en een lange levensduur. Net als het gevelsysteem moet het wel gemakkelijk industrieel te fabriceren, te assembleren en te demonteren zijn. Er moet geprobeerd worden zoveel mogelijk arbeid op de bouwplaats voorkomen te worden, waardoor het van belang is dat eenvoud centraal staat. Naast

de eisen met betrekking tot flexibiliteit geldt hierbij ook dat er geen ingrepen verricht mogen worden aan/in het SuperLight 2030 bouwsysteem. Bij dit ontwerp wordt tevens geadviseerd de technische tekeningen te raadplegen bij onduidelijkheden en erbij te houden ter ondersteuning, welke te vinden zijn in bijlage 6.

8.2.1 Ontwerp

Om tot het definitieve ontwerp te komen is er eerst geïnventariseerd op welke posities het product toegepast zal worden. Er zijn twee kenmerkende posities van de funderingspalen, namelijk in een hoek waardoor deze aan twee kanten omsloten is door koppelprofielen (zie figuur 47) en uit een hoek, in welk geval de funderingspaal slechts aan één zijde een koppelprofiel heeft (zie figuur 48). In het kader van deze verschillende situaties is het belangrijk dat het één product betreft, welke de oplossing biedt ongeacht de positie van de funderingspaal. Er zijn veel schetsen gemaakt van eventuele mogelijkheden, waarna deze opties tegen het 'licht' gehouden zijn van de criteria waaruit bleek of deze wel of niet toegepast konden worden. Al snel was er geconcludeerd dat er iets geplaatst moest worden tussen de funderingspalen en de vloerpanelen om beschadigingen (i.v.m. verschuiven) te voorkomen. Door een combinatie van verschillende ideeën is het uiteindelijke ontwerp tot stand gekomen, welke een integrale oplossing vormt voor elke positie van de funderingspalen.

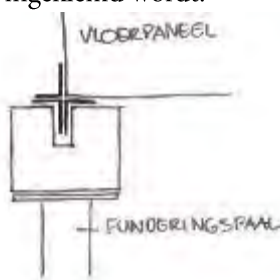


Figuur 47; Funderingspaal ter plaatse van een hoek

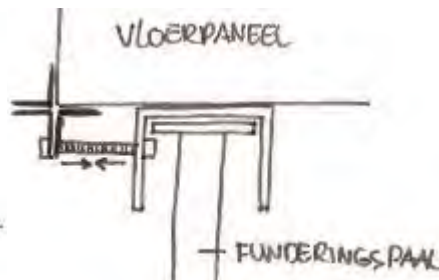


Figuur 48; Funderingspaal ter plaatse van een zijde

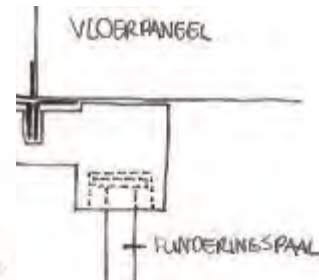
In eerste instantie werd er gedacht over een verhoging op de funderingspaal in de vorm van een U-profiel waarbij de koppelprofielen zouden verzinken in het profiel en hierdoor direct de vloerpanelen in de gewenste positie zouden fixeren (zie figuur 49). Het probleem hierbij was echter dat hierdoor alle vloerpanelen slechts voor de helft op de funderingspalen zouden liggen, wat weer problemen kan geven bij de krachtenafdracht. Een ander concept was dat er een 'kap constructie' over de kopplaat van de fundering heen geplaatst zou worden, waardoor een mogelijkheid tot bevestiging was met de koppelprofielen (zie figuur 50). Gezien bij al deze vormen van bevestiging het gebruik van bouten onvermijdelijk was kon dit niet als oplossing dienen. Door deze twee concepten echter te combineren is het uiteindelijke ontwerp tot stand gekomen. Hierbij kan zonder boutbevestiging de positie van de vloerpanelen gefixeerd worden, het product vast op de funderingspalen geplaatst worden en de vloerpanelen geheel op de funderingspaal gelegd worden, waarna deze door het product ingeklemd wordt.



Figuur 49; Oplegging op U-profiel vorm



Figuur 50; Kapconstructie over funderingspaal



Figuur 51; Uiteindelijk ontwerp

8.2.2 Bevestiging

Het product zal aan de onderkant een 'holte' hebben waar de funderingspaal inclusief kopplaat een stuk in verzinkt, wat ervoor zorgt dat het product niet kan verschuiven ten opzichte van de funderingspaal. Bij het plaatsen van de palen moet er dus rekening gehouden worden met de benodigde vrije ruimte van het product. De verdieping in het product waar de kopplaat zich in zal schuiven heeft een diepte van 50mm. De bovenkant van de kopplaat van de funderingspaal zal zich dus minimaal 55mm boven maaiveld moeten bevinden om er zeker van te zijn dat het product geheel op de funderingspalen kan rusten.



Figuur 52; Werking product

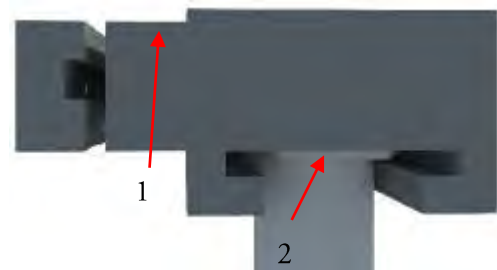
Door de gecreëerde sparingen kunnen de flensen van de onderste koppelprofielen precies in deze ruimte vallen. Hierdoor zullen de vloerpanelen een gefixeerde positie aannemen ten opzichte van de funderingspalen. Het is van groot belang om voldoende stelruimte te behouden, ondanks dat funderingen tegenwoordig exact uitgemeten worden. Doordat het product echter van twee sparingen voorzien is, kan het zowel in een hoek als bij een langsijde toegepast worden (zie bijlage 7). Hierdoor hoeft er niet met verschillende producten gewerkt te worden en kunnen deze op iedere positie wederom hergebruikt worden. Om beschadiging van de vloerpanelen te voorkomen en extra zekerheid te bieden zal de bovenkant van het product bedekt zijn met een antislip laag bedekt zijn. Voor de werkelijke bevestiging van het product wordt er gebruik gemaakt van drukkracht en inklemming. Door de draadeinden aan te draaien zullen de koppelprofielen door het product ingeklemd worden. In het eerste ontwerp was dit niet meegenomen, wat problemen gaf met de bevestiging van het product aan het systeem. De veranderingen van het systeem gedurende het ontwerpproces zijn te vinden in bijlage 8.

8.2.3 Materiaal

In eerste instantie leek de materiaalkeuze voor het product voor de hand liggend, echter bij nader inzien heeft de materiaal keuze meer invloed op het product dan verwacht. Gezien het product een lange gebruikscyclus heeft en moeilijk (praktisch niet) vervangen kan worden, moet er zekerheid zijn dat het materiaal minimaal deze cyclus kan vervullen. De criteria voor de materiaalkeuze zijn dat het gemakkelijk te verwerken moet zijn (i.v.m. industriële productie), een lange levensduur moet hebben, een grote druksterkte moet kunnen opnemen en recyclebaar moet zijn. Aan de hand van de multi criteria analyse uit bijlage 9 is gebleken dat PETP kunststof het meest geschikte materiaal is om het product van te vervaardigen.

8.2.4 Afmetingen

Wat betreft de afmetingen zal het product gericht zijn op de verhouding tussen de afmetingen van de funderingspaal en de koppelprofielen (zie bijlage 6). Stelruimte is echter wel belangrijk, hier hoeft alleen op horizontaal niveau rekening mee gehouden te worden. In de verticale richting kan er namelijk niets veranderen in de onderlinge maatverhouding, gezien de afstand tussen de funderingspaal en het vloerpaneel altijd net zo groot is als dat het product hoog is. Horizontaal gezien kunnen de maten bijvoorbeeld afwijken doordat de palen in het veld uitgemeten moeten worden, waardoor een kleine afwijking altijd mogelijk is. Hier is rekening mee gehouden door de verlaging (1) 10mm verder naar binnen te positioneren dan dat een flens van een koppelprofiel lang is (zie figuur 53). Hierdoor zal het nooit voorkomen dat een koppelprofiel niet op het product kan rusten (zie



Figuur 53; Verschillende stelruimtes bij product



Figuur 54; Wanneer de verhoging te groot is zal dit problemen geven met de koppelprofielen welke aan de vloerpanelen verlijmd zijn

figuur 54). De stelruimte in de 'holte' voor de kopplaat van de paal (2) is echter kleiner en op 4mm gehouden (zie figuur 53). Deze stelruimte kan kleiner gehouden worden doordat de funderingspalen industrieel geproduceerd zijn, waardoor de kans op afwijking aanzienlijk minder is. Timmerfabriek De Mors (producent van SuperLight panelen) meldt zelfs dat deze op 2mm gehouden kan worden wanneer er sprake is van industriële fabricatie. Door de stelruimte toch op 4mm te houden vindt er een lichte overdimensionering plaats waardoor er zekerheid is dat het product gedraaid kan worden op de kopplaat, indien noodzakelijk (bij bijvoorbeeld de juiste positionering van hoeken).

8.2.5 Krachten verloop

Op de wanden komen naast de krachten van het eigen gewicht ook variabele belastingen op de vloeren en het dak. De krachten die uit het gebouw komen zullen via het product overgebracht moeten naar de paalfundering. Doordat het kunststof blok een dusdanige oppervlakte heeft, wordt de kracht verdeeld over de gehele oppervlakte. Op dit kunststof blok komt naast de gebouwbelasting en de variabele belasting ook de krachten van de gevel te staan. Door de vorm en de verschillende belastingen zal het noodzakelijk zijn dat hier een FEM berekening gemaakt voor moet worden, gezien dit te complex is om met de hand te berekenen. Door de constructeur van het prototype zijn uiteindelijk de belastingen getoetst en zij er veiligheidsfactoren gebruikt om de uiterste grenstoestand te berekenen. Uit deze berekening is een maximale drukkracht op de palen berekend: $F_3 = F_d = \text{Maximale belasting op de paalfundering} = 88,50 \text{ kN}$. Aan de hand van deze belasting kan er getoetst worden of de fundering sterk genoeg is of dat er eventueel aanpassingen in de fundering moeten komen zoals meer, grotere of langere palen. Echter, gezien Krinner nog bezig is met de certificering van de desbetreffende palen is de maximaal op te nemen drukkracht nog niet bekend, daarom zal er aangenomen worden dat deze wel voldoet. Wat trekkrachten betreft is het beter om deze te voorkomen in de fundering, echter door windebelasting kan hier niet altijd aan ontkomen worden. Om trekkrachten op te kunnen vangen, zijn er een aantal oplossingen toe te passen, namelijk stalen schoren toepassen, een hogere massa (meer drukkracht = minder trekkracht) of meer paal in de fundering plaatsen. Het toegepaste type paal kan echter relatief goed trekkrachten opvangen door de schachtweerstand. Mochten de trekkrachten te groot zijn, dan kan er altijd nog gekozen worden om meer palen toe te passen. In bijlage 10 is het krachten verloop weergegeven in een tekening.

8.3 Toetsing

Om te kijken of het product voldoet aan alle wensen en eisen van zowel het SuperLight systeem, de opdrachtgever als de visie, zal het product tevens getoetst worden aan de opgestelde criteria.

8.3.1 Industriële productie

Parametrisatie mag geen verschil veroorzaken in de maatvoering van het product

Bij het desbetreffende product is er geen sprake van parametrisatie gezien het product dusdanig is vormgegeven waardoor het op alle mogelijke posities ten opzichte van de vloeren en de palen geplaatst kan worden. Er zal dus geen onderling verschil in (positie specifieke) maatvoering zijn.

De afmetingen moeten exact afgestemd zijn op de maten van het bouwsysteem waar het product mee in aanraking komt (dit kan per product verschillen)

De afmetingen welke hier een grote rol bij speelden waren die van de schroefpalen en de koppelprofielen. De sparringen in het product zijn exact afgestemd op deze twee factoren om ervoor te zorgen dat de vloeren gefixeerd worden op een specifieke positie ten opzichte van de schroefpalen. Het product zorgt ervoor dat de afstand tussen de koppelprofielen en de schroefpalen te allen tijde gelijk blijven en voor iedere situatie hetzelfde is. Tevens is er bij de sparringen rekening gehouden met de boutverbindingen tussen de koppelprofielen om ervoor te zorgen dat deze ook in de sparring kunnen verzinken.

Door middel van standaardisatie moet het product universeel zijn (toepasbaar op alle mogelijke situaties zonder individuele/speciale aanpassingen aan het product)

Gezien het één product is welke voor alle situaties geschikt is door middel van de vormgeving, kan geconcludeerd worden dat het product volledig gestandaardiseerd is. Het is namelijk door de positionering van de sparringen mogelijk om het product bij zowel lengtestukken als hoeken toe te passen. Hierdoor is het product gemakkelijk te fabriceren gezien deze allemaal exact hetzelfde zijn.

8.3.2 Assemblage en demontage

Alle benodigde onderdelen om het product te koppelen en ontkoppelen aan en van het bouwsysteem moet geïntegreerd zijn in het product

De vormgeving van het product zorgt al voor de helft voor de bevestiging aan het systeem. Er hoeven geen onderdelen worden toegevoegd om de bevestiging verder te verwezenlijken, gezien het enige wat nog gedaan moet worden na plaatsing op de schroefpalen is aandraaien van de verstelbare draadeinden (dit kan eenvoudig met een 8mm inbussleutel). Dit zal voor een inklemming zorgen van het product aan de koppelprofielen.

Indien het product een esthetische functie heeft, moet het zodanig te vervangen en verplaatsen zijn dat dit zonder hulpmiddelen kan (die het product tijdelijk moeten overnemen)

Het product vervult geen esthetische functie maar juist een dragende functie. Hierdoor is het uiteraard onvermijdelijk dat wanneer het product vervangen zou moeten worden dat deze functie tijdelijk moet worden overgenomen door hulpmiddelen. Desalniettemin zal het een uitzondering zijn wanneer het product vervangen moet worden gezien het speciaal vervaardigd is voor de functie die het vervult (opnemen en doorgeven van krachten) en het zich op een beschutte plek bevindt, namelijk onder het bouwwerk.

8.3.3 Levensduur

De materialen met de kortste levensduur moeten het gemakkelijkst te vervangen zijn (de positionering hiervan kan per product verschillen)

Het product bestaat uit 2 verschillende materialen, namelijk staal en PETP kunststof met beiden een zeer lange levensduur. Echter het kunststof is niet te vervangen gezien het product hier grotendeels uit bestaat. Wanneer de draadeinden vervangen zouden moeten worden, kan dit eenvoudig verwezenlijkt kunnen worden door deze er simpel uit te schroeven en nieuwe er weer in te monteren. Wanneer het kunststof vervangen moet worden, betekent dit dus dat de draadeinden uit het product gehaald worden en in een nieuwe kunststoffen vorm geplaatst zullen worden.

8.3.4 Recycling

Er moeten zo min mogelijk verschillende soorten materialen toegepast worden (geen toevoeging van nieuwe materialen bij parametrisatie)

Dit is tevens de kracht van het product, dat deze slechts uit twee materiaalsoorten bestaat. Zoals hierboven is beschreven kunnen de materialen eenvoudig van elkaar ontkoppeld worden bij recycling. Tevens is er bij het product geen sprake van parametrisatie, wat onnodig gebruik van extra materialen voorkomt.

8.3.5 Systeem specifiek: opdrachtgever

Er mogen geen aanpassingen of ingrepen toegepast worden op de SuperLight panelen of de koppelprofielen (dit is inclusief boren, schroeven, etc.)

Het product maakt gebruik van bevestiging door middel van inklemming, waardoor dit geen impact of gevolgen heeft voor de SuperLight panelen en koppelprofielen. Boutverbindingen met het SuperLight systeem zijn vermeden om ervoor te zorgen dat het systeem intact blijft voor hergebruik.

9. VALIDATIE

Om de theoretische bevindingen te toetsen in de praktijk is er een enquête opgesteld, welke verspreid is onder vakkundige en gespecialiseerde bedrijven die binnen de doelgroepen vielen. Bij het valideren moest er onderscheid gemaakt worden in 2 groepen en 4 subgroepen. Als eerste is de verdeling gemaakt door de producten te scheiden, zo zijn de groepen ‘fundering’ en ‘gevelsysteem’ ontstaan. Vervolgens werden beiden groepen weer onderverdeeld in 2 verschillende enquêtes, namelijk de 1 voor de plaatsing en 1 voor de productie. Dit was noodzakelijk gezien dit door 2 verschillende groepen specialisten uitgevoerd wordt. Tevens is er ook nog een verschil in de doelgroep voor het produceren van het gevelsysteem en de fundering (dit komt mede door de verschillende vervaardigingstechnieken die samenhangen met de toegepaste materialen). De gekozen doelgroepen voor het invullen van de enquêtes zijn als volgt geselecteerd:

Productie ‘fundering’	Spuitgieterijen voor kunststof
Productie ‘gevelsysteem’	Timmerfabrieken
Plaatsing ‘fundering’	Aannemers bedrijven
Plaatsing ‘gevelsysteem’	Aannemers bedrijven

Voordat de geselecteerde doelgroepen de enquête in konden vullen, moesten zij uiteraard eerst achtergrond informatie over het SuperLight bouwsysteem hebben. Bij de uitnodiging voor participatie aan het onderzoek was een bestand bijgevoegd waar bondig het SuperLight 2030 bouwsysteem in toelicht en uitgelegd werd. Deze toelichting en uitleg was echter noodzakelijk voor hen om de werking en visie van de ontwikkelde producten te begrijpen, zodat zij hier een waardevol oordeel over konden geven. In de toelichting, welke voor de plaatsing noodzakelijk was, is kort de samenstelling van het SuperLight systeem toelicht met bijbehorende figuren en afmetingen. Daarna is er een omschrijving gegeven van het product met veel illustraties om de functie en werking te verduidelijken. Tevens zijn hier de technische tekeningen van het product bijgevoegd. Wanneer de deelnemers deze omschrijving hadden doorgenomen, konden zij de korte bijbehorende vragenlijst invullen. Het uiteindelijke doel van de enquête is om inzichtelijk te maken hoe flexibel het product in de praktijk te fabriceren en toe te passen is. De enquête is online afgenomen via www.surveymonkey.com en de vragen en resultaten hiervan zijn te vinden in bijlage 11. In totaal hebben 32 mensen een enquête ingevuld, waarvan er 7 de enquête van de productie van de fundering hebben ingevuld, 6 van de productie van het gevelsysteem, 9 van de plaatsing van de fundering en 8 van de plaatsing van het gevelsysteem.

9.1 Conclusie

Om inzichtelijk te maken wat de exacte conclusies zijn welke uit deze validatie gehaald kunnen worden, zullen de resultaten per enquête behandeld worden. Hierdoor zal direct duidelijk worden op welk gebied het product geschikt is voor toepassing in de praktijk, of juist niet. Ook zullen de zwakke punten van de ontwikkelde producten naar voren komen, waardoor hier bij latere realisatie op geanticipeerd kan worden.

9.1.1 Productie fundering

Testresultaten

- **85,72%** van de ondervraagden vindt het product geschikt voor industriële fabricage.
- **83,33%** van de ondervraagden vindt de handelingen die verricht moeten worden voor industriële fabricage geschikt.
- **71,44%** van de ondervraagden vindt de arbeidsintensiviteit voor de productie normaal, waarvan 28,58% dit zelfs laag tot zeer laag vindt.

- Desalniettemin zou 57,14% van de ondervraagden de productie van het product als moeilijk ervaren.

Conclusie

Uit de resultaten van de enquête kan geconcludeerd worden dat het product goed geschikt is voor industriële fabricage. Dit betekent dat het product zodanig gestandaardiseerd is dat het product onafhankelijk geproduceerd kan worden door de fabrikant. Tevens zal industriële fabricage van dit product betekenen dat er minder materiaal verspilling plaats vindt en zo efficiënt mogelijk geproduceerd wordt. Ondanks de geschiktheid van het product voor dit type fabricage, geeft ongeveer 60% aan dat zij de productie hiervan wel als moeilijk zouden ervaren. Om het product nog meer af te stemmen op het productieproces, kan er (wanneer er sprake is van realisatie) met een spuitgieterij contact worden opgenomen zodat inzichtelijk wordt wat de overige knelpunten zijn met betrekking tot de productie.

9.1.2 Productie gevelsysteem

Testresultaten

- **83,33%** van de ondervraagden geeft aan een gemiddelde hoeveelheid ervaring te hebben met dergelijke systemen.
- **100%** van de ondervraagden vindt de maten van het product geschikt voor industriële fabricage, waarvan 16,67% deze hier zelfs zeer geschikt voor vindt.
- **100%** van de ondervraagden vindt de handelingen die verricht moeten worden geschikt voor industriële fabricage, waarvan 16,67% deze zelfs zeer geschikt vindt.
- **66,67%** van de ondervraagden vindt de arbeidsintensiviteit voor productie van het materiaal normaal.
- **100%** van de ondervraagden vindt de productie van het product van normaal niveau, waarvan 16,67% dit zelfs als eenvoudig ziet.
- **66,67%** van de ondervraagden vindt het product geschikt voor produceren door middel van verschillende productiestraten.

Conclusie

Net als bij het funderingsproduct, blijkt uit onderzoek dat het gevelsysteem tevens in aanmerking komt voor industriële fabricage. Zoals tevens uit dit onderzoek blijkt, verschilt de productie van dit product niet veel van andere geprefabriceerde producten op de huidige markt. Hierdoor geven ook veel van de ondervraagden aan dat zij de handelingen, arbeidsintensiviteit of productie van het product niet afwijkend vinden van wat zij gewend zijn. Tevens geeft 67% aan dat het product geschikt is voor productie door middel van productiestraten (in verband met de verschillende gevelafwerkingen).

9.1.3 Plaatsing fundering

Testresultaten

- **55,55%** van de ondervraagden geeft aan weinig tot geen ervaring te hebben met soortgelijke systemen.
- **50%** van de ondervraagden geeft aan dat zij het plaatsen van het product als eenvoudig of zelfs zeer eenvoudig zouden ervaren.
- **60%** van de ondervraagden zou de demontage van het product als eenvoudig of zelfs zeer eenvoudig ervaren.
- **100%** van de ondervraagden zou de totale werking van het product als normaal ervaren, waarvan 50% zelfs aangeeft dit snel en eenvoudig te vinden.

- **50%** van de ondervraagden zou met de minimale kennis van het systeem (de uitleg die gegeven was bij de enquête) het plaatsen van het product wel als klus aannemen. Tevens geeft 20% aan dit liever niet te doen en 30% absoluut niet.
- **70%** van alle ondervraagden ervaart het product als flexibel.

Conclusie

Ondanks dat meer dan de helft van alle ondervraagden aan heeft gegeven weinig tot ervaring te hebben met soortgelijke systemen, zien zij dit product toch als flexibel. Men geeft aan dat zij het als snel en eenvoudig zouden ervaren om het product te assembleren en demonteren. Desalniettemin zou toch 50% het product liever niet of helemaal niet willen plaatsen in het werkveld. Dit heeft te maken met de beperkte kennis welke hen is gegeven over het SuperLight bouwsysteem, waardoor het voor velen niet geheel duidelijk is (de vraag was dan ook of zij dit zouden doen met de huidige kennis van het bouwsysteem). Tevens is bij dit onderzoek gebleken dat men de koppeling tussen de vloer en het kunststof blok mist. Door middel van de nieuwe vormgeving van de sparing, waar de kopplaat van de schroefpaal zich in bevindt, en de inklemming welke het product nu aangaat met de koppelprofielen is dit probleem verholpen.

9.1.4 Plaatsing gevelsysteem

Testresultaten

- **55,56%** van de ondervraagden geeft aan een gemiddelde hoeveelheid ervaring te hebben met soortgelijke systemen.
- **77,78%** van de ondervraagden zou het positioneren van het product door middel van de hijsklemmen ervaren als normaal of eenvoudig (11,11% eenvoudig).
- **100%** van de ondervraagden geeft aan dat zij het minimaal als 'normaal' zouden ervaren om het product aan te brengen aan de koppelprofielen. 33,33% hiervan vindt dit eenvoudig en 22,22% geeft aan dat zij dit zelfs als zeer eenvoudig zouden ervaren.
- **100%** van de ondervraagden zou het minimaal als 'normaal' ervaren om het product te zekeren/bevestigen aan de koppelprofielen. 22,22% geeft aan dit als eenvoudig te ervaren en 44,44% zou dit zelfs als zeer eenvoudig ervaren.
- **66,67%** zou het als eenvoudig ervaren om het product als geheel te vervangen/demonteren.
- **55,56%** geeft aan dat zij de totale werking van het product als snel en eenvoudig zouden ervaren. De overige 44,44% zou dit als normaal ervaren.
- **88,89%** van de ondervraagden zou met de huidige kennis van het product en het SuperLight systeem, de plaatsing van het product als klus aannemen.
- **66,67%** ervaart het product als flexibel.

Conclusie

De uitkomsten uit het onderzoek wijzen uit dat het product als eenvoudig en flexibel gezien wordt. Ondanks dat geen van de ondervraagden veel ervaring heeft met soortgelijke systemen gaf toch 56% aan dat zij het plaatsen van het product als eenvoudig zouden ervaren. Tevens gaf zelfs 44% aan dat zij het zekeren (door middel van de schuif) als zeer eenvoudig zouden ervaren. Slecht een klein percentage van de ondervraagden zou dit product liever niet als klus willen aannemen, wat hoogst waarschijnlijk (net als bij de plaatsing van het funderingsproduct) te maken heeft met gebrek aan kennis van het SuperLight systeem. Ondanks dat het product over het algemeen als flexibel ervaart, geeft 66,67% aan dat zij het positioneren van het product met behulp van de hijsklemmen als normaal zouden ervaren. Dit kan echter niet eenvoudiger, gezien het product verticaal omhoog gehesen moet worden in verband met de plaatsing. Hierdoor blijft dit een zwakte van de assemblage van het systeem.

10. CONCLUSIE

Terugkijkend kan er gesteld worden dat flexibiliteit veel verschillende vormen aan heeft genomen binnen de bouwsector. Echter, iedere vorm benaderd deze flexibiliteit vanuit een ander perspectief en biedt verschillende oplossingen om dit toe te passen. Daardoor kan het implementeren of verhogen van flexibiliteit binnen een product of bouwsysteem op veel verschillende manieren. Zo kan de vorm, afmeting, levensduur of het gewicht grote gevolgen hebben voor de flexibiliteit van een product of bouwsysteem. Het uiteindelijke doel van flexibiliteit binnen de bouwsector is om een antwoord te geven op de gewenste en (in sommige gevallen) geëiste verduurzaming (reductie van materiaal gebruik/verspilling en energie verbruik), vermindering van faalkosten en de veranderende maatschappij.

Uit het onderzoek blijkt dat de strekking van flexibiliteit zeer breed is, namelijk van ontwerp tot recycling. Dit houdt in dat er bij de ontwikkeling van een bouwsysteem al rekening gehouden moet worden met alle tussenliggende fases (productie, assemblage, demontage & hergebruik). Om er voor te zorgen dat alle benodigde aspecten voor een optimale flexibiliteit geïntegreerd of geïmplementeerd worden in een bouwsysteem of product, is er een reeks met zogenoemde ontwerpregels opgesteld. Deze ontwerpregels hebben alle flexibiliserende aspecten van verschillende methodes en concepten samengevoegd tot integrale criteria. De uitwerking van deze opgestelde criteria is dat na implementatie hiervan een bouwsysteem of product flexibel is of in flexibiliteit is verhoogd.

Om de werking van de opgestelde ontwerpregels aan te tonen zijn er twee technische knooppunten van het SuperLight bouwsysteem uitgewerkt. Tijdens de uitwerking zijn de opgestelde ontwerpregels nauwkeurig gevolgd. Door middel van een enquête is aangetoond dat de ontwikkelde uitwerkingen flexibel waren. Hierdoor kan geconcludeerd worden dat de integratie van de ontwerpregels in de uitwerking van de technische knooppunten de totale flexibiliteit van het SuperLight bouwsysteem heeft verhoogd.

De ontwerpregels zijn niet alleen op technische knooppunten van toepassing, maar tevens toe te passen als aanvulling op de ontwikkeling van een flexibel bouwsysteem. Dit komt doordat de regels een integrale vertaling vormen van de theoretische flexibiliteit naar praktische richtlijnen. De regels zetten aan tot implementatie van standaardisatie, industriële fabricage, samenstelling op levensduur en voorbereiding op recycling om flexibilisering van het desbetreffende systeem te verzekeren.

Geadviseerd wordt om de ontwikkelde criteria (ontwerpregels) nauwkeurig toe te passen bij de uitwerking van technische knooppunten en de ontwikkeling van een product of bouwsysteem waarbij een zo hoog mogelijke vorm van flexibiliteit gewenst of vereist is. Dit houdt ook in dat bij het SuperLight bouwsysteem, reeds uitgewerkte knooppunten getoetst moeten worden op de criteria, zodat inzichtelijk wordt of de flexibiliteit hierbij al zo hoog mogelijk is. Indien hier geen sprake van is, kan er gezocht worden naar een oplossing hiervoor met behulp van dezelfde criteria.

11. BEGRIPPENLIJST

Assemblage Het samenstellen uit (van elders aangevoerde) onderdelen

Coherentie Samenhangend, verband

Deskresearch Het verzamelen, analyseren en interpreteren van gegevens die dienstbaar zijn aan de onderzoeksoopdracht, maar die reeds eerder door anderen zijn verzameld.

Downcycling Het proces van afvalstoffen of nutteloze producten omzetten in nieuwe materialen of producten van mindere kwaliteit en verminderde functionaliteit.

EPS Expanded Poly Styreen

Extrusie Procedé waarbij buizen, draden, staven e.d. worden vervaardigd, door plastisch materiaal onder hoge druk in verwarmde toestand uit een opening met een bepaalde vorm te persen

FEM berekening Finite Element Method; Een rekenmethode waarmee o.a. kan worden gecontroleerd of een werktuigbouwkundige constructie voldoende sterk en stabiel is, maar ook of deze niet veel te zwaar ontworpen is. (in het Nederlands ook wel bekend als de eindige elementen methode; EEM)

Fieldresearch Het verzamelen, analyseren en interpreteren van gegevens waarvoor men zelf onderzoek moet verrichten. Deze gegevens zijn niet door middel van Deskresearch te achterhalen. De meeste gebezigde manieren zijn beursbezoek en leveranciersbezoek.

IFD Industrieel, flexibel en demontabel bouwen. IFD bouwtechniek is een geïntegreerde benadering van ontwerpen en bouwen. Daarbij wordt rekening gehouden met mogelijke veranderingen in gebouwen, door ze zoveel mogelijk samen te stellen uit industrieel vervaardigde bouwcomponenten

Integraal ontwerpen Het ontwerpen van een gebouw waarin alle voorzieningen, wensen en eisen voor de eindgebruiker zijn verwerkt en hierbij een optimale afstemming plaatsvindt tussen de partijen die het gebouw realiseren.

Iteratief proces Een iteratief proces wordt gekenmerkt door stelselmatige herhaling van onderdelen van het proces, zij het met instelbare, veranderlijke waarden, waardoor allerlei variaties en vertakkingen in het resulterende patroon kunnen optreden.

Kwalitatief onderzoek Het verkrijgen van diepgaande en gedetailleerde informatie, meestal betrekking hebbend op een relatief kleine groep ondervraagden. Dit onderzoek is gericht op het hoe en waarom van gedragingen, houdingen en belevingen.

LEAN bouwen Een filosofie waarbij samenwerking plaatsvindt door middel van ketenintegratie (= Samenwerking binnen en tussen de opeenvolgende schakels binnen een organisatie- of bedrijfskolom, van leveranciers tot aan de klant). De achterliggende gedachte van LEAN bouwen is het zo efficiënt mogelijk maken van processen en productie, waarbij alle partijen samen- en tegelijk werken aan een project.

Leercurve Een curve die uitzet hoe goed de kennis van een bepaald onderwerp is ten opzichte van de tijd die er aan besteed wordt

Levensduur De tijdsperiode dat een product of een productiemiddel bruikbaar is.

Life-cycle De reikwijdte van het bestaan van een product van de initiële ontwikkeling tot de periode van marketing en actief gebruik tot de uiteindelijke afbraak.

Modulair bouwen Modulaire bouw betekent dat een gebouw in een gecontroleerde fabrieks-omgeving en niet op een bouwterrein vervaardigd wordt. De modules met stalen of houten frame worden met alle benodigde elektrische en sanitaire voorzieningen, verwarming, deuren, ramen en interieurafwerking uitgerust voordat ze

de fabriek verlaten. Hierdoor wordt een hogere kwaliteit en kortere projectduur gerealiseerd. De modules worden vervolgens over de weg naar het bouwterrein vervoerd, waar ze in slechts een paar dagen tijd per kraan op voorbereide funderingen geplaatst worden.

Nano-geïmpregneerde compriband Een voorgecomprimeerde en langzaam uitzettende voegendichtband bestaande uit duurzaam elastisch en fijnporig polyurethaanschuim met gelijkmatige verdichting door toepassing van NANO-deeltjes. Door deze speciale behandeling verhoogt de dampdichtheid bij temperatuursverhoging.

Parametrisatie Activiteiten die karakteristieke systeemeigenschappen omzetten naar model parameters

PETP Polyethyleentereftalaat kunststof.

Prefabricatie Wijze van bouwen van woningen, schepen enz., waarbij alle onderdelen zoveel mogelijk van tevoren pasklaar gefabriceerd zijn, maar elders worden samengevoegd.

PU-lijm Polyurethaanlijm

Recycling Het van afvalstoffen voor hergebruik bewerken; terugwinnen; herwinnen

Shearing layers of change Een concept geïntroduceerd door architect Frank Duffy welke later verder is uitgewerkt door Stewart Brand in zijn boek 'How Buildings Learn: What Happens After They're Built' (Brand, 1994). Het refereert naar bouwwerken alsof deze zijn samengesteld uit diverse veranderlijke lagen (layers of change).

Standaardisatie In overeenstemming brengen met bepaalde standaardmodellen of -maten; normaliseren

Stelruimte De ruimte welke bij ontwikkeling van een product wordt 'open' gehouden ten behoeve van de plaatsing of bevestiging van een/het product. Tevens is stelruimte een vorm van ruimte welke wordt toegepast om eventuele maatafwijkingen, welke ontstaan zijn bij productie/fabricage, op te vangen.

Theory of levels Theorie welke geïntroduceerd is door Prof. Habraken in zijn boek 'De Dragers en de mensen' in de jaren '60. De theorie introduceert een systematisering van bestudeerde aspecten in onafhankelijke levels en definieert de hiërarchie en dienovereenkomstige afhankelijkheid tussen de snel veranderende en traag veranderende levels.

Trial and error Het proces van experimenteren met diverse methoden door deze uit te voeren, totdat één daarvan het meest succesvol blijkt.

Tweaken Het verbeteren van een mechanisme of systeem door fijne/kleine aanpassingen te doen.

Zero Energy Policy Een beleid waarbij gebouwen een zeer hoge energie prestatie hebben. De zeer lage hoeveelheid energie die deze gebouwen nodig hebben moet worden opgewekt door duurzame energiebronnen, waardoor het gebouw net zoveel of meer energie opwekt dan dat het gebruikt. Hierdoor is de milieubelasting van het gebouw op energetisch niveau 0.

12. LITERATUURLIJST

(2010). Opgehaald van Slimbouwen: <http://www.slimbouwen.nl/>

Almere, C. H. (2005). Azobé Lophira Alata. *Over bomen*.

Boer, W. T. (1999). *Koenen woordenboek; Nederlands*. Utrecht - Antwerpen: Koenen woordenboeken.

Brilman, B. (2013). *Toekomstbestendig Bouwen*.

Centraal Bureau voor de Statistiek. (2015). Opgehaald van <http://www.cbs.nl>

Collins Cobuild Intermediate Dictionary. (2008). Glasgow: Thomson Heinle.

Dale, V. (2010). *Van Dale Groot Woordenboek*. Van Dale.

Desai, A., & Mital, A. (2003). *Evaluation of disassemblability to enable design for disassembly in mass production*. Cincinnati: Elsevier Science B.V.

Dessel, i. J. (2004). Wat is IFD Bouwen. *TIS IFD*, 1 - 12.

Durmisevic, E. (2006). *Transformable Building Structures*. Delft: Cedris M&CC.

Gassel, F. v. (2002). Experiences with the Design and Production of an Industrial, Flexible and Demountable (IFD) Building System. *W.C. Stone (Ed.), ISARC*, (pp. 167-172). Gaithersburg.

Gassel, i. F. (1997). Modulaire woningen in Nederland mogelijk? *Aannemer*, 18.

Gassel, i. F. (2006). Modulair bouwen. *Arko catalogus bouwwereld*, 2.

Haas, C. T., & Fagerlund, W. R. (2002). *Preliminary research on prefabrication, pre-assembly, modularization and off-site fabrication in construction*. Austin.

Het Living Building Concept, Conceptueel Bouwen of Slimbouwen? (2007). *bouwIQ*, 26-27.

Hoogers, i. A., Gelinck, d. S., Trabsky, i. W., Luijk, i. P., Kortman, i. J., Battum, i. M., . . . Ewijk, i. H. (2004). *Bouwen met tijd*. Rotterdam: Ministerie van VROM.

Hout, C. (2005). *Naaldhout in de Bouw*. Almere: Centrum Hout.

Hout, C. (2007). *Sterktegegevens van hout*. Almere: Centrum Hout.

Hout, C. (2012). *Gevelbekleding van massief hout*. Almere.

Leeuwen, A. S. (2012). *SuperLight 2030*.

Probos, S. (2009). *Houtsoortenkeuze en toepassingen*.

Ridder, P. D. (2011). *LEGOlisering van de bouw*. mauritsgroenmgmc.

Rotterdam, S. B. (1998). *Levensduur van bouwproducten*. Rotterdam: Stichting Bouwresearch Rotterdam.

Steenkiste, J. v. (2012). *Levensduur van bouwmaterialen voor massiefbouw*. Gent.

Steenvoorden, R. (2012). *Waarom is duurzaamheid ook alweer belangrijk?* Opgehaald van Libertus Energy Finance: <http://www.libertus.nl/waarom-is-duurzaamheid-ook-alweer-belangrijk/>

- Tigrip Horizontal Lifting Clamps - TCH*. (2015). Opgehaald van Unirop: <http://unirop.com/more-hardware/tigrip-horizontal-lifting-clamps-tch/>
- Troyer, F. D., & Leuven), R. K. (2006). *Toekomstgericht ontwerpen*. IFD Bouwen.
- Wind, H. (2012). Modulair bouwen onder architectuur. *Bouwwereld*, 3.

13. BIJLAGEN

1. Keuzes en toelichting gevelafwerking
2. Technische uitwerking gevelproduct
3. Maatvoering sparingen in gevelproduct
4. Rabatverdeling in gevelproduct
5. Aanpassingen gevelproduct
6. Technische uitwerking funderingsproduct
7. Geïllustreerde weergave werking funderingsproduct
8. Aanpassingen funderingsproduct
9. Multi criteria analyse materiaalkeuze funderingsproduct
10. Krachten verloop
11. Enquêteering