

Optopen van gebouwen

Onderzoek naar het optimale gebruik van materialen en technieken

Joris de Gaij



Technische Universiteit Delft
Faculteit Civiele Techniek en Geowetenschappen
Delft

Optoppen van gebouwen

Onderzoek naar het juiste gebruik van materialen en technieken

Verslag ten behoeve van de graad van Bachelor of Science
van de opleiding Civiele Techniek
aan de Technische Universiteit Delft.

Door

Joris de Gaaij

Studentnummer	4441206
Project duur	23 April 2018 – 18 Juni 2018
Begeleider	Ir. S. Pasterkamp
2e Begeleider	Dr. Ir. H.R. Schipper

Voorwoord

Voor u ligt het eindrapport van het bachelor eindwerk waarin onderzoek wordt gedaan naar het optimaliseren van optoppingen door het juiste gebruik van materialen en technieken. Dit rapport is geschreven in het kader van de afronding van mijn opleiding Civiele Techniek aan de Technische Universiteit Delft. Er zijn al meerdere succesvolle optopprojecten afgerond, maar het optopen van gebouwen gebeurt nog erg weinig. In dit onderzoeksrapport wordt daarom onderzocht hoe er snel en gemakkelijk kansrijke situaties worden gevonden en hoe met behulp van de juiste materialen en technieken in deze situaties een veilige, comfortabele, duurzame en economische optopping gecreëerd kan worden. In dit voorwoord wil ik graag een bijzonder woord van dank richten aan Ir. Sander Pasterkamp voor zijn begeleiding tijdens het onderzoek. Dr. Ir. Roel Schipper wil ik bedanken, met name voor zijn begeleiding tijdens de eerste weken van het onderzoek. Tot slot wil ik graag Remco Alting bedanken, werkend bij Pieters Bouwtechniek, voor het verschaffen van informatie over de casestudy van het SCYE010 project te Schiedam en voor het delen van zijn kennis over optoppingen.

Samenvatting

In dit onderzoeksverslag is gekeken naar het optappen van gebouwen. Vanwege leegstaande kantoorgebouwen, vraag naar woongebouwen, bouw die toe is aan verbetering en minder milieuvervuilend bouwen, is er veel vraag naar renovatieprojecten. Bij deze renovatieprojecten is het optappen van het gebouw een optie die goed in de gaten gehouden dient te worden. Er zijn al enkele succesvolle projecten waarbij optopping gecreëerd zijn, maar optappen slaat nog niet aan. Zaak is dus om optappen aantrekkelijker te maken en om het gemakkelijker te maken om kansrijke situaties voor optoppingen te vinden.

In dit onderzoeksverslag is er gepoogd antwoord te krijgen op de vraag: Met welke materialen en technieken kan een veilige, comfortabele, duurzame en economische optopping gecreëerd worden? Ook is er geprobeerd om het vinden van kansrijke situaties te versimpelen.

Er is geprobeerd de onderzoeksvraag te beantwoorden door een literatuurstudie uit te voeren en door naar referentieprojecten te kijken. Aan de hand daarvan is er een conclusie opgesteld en deze conclusie is met behulp van een casestudy nogmaals gecheckt en zo nodig aangepast.

Om kansrijke situaties gemakkelijk te kunnen onderscheiden van andere situaties, is er in dit rapport gekeken wanneer er bij een project een succesvolle optopping kan worden gecreëerd. Hiervoor zijn eisen opgesteld waaraan een gebouw dient te voldoen, opdat de keuze voor optappen verstandig is. De belangrijkste conclusie hieruit is dat een optopping waarbij de fundering moet worden aangepast vermeden dient te worden, vanwege de hoge kosten die hieraan verbonden zijn. Kleine aanpassingen in de hoofddraagconstructie zullen in de meeste gevallen nog tot een economisch ontwerp van de optopping leiden. Verder is er een stappenplan opgesteld die gevolgd dient te worden om snel en gemakkelijk te bepalen wat de mogelijkheden en de obstakels zijn voor het optappen van het specifieke gebouw in de gekozen situatie.

Voor de constructie van de optopping wordt een frameconstructie als beste oplossing gevonden. Er zijn hier drie keuzes in; staalframebouw, aluminiumframebouw en houtskeletbouw. Staalframebouw verdient meestal de voorkeur. Aluminiumframebouw is een lichter, duurder en milieuvriendelijker alternatief en houtskeletbouw is een zwaarder, milieuvriendelijker alternatief. Een zwevende Estrich dekvloer, die in de casestudy gevonden is, is een van de lichtste vloer opties. Deze vloeren bieden bovendien veel voordeelen qua thermisch comfort, akoestisch comfort en brandveiligheid.

Bij het toepassen van thermische isolatie in een staalframeconstructie is het belangrijk om op de brandklasse van het thermisch isolatiemateriaal te letten. Vanwege de brandklasse en het gunstige eigengewicht is glaswol als beste isolatiemateriaal gevonden voor een optopconstructie.

Voor het creëren van akoestisch comfort en het minimaliseren van vibraties zijn er meerdere materialen en technieken te gebruiken. Allereerst kan er gebruik worden gemaakt van een anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten of van een zwevende Estrich dekvloer. Verder kan er worden gekozen om elastomeren aan te brengen tussen de vloer en de draagconstructie van de vloer. Tot slot kan er gekozen worden om de woningscheidende elementen volledige gescheiden van elkaar te plaatsen. Het akoestisch comfort kan getest worden door gebruik te maken van de tool 'Sovist'. Deze tool is door Level Tools, een onderdeel van Level Acoustics & Vibration uit Eindhoven, uitgebracht om het akoestisch comfort en de vibraties te testen in lichtgewicht bouwsystemen.

De brandveiligheid kan worden gegarandeerd door de overgangsstructuur, de kolommen en de balken te coaten of te bedekken met een vuurbestendige laag. Een brandwerende bekleding verdient bij een frameconstructie de voorkeur.

Inhoudsopgave

Voorwoord	4
Samenvatting.....	5
1 Inleiding	8
2 Constructiematerialen.....	10
2.1 Inleiding	10
2.2 Keuze constructiematerialen.....	10
2.2.1 Staal	10
2.2.2 Hout.....	11
2.2.3 Beton	11
2.2.4 FRP.....	11
2.2.5 Aluminium	11
2.2.6 Bamboe	12
2.3 Conclusie constructiematerialen.....	13
3 Referentieprojecten	14
3.1 Gekozen referentieprojecten	14
3.2 Conclusie referentieprojecten.....	14
4 Bouwfysica.....	16
4.1 Inleiding	16
4.2 Thermisch comfort	16
4.3 Akoestisch comfort en vibraties.....	17
4.4 Brandveiligheid.....	18
5 Casestudy	19
5.1 Inleiding	19
5.2 Gevonden conclusies en stappenplan.....	19
5.3 Situatieschets	21
5.4 Normen.....	22
5.5 Ontwerp optopping	23
5.5.1 Stabiliteit fundering.....	23
5.5.2 Stabiliteit hoofddraagconstructie.....	24
5.5.3 Belastingtoename dak.....	24
5.5.4 Belastingtoename funderingen.....	25
5.5.5 Belastingtoename hoofddraagconstructie.....	26
5.5.6 Keuze optopconstructie en materialen.....	27
5.5.7 Exacte eigengewichten bepalen.....	30
5.6 Conclusie casestudy.....	31

6 Conclusie	32
Literatuurlijst	33
Bijlage A – Referentieprojecten	39
A.1 Eemstein.....	39
A1.1 Inleiding.....	39
A1.2 Constructie	39
A1.3 Bouwphysica	40
A.2 Karel Doorman	41
A2.1 Inleiding.....	41
A2.2 Constructie	41
A2.3 Bouwphysica	42
A.3 Astoria	43
Bijlage B – Eisen voor optopping	45
B.1 Technische eisen	45
B.2 Niet technische eisen	45
Bijlage C – Uitleg stappenplan.....	47
Bijlage D – overige informatie en eisen case-study	50
D.1 Technische informatie hoofddraagconstructie en funderingen	50
D.2 Eisen en wensen.....	50
D.3 Inspectie bestaande constructie.....	51
Bijlage E – Stabiliteit fundering	52
Bijlage F – Vervormingen hoofddraagconstructie.....	54
Bijlage G – Berekeningen belastingtoename funderingen.....	56
Bijlage H – Berekeningen belastingtoename hoofddraagconstructie.....	61
Bijlage I – Dimensionering optopconstructie	67
I.1 Dimensionering vloerconstructie	67
I.2 Dimensionering dakconstructie	69
I.3 Dimensionering verticale profielen	71
I.4 Check sterke profielen	72
Bijlage J – plattegrond bestaande situatie Bouwblok B	73
Bijlage K – indicatief palenplan	74

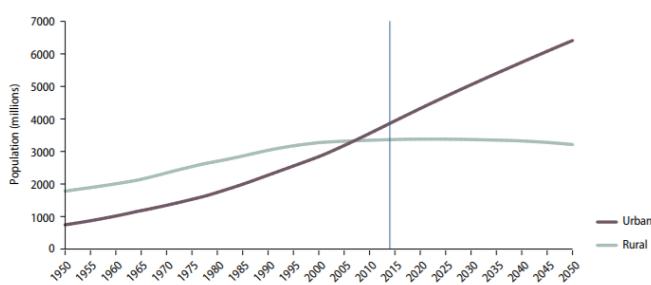
1 Inleiding

Op dit moment leeft 54 procent van de wereldpopulatie in stedelijke gebieden, zie figuur 1.1. De verwachtingen zijn dat dit aantal zal stijgen naar 66 procent van de wereldpopulatie in 2050 (United Nations, 2014, p. 11). Deze urbanisatie heeft een grote vraag naar nieuwe woningen in steden tot gevolg.

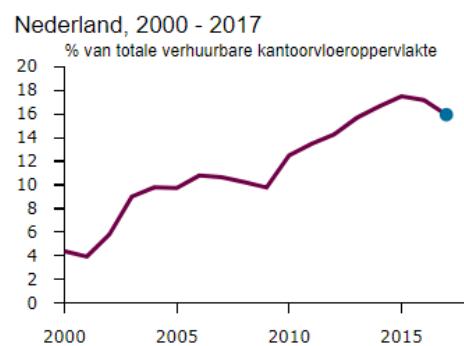
Hiernaast is in de huidige tijd in Nederland veel naoorlogse bouw toe aan renovatie en verbeteringen. De bouwkwaliteit, uitstraling en toegankelijkheid van deze gebouwen past niet meer binnen de huidige eisen (Verburg, 2000, p. 9).

Verder wordt er gezien de klimaatveranderingen gestreefd om minder milieuvervuilend te bouwen. De bouwsector is geen milieuvriendelijke sector. Deze sector creëert vervuiling door CO₂ uitstuit en is dan ook de derde grootste bron van emissie in de Europese Unie (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 800).

Tot slot is er een stijgende leegstand van kantoorgebouwen in Nederland. In 2017 was er een leegstand van 15,9% van de kantoorvloeroppervlakte, zie figuur 1.2. De leegstand concentreert zich in de Randstad, voornamelijk rondom Amsterdam en in het Rijnmondgebied (Planbureau voor de Leefomgeving, 2017).



Figuur 1.1 Stedelijke en landelijke bevolkingsgroei als deel van de totale wereldbevolking. (United Nations, 2014.)



Figuur 1.2 Groeiend percentage leegstaande kantoorvloeroppervlakte in Nederland. (Planbureau voor de Leefomgeving, 2017)

Leegstaande kantoorgebouwen, vraag naar woongebouwen, bouw die toe is aan verbetering en minder milieuvervuilend bouwen vormen samen een goed motief om bestaande kantoorgebouwen te transformeren naar woongebouwen. Bij deze transformaties is het optoppen van het gebouw een optie die in de gaten gehouden moet worden. Vanwege de lagere variabele belasting eisen voor woongebouwen dan voor kantoorgebouwen, hoeft aan deze constructies en de funderingen zelf vaak weinig veranderd te worden om een optopping te realiseren. Verder is een optopping ideaal om de woningdiversiteit te vergroten en om een groen dakterras te creëren. Uiteraard zijn er nog vele andere situaties te bedenken waarbij optoppingen gebruikt kunnen worden.

Er zijn al enkele succesvolle projecten waarbij optopping gecreëerd zijn, maar optoppen slaat nog niet aan. Allereerst is het daarom belangrijk om kansrijke situaties gemakkelijk te kunnen onderscheiden van andere situaties. Ten tweede dient optuppen aantrekkelijker te worden gemaakt. Daarom zal in dit onderzoeksverslag gekeken worden naar materialen en technieken die samen een veilige, comfortabele, duurzame en economische kunnen creëren.

Dit rapport beantwoordt de vraag: Met welke materialen en technieken kan een veilige, comfortabele, duurzame en economische optopping gecreëerd worden?

Om kansrijke situaties gemakkelijker te vinden moeten er eisen worden opgesteld waaraan een gebouw dient te voldoen, opdat de keuze voor optoppen verstandig is. Verder dient er een stappenplan te worden opgesteld die gevuld dient te worden om snel en gemakkelijk te bepalen wat de mogelijkheden en de obstakels zijn voor het optopen van het specifieke gebouw in de gekozen situatie.

Door middel van een literatuurstudie en door te kijken naar referentieprojecten zal de hoofdvraag worden beantwoord. De gevonden conclusies en resultaten zullen vervolgens worden geanalyseerd. Deze analyse wordt uitgevoerd door in de situatie van de casestudy, met deze conclusies en het stappenplan als leidraad een optopping te ontwerpen en door te rekenen. Deze ontworpen optopping zal vervolgens vergeleken worden met de daadwerkelijke gevonden optopping om tot de uiteindelijke conclusie van dit onderzoeksverslag te komen. Door met een onbevangen blik dit onderzoek in te gaan en door de beste punten uit succesvolle referentieprojecten te gebruiken en dit te combineren met een literatuurstudie, wordt gepoogd om tot nieuwe inzichten te komen voor optoppen.

In dit onderzoeksverslag wordt in hoofdstuk 2 gekeken naar mogelijke constructiematerialen om te gebruiken in een optopconstructie. Vervolgens worden er drie referentieprojecten bekeken in hoofdstuk 3. In hoofdstuk 4 zal er worden gekeken naar de bouwfysica van optoppen. Aan de hand van de gevonden informatie in hoofdstuk 2, 3 en 4 wordt er in hoofdstuk 5 een korte conclusie geschreven en een stappenplan opgesteld. Met behulp van dit stappenplan zal voor de casestudy een optopping worden ontworpen en doorgerekend. Deze gevonden optopping zal vervolgens vergeleken worden met de door Pieters Bouwtechniek gecreëerde optopping om tot de uiteindelijke conclusie van dit onderzoeksverslag te komen.

2 Constructiematerialen

2.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er gekeken welke constructiematerialen en welke type constructie voor een optopping geschikt zijn. Voor het optopen van gebouwen is het gebruiken van een lichtgewicht constructie essentieel. Door een lichtgewicht constructie toe te voegen, zullen er minder of geen aanpassingen nodig zijn in de funderingen en de bestaande hoofddraagconstructie. In dit hoofdstuk zullen mogelijke materialen eerst kort worden besproken in paragraaf 2.2. In paragraaf 2.3 wordt vervolgens per materiaal de mogelijke toepassing in een optopping besproken.

2.2 Keuze constructiematerialen

J. Schaap (2017, p. 123) heeft gevonden dat er zes materialen zijn die grote potentie tonen voor het gebruik in lichtgewicht constructies. Deze materialen zijn staal, beton, hout, aluminium, bamboe en FRP. Constructiematerialen die geen potentie tonen zijn onder andere metselwerk, steen en glas. De zes gevonden materialen hebben verschillende eigenschappen. Elk materiaal zal dus voor bepaalde functies beter te gebruiken zijn dan voor andere functies. Door eerst per materiaal deze eigenschappen te achterhalen, kan per materiaal bepaald worden welke mogelijke toepassingen er zijn in een optopping. Verder wordt er gekeken op welke manieren deze materialen gecombineerd kunnen worden om de optimale constructie tot stand te brengen.

2.2.1 Staal

Sinds het begin van de negentiende eeuw werd staal intensiever gebruikt voor civiele constructies. Door het gebruik van staal konden er grotere constructies worden gemaakt met langere overspanningen dan voorheen mogelijk was met Portlandcement (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 273,274).

Puur ijzer is niet bruikbaar als constructiemateriaal, vanwege haar zwakke en buigzame gedrag. Staal is een legering van ijzer en andere legeringsbestandsdelen. Van deze overige bestandsdelen is koolstof het belangrijkste element dat invloed heeft op de eigenschappen van het staal. Voor de productie van sterk en taai staal moet de legering minder dan twee massaprocent koolstof bevatten. Als de legering meer dan twee massaprocent koolstof bevat, wordt deze gietijzer genoemd. De legering is dan hard maar bros. Als de legering te weinig koolstof bevat, dan zal hij zwak, smeedbaar en vervormbaar zijn. Constructiestaal bevat maximaal 0,3% koolstof (Allen & Iano, 2013, p. 424) (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 283).

Een andere manier om de eigenschappen van staal te verbeteren is door het gebruik van thermomechanische processen. Tijdens zo'n proces wordt het staal zeer snel gekoeld en vervolgens gedeeltelijk verwarmd. Door dit proces kan een specifieke microstructuur van het staal worden verkregen en krijgt het staal dus de vereiste eigenschappen (Allen & Iano, 2013, p. 428).

De verbindingen tussen stalen constructies worden vaak gemaakt met behulp van lassen. De twee delen worden verwarmd totdat ze samensmelten. Door het staal vervolgens te laten stollen zal er een sterke verbinding ontstaan (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 293).

Doordat S235 staal sneller leverbaar is dan S355 staal, verdienen constructies van S235 staal de voorkeur boven constructies van S355 staal.

2.2.2 Hout

Hout is een van de oudste constructiematerialen. Doordat hout een biologische oorsprong heeft, is het een heterogeen materiaal. De sterkte en stijfheid zijn niet overal in het materiaal gelijk. De kwaliteit van het hout wordt weergegeven met de gemiddelde eigenschappen van het hout (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 557).

2.2.3 Beton

Beton is het materiaal dat ontstaat wanneer cement, water, aggregaat en eventuele toeslagstoffen worden gemixt. Beton is met name geschikt voor het dragen van drukkrachten. Ondanks dat beton niet zo sterk of taai als staal is, is het het meest gebruikte constructiemateriaal. Enkele redenen hiervoor zijn; allereerst omdat beton een goede weerstand heeft tegen water, ten tweede omdat beton het goedkoopste en het gemakkelijkste beschikbare constructiemateriaal is en tot slot omdat beton voor het uitharden in de plastische fase zit, is er in alle mogelijke vormen en dimensies mee te construeren (Kumar Mehta & Monteiro, 2001, p. 17-19).

2.2.4 FRP

FRP staat voor “Fibre-Reinforced Polymer”, hiermee wordt op een composietmateriaal geduid. Afzonderlijk hebben deze materialen niet de juiste eigenschappen om als een constructiemateriaal gebruikt te worden. Maar door deze verschillende materialen samen te voegen kunnen wel de juiste eigenschappen worden verkregen. FRP-materialen komen in twee fases tot stand. Allereerst worden de vezels versterkt. In de meeste gevallen bestaan deze vezels uit glas, koolstof of aramide. Door de vezels te versterken, verbeteren de eigenschappen van het materiaal. Dit heeft vooral veel effect op de sterkte en stijfheid van het materiaal. In de tweede fase worden deze verschillende materialen samengevoegd met behulp van een polymere matrix, die fungeert als een soort lijm. Door deze polymere matrix kunnen krachten worden overgebracht tussen de verschillende vezels. FRP-materialen bevatten ook vaak opvulmaterialen, de voordelen van deze opvulmaterialen is dat ze de productiekosten kunnen reduceren, het productieproces makkelijker kunnen maken en bepaalde eigenschappen van het FRP kunnen verbeteren (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 506).

Een nieuwe ontwikkeling die in opkomst is, is het versterken van beton met FRP-vezels. Uit het onderzoek van Karabinis en Rousakis is gebleken dat zelfs een kleine toevoeging van 0,23 tot 0,7 volumeprocent FRP-vezels aan het beton een positieve impact heeft op de kracht, buigzaamheid en energieabsorptie van het beton (2002, p. 923).

2.2.5 Aluminium

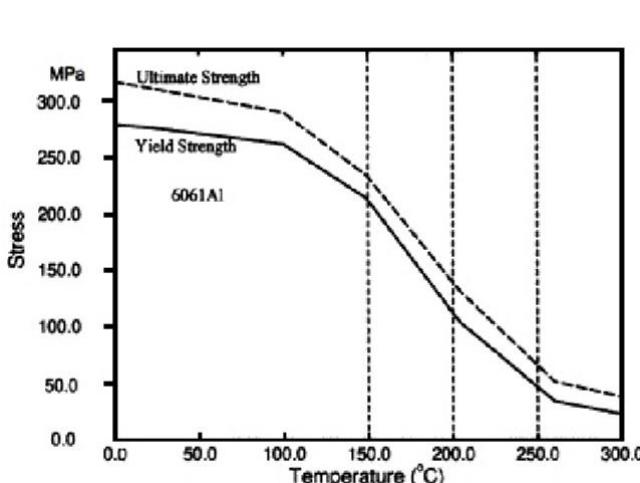
Een ander bouwmateriaal dat in opkomst is, is aluminium. Het materiaal biedt vele voordelen, maar door de hoge productieprijs wordt het materiaal nog nauwelijks gebruikt. De laatste jaren is gebleken dat aluminium legeringen ook economisch kunnen zijn. Door de stijgende prijs van constructie staal, is de verwachting dat de vraag naar constructie aluminium zal stijgen.

Het gebruik van aluminium heeft meerdere voordelen. Allereerst kan er afhankelijk van de belasting op de constructie tot 70% eigengewicht worden bespaard ten opzichte van staal en 90% eigengewicht worden bespaard ten opzichte van gewapend beton. Hoe meer het eigengewicht van de constructie een rol speelt ten opzichte van de belastingen op de constructie, hoe meer gewicht kan worden bespaard door het gebruik van aluminium. Door deze gewichtsbesparingen, zal de belasting op de fundering ook verminderen. Andere voordelen zijn dat grotere onderdelen van de

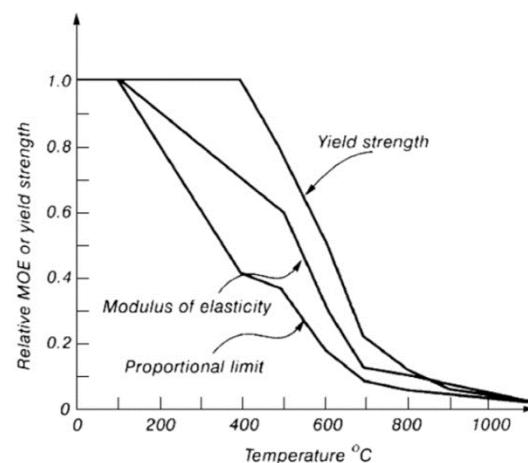
constructie makkelijker getransporteerd kunnen worden en dat constructies door het lichtere gewicht met minder fysieke arbeid in elkaar gezet kunnen worden. Naast het besparen van gewicht heeft het gebruik van aluminium ook de voordelen dat het materiaal een grote weerstand tegen roesten heeft, volledig recyclebaar is en goede constructie eigenschappen heeft (Müller, 2011, p. 5).

De Royal Society of Chemistry (2017) geeft aan dat het eigengewicht van puur aluminium $2,70 \text{ g/cm}^3$ is. Het eigengewicht van puur ijzer is $7,87 \text{ g/cm}^3$. Dit is ongeveer hetzelfde eigengewicht als staal. Staal is dus $\frac{7,87}{2,70} = 2,9$ keer zo zwaar als aluminium.

Het grootste nadeel van aluminium is de snelle afname van sterkte in geval van brand ten opzichte van staal. In figuur 2.1 en figuur 2.2 is het verschil in reductie van de vloeisterkte (yield strength) tijdens brand gegeven voor zowel aluminium als staal. Hierin is goed te zien dat aluminium een veel sterker afname van sterkte heeft dan staal wanneer de temperatuur toeneemt. Het gebruik van een aluminium constructie betekent dus dat er extra op de brandwerendheid moet worden gelet.



Figuur 2.1 Temperatuur afhankelijke variatie van yield strength en ultimate strength van 6061 Aluminium legering. (Dao & Asaro, 1999, figure 2)



Figuur 2.2 Temperatuur afhankelijke variatie van yield strength en modulus of elasticity van staal (Nederlands Normalisatie Instituut, 2011, p.28)

2.2.6 Bamboe

Bamboe bestaat uit een structuur met een holle kern, een dunne wand en een ronde vorm. Bamboe is nooit perfect rond en heeft verschillende eigenschappen over de lengte van het materiaal. Er zijn ook bamboe soorten met een vierkante vorm. Het materiaal bestaat uit vezels in lengterichting en vaatweefsels langs de straal van het materiaal. Doordat Bamboe een natuurlijk materiaal is, is het hernieuwbaar en biologisch afbreekbaar. Ook slaat bamboe CO₂ op. Daarom is bamboe een zeer duurzaam materiaal (Harries & Sharma, 2016, p. 393) (Fan & Fu, 2017, p. 236).

Bamboe is in feite een grote grassoort. Het wordt al jarenlang veel gebruikt als constructiemateriaal in Zuidoost-Azië en Latijns-Amerika vanwege haar lage kracht:massa ratio. In het westen is bamboe nog geen populair constructiemateriaal. Europa heeft nog geen specifieke gebouwwetgeving omtrent het gebruiken van bamboe als constructiemateriaal (J. Schaap, 2017, p. 36). Alleen de standaard normen voor constructiematerialen zijn aanwezig.

Het verouderen van bamboe heeft een negatief effect op de constructieve eigenschappen. Uit onderzoek is beleken dat de dichtheid van de stengels in de eerste vijf jaar verminderd. Ook lijkt het erop dat verschillende bamboe vezels sterven naarmate het materiaal ouder wordt. Naar de eigenschappen van bamboe wordt nog veel onderzoek gedaan (J. Schaap, 2017, p. 37).

2.3 Conclusie constructiematerialen

	Kosten [GBP/kg]	Normen aanwezig	Consistente kwaliteit	overig	
Steel (S235)	0,48 - 0,58	ja	ja		
Concrete	0,03 - 0,045	ja	ja	kan nauwelijks trekkrachten opnemen	
Wood	0,50 - 0,55	ja	nee	behandeld hout heeft grotere embodied carbon footprint	
FRP (Koolstof)	31,7 - 38	nee	ja	Bruikbaar als versterking voor trekkrachten in hout- of betonconstructies	
FRP (Aramid)	53,2 - 150	nee	ja	Bruikbaar als versterking voor trekkrachten in hout- of betonconstructies	
Aluminium (A7075-T6)	1,46 - 1,54	ja	ja	snelle vloeigrens afname tijdens brand	
Bamboo	1,01 - 1,52	nee	nee	vezels sterven na 5 jaar met een verlies van sterkte als gevolg	
	Trekkracht [Mpa]	dichtheid [kg/m³]	Elastische modulus [Mpa]	Trekkracht/dichtheid [kN/kg/m]	Embodied carbon footprint [kgCO₂/kg]
Steel (S235)	235	7800	200.000	30,1	1,49
Concrete	6,9 - 83 ⁽¹⁾	2300	21.000 - 31.000	19,6	0,15
Wood	2,1 - 6,9	480	6.900 - 13.000	9,4	-1,37
FRP (Koolstof)	2600 - 3600	1700 - 1900	200.000-400.000	1722,2	8,24
FRP (Aramid)	2800 - 4100	1400	70.000 - 190.000	2464,3	8,24
Aluminium (A7075-T6)	500	2700	70.000	186,3	8,1
Bamboo	80-148	663-764	13.500 - 27.700	103,6	0,59

(1) Drukkracht [Mpa] is gebruikt voor beton

Tabel 2.1 Belangrijkste eigenschappen mogelijke materialen ((Allen & Iano, 2013, p. 101), (Clara Gonçalves & Margarido, 2012, p. 507), (MIT, 1999), (J. Schaap, 2017, p. 37), (GrantaDesignLimited, 2015)).

Tabel 2.1 geeft voor de zes materialen de eigenschappen waarop deze beoordeeld zullen worden. Gezocht wordt naar een materiaal dat goed scoort op de alle eigenschappen. Doordat in staal en aluminiumconstructies vaak gebruik wordt gemaakt van profielen, is de ratio ‘trekkracht/dichtheid’ voor deze beide materialen in werkelijkheid hoger dan weergegeven in tabel 2.1.

Verder verdient een materiaal de voorkeur dat gemakkelijk te vervoeren is, dat snel in elkaar te zetten is, weinig ruimte rondom het gebouw vereist en die gemakkelijk het dak van een gebouw op te verplaatsen is. Dit is mogelijk door te kiezen voor het gebruik van frames of prefab onderdelen.

Doordat beton erg slecht kan omgaan met trekkrachten, is een constructie volledig uit beton bestaand geen verstandige oplossing. Hogesterktebeton of gewapend beton is eventueel bruikbaar voor de constructie van de kolommen van de optopping.

Door het gebrek aan normen zal in dit onderzoeksverslag niet worden gewerkt met FRP of Bamboe. Bamboe is een materiaal dat eventueel gebruikt kan worden in de vloerconstructie. FRP is vanwege de hoge prijs op dit moment nog geen verstandig materiaal om te gebruiken. Eventueel zou FRP in de toekomst worden gebruikt om bestaande betonnen kolommen te versterken. Door een dunne laag FRP om het beton te wikkelen kan de sterkte van het beton worden vergroot.

Staalframebouw lijkt de beste oplossing voor een optopconstructie. Echter wanneer het eigengewicht van de optopping een belangrijkste factor is, dient er gekeken te worden naar aluminium als alternatief voor staal. Vanwege de hogere prijs en de grote milieu-impact dient kritisch naar deze mogelijkheid gekeken te worden. De ratio ‘trekkracht/dichtheid’ van hout is lager dan van staal, waardoor een stalen constructie de voorkeur verdient boven een houten constructie. Hout heeft echter wel betere thermische isolatie eigenschappen dan staal (Coelho, Lopes, Branco & Gervásio, na 2013, p. 4). Echter is hout goed bruikbaar voor de constructie van vloeren.

Stalen profielen zijn de efficiëntste manier om verticale krachten horizontaal af te dragen. Hout en bamboe verschillen niet erg veel van deze efficiëntie wanneer de krachten klein zijn. Doordat doorbuiging in staalframebouw vaak bepalend is, is het kiezen van de sterkste staalsoort niet nodig. S235 zal voldoen. Bovendien is S235 sneller leverbaar dan S355. Een complete vloer systeem uit staal maken is geen optimale oplossing. Geadviseerd wordt om stalen gordingen te combineren met hout of bamboe platen om optimale vloerconstructies te realiseren (J. Schaap, 2017, p. 113-114). Constructie elementen in druk moeten van staal of aluminium worden gemaakt. Staal moet boven aluminium gekozen worden in situaties waar knik maatgevend is (J. Schaap, 2017, p. 104).

3 Referentieprojecten

3.1 Gekozen referentieprojecten

In dit hoofdstuk wordt er informatie verkregen door naar drie referentieprojecten te kijken. Namelijk Eemstein, Karel Doorman en Astoria. In bijlage A.1, A.2 en A.3 respectievelijk worden deze drie referentieproject uitgebreid besproken. Bij het Eemstein project en het Karel Doorman project is er gekeken naar de volgende aspecten van de optopping: de aanleiding voor de keuze tot optopping, de hoofddraagconstructie en de eventuele aanpassingen hierin, de gekozen optopconstructie, het gewicht per onderdeel van de optopping, de vloerconstructie en haar eigengewicht, de gevelconstructie, de stabiliteit, de brandveiligheid, het thermisch comfort, het akoestisch comfort en de vibraties.



Figuur 3.1, Eemstein, te Zwijndrecht. (From "Fundu")



Figuur 3.2, Karel Doorman. te Rotterdam. (From "de Architect")

Bij het derde referentieproject is gebruik gemaakt van het onderzoek van Papageorgiou (2016). In dit onderzoek is er gekeken naar verschillende mogelijke optopping van het Astoria gebouw. Deze mogelijke optoppingen zijn telkens vergeleken met slopen en nieuwbouw van het gebouw.

3.2 Conclusie referentieprojecten

In het vakblad "Bouwen met staal" staat dat: "Volgens een vuistregel van projectontwikkelaars is renovatie alleen aantrekkelijk wanneer de kosten daarvan niet hoger zijn dan 60 tot 70% van de kosten voor sloop en nieuwbouw." (Vervest, B.C.H. & Barendsz, 2006, p. 5).

Deze uitspraak combinerend met de gevonden resultaten van eventuele optopping van de Astoria lijdt tot de conclusie dat het optopen alleen in het scenario waarbij optopen zonder de kritieke constructie elementen te versterken aantrekkelijk is. Het optopen van gebouwen blijkt uit deze conclusie slechts aantrekkelijk wanneer de bestaande constructie geen tot minimale versterking nodig heeft.

Gebleken is dat de vloeren de grootste invloed hebben op het eigengewicht met 69% van het totale gewicht voor Eemstein en 59% van het eigengewicht voor Karel Doorman. Dit betekent dat gewichtsbesparing in de vloeren van het gebouw het zwaarst meetelt in de totale constructie en hier dus het meest op gelet dient te worden.

Bij zowel Eemstein als Karel Doorman is gebruik gemaakt van staalframebouw voor de hoofddraagconstructie. Verschil is dat bij Eemstein voor de vloerconstructie ook gebruik is gemaakt

van staalframebouw. Het eigengewicht van deze vloer is 197 kg/m². Bij de Karel Doorman is gebruik gemaakt van houten vloeren. Deze verdiepingsvloeren weegt 206,5 kg/m². Inclusief wanden, gevels, balkons, gangen, plafonds, installaties en leidingen weegt de constructie 250kg/m² voor de verdiepingsvloer.

Om de brandveiligheid te kunnen garanderen in een optopconstructie zijn geen ingrijpende veranderingen nodig. Het coaten met een vuurbestendige laag van de overgangsstructuur, kolommen en balken, en eventueel vloeren voldoet vaak al voldoende. Lichte constructies hebben een gunstig effect op het thermisch comfort. Deze zijn snel op te warmen en af te koelen. Het gebruik van steenwol en een extra isolatielaag voor het dak waren met de oude normen voldoende. Met de hedendaagse strengere normen moet er gekeken worden of er geen grotere ingrepen nodig zijn. Het verminderen van de vibraties en het garanderen van het akoestisch comfort zijn de grootste factoren waar op gelet moet worden. Een grotere afstand tussen de vloer en de staalframebouwconstructie verbetert het akoestisch comfort en helpt mee met het verminderen van de vibraties. Ook is het mogelijk om elastomeren te plaatsen tussen constructiedelen om op deze manier demping te creëren (J. Schaap, 2017, p. 65).

In zowel Eemstijn als Karel Doorman bestaat de beplating van de elementen bij de wandelementen uit gipsplaat en bij de vloerelementen uit een anhydride dekvloer aangebracht boven een gipsplaat. Er zijn meerdere redenen waarom voor deze gipsplaat is gekozen. Allereerst beschermen de gipsplaten de staalprofielen tijdens een brand voor 60 minuten tegen bezwijken. Verder ondersteunt de gipsplaat de constructie op drie manieren, het verhindert het uitknikken van de stalen stijlen in de wandelementen, het voorkomt kip van de liggers en plooï in de vloerelementen.

Uit de referentieprojecten is staalframebouw naar voren gekomen als het populairste systeem voor optoppingen. Staalframebouw is een bouwsysteem dat bestaat uit geprefabriceerde dragende wand- en vloerelementen. Deze lichte en maatvaste elementen kunnen op de bouwplaats snel aan elkaar worden verbonden om zo snel een wind en waterdicht gebouw te realiseren. Er zijn meerdere redenen dat staalframebouw het populairste systeem is voor optoppingen. Hier zijn meerdere redenen voor. Ten eerste legt staalframebouw weinig beperkingen op in het ontwerp van plattegronden en gevels. Ten tweede is een vloer van staalframebouw inclusief een calciumsulfaat gebonden dekvloer en gipsplafond een van de lichtste op de markt met een minimaal gewicht tot 175 kg/m³. Verder is staalframebouw gemakkelijk en vlot te transporteren en te monteren. Tot slot levert staalframebouw economische overspanningen tot 7,5 a 8,5 meter (Bouwen met staal 208, 2009, p. 28-29).

Qua milieu impact verdient een optopping, ongeacht of de funderingen en hoofddraagconstructie versterkt moet worden, altijd de voorkeur boven sloop en nieuwbouw. (Papageorgiou, 2016, p. 107-163).

4 Bouwfysica

4.1 Inleiding

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de bouwfysica van een optopping. Het gebruik van een lichtgewicht constructie voor de optopping heeft voor- en nadelen qua bouwfysica. Het grootste bouwfysische voordeel is dat de optopping snel op te warmen en af te koelen is. Het grootste bouwfysische nadeel is dat een lichtgewicht constructie over het algemeen een slechter akoestisch comfort heeft. Dit geldt voornamelijk voor vibraties met lage frequenties (Ljunggren & Ågren, 2011, p. 231) (J. Schaap, 2017, p. 65).

In dit hoofdstuk zal er in paragraaf 4.2 worden ingegaan op het thermisch comfort. In paragraaf 4.3 komt het akoestisch comfort en de vibraties van de optopping naar voren. Paragraaf 4.4 gaat over de brandveiligheid van de optopping.

4.2 Thermisch comfort

Wanneer een gebouw doordat voor verbouw het rechtens verkregen niveau geldt, hoeft het gebouw slechts aan de warmteverstand van $R_c = 1,3 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$ te voldoen. Het rechtens verkregen niveau is het niveau waaraan de verbouw moet voldoen. De ondergrens van dit rechtens verkregen niveau is het niveau bestaande bouw. Echter bepaalt de opdrachtgever in hoeverre er een kwaliteitsniveau zal worden gecreëerd dat voldoet aan de wensen van de (woon)consument. (Ministerie van binnenlandse zaken en koninkrijksrelaties, 2013)

Om te voldoen aan de eisen voor nieuwbouw moeten de volgende R_c waarden worden bereikt. Voor de vloeren $3,5 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$, voor de gevels $4,5 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$ en voor het dak $6,0 \text{ m}^2 \times \text{K/W}$. Op de energieprestatie en de eisen van warmteverstand voor ramen en deuren zal niet verder worden ingegaan.

isolatiemateriaal	volledige naam	dichtheid [kg/m^3]	warmtegeleiding [W/mK]	Waterdamp Permeantie [Perm-inch]	brandklasse ⁽¹⁾	eigengewicht factor
PUF	Polyurethane foam	30-80	0.03 - 0.045	0.4-1.6	E	0,68
EPS	Expanded polystyrene	18-50	0.033 - 0.045	2.0-5.8	E of F	1,15
XPS	Extruded polystyrene	20-80	0.025 - 0.035	1.2	E	0,60
steenwol		30-180	0.029 - 0.041	116	A1	0,33
glaswol		13-100	0.020 - 0.027	118	A1	0,42

(1) de brandklassen zijn gevonden door verschillende CE-markeringen te bestuderen. Deze CE-markeringen zijn te vinden in de literatuurlijst

Tabel 4.1 Eigenschappen van thermische isolatiematerialen. (Agarwal & Gupta, 2011, p. 555)

Door per isolatiemateriaal de gemiddelde warmtegeleiding door de gemiddelde dichtheid te delen en dit resultaat met 1000 te vermenigvuldigen, is er een eigengewicht factor gecreëerd. Wanneer een materiaal een hoge eigengewicht factor heeft, dan kan er met een laag eigengewicht dezelfde warmtegeleiding worden gecreëerd.

Steenwol en glaswol scoren veel slechter op de permeantie van waterdamp dan de overige materialen. De permeantie geeft aan hoe gemakkelijk waterdamp door het isolatiemateriaal trekt. Deze hoge permeantie waarde is geen probleem wanneer folie wordt toegepast.

Door te kijken naar enkele CE-markeringen van materialen is de brandklasse van deze materialen bepaald. Uit de brandklasse blijkt dat steenwol en glaswol onbrandbaar zijn en geen bijdrage leveren aan de brand. PUF, EPS en XPS zijn zeer tot uiterst brandbaar en hebben een zeer hoge tot gevaarlijke bijdrage aan de brand.

Zeker bij het gebruik van een staalframeconstructie is het belangrijk om op de brandklasse te letten, aangezien er branddoorslag mogelijk is vanuit de gevel naar binnen toe. Er is namelijk nauwelijks materiaal aanwezig tussen het isolatiemateriaal en de binnenruimte van het gebouw. Daarom wordt er geadviseerd om geen gebruik te maken van PUF, EPS of XPS in de gevels, vloeren en muren van de optopconstructie. De brand in de Grenfell Tower geeft ons een duidelijk beeld wat voor desastreuse gevolgen het gebruiken van kunststofschuim isolatiemateriaal kan hebben.

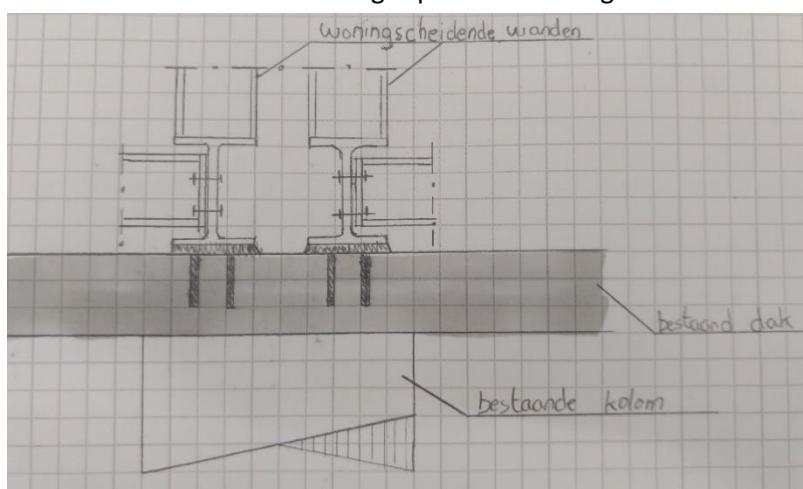
Uit bovenstaande tabel komt glaswol naar voren als beste isolatiemateriaal voor een optopconstructie. Vanwege de brandklasse en eigengewicht factor.

4.3 Akoestisch comfort en vibraties

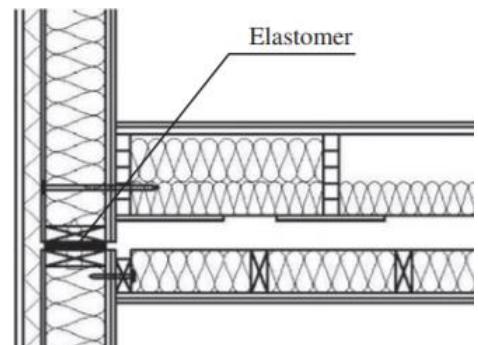
Er is geluidwering nodig voor inwendig en uitwendig geluid. Het gebruiken van een gevel en dak die het geluid goed absorberen en reflecteren is meestal voldoende om het uitwendige geluid te dempen. Het dempen van inwendig geluid is een flinke opgave in lichtgewicht bouw. Er zijn drie soorten inwendig geluid; contactgeluid, luchtgeluid en flankerend geluid. Deze dienen alle drie te worden beperkt. Bij contactgeluid wordt de constructie aan het trillen gebracht, door een geluidsbron of bijvoorbeeld een hamer. Deze vibratie plant zich in de constructie voort en brengt de lucht in een andere ruimte aan het trillen. Bij luchtgeluid brengt een geluidsbron de lucht aan het trillen die vervolgens door een constructiedeel wordt doorgegeven aan een achterliggende ruimte. Bij flankerend geluid gaat een vibratie door meerdere constructiedelen en wordt zo doorgegeven aan een andere ruimte (J. Schaap, 2017, p. 57).

Er zijn meerdere technieken voor het garanderen van akoestisch comfort gevonden in de referentieprojecten. Om het contactgeluid te verminderen wordt er in beide referentieprojecten gebruik gemaakt van een anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten.

Verder heeft het aanbrengen van een lege ruimte tussen de anhydride dekvloer en de veerkrachtige gipsplaten een positief effect op het flankerend geluid. Doordat bij een optopping geprobeerd wordt om de hoogte van de optopping te beperken is dit vaak niet de beste oplossing. Daarom zijn er andere technieken gebruikt in beide referentieprojecten om het flankerende geluid te verminderen. Zo is bij het Karel Doorman project elastomeren aangebracht tussen de vloer en de draagconstructie van de vloer, zie figuur 4.2. Bij het Eemstein project is gebruik gemaakt van een zwevende dekvloer. Ook zijn hier de woningscheidende elementen volledige gescheiden van elkaar geplaatst, zoals in figuur 4.1 weergegeven is. Al deze aanpassingen zorgen voor een aanzienlijke demping van de vibraties die de vloer overdraagt op de hoofddraagconstructie.



Figuur 4.1 optopconstructie met ruimte tussen de woningscheidende wanden



Figuur 4.2 Toepassing elastomeren tussen de vloer en plafond constructie. (Ljunggren & Ågren, 2011, p. 232)

Om een optimale geluidsdemping en vibratiedemping te creëren dient er gekeken te worden naar het optimaliseren van het ontwerp van de elastomeren en van de stijfheden van de constructie-onderdelen.

Tot op heden zijn er geen betrouwbare wiskundige modellen om de geluidsdemping te voorspellen. Het ontwerpen van de geluidsdemping in lichtgewicht gebouwen is daarom erg lastig (Ljunggren & Ågren, 2011, p. 231). Echter is door Level Tools, een onderdeel van Level Acoustics & Vibration uit Eindhoven een tool uitgebracht om geluid en vibraties te testen in lichtgewicht bouwsystemen. Om dit programma, genaamd Sovist, te kunnen gebruiken is er informatie nodig van de te gebruiken materialen.

Met behulp van dit programma, door te kijken naar voorgaande ervaringen en door metingen uit te voeren kan de geluidsdemping van lichtgewicht gebouwen gecreëerd worden (Ljunggren & Ågren, 2011, p. 231).

4.4 Brandveiligheid

In de referentieprojecten is de brandveiligheid gegarandeerd door de overgangsstructuur, de kolommen en de balken te coaten met een vuurbestendige laag. Andere materialen die helpen met het vertragen van doorslag van de brand naar een andere ruimte zijn; gipsplaten, die ook voor het akoestisch comfort worden gebruikt en glaswol, die ook voor het thermisch comfort wordt gebruikt.

5 Casestudy

5.1 Inleiding

In de casestudy zal worden gekeken naar het SCYE010 project te Schiedam. Door middel van deze casestudy zullen de conclusies uit de literatuurstudie en referentieprojecten nogmaals worden gecheckt. Ook zal er een stappenplan worden opgezet waarmee op een snelle manier voor elk project kan worden bepaald of optoppen een reële oplossing is. Dit stappenplan zal worden gevuld voor het ontwerpen en doorrekenen van de optopping voor deze casestudy. De conclusies uit de literatuurstudie en referentieprojecten en het stappenplan zullen in paragraaf 5.2 worden genoteerd. In paragraaf 5.3 wordt de casestudy kort besproken. Vervolgens wordt in paragraaf 5.4 kort ingegaan op de normen die gelden voor optoppingen. In paragraaf 5.5 zal voor de casestudy een optopping worden ontworpen gebaseerd op de gevonden conclusies en het stappenplan. Deze ontwerpen optopping zal vervolgs in paragraaf 5.6 worden geanalyseerd. Dit wordt gedaan door deze ontwerpen optopping te bespreken met de begeleider en te vergelijken met de optopping ontwerpen door Pieters Bouwtechniek.

5.2 Gevonden conclusies en stappenplan

Voor de constructie van de optopping blijkt een frameconstructie de beste oplossing te zijn. Er zijn hier drie keuzes in; staalframebouw, aluminiumframebouw en houtskeletbouw. Staalframebouw verdient de voorkeur. Is staalframebouw te zwaar dan kan aluminiumframebouw worden overwogen vanwege het lagere eigengewicht. Hier zit echter een hogere prijs en een grotere milieu-impact aan verbonden. Mocht de situatie een frameconstructie met een groter eigengewicht toestaan, dan kan voor de duurzamere houtskeletbouw variant worden gekozen. Het grootste gedeelte van het eigengewicht nemen de vloeren met zich mee, geadviseerd wordt daarom om te focussen op het creëren van een lichte vloerconstructie. Uit de literatuurstudie is naar voren gekomen dat een optimale vloerconstructie kan worden gecreëerd door stalen gordingen te combineren met hout of bamboe platen.

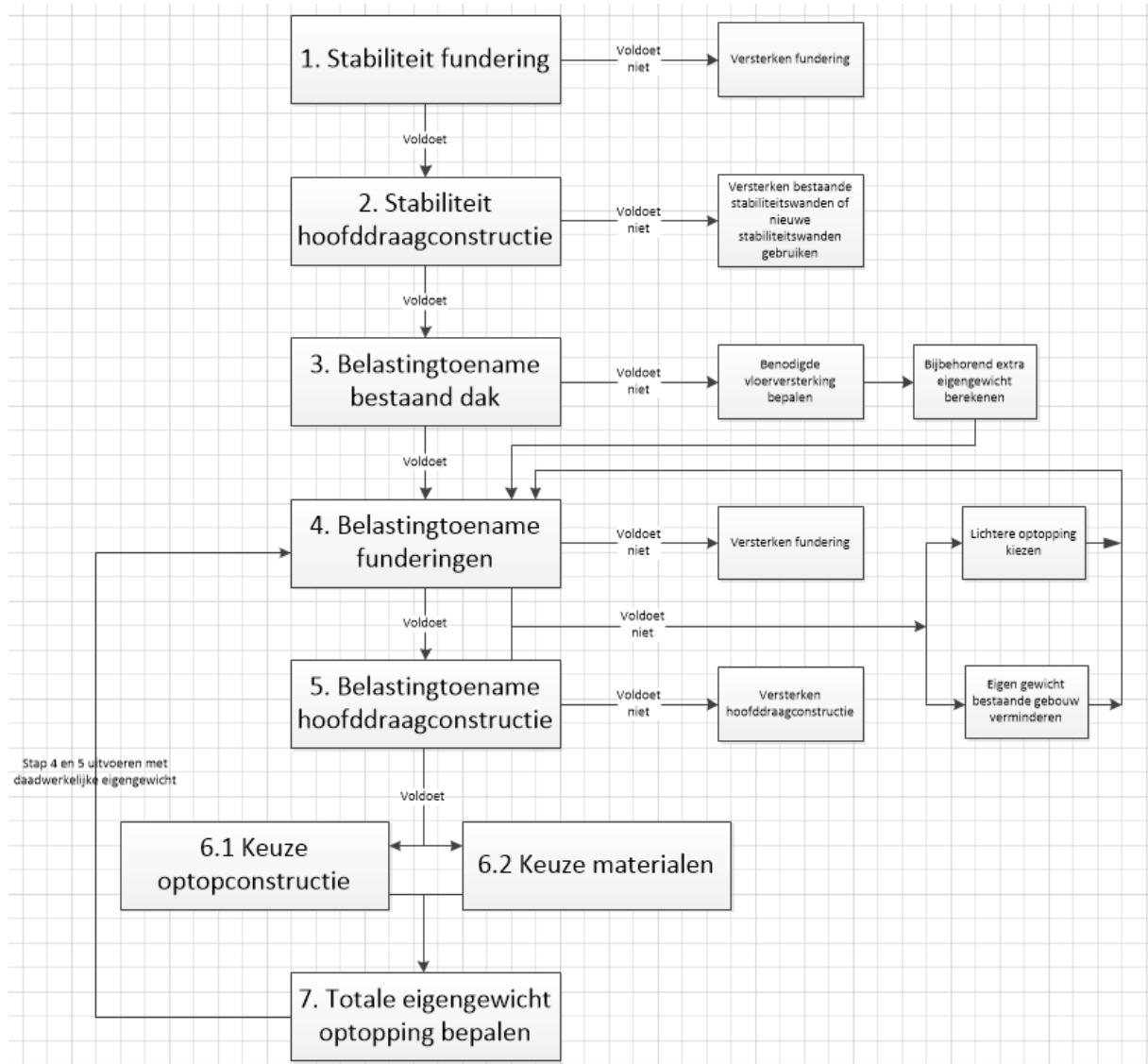
Optoppingen waarbij de fundering dient te worden aangepast moeten vermeden worden, vanwege de hoge kosten die hieraan verbonden zijn. Kleine aanpassingen in de hoofddraagconstructie zullen in de meeste gevallen nog tot een economisch ontwerp leiden.

Bij het toepassen van thermische isolatie in een staalframeconstructie is het belangrijk om op de brandklasse van het thermisch isolatiemateriaal te letten, aangezien er branddoorslag mogelijk is vanuit de gevel naar binnen toe. Er is namelijk nauwelijks materiaal aanwezig tussen het isolatiemateriaal en de binnenruimte van het gebouw. Vanwege de brandklasse en het gunstige eigengewicht wordt glaswol als beste isolatiemateriaal gevonden voor een optopconstructie.

Voor het creëren van akoestisch comfort en het minimaliseren van vibraties zijn er meerdere technieken en materialen te gebruiken. Allereerst kan er gebruik worden gemaakt van een anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten. Verder kan er worden gekozen om elastomeren aan te brengen tussen de vloer en de draagconstructie van de vloer, zie figuur 4.2. Een andere techniek is de woningscheidende elementen volledige gescheiden van elkaar plaatsen, zie figuur figuur 4.1. Het akoestisch comfort kan getest worden door gebruik te maken van de tool Sovist. Deze tool is door Level Tools, een onderdeel van Level Acoustics & Vibration uit Eindhoven, uitgebracht om het akoestisch comfort en vibraties te testen in lichtgewicht bouwsystemen.

De brandveiligheid kan worden gegarandeerd door de overgangsstructuur, de kolommen en de balken te coaten met een vuurbestendige laag.

Tot slot zijn er een aantal eisen opgesteld waaraan een gebouw dient te voldoen, opdat de keuze voor optoppen verstandig is. Deze eisen zijn te vinden in bijlage B.



Figuur 5.1 Stappenplan optopping

In figuur 5.1 is het stappenplan gegeven waarmee de optopping snel en gemakkelijk constructief kan worden doorgerekend. Aan de start van dit stappenplan wordt een optopping van staalframe gekozen. Uit de literatuurstudie bleek dat dit type constructie optimaal is om te gebruiken in een optopping.

Wanneer de bestaande fundering moet worden versterkt, dan wordt aangeraden om de keuze voor een optopping te heroverwegen vanwege de hoge kosten. Wanneer de hoofddraagconstructie of de stabiliteitswanden moet worden versterkt, dan dient kritisch te worden gekeken wat de kosten hiervan zijn. Bij grote ingrepen wordt aangeraden om de keuze voor een optopping te heroverwegen vanwege de hoge kosten.

Er zijn nog twee belangrijke constructieve punten die in stap 6.1 gecheckt dienen te worden, namelijk dat de optopconstructie zelf op constructief gebied getoetst dient te worden en dat er gekeken dient te worden naar de verbinding tussen de optopconstructie en de bestaande constructie.

Een uitgebreide toelichting per stap van het stappenplan is in bijlage C weergegeven.

5.3 Situatieschets



Figuur 5.2 Bestaande situatie en impressie van de nieuwe situatie. (From: <https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/>)

De casestudy die in dit onderzoeksverslag wordt gebruikt is het SCYE010 project, te Schiedam.

Pieters Bouwtechniek is het ingenieursbureau achter het project. Pieters Bouwtechniek is betrokken bij de voorfase van het project en hebben de stukken tot de bouwaanvraag uitgewerkt. Het project gaat over de renovatie en transformatie van het voormalige DCMR kantoor. Dit pand is eind jaren 70' gebouwd en staat al jaren leeg. Het plan is om in de onderste woonlaag gezamenlijke voorzieningen aan te brengen en in de bovenliggende verdiepingen huurwoningen voor starters en kenniswerkers te creëren.

Het bestaande kantoorgebouw bestaat uit twee delen; het lage deel, dat momenteel 6 verdiepingen telt, genaamd bouwblok C en het hoge deel, dat momenteel 8 verdiepingen telt, aangeduid met de naam bouwblok B. Voor bouwblok B zal de installatie ruimte die een deel van het dak inneemt worden verwijderd.

Deze casestudy richt zich alleen op bouwblok B. De gegeven informatie voor bouwblok C zal verder niet behandeld worden in dit onderzoeksverslag, tenzij deze informatie van belang is voor de optopping op bouwblok B.

De bestaande hoofddraagconstructie bestaat uit kolommen waar in twee richtingen voorgespannen betonvloeren op rusten. Deze vloeren zijn puntvormig ondersteund door de kolommen, zonder



Figuur 5.3 Impressie bestaande constructie. (From: <https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/>)

gebruik te maken van ponskoppen. Figuur 5.3 geeft een impressie van deze constructie. Een plattegrond van de hoofddraagconstructie is te vinden in bijlage J.

De bestaande fundering bestaat uit in het werk gestorte funderingsbalken die door vibropalen worden ondersteund. Er is een indicatief palenplan opgesteld omdat het bestaande palenplan niet bekend is bij Pieters Bouwtechniek. Dit indicatief palenplan is te vinden in bijlage K.

De kwaliteit van de bestaande fundering is getest door Wareco ingenieurs door middel van scheefstandsmetingen. Een lintvoegwaterpassing en een vloerveldwaterpassing zijn uitgevoerd. Conclusie van deze metingen is dat de gemeten ongelijkmatige zakkering in relatie tot de grootte van het pand als nihil kan worden beoordeeld.

Pieters Bouwtechniek houdt een maximale toename van de paalbelasting (als rekenwaarde) aan in de orde van maximaal 10%. Dit is goedgekeurd door Bouw- en Woningtoezicht in een voorgesprek. Het percentage komt overeen met het (voorlopige) voorschrift NEN 8707. Dit voorschrift NEN 8707 zal nog definitief worden uitgegeven. Voor de berekening in deze casestudy zal ook dit maximale percentage van 10% worden aangehouden (Alting & Doomen, 2018, p. 20).

De opdrachtgever heeft ervoor gekozen om balkons en loggia te realiseren. In de casestudy zal er verder niet worden ingegaan op deze verandering

Overige gegevens en eisen voor de casestudy zijn te vinden in bijlage D.

5.4 Normen

Wanneer de functie van een gebouw wordt gewijzigd, dient het gebouw na de functieverandering minimaal te voldoen aan de voorschriften voor bestaande bouw voor de nieuwe gebruiksfunctie. Dit heet het rechtens verkregen niveau. Er kan altijd door de opdrachtgever gestuurd worden om een hoger kwaliteitsniveau aan te houden. Zo wordt er in het project SCYE010 door de opdrachtgever gestuurd om een hoger kwaliteitsniveau aan te houden dan de voorschriften voor bestaande bouw. Zo houdt de opdrachtgever strengere eisen aan voor vloerbelastingen dan de Eurocode geeft. Ook zijn er strengere eisen gesteld voor woningscheiding.

Voor het bespreken van de normen wordt er gekeken naar de belastingtoename op de funderingen. Voor de belastingtoename op de hoofddraagconstructie geldt in hoofdlijnen hetzelfde. De fundering van een gebouw kan een bepaalde kracht opnemen, dit is de minimumsterkte. Deze sterke is voor verbouw aangegeven in de norm NEN 8707. Het totaal aan belastingen op het gebouw moet leiden tot een rekenwaarde van de benodigde sterke van de fundering die kleiner is dan de rekenwaarde van de daadwerkelijke sterke van de fundering. Een unity check geeft de veiligheid van een gebouw.

$$U.C. = \frac{F_{ED}}{F_{RD}} = \frac{\text{rekenwaarde van de optredende kracht ten gevolge van de belastingen}}{\text{rekenwaarde van de kracht die de fundering kan opnemen}} < 1,0$$

Als deze unity check lager is dan 1,0 dan kan de fundering de verticale belastingen van het gebouw dragen. Hoe lager de unity check, des te veiliger het gebouw. Hoe dichter de unity check bij de 1,0 ligt, hoe economischer het ontwerp is. Als een kantoorgebouw een transformatie krijgt naar een woongebouw, dan kan er met een lagere veranderlijke belasting worden gerekend. Hierdoor kan bij een gebouw waarin een optopping is toegevoegd volgens deze rekenregels een lagere unity check geven dan de bestaande situatie.

Dit wetende lijkt een optopping van een gebouw zonder functiewijziging alleen mogelijk wanneer de fundering van het originele gebouw zijn over gedimensioneerd. Extra lagen toevoegen zorgt voor

extra belastingen, wat als gevolg heeft dat de F_{ED} -waarde zal stijgen. De F_{ED} -waarde wordt dan groter ten opzichte van de waarde voor het aanbrengen van de optopping en de unity check komt dan boven de 1,0 zal uitkomen.

Er zijn meerdere manieren om te zorgen dat deze F_{ED} -waarde niet groter dan de F_{RD} -waarde wordt. De eerste manier is het optappen van het gebouw met lichte materialen. Doordat het eigengewicht van deze materialen vrij laag is zal de F_{ED} -waarde niet veel stijgen. In hoofdstuk 2 en 4 zijn deze verschillende mogelijke materialen al toegelicht.

Een tweede manier is door de fundering te versterken, of een nieuwe extra fundering aan te brengen. Op deze manier zal de F_{RD} -waarde groter worden en kan een grotere F_{ED} -waarde dus worden opgevangen. Het grootste probleem van het versterken van de bestaande fundering of het aanbrengen van extra fundering is dat dit technisch erg lastig is, doordat het gebouw op de fundering staat. Hierdoor is het niet gemakkelijk om deze te versterken. Het is mogelijk, maar er zijn erg grote kosten aan verbonden. In hoofdstuk 3 is al geconcludeerd dat dit economisch niet voordeliger is dan sloop en nieuwbouw.

De laatste manier om een unity check te krijgen die voldoet is het feit dat het optappen van gebouwen die ouder zijn dan 15 jaar onder verbouw valt. Dit betekent dat er mag worden gewerkt met de normen voor bestaande bouw. "Volgens het Bouwbesluit 2012 is verbouw het geheel of gedeeltelijk vernieuwen of veranderen of het vergroten van een bouwwerk." "Bij het vergroten van een bouwwerk neemt het bouwwerk in omvang toe en worden de contouren dus wel gewijzigd." (Ministerie van binnenlandse zaken en koninkrijksrelaties, 2013, p. 1). Het optappen van gebouwen die ouder zijn dan 15 jaar wordt dus gezien als verbouw. Vanwege deze reden mag er gebruik worden gemaakt van de NEN8700 en de NEN8701 in plaats van de NEN-EN 1990. Het voordeel van het gebruik van de NEN8700 en de NEN8701 is dat deze normen reductiefactoren gebruiken en gunstigere partiële factoren dan NEN-EN 1990. Deze partiële factoren worden vermenigvuldigd met de belastingen om zo de rekenwaarde van deze belastingen te bepalen. Doordat deze belastingen lager zijn in de NEN8700 en de NEN8701 dan de NEN-EN 1990, zal de F_{ED} -waarde dus lager uitvallen.

5.5 Ontwerp optopping

In deze paragraaf zal voor de casestudy aan de hand van het stappenplan en de gevonden conclusies een optopping worden ontworpen

5.5.1 Stabiliteit fundering

Doordat het gebouw wordt opgetopt zal er een extra windkracht op het gebouw ontstaan. Voor de stabiliteit van de fundering dient gekeken te worden naar het extra buigend moment dat door deze extra windbelasting ontstaat. Hiervoor dient NEN-EN 1991-1-4 aan te worden gehouden. Berekend wordt of de fundering genoeg momentcapaciteit heeft om dit buigend moment op te vangen. Zo niet, dan zullen er extra funderingen moeten worden aangebracht ten plaatsen van de stabiliteitswanden. In bijlage E is de volledige berekening van de stabiliteit van de funderingen te vinden. In tabel 5.1 is het resultaat van deze berekening weergegeven. Bij deze berekening is de bestaande situatie, situatie 1, vergeleken met een mogelijke nieuwe situatie, situatie 2. Hierbij is gekeken naar de maximale hoogte van de optopping waarbij het buigend moment gelijk blijft, waarbij het buigend moment met 5% toeneemt en wanneer het buigend moment met 10% toeneemt.

Maximale hoogte optopping [m]	
zelfde buigend moment in situatie 1 en situatie 2	2,86
5% toename buigend moment in de fundering	3,50
10% toename buigend moment in de fundering	4,13

Tabel 5.1 Maximale hoogte optopping vanwege toename windkracht

Het bouwbesluit houdt voor nieuwbouw een minimale hoogte van vloer tot plafond aan van 2,60 meter. Doordat er met staalframe wordt gebouwd is een relatief dunne vloer en dakconstructie te maken. Bovendien kan de afwerking en het grind van het bestaande dak worden verwijderd. Een hoogte van 3,00 meter wordt daarom aangenomen. Er kan dus maximaal een woonlaag worden toegevoegd. Geadviseerd wordt om mogelijkheden te bekijken om de hoogte van deze extra woonlaag beperkt te houden. Keuze voor een extra woonlaag van 3,00 meter betekent een toename van 1% van het buigend moment in de fundering in.

5.5.2 Stabiliteit hoofddraagconstructie

Voor de hoofddraagconstructie dient ook gekeken te worden of deze het extra buigend moment dat door deze extra windbelasting ontstaat aan kan. Mocht de hoofddraagconstructie het extra buigend moment niet aan kunnen, dan dient er gekeken te worden naar het toevoegen van stabiliteitswanden of het versterken van de bestaande stabiliteitswanden.

In tabel 5.1 zijn de toename van het buigend moment in de funderingen weergegeven. Voor de hoofddraagconstructie die zich net boven de fundering bevindt, geldt ongeveer dezelfde toename in buigend moment. Aangezien deze toename van buigend moment maximaal 1% bedraagt kan er worden aangenomen dat er geen aanpassingen nodig zijn in de hoofddraagconstructie. Wanneer aanpassingen aan de hoofddraagconstructie vereist zijn, dan wordt aangeraden om dit op te vangen door een van de bestaande stabiliteitskernen te versterken, of door stabiliteitswanden aan te brengen in enkele van de nieuwe woning scheidende wanden.

Er is ook gekeken naar de vervormingen die ontstaan door de toename van de windkracht. Door het aanbrengen van windverbanden in de optopconstructie zullen deze vervormingen niet te groot worden. In bijlage F is de berekening hiervan gegeven.

5.5.3 Belastingtoename dak

In deze stap dient er te worden gecheckt of er ingrepen nodig zijn aan de dakconstructie, om deze te gebruiken als vloerconstructie. Zijn er geen ingrepen nodig, dan kan het huidige eigengewicht van de dakconstructie in de nieuwe situatie worden aangenomen als eigengewicht van de vloerconstructie. Zijn er wel ingrepen nodig aan de dakconstructie, dan wordt aangeraden om de constructie te versterken met behulp van de gekozen frameconstructie. Deze frameconstructie kan worden aangebracht op de bestaande vloerconstructie, boven de kolommen van de bestaande constructie. De bestaande vloerconstructie kan op deze manier worden versterkt.

Voor het SCYE010 project is bekend dat het bestaande dak berekend is als onbegaanbaar dak. Het bestaande dak kan dus de nieuwe vloerbelastingen niet opnemen, zonder versterkingen aan te brengen. Aangenomen wordt dat de versterking van het bestaande dak $1,45 \text{ kN/m}^2$ zal wegen. De onderbouwing voor deze aanname is uitgewerkt in bijlage C.

5.5.4 Belastingtoename funderingen

Bij de berekening van de belastingtoename op de funderingen dient als eerste duidelijk te zijn wat de maximale toegestane toename op de funderingen bedraagt. Onderzoek naar de funderingen dient uit te wijzen welke belastingtoename maximaal wordt geaccepteerd.

Voor de casestudy wordt een toename van de rekenwaarde van de fundering van maximaal 10 % meer belasting dan de bestaande situatie geaccepteerd. Pieters Bouwtechniek heeft dit percentage vastgesteld en dit percentage is goedgekeurd door Bouw- en Woningtoezicht in een voorgesprek. Het percentage komt overeen met het (voorlopige) voorschrift NEN 8707 (Alting & Doomen, 2018, p. 20).

Voor de belastingtoename op de fundering zijn eigengewichten aangenomen aan de hand van referentieprojecten en overige informatie, zie tabel 5.2. Deze aannames zijn te vinden in bijlage C.

Aanpassing	eigengewicht nieuwe situatie [kN/m ²]
Extra toegevoegde vloer	2,45
Dakterras	3,2
Begaanbaar dak	2,45
Onbegaanbaar dak	0,75
Bestaande vloer naar nieuwe vloer	bestaand + 0,35
Bestaand dak naar nieuwe vloer	bestaand – afwerkvloer + 1,45

*uitgangspunt is dat de bestaande begane grond vloer niet versterkt hoeft te worden.

Tabel 5.2 Aannames eigengewichten in nieuwe situatie bij de keuze voor staalframebouw

Door testen uit te voeren kan bepaald worden of de fundering en de hoofddraagconstructie constructief in orde zijn. Voor deze casestudy is door Wareco ingenieurs geconcludeerd met behulp van metingen dat: "Geen van de gemeten zakkings duiden op een eventueel (lokaal) verminderd presteren van de fundering van het pand."

Er is naar zes verschillende mogelijke optoppingen gekeken. Per optopping is bepaald of de rekenwaarde van de belasting op de fundering in de nieuwe situatie toeneemt of afneemt ten opzichte van de bestaande situatie. Deze berekeningen en uitgebreide resultaten zijn uitgewerkt te vinden in bijlage G.

Type optopping	Kolom A	Kolom B
Optopping van 2 verdieping met een groen dakterras	0,95	0,91
Optopping van 2 verdiepingen met een begaanbaar dak	-0,12	-0,11
Optopping van 2 verdiepingen met een onbegaanbaar dak	-2,53	-2,43
Optopping van 1 verdieping met een groen dakterras	-3,95	-3,79
Optopping van 1 verdieping met een begaanbaar dak	-5,01	-4,81

Tabel 5.3 Belastingtoename (+) en belastingafname (-) van de fundering, ter plaatse van maatgevende kolommen A en B

In tabel 5.3 is de toename(+) of afname(-) in rekenwaarde van de belasting op de fundering weergegeven. Hieruit kan geconcludeerd worden dat alle zes mogelijke optoppingen voldoen qua toename van de belasting op de funderingen.

5.5.5 Belastingtoename hoofddraagconstructie

	Kolom A, begane grond	Kolom A, 1e verdieping	Kolom B, begane grond	Kolom B, 1e verdieping
Optopping van 2 verdieping met een dakterras	1,13	3,66	1,08	3,50
Optopping van 2 verdiepingen met een begaanbaar dak	-0,14	2,19	-0,14	2,10
Optopping van 2 verdiepingen met een onbegaanbaar dak	-3,02	-1,13	-2,90	-1,09
Optopping van 1 verdieping met een dakterras	-4,73	-3,08	-4,52	-2,96
Optopping van 1 verdieping met een begaanbaar dak	-6,00	-4,55	-5,74	-4,36
Optopping van 1 verdieping met een onbegaanbaar dak	-8,89	-7,87	-8,51	-7,54

Tabel 5.4 Belastingtoename (+) en belastingafname (-) van de hoofddraagconstructie, ter plaatse van maatgevende kolommen A en B op de begane grond en de 1^e verdieping.

Voor de berekening van de belastingtoename op de hoofddraagconstructie zijn dezelfde aannames gedaan als voor de berekening van de belastingtoename op de funderingen. De uitgewerkte berekeningen zijn te vinden in bijlage H.

Aan de hand van tabel 5.3 en tabel 5.4 kan geconcludeerd worden dat alle zes de mogelijke optoppingen voldoen qua belastingtoename op de hoofddraagconstructie en belastingtoename op de funderingen. Aangezien de stabiliteit van de funderingen als limiterende factor oplegt dat er slechts één verdieping kan worden toegevoegd, wordt er geadviseerd om een optopping van één verdieping met groen dakterras toe te passen.

De keuze gaat hiernaar uit, omdat qua belastingtoename dit een veilige keuze is en omdat de aanleg van een groen dakterras waarde zal toevoegen aan het gebouw. Hierdoor wordt het aantrekkelijker om in het gebouw te wonen. Een groen dakterras biedt nog vele andere voordelen. Groene daken hebben een, alhoewel klein, positief effect op het energiegebruik van het gebouw. Verder reduceren groene daken het urban heat effect, verbetert lokaal de water en lucht kwaliteit en promoot biodiversiteit. Tot slot is een groen dakterras gunstig voor het tijdelijk vasthouden van water tijdens een zware regenbui. Op deze manier zal de neerslag piek lokaal worden verminderd, doordat deze over een langere periode wordt uitgespreid (Coombes & Hassell, 2007, p. 5-12).

Verder wordt aangeraden om dit dakterras te verbinden aan het trappenhuis, waardoor het groene dakterras een publieke ruimte wordt. Hierdoor hebben alle bewoners van het gebouw voordeel van het groene dakterras.



Figuur 5.4 Uitzicht in zuidwesten richting vanaf dakterras van SCYE010. (From: <https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/>)

5.5.6 Keuze optopconstructie en materialen

Aan de hand van de eerste 5 stappen is naar voren gekomen dat de stabiliteit de limiterende factor van het gebouw is. Het is slechts mogelijk om één extra woonlaag aan te brengen. Uit de berekeningen is gebleken dat er voor de belastingtoename nog veel bewegingsvrijheid is. Om zoveel mogelijk waarde te creëren zal er een groen dakterras worden aangelegd op de extra woonlaag. Doordat er nog zo veel bewegingsvrijheid is qua belasting toename, kan er ook een optopping met een groter eigengewicht worden gebruikt. Er wordt dus aangeraden om met de opdrachtgever te bespreken of houtskeletbouw of staalframebouw de voorkeur verdient voor de optopping. Voor dit onderzoeksverslag zal er verder worden gewerkt met staalframebouw.

Voor de casestudy zal alleen naar de bouwfysica van de optopping worden gekeken. Voor de casestudy is door de opdrachtgever de eis gesteld dat er voor de optopping nieuwbuw eisen worden aangehouden. Voor de bestaande constructie mogen eisen voor bestaande bouw worden aangehouden. Qua brandveiligheid geldt er dat een woonfunctie die hoger ligt dan 13 meter vanaf het meetniveau een brandwerendheid van 60 minuten vereist. Dit is voor dit project het geval en deze eis van 60 minuten zal dus worden aangehouden.

Zoals in paragraaf 4.1 aangegeven, zal er voor het thermisch comfort van de optopping glaswol worden gebruikt. Om te voldoen aan de eisen voor nieuwbuw moeten de volgende R_c waarden worden bereikt. Voor de vloeren $3,5 \text{ m}^2 \times K/W$, voor de gevels $4,5 \text{ m}^2 \times K/W$ en voor het dak $6,0 \text{ m}^2 \times K/W$. Tabel 5.5 geeft mogelijke keuzes om met glaswol deze thermische isolatie-eis te behalen.

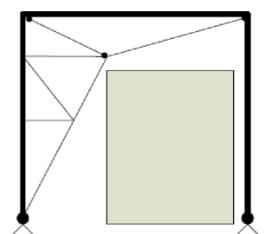
R-Value	Nominal Thickness* (mm)	Size	Pieces per bale	Area (m ²)	Density (kg/m ³)	Net weight (Kg)
R3.5	150	430 x 1200 mm	14	7.2	12.0	13.0
R5.0	210	430 x 1200 mm	10	5.2	13.0	14.0
R6.0	230	430 x 1200 mm	8	4.1	18.0	17.1

Tabel 5.5 Mogelijke keuzes voor thermische isolatie van de vloer, gevel en dak respectievelijk. (Branz (2011) Retrieved from: http://www.ttc.com.tw/images/AUS_BRANZ.pdf)

Het groene dakterras en de glaswol isolatie zullen zorgen voor enige geluidsdemping. Verder wordt er een optopping ontworpen waarbij de woning scheidende elementen volledige gescheiden van elkaar zijn geplaatst, zoals te zien is in figuur 5.9. Met behulp van de in paragraaf 4.3 aangegeven methodes kan het akoestische comfort van de optopping gerealiseerd worden. Op het akoestische comfort zal verder niet worden ingegaan omdat dit buiten de scope van dit onderzoeksverslag valt.

De twee buitenste stabiliteitskernen met trappenhuis worden doorgetrokken tot het groene dakterras. De middelste twee stabiliteitskernen zullen niet doorgetrokken worden. Echter zullen de trap en de lift, die zich in deze stabiliteitskern bevonden, wel worden doorgetrokken naar het groene dakterras. In bijlage F is gevonden dat de stabiliteit van de optopconstructie behaald kan worden door de staalframeconstructie met windverbanden aan de twee stabiliteitskernen te verbinden. Er zijn twee mogelijkheden om dit te doen. De eerste optie is door windverbanden aan te brengen en woningscheidende wanden en gevels te gebruiken die stabiliteit verzorgen doordat zij als een schijf werken, zie figuur 5.6.

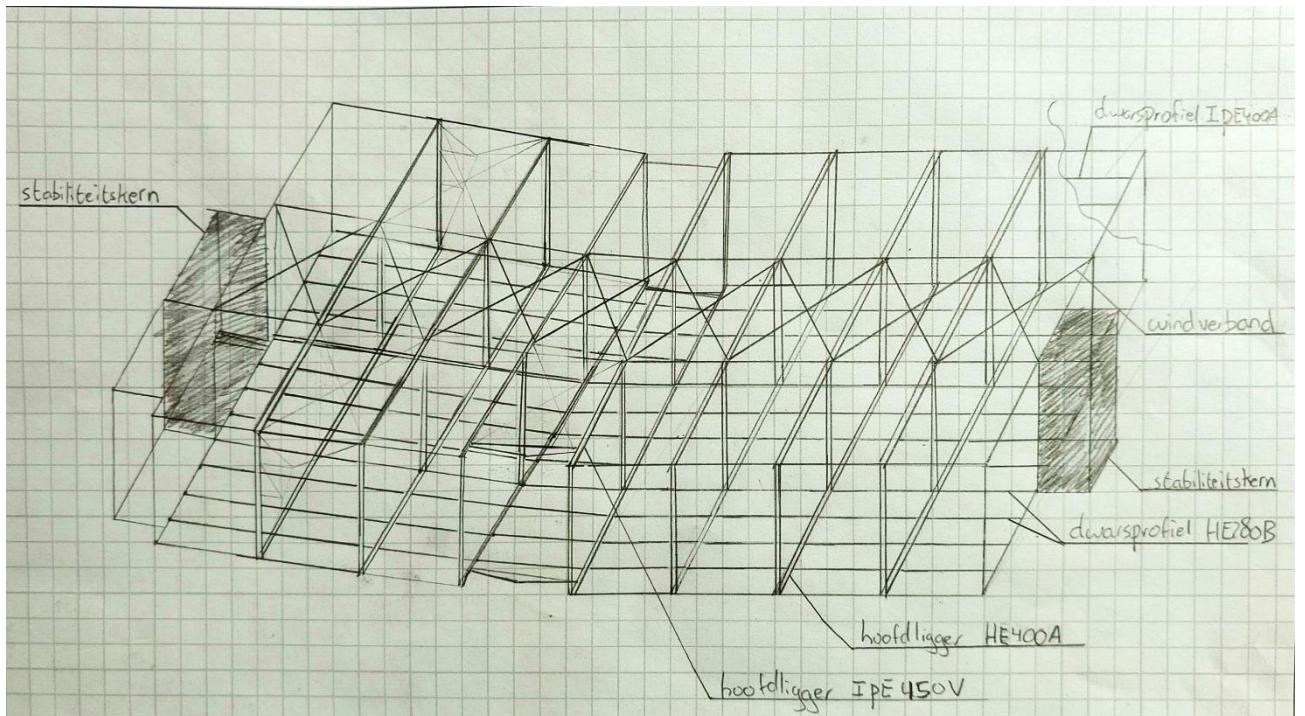
Belangrijk is dat deze windverbanden worden doorgetrokken naar de volgende woning en dus niet slechts binnen een woning werken. Een tweede optie is te zien in figuur 5.7 Bij deze optie worden in alle richtingen windverbanden aangebracht. Aandachtspunt bij deze



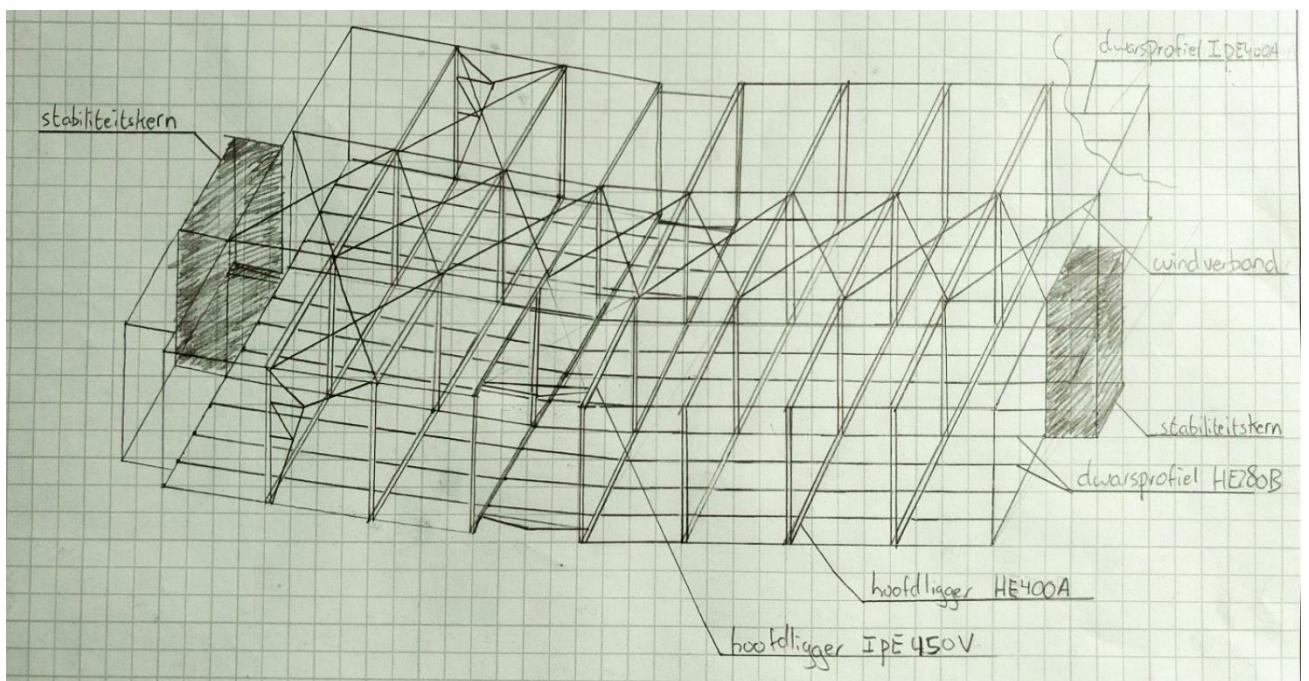
Figuur 5.5 Mogelijke windverband in gevel. (Abspoel, Pasterkamp, de Vries en Terwel, 2012, p. 34)

oplossing is de toepassing van deze verbanden in de gevels. Er dient nog genoeg zonlicht in de woningen naar binnen te komen. Een windverband zoals in figuur 5.5 is weergegeven kan hiervoor gekozen worden.

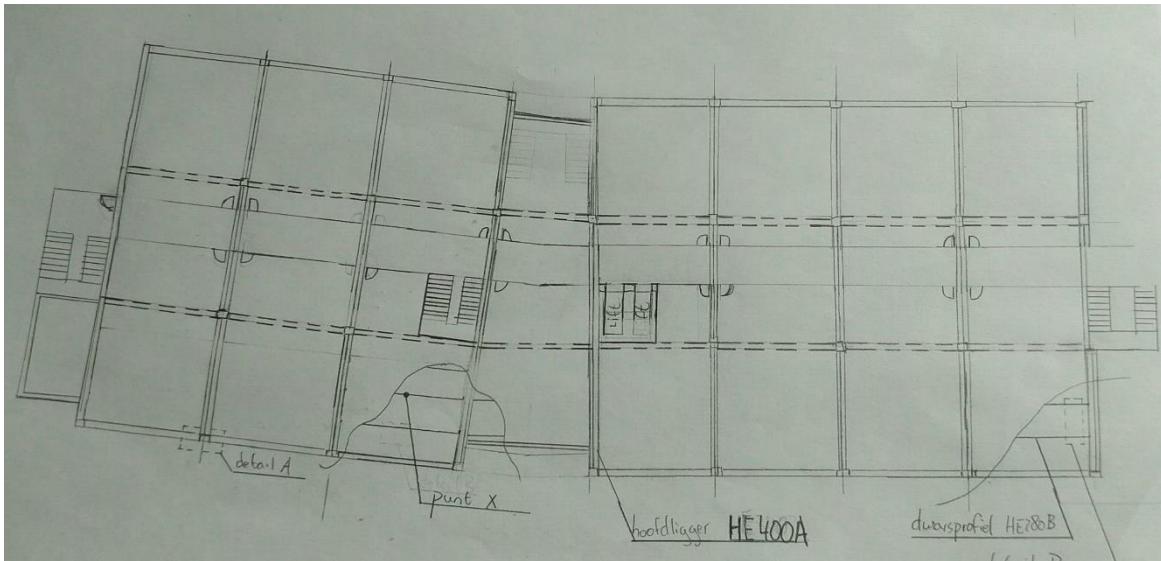
De berekeningen en dimensionering van de optopconstructie is te vinden in bijlage I.



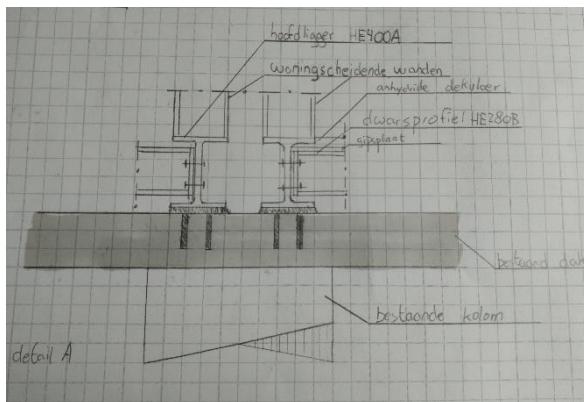
Figuur 5.6 Staalframeconstructie met ruimte tussen de woning scheidende wanden, eerste optie. (Dwarsprofielen dakconstructie niet getekend)



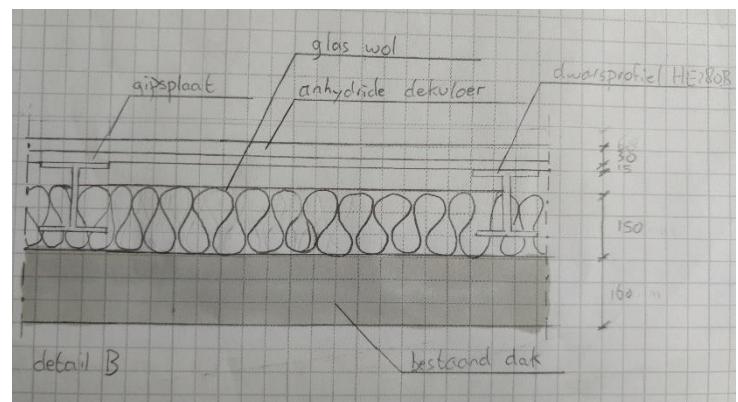
Figuur 5.7 Staalframeconstructie met ruimte tussen de woningscheidende wanden, tweede optie. (Dwarsprofielen dakconstructie niet getekend)



Figuur 5.8 Bovenaanzicht van de basis van de staalframeconstructie, zoals te zien zijn er 15 woningen te creëren in de optopping van bouwblok B.



Figuur 5.9 detail A, vooraanzicht (profielen niet op schaal).

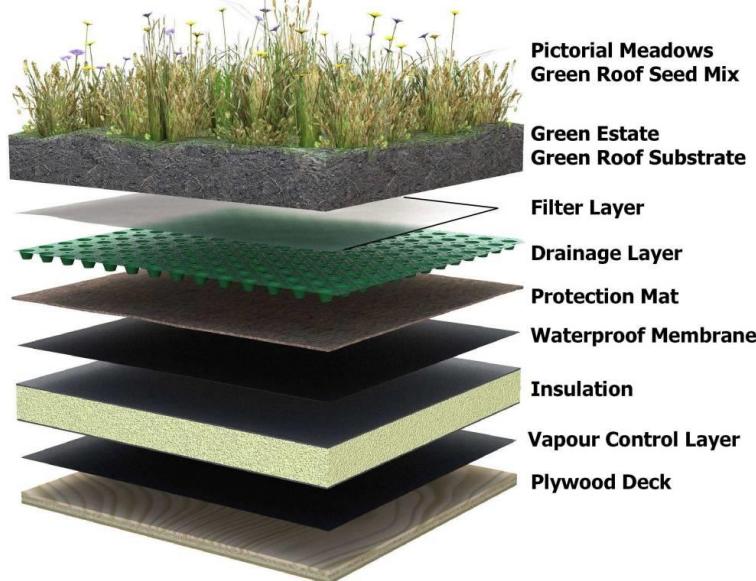


Figuur 5.10 Detail B, zijaanzicht, vloerconstructie optopping (profielen niet op schaal).

In figuur 5.9 is te zien hoe het stalen frame ter plaatse van de bestaande kolommen zal worden verbonden met de bestaande dakconstructie. Er is gekozen voor een optopping van een staalframeconstructie van één verdieping met een groen dakterras. Er wordt uitgegaan van een totale hoogte van de optopping van 3 meter. Dit betekent een toename van 1% van het moment in de fundering. Er zal een afname zijn van de rekenwaarde van de belastingen in de funderingen van 3,79%. Er is ook een afname zijn van de rekenwaarde van de belastingen in de hoofddraagconstructie, deze bedraagt 2,96%.

Voor de vloeren wordt gebruik gemaakt van enkele stalen dwarsprofielen die verbonden zijn aan de basis van de staalframeconstructie, zie figuur 5.7. Op deze dwarsprofielen zullen vervolgens een anhydride dekvloer en gipsplaten worden aangebracht, zie figuur 5.10. Onder deze gipsplaten zal de 150 mm glaswol isolatie worden aangebracht. Het bestaande dak fungert als plafond en zal de glaswol dragen.

Voor de berekening van de belastingen was er gekozen voor een lichtgewicht sedumdak met een eigengewicht van 75kg/m^2 . De toename van de belasting op de hoofddraagconstructie zal niet de limiterende factor zijn. Voornamelijk dient gekeken te worden naar de toename in prijs van de optopconstructie wanneer er voor een sedum dak met een groter eigengewicht wordt gekozen. Geadviseerd wordt om met de opdrachtgever te overleggen over het type sedumdak.



Figuur 5.11 Structuur sedumdak. (Greener Heights, 2012. Retrieved from: <https://greenerheights.wordpress.com/2012/04/22/the-structure-of-green-roofs/>)

Figuur 5.11 laat de structuur van een sedumdak zien, voor de isolatie laag zal een glaswollaag van 230 mm gebruikt worden. Voor de nieuwe dakconstructie wordt geadviseerd om ook stalen dwarsprofielen aan te brengen en hierop de multiplex plaat en de rest van de constructie weergegeven in figuur 5.11 aan te brengen.

Voor het sedumdak wordt gekozen voor een Extensive Wildflower roof, plug planted van 90 mm. Dit type dak heeft een nat eigengewicht van 125 kg/m^2 . Het dak heeft weinig onderhoud nodig en bevordert de biodiversiteit (SIG Design Technology, p. 2).

5.5.7 Exacte eigengewichten bepalen.

In deze stap van het stappenplan zal eerst worden gekeken of de hoogte van de ontworpen optopping overeenkomt met de aangenomen hoogte. Is de ontworpen hoogte hoger, dan dient met de gevonden waarden stap 2 tot stap 5 opnieuw gecheckt te worden.

Voldoet de hoogte wel aan de aangenomen hoogte, dan dienen alleen stap 4 en stap 5 opnieuw uitgevoerd te worden met de exacte waardes voor de eigengewichten. Aan de hand van de gevonden optopconstructie en de materialen die gebruikt zullen worden, zijn deze exacte eigengewichten bekend.

Voor de casestudy zal deze stap niet worden uitgevoerd omdat dit niet relevant is voor dit onderzoeksverslag.

5.6 Conclusie casestudy

Voor de conclusie is de gekozen optopconstructie besproken met de begeleider, dhr. Pasterkamp. Verder is de constructie vergeleken met de door Pieters Bouwtechniek gecreëerde optopping. De volgende conclusies zijn hieruit naar voren gekomen:

De ontworpen optopping komt in de meeste aspecten erg overeen met het ontwerp van Pieters Bouwtechniek.

Voor een optopping was aangenomen dat de vloerconstructie een eigengewicht heeft van 2,45 kN/m², zie tabel 5.2. Voor het referentieproject is echter een veel lichtere vloeroptie gebruikt. Namelijk een zwevende Fermacell vloer. Het totale eigengewicht van de gehele vloerconstructie komt dan op 0,9 kN/m² uit (Alting & Doomen, 2018, p. 12).

In plaats van een brandwerende coating wordt een brandwerende bekleding van gipsplaat aangeraden om te gebruiken. Redenen om voor brandwerende bekleding te kiezen is omdat deze onderhoudsarme zijn dan een brandwerende coating en omdat wanneer een coating overgeschilderd wordt deze zijn functie kwijtgaat. Zeker wanneer de staalframeconstructie niet is verwerkt in de wanden, gevels en vloeren dient hier rekenen mee te worden gehouden.

Verder is er geconcludeerd dat de optopping over gedimensioneerd is ten opzichte van de optopping die door Pieters Bouwtechniek is ontworpen. En zijn hier meerdere redenen voor. Allereerst is in het ontwerp van Pieters Bouwtechniek een lichtere vloer en dakconstructie gebruikt. Ten tweede draagt de nieuwe gevelconstructie een deel van de krachten van de optopconstructie. Tot slot is het formaat van de optopping in het ontwerp van Pieters Bouwtechniek een stuk kleiner.

Tot slot lijkt de ontworpen optopconstructie een stuk economischer dan het ontwerp van Pieters Bouwtechniek. Bij het ontwerp van Pieters Bouwtechniek wordt bouwblok C ook opgetopt en hiervoor worden extra funderingen aangebracht. Ook is het ontwerp van Pieters Bouwtechniek op bouwblok B een stuk kleiner dan de in dit onderzoeksverslag ontworpen optopping. De ontworpen optopping creëert dus meer waarde op bouwblok B dan het ontwerp van Pietersbouwtechniek. En het kiezen voor een optopping op bouwblok C wordt gezien de eisen van bijlage B niet aangeraden. In dat opzicht zou het aanhouden van het stappenplan en de eisen voor optopen een optopproject creëren wat voor meer opdrachtgevers aantrekkelijk is omdat qua economisch aspect.

6 Conclusie

Niet elk gebouw is verstandig om op te toppen. In bijlage B zijn een aantal eisen te vinden waaraan een gebouw dient te voldoen, opdat de keuze voor optoppen verstandig is. Verder kan het stappenplan, zie figuur 5.1, gevolgd worden om snel en gemakkelijk te bepalen wat de mogelijkheden en de obstakels zijn voor het optopen van het gebouw.

Voor de constructie van de optopping blijkt een frameconstructie de beste oplossing te zijn. Er zijn hier drie keuzes in; staalframebouw, aluminiumframebouw en houtskeletbouw. Staalframebouw verdient de voorkeur. Is staalframebouw te zwaar dan kan aluminiumframebouw worden overwogen vanwege het lagere eigengewicht. Hier zit echter een hogere prijs en een grotere milieu-impact aan verbonden. Mocht de situatie een frameconstructie met een groter eigengewicht toestaan, dan kan voor de duurzamere houtskeletbouw variant worden gekozen. Het grootste gedeelte van het eigengewicht nemen de vloeren met zich mee, geadviseerd wordt daarom om te focussen op het creëren van een lichte vloerconstructie. De zwevende Etrich dekvloer, die in de casestudy gevonden is, is een van de lichtste vloer opties. Deze vloeren bieden bovendien veel voordelen qua thermisch comfort, akoestisch comfort en brandveiligheid.

Optoppingen waarbij de fundering moet worden aangepast dienen vermeden te worden, vanwege de hoge kosten die hieraan verbonden zijn. Kleine aanpassingen in de hoofddraagconstructie zullen in de meeste gevallen nog tot een economisch ontwerp leiden.

Bij het toepassen van thermische isolatie in een staalframeconstructie is het belangrijk om op de brandklasse van het thermisch isolatiemateriaal te letten, aangezien er branddoorslag mogelijk is vanuit de gevel naar binnen toe. Er is namelijk nauwelijks materiaal aanwezig tussen het isolatiemateriaal en de binnenruimte van het gebouw. Vanwege de brandklasse en het gunstige eigengewicht wordt glaswol als beste isolatiemateriaal gevonden voor een optopconstructie.

Voor het creëren van akoestisch comfort en het minimaliseren van vibraties zijn er meerdere technieken en materialen te gebruiken. Allereerst kan er gebruik worden gemaakt van een anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten of van een zwevende Etrich dekvloer. Verder kan er worden gekozen om elastomeren aan te brengen tussen de vloer en de draagconstructie van de vloer, zie figuur 4.3. Een andere techniek is de woningscheidende elementen volledige gescheiden van elkaar plaatsen, zie figuur 4.2. Het akoestisch comfort kan getest worden door gebruik te maken van de tool Sovist. Deze tool is door Level Tools, een onderdeel van Level Acoustics & Vibration uit Eindhoven, uitgebracht om het akoestisch comfort en vibraties te testen in lichtgewicht bouwsystemen.

De brandveiligheid kan worden gegarandeerd door de overgangsstructuur, de kolommen en de balken te coaten of te bedekken met een vuurbestendige laag. Redenen om voor brandwerende bekleding te kiezen is omdat deze onderhoudsarme zijn dan een brandwerende coating en omdat wanneer een coating overgeschilderd wordt deze zijn functie kwijtraakt. Zeker wanneer de staalframeconstructie niet is verwerkt in de wanden, gevels en vloeren dient hier rekenen mee te worden gehouden.

Literatuurlijst

- Abspoel, R., Pasterkamp, S., de Vries, P.A. en Terwel, K.C. (2012). Mogelijk windverband in gevel. [Graph] From: *CTB2320-17 Dictaat Constructief Ontwerpen 2*. Retrieved from: <http://brightspace.tudelft.nl>
- Allen, E. & Iano, J. (2013). *Fundamentals of Building Construction : Materials and Methods* retrieved from <https://ebookcentral-proquest-com.tudelft.idm.oclc.org/lib/delft/reader.action?docID=1411616&query>
- Alting, R (2016). *Herontwikkeling faculteit Technische Natuurkunde TU Delft* (afstudeerscriptie). Retrieved from: Alting, R.
- Alting, R. & Doomen, R. (2018). *Herontwikkeling SCYE 010, Schiedam Uitgangspunten en constructief ontwerp*, referentienummer: R-317120-TO-01a. Retrieved from: Alting, R.
- Alting, R (2018). Interview met Alting, R
- Ansglobal (2018) Retrieved from: <https://www.ansgroupglobal.com/green-roof/products/brown-wildflower-sedum-roof>
- ArchitectuurNL (onbekend) Door Stefan van Hoek. Retrieved from: <https://www.architectuur.nl/project/de-karel-doorman-rotterdam/>
- Bouwen met staal (2009). *Bouwen met staal 208*.
- Clara Gonçalves, M. & Margarido, F. (2012). *Materials for Construction and Civil Engineering Science, Processing, and Design*. doi: 10.1007/978-3-319-08236-3_1
- Coelho A.C., Lopes A., Branco J.M. & Gervásio H. (na 2013). *Comperative life-cycle assessment of a single-family house: Light steel frame and timber frame*. Retrieved from: https://repository.sdu.m.uminho.pt/bitstream/1822/20801/2/Ecowood_paper.pdf
- Coombes, B. & Hassell, C. (2007). *Green Roofs - CIBSE Knowledge Series: KS11*. Retrieved from: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpGRCIBSE3/viewerType:toc/root_slug:green-roofs-cibse
- Dao, M. & Asaro, R.J. (1999). *A study on failure prediction and design criteria for fiber composites under fire degradation*. Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 30(2):123–131, 1999.
- De Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek. (2011). *Veiligheidsbeoordeling bestaande bouw Achtergrondrapport bij NEN 8700* (TNO-060-DTM-2011-03086) Retrieved from TNO website: <https://publications.tno.nl/publication/34614949/zAI60C/TNO-060-DTM-2011-03086.pdf>
- Fan, M & Fu, F. (2017). *Advanced High Strength Natural Fibre Composites in Construction*. Retrieved from: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpAHSNFCC5/viewerType:toc/root_slug:advanced-high-strength/url_slug:front-matter?&issue_id=kpAHSNFCC5
- Finnish Forest Industries Federation. (2002). *Handbook of Finnish plywood*. Retrieved from: <https://www.metsateollisuus.fi/uploads/2017/03/30041750/887.pdf>
- GrantaDesignLimited. (2015). *CES Edupack 2015*
- Grosse, C.U. (2007). *Advances in Construction materials 2007*. Retrieved from: <https://link-springer-com.tudelft.idm.oclc.org/content/pdf/10.1007%2F978-3-540-72448-3.pdf>
- Harries, K.A. & Sharma, B. (2016). *Nonconventional and Vernacular Construction Materials - Characterisation, Properties and Applications*. Retrieved from: https://app.knovel.com/web/toc.v/cid:kpNVCMCPA5/viewerType:toc/root_slug:nonconventional-vernacular/url_slug:nonconventional-vernacular
- Hartsuijker, C. & Welleman, J.W. (2016). *CONSTRUCTIEMECHANICA 3 Module : Stabiliteit van het evenwicht, Deel 1 : Theorie*. Retrieved from: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/collegestof/stabiliteit/files/2016_deel1_Theorie.pdf

- Ibelings van Tilburg, (2014). Retrieved from: <https://www.ibelingsvantilburg.nl/website/wp-content/uploads/2016/04/1557-Karel-Doorman-low-res-doc.pdf>
- Karabinis, A.I. & Rousakis, T.C. (2002). *Concrete confined by FRP material: a plasticity approach*. *Engineering Structures* 24, 923–932, 923
- Knauf, (2017) From: <https://www.knauf.de/wmv/?id=3344>)
- Kumar Mehta, P. & Monteiro, P. J. M. (2001). *Concrete Microstructure, Properties and Materials*. Retrieved from:
<http://103.248.208.114:8080/dspace/bitstream/123456789/515/1/book.pdf>
- Ljunggren, F. & Ågren, A. (2011). *Applied Acoustic, Volume 72, Issue 4*. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/journal/applied-acoustics/vol/72/issue/4>
- Massachusetts Institute of Technology, (1999). 3.11 *Mechanics of Materials*. Retrieved from: https://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/MIT3_11F99_props.pdf
- Ministerie van binnenlandse zaken en koninkrijksrelaties. (2013) *infoblad het bouwbesluit 2012: verbouw en functiewijziging*, Retrieved from: <https://www.rijksoverheid.nl/documenten/brochures/2012/08/23/infoblad-verbouw-en-functiewijziging-het-bouwbesluit-2012>
- Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties. (2014). *Handreiking Bouwbesluit en woning*. Retrieved from: https://www.rijksoverheid.nl/binaries/rijksoverheid/documenten/brochures/2015/04/01/handreiking-bouwbesluit-woning/Handreiking_Bouwbesluit+en+woning_v2.pdf
- Müller, U. (2011). *Introduction to Structural Aluminium Design*. Retrieved from: https://app.knovel.com/web/view/khtml/show.v/rclid:kplISAD0001/cid:kt00BRZHH1/viewerType:khtml/root_slug:introduction-structural/url_slug:front-matter?&b-toc-cid=kplISAD0001&b-toc-url-slug=aluminium-material&b-toc-title=Introduction%20to%20Structural%20Aluminium%20Design&page=last&view=collapsed&zoom=1
- Nederlands Normalisatie Instituut (2011). *NEN-EN 1990+A1+A1/C2*. Retrieved from Nederlands Normalisatie Instituut website: www.nen.nl/nenconnect
- Nederlands Normalisatie Instituut (2011). *NEN 8700*. Retrieved from Nederlands Normalisatie Instituut website: www.nen.nl/nenconnect
- Nederlands Normalisatie Instituut (2011). *NEN-EN 1991-1-4+A1+C2*. Retrieved from Nederlands Normalisatie Instituut website: www.nen.nl/nenconnect
- Papageorgiou, M. (2016). *Optimal Vertical Extension, A study on costs and environmental impact for structural engineers*. (Master's thesis). retrieved from: <https://repository.tudelft.nl/islandora/object/uuid%3A59fb6d8d-58ab-494d-9fe3-ef0931244fc6?collection=education>
- Petrone, C., Magliulo, G. & Manfredi, G. (2016). *Mechanical Properties of Plasterboards: Experimental Tests and Statistical Analysis*. Retrieved from: <http://discovery.ucl.ac.uk/1496932/1/2016%20Petrone%20et%20al%20JMCE%20-%20accepted%20version.pdf>
- Planbureau voor de Leefomgeving (2017). *Leegstand van kantoren 1991-2017*. Retrieved from Planbureau voor de Leefomgeving website: <http://www.pbl.nl/infographic/leegstand-van-kantoren#gemnr=0&year=2017&type=kantoren>
- Schaap, J. (2017). *Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building*. retrieved from: Schipper, R.
- Scheers, W. & Vercammen, M.L.S. (2000) *LICHTE ZWEVENDE DEKVLOEREN Een beoordeling van de bereikbare contactgeluidisolatie verbetering van droge lichte zwevende dekvloeren op basis van laboratorium- en praktijkonderzoek*. Retrieved from: https://www.peutz.nl/sites/peutz.nl/files/publicaties/Peutz_Publicatie_MV-TS_NAG_Journal_05-2000.pdf

- SIG Design Technology (Unknown) Retrieved from: <http://www.singleply.co.uk/wp-content/uploads/2015/05/GreenRoofSystems-Overview.pdf>
- Skejić, D., Boko, I., & Torić, N. (2015). *Aluminium as a material for modern structures*, GRAĐEVINAR 67 (2015) 11, 1075-1085. doi: 10.14256/JCE.1395.2015
- Soons, F.A.M., van Raaij, B.P.M., Wagemans, L.A.G., Pasterkamp, S., & van Es, S.H.J. (2014). *Quick Reference, edition 2014*.
- United Nations (2014). *World Urbanization Prospects, The 2014 Revision* (ST/ESA/SER.A/352) retrieved from United Nations, Department of Economic and Social Affairs website: <https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf>
- Verburg (2000). *Bouwen op Toplocaties. Optoppen met Staalframebouw*. Retrieved from: bouwen met staal website: https://gratis-publicaties.bouwenmetstaal.nl/pdf_serve.lasso?p=pdf&n=Bouwen%20op%20toplocaties-1.pdf&pub=107-1.pdf
- Vervest, B.C.H. & Barendsz, M.A. (2006) *Renovatie woongebouw de leeuw van Vlaanderen Amsterdam* (bouwen met staal, projectdocument).
- Welleman, J.W. (2012) *Formuleblad CTB2210*. Retrieved from: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/tentamens/files/formuleblad2031-jan-2012.pdf

CE-markeringen:

- SP Swedish National Testing and Research Institute (2003). 0402-CPD-141603. Retrieved from: http://www.sundolitt.se/download.aspx?object_id=53769B6C1D174D018D6F53717D0AFA5_5.pdf
- Tenax group (2017). No 1P-A1H-A-002. Retrieved from: http://tenapors.lv/uploads/Product/13/Declaration/Declaration%20of%20Performance_TEN_APORS%20EPS%202020_Dobele_002_en.pdf
- Tenax group (2017). No 3P-A1D-002. Retrieved from: http://tenapors.lv/uploads/Product/13/Declaration/Declaration%20of%20Performance_TEN_APORS%20EPS%202080_Valmiera_002_en.pdf
- Izocam (2008). Retrieved from: http://www.izocam.com.tr/userfiles/files/urunler/Insulation-Materials/Glass_Wool_Products.pdf
- Glasswool UK (2008). Retrieved from: https://www.siginsulation.ie/wp-content/uploads/2012/07/URSA_Glasswool.pdf
- Fibran S.A. (2004). *EC Declaration of Conformity*. Retrieved from: http://www.fibran.com/files4users/files/Certification%20XPS/CE%20FIBRANxps%20ETICS%20GF_eng.pdf
- MAPEI S.p.A. (2016). N. CPR-IT1/0442. Retrieved from: http://www.mapei.com/docs/librariesprovider2/products-documents/ise_ce-dop_402_en-15651-1_gb_1.pdf?sfvrsn=253b1166_0
- Rockwool (2016). *ProRox® PS 960*. Retrieved from: http://static.rockwool.com/globalassets/rti/downloads/marine--offshore-datasheets/rti-prorox-ps-960_wr-tech_en.pdf

Tabel	Bron
2.1	<p>Samengestelde tabel, informatie uit:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Allen, E. & Iano, J. (2013) <i>Fundamentals of Building Construction : Materials and Methods</i> retrieved from https://ebookcentral-proquest-com.tudelft.idm.oclc.org/lib/delft/reader.action?docID=1411616&query= • Clara Gonçalves, M. & Margarido, F. (2012) <i>Materials for Construction and Civil Engineering Science, Processing, and Design</i>. doi: 10.1007/978-3-319-08236-3_1 • Massachusetts Institute of Technology, (1999), <i>3.11 Mechanics of Materials</i>. Retrieved from: https://ocw.mit.edu/courses/materials-science-and-engineering/3-11-mechanics-of-materials-fall-1999/modules/MIT3_11F99_props.pdf • Schaap, J. (2017). <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building</i>. Retrieved from: Schipper, R. • GrantaDesignLimited. (2015). <i>CES Edupack 2015</i>
4.1	Agarwal, S. & Gupta, R. K. (2011) Eigenschappen van thermische isolatiematerialen. [Table]. From <i>Plastics in Buildings and Construction</i> . doi: 10.1016/B978-1-4377-3514-7.10032-7. Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9781437735147100327
5.1	Eigen werk
5.2	Eigen werk
5.3	Eigen werk
5.4	Eigen werk
5.5	(Branz, (2011) Mogelijke keuzes voor thermische isolatie van de vloer, gevel en dak respectievelijk. [Table] From : http://www.ttc.com.tw/images/AUS_BRANZ.pdf
9.1	Eigen werk
11.1	Eigen werk
13.1	Eigen werk
13.2	Eigen werk
13.3	Eigen werk
14.1	Eigen werk
15.1	Eigen werk
15.2	Eigen werk
15.3	Eigen werk
15.4	Eigen werk
15.5	Eigen werk
15.6	Eigen werk
15.7	Eigen werk

Figuur	Bron
Voorblad	Voigtländer, L & Song, S. B. (2016). [Photograph]. Retrieved from: https://www.metsawood.com/global/Campaigns/planb/building-extensions/all-entries/Pages/Tammelan-Kruunu.aspx
1.1	United Nations (2014). Stedelijke en landelijke bevolkingsgroei als deel van de totale wereldbevolking. [Graph]. From <i>World Urbanization Prospects, The 2014 Revision</i> (ST/ESA/SER.A/352) retrieved from United Nations, Department of Economic and Social Affairs website: https://esa.un.org/unpd/wup/Publications/Files/WUP2014-Report.pdf
1.2	Planbureau voor de Leefomgeving (2017). Groeiend percentage leegstaande kantoorvloeroppervlakte in Nederland. [Graph]. <i>Leegstand van kantoren 1991-2017</i> .

	Retrieved from Planbureau voor de Leefomgeving website: http://www.pbl.nl/infographic/leegstand-van-kantoren#gemnr=0&year=2017&type=kantoren
2.1	Dao, M. & Asaro, R.J. (1999) Temperatuur afhankelijke variatie van yield strength en ultimate strength van 6061 Aluminium legering. [Graph]. From <i>A study on failure prediction and design criteria for fiber composites under fire degradation</i> . Composites Part A: Applied Science and Manufacturing, 30(2):123–131, figure 2
2.2	Nederlands Normalisatie instituut (2011). Temperatuur afhankelijke variatie van yield strength en modulus of elasticity van staal. [Graph]. From <i>NEN-EN 1993-1-2+C2:2011</i> . figure 3.2
3.1	Unknown, (unknown). Eemstein, te Zwijndrecht [Photograph]. Retrieved from https://www.funda.nl/koop/zwijndrecht/appartement-86935254-eemstein-323/
3.2	Unknown, (unknown). Karel Doorman, te Rotterdam [Photograph]. Retrieved from http://www.dearchitect.nl/projecten/nominatie-arc13-architectuur-de-karel-doorman-rotterdam
4.1	Eigen werk
4.2	Ljunggren, F. & Ågren, A. (2011). Toepassing elastomeren tussen de vloer en plafond constructie. [Graph]. From <i>Applied Acoustic, Volume 72, Issue 4</i> . Retrieved from: https://www.sciencedirect.com/journal/applied-acoustics/vol/72/issue/4
5.1	Eigen werk
5.2	mei architects and planners. (unknown). Bestaande situatie en impressie van de nieuwe situatie. [Photograph] From: https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/
5.3	mei architects and planners. (unknown). Impressie bestaande constructie. [Photograph] From: https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/
5.4	mei architects and planners. (unknown). Uitzicht in zuidwesten richting vanaf dakterras van SCYE010. [Photograph] From: https://mei-arch.eu/en/project-archive/scye010/
5.5	-Abspoel, R., Pasterkamp, S., de Vries, P.A. en Terwel, K.C. (2012). Mogelijk windverband in gevel. [Graph] From: <i>CTB2320-17 Dictaat Constructief Ontwerpen 2</i> . Retrieved from: http://brightspace.tudelft.nl
5.6	Eigen werk
5.7	Eigen werk
5.8	Eigen werk
5.9	Eigen werk
5.10	Eigen werk
5.11	Greener Heights (2012). Structuur sedumdak. [Graph] Retrieved from: https://greenerheights.wordpress.com/2012/04/22/the-structure-of-green-roofs/
7.1	Unknown, (unknown). Eemstein, situatie voor optoppen. [Photograph]. Retrieved from https://www.zwijndrecht.net/nieuws/2009-05-14-1748-nationale-renovatieprijs-2009-.html
7.2	Unknown, (unknown). Eemstein situatie na optoppen. [Photograph]. Retrieved from https://www.funda.nl/koop/zwijndrecht/appartement-86935254-eemstein-323/
7.3	Schaap, J. (2017). Uitbereiding hooddraagconstructie. [Graph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building</i> . figure 8.17
7.4	Schaap, J. (2017). Eigengewicht onderdelen vloerconstructie. [Graph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building</i> . table 8.18
7.5	Schaap, J. (2017). Eigengewicht onderdelen dakconstructie. [Graph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building</i> . table 8.19
7.6	Unknown, (unknown). Karel Doorman, te Rotterdam [Photograph]. Retrieved from

	http://www.dearchitect.nl/projecten/nominatie-arc13-architectuur-de-karel-doorman-rotterdam
7.7	Unknown, (unknown). Karel Doorman, gecreëerde parkeerterrein [Photograph]. Retrieved from http://www.dearchitect.nl/projecten/nominatie-arc13-architectuur-de-karel-doorman-rotterdam
7.8	Schaap, J. (2017). Eigengewicht onderdelen vloerconstructie. [Graph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building. table 8.2</i>
7.9	Schaap, J. (2017). Eigengewicht onderdelen dakconstructie. [Graph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building. table 8.3</i>
7.10	Schaap, J. (2017). De drie kolommen, SHS120 x120 x5. [Photograph]. From <i>Design of lightweight building structures to add extra floors to an existing building. figure 8.8</i>
7.11	Unknown, (unknown). Astoria, te Den Haag. [Photograph] Retrieved from https://www.archipelontwerpers.nl/en/projects/architectural-transformation-city-center-the-hague/
7.12	Papageorgiou, M. (2016). 13 Optopmogelijkheden. [Graph]. From <i>Optimal Vertical Extension, A study on costs and environmental impact for structural engineers.</i> figure 6-1
7.13	Papageorgiou, M. (2016). 13 Nieuwbouwmogelijkheden. [Graph]. From <i>Optimal Vertical Extension, A study on costs and environmental impact for structural engineers.</i> figure 6-35
7.14	Papageorgiou, M. (2016). Vergelijking Renovatie en optoppen met slooph en nieuwbouw op basis van kosten. [Graph]. From <i>Optimal Vertical Extension, A study on costs and environmental impact for structural engineers.</i> graph 7-1, 8-2, 8-3 and 8-4
11.1	Eigen werk
12.1	Welleman, J.W. (2012). Model voor bepaling horizontale verplaatsing. [Graph]. From <i>Formuleblad CTB2210.</i> Retrieved from: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/tentamens/files/formuleblad2031-jan-2012.pdf
15.1	Welleman, J.W. (2012). Doorbuiging bij het aanbrengen van een q-last op een ligger. [Graph]. From <i>Formuleblad CTB2210.</i> Retrieved from: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/tentamens/files/formuleblad2031-jan-2012.pdf
15.2	Hartsuijker, C. & Welleman, J.W. (2016). Kniklengtes bij de knikformule van Euler [Graph]. From: <i>CONSTRUCTIEMECHANICA 3 Module : Stabiliteit van het evenwicht Deel 1 : Theorie.</i> Retrieved from: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/collegestof/stabiliteit/files/2016_deel1_Theorie.pdf
16.1	Eigen werk
17.1	Alting, R. & Doomen, R. (2018). Indicatief palenplan. [Graph]. From <i>Herontwikkeling SCYE 010, Schiedam Uitgangspunten en constructief ontwerp</i>

Bijlage A – Referentieprojecten

A.1 Eemstein



Figuur 7.1 Eemstein situatie voor optopen. (From "Zwijndrecht.net")



Figuur 7.2 Eemstein situatie na optopen. (From "Fundu")

A1.1 Inleiding

De flatgebouwen in deze situatie zijn gebouwd in 1970 en zijn over de tijd goed onderhouden en waar nodig verbeterd. Bouwtechnische zijn deze flatgebouwen ook nog in orde. De twee klachten van de bewoners waren: te weinig voorzieningen in de buurt en te smalle balkons. Volgens de eigenaar Forta miste de gebouwen ook uitstraling en was het woningaanbod te eenzijdig.

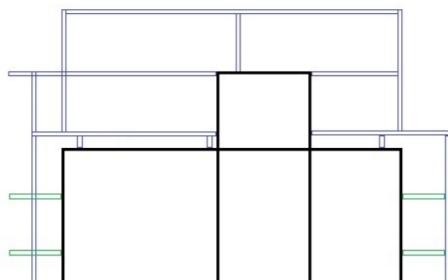
Door de flat te renoveren en op te toppen, werd er voldaan aan de eisen. In de lege hoeken van het flatgebouw werden twee woontorens toegevoegd met in totaal 78 appartementen. Op de daken van de flatgebouwen zijn twee tot drie bouwlagen toegevoegd. Ook is de gevel gerenoveerd om zo grotere balkons te realiseren. De 138 gecreëerde diverse woningen vergroten het woningaanbod. Doordat deze nieuwe woningen konden worden gebouwd zonder grondaankoop, kwam er een flink budget beschikbaar wat deels is gebruikt om het Live & Leisure centrum te bouwen voor de bewoners van de flats.

A1.2 Constructie

De hoofddraagconstructie is uitgebreid door zowel aan de voor als de achterzijde van het gebouw een dragende staalconstructie aan te leggen. Met behulp van kespen is deze dragende staalconstructie vervolgens met de bestaande fundering verbonden. De woontoren zelf is nieuwbouw en heeft zijn eigen nieuwe fundering en constructie.

Het eigengewicht van de vloerconstructie is 69% van het eigengewicht van de totale constructie (J. Schaap, 2017, table 8.32).

Bij Eemstein is voor de vloerconstructie ook gebruik gemaakt van staalframebouw (inclusief een calciumsulfaat gebonden dekvloer en gipsplafond). Het eigengewicht van deze vloer is 197 kg/m^2 (J. Schaap, 2017, p. 88).



Figuur 7.3 Uitbereiding hooddraagconstructie (J. Schaap, 2017, figure 8.17)

De grootste uitdaging van het optoppen van de flats waren de logistiek, de wind en de waterdichtheid. Staalframebouw is logistiek een vrij makkelijk constructiemateriaal, omdat deze gemakkelijk te transporteren en te monteren zijn. Een tweede reden dat gekozen is voor staalframebouw is omdat het weinig beperkingen oplegt.

De constructie is in de woning scheidende wanden gescheiden, vanwege akoestische redenen. Hierdoor moet elke woning zijn eigen stabiliteit realiseren. Bij elke woning zullen de beide woning scheidende wanden, een evenwijdige binnenwand en de vloer samen de horizontale krachten opnemen. Op de kop-woningen zullen de dwarswanden de windbelasting opvangen. Deze dwarswanden zijn met stalen strips versterkt (Bouwen met staal 208, 2009, p. 26-31).

Voor de vloerconstructie geldt het volgende. De vloer van de optopping bestaat uit een anhydride dekvloer (68 mm), koud gevormde honingraatvormige plaat (CF19 / 1050), koudgevormde C-profielen (C220.70.20-1.5), verstevigingen (160 x 1,5 mm), steenwol (70 mm) en gipsplaten (15 mm) (J. Schaap, 2017, p. 85).

Voor de opbouw van de gevel geldt het volgende. De gevel van de optopping bestaat uit een gipsplaat (15 mm), dampfolie, steenwol (100 mm), koudgevormde C-profielen (C100.40.10-1,5), houten planken (22 mm), een spouw van 22 mm en gevelelementen met een coating laag van baksteen of hout (21 mm) (J. Schaap, 2017, p. 86).

A1.3 Bouwfysica

De gevel is geïsoleerd met behulp van steenwol. Het dak van de optopping is geïsoleerd met behulp van zowel steenwol als een EPS laag (100 mm). Doordat de koudgevormde delen zijn gegalvaniseerd zijn koud-bruggen voorkomen. De thermische weerstand van de gevel is $R_c = 3.7 \text{ m}^2\text{K/W}$ en van het dak is de thermische weerstand $R_c = 4.7 \text{ m}^2\text{K/W}$. Vanwege scherpere normen is dit tegenwoordig niet meer voldoende. Verkoeling en verwarming gebeurt door natuurlijke ventilatie en radiatoren.

Door de vloer aan de staalframebouwconstructie op te hangen is het flankerend geluid aanzienlijk verminderd. De anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten verminderen het contactgeluid. Door de afstand tussen het gipsplafond en de anhydride dekvloer te vergroten, kan het akoestisch comfort worden verbeterd. Aangezien een minimale vloerhoogte belangrijk was voor dit project is hier niet voor gekozen. Doordat de vloer overspanningen niet in beide richtingen gelijk zijn (3 en 5 meter), hebben beide richtingen verschillende massa's en dus verschillende eigenfrequenties.

Voor dit gebouw is 60 minuten bescherming tegen brand de eis. Zowel de overgangsstructuur als de kolommen en balken zijn gecoat met een vuurbestendige laag die 60 minuten bescherming tegen brand garandeert. Verder beschermt de aangebrachte gipsplaat de gevel, vloer en wand elementen voor tenminste 60 minuten (J. Schaap, 2017, p. 86-87).

Component	Material	Dimensions	Density	Load	Portion
Screef	Anhydride	68 mm	2200 kg/m³	150 kg/m²	76 %
Sheet	CF19/1050	18 mm		7 kg/m²	4 %
Beam	C220.70.20-2,5	220 mm		13 kg/m²	7 %
Isolation	Rockwool	70 mm	45 kg/m³	3 kg/m²	2 %
Board	Gypsum	30 mm	800 kg/m³	24 kg/m²	12 %
Total		415¹ mm		197 kg/m²	100 %

Figuur 7.4 Eigengewicht onderdelen vloerconstructie. (J. Schaap, 2017, table 8.18)

Component	Material	Dimensions	Density	Load	Portion
Foil	EPFM	5 mm	1400 kg/m³	7 kg/m²	11 %
Isolation	EPS	100 mm	20 kg/m³	2 kg/m²	3 %
Roof cover	Rubber	15 mm	700 kg/m³	7 kg/m²	11 %
Beam	C260.80.20-2,5	260 mm		13 kg/m²	20 %
Board	Gypsum	30 mm	800 kg/m³	30 kg/m²	47 %
Ducting				5 kg/m²	8 %
Total		440¹ mm		64 kg/m²	100 %

Figuur 7.5 Eigengewicht onderdelen dakconstructie. (J. Schaap, 2017, table 8.19)

A.2 Karel Doorman



Figuur 7.6 Karel Doorman, te Rotterdam. (From “de Architect”)



Figuur 7.7 Karel Doorman, Gecreëerde parkeerterrein. (From “de Architect”)

A2.1 Inleiding

Bij de Karel Doorman is het originele winkelpand in 1951 gebouwd. Doordat dit gebouw leeg kwam te staan en niet meer paste binnen de omgeving is besloten dat een ingreep nodig was. Omdat het originele winkelpand gezien wordt als een monument van de wederopbouw en omdat het bij de constructieve berekeningen bleek dat het draagvermogen van de onderbouw aanzienlijk overgedimensioneerd was, is besloten dit pand tussen 2007 en 2012 te restaureren en op te toppen met 16 lagen woonbouw. Hierdoor konden 114 nieuwe koopwoningen worden gerealiseerd.

Het dak van het bestaande winkelpand wordt nu als parkeergelegenheid gebruikt. Dit parkeerterrein is toegangbaar door de drie nieuw aangebrachte autoliften op de Crispijnlaan. Hierdoor is er genoeg parkeergelegenheid voor de 114 nieuw gerealiseerde koopwoningen.

A2.2 Constructie

Door de aanbreng van twee nieuwe betonkernen van 10 bij 8 meter aan de achterzijde van het gebouw is er een extra draagconstructie en stabiliteitskern gerealiseerd. Onder deze nieuwe betonkernen zijn 3 meter hoge poeren en nieuwe heipalen aangebracht. Deze nieuwe fundering en nieuwe stabiliteitskernen zorgen voor de stabiliteit die benodigd is bij de grotere winddruk. Verder zijn de rest van de hoofddraagconstructie en funderingen gebruikt.

Het eigengewicht van de vloerconstructie is 59% van het eigengewicht van de totale constructie (J. Schaap, 2017, table 8.16).

De bovenbouw van de Karel Doorman bestaat uit een stalen constructie in combinatie met houten vloeren.

Part	Material	Dimensions	Density	Load	Portion
Layer	Bitumen	110 mm	1050 kg/m ³	116 kg/m ²	56 %
Board	Finnish deal	18 mm	700 kg/m ³	13 kg/m ²	6 %
Board	Laminated timber	245 225 mm	700 kg/m ³	20 kg/m ²	10 %
Isolation	Rockwool	90 mm	65 kg/m ³	6 kg/m ²	3 %
Board	Gypsum	25 mm	900 kg/m ³	22.5 kg/m ²	11 %
Recessed wall ¹	Steel			30 kg/m ²	15 %
Total		440 ² mm		206.5 kg/m ²	100 %

1: For vibration purposes.

2: Including a cavity of 27 mm.

Figuur 7.8 Eigengewicht onderdelen vloerconstructie. (J. Schaap, 2017, table 8.2)

Part	Material	Dimensions	Density	Load	Portion
Layer	Bitumen	110 mm	1050 kg/m ³	116 kg/m ²	56 %
Board	Finnish deal	18 mm	700 kg/m ³	13 kg/m ²	6 %
Board	Laminated timber	245 225 mm	700 kg/m ³	20 kg/m ²	10 %
Isolation	Rockwool	90 mm	65 kg/m ³	6 kg/m ²	3 %
Board	Gypsum	25 mm	900 kg/m ³	22.5 kg/m ²	11 %
Recessed wall ¹	Steel			30 kg/m ²	15 %
Total		440 ² mm		206.5 kg/m ²	100 %

1: For vibration purposes.

2: Including a cavity of 27 mm.

Figuur 7.9 Eigengewicht onderdelen dakconstructie. (J. Schaap, 2017, table 8.3)

Deze verdiepingsvloeren wegen slechts 250kg/m², inclusief wanden, gevels, plafonds en installaties en leidingen. De vloeren zelf wegen slechts 206,5 kg/m² (J. Schaap, 2017, p. 76). Door extra stalen kolommen te plaatsen bij de woning scheidende wanden kunnen de extra vibraties, die een houten vloer met zich meebrengt worden, gedempt. (Ibelings van Tilburg, 2014) (ArchitectuurNL, onbekend).

De vloer van de Karel Doorman bestaat uit een anhydride dekvloer (55 mm), Finse kantplaat (18 mm), 2 gelijmde gelamineerde houten balken (45 x225 mm), bevestigingen (100 x 20 mm), steenwol (90 mm) en 2 gipsplaten (12,5 mm) (J. Schaap, 2017, p. 71).

De gevel van de Karel Doorman is geen onderdeel van de draagconstructie. De gevel bestaat bij de ramen uit een aluminium frame. De rest van de gevel bestaat uit houten frames (210 mm). Deze houten frames bestaan uit: gipsplaat (12,5 mm), dampfolie, steenwol (140 mm), panlatten (56 x 140 mm), OSB (9 mm) en een 19 mm holle en grenenhouten gevelementen (17 x 140 mm) met een coating laag (J. Schaap, 2017, p. 73).

A2.3 Bouwphysica

De gevel is geïsoleerd met behulp van steenwol, het dak van de optopping is geïsoleerd met behulp van zowel steenwol als een bitumenlaag (100 mm). Doordat de aluminium ramen zijn gegalvaniseerd zijn koud-bruggen voorkomen. De gevel en het dak hebben beide een thermische weerstand van $R_c = 2,5 \text{ m}^2\text{K/W}$. Vanwege scherpere normen is dit tegenwoordig niet meer genoeg thermische weerstand. Verkoeling en verwarming gebeurt door natuurlijke ventilatie en vloerverwarming respectievelijk.

Door tussen de vloer en de staalframebouwconstructie elastomeren aan te brengen, is het flankerend geluid aanzienlijk verminderd. De anhydride dekvloer en veerkrachtige gipsplaten verminderen het contactgeluid. Door de afstand tussen het gipsplafond en de anhydride dekvloer te vergroten, kan de geluidsisolatie worden verbeterd. Aangezien een minimale vloerhoogte belangrijk was voor dit project is hier niet voor gekozen. De façade biedt voldoende isolatie tegen omgevingsgeluid en hoeft niet aangepast te worden. Om vibraties te verminderen is de hoofddraagconstructie versterkt door drie kolommen aan te brengen met vierkante holle secties SHS120 x120 x5. Tot slot zijn er extra houten balken in transverse richting aangebracht om extra damping aan de vloeren toe te voegen.

De overgangsstructuur, de kolommen en balken zijn gecoat met een vuurbestendige laag van 30 mm die 120 minuten bescherming tegen brand garandeert. Omdat verdiepingen 3, 4 en 5 dichtbij het parkeerterrein bevinden is hier in plaats van OSB gebruik gemaakt van geïmpregneerde spaanplaat (10mm) in de gevel. Vanwege dezelfde reden is de houten vloer op verdieping 3 gecoat met een vuurbestendige laag van 60 minuten (J. Schaap, 2017, p. 73-74).



Figuur 7.10 De drie kolommen, SHS120 x120 x5. (J. Schaap, 2017, figure 8,8)

A.3 Astoria



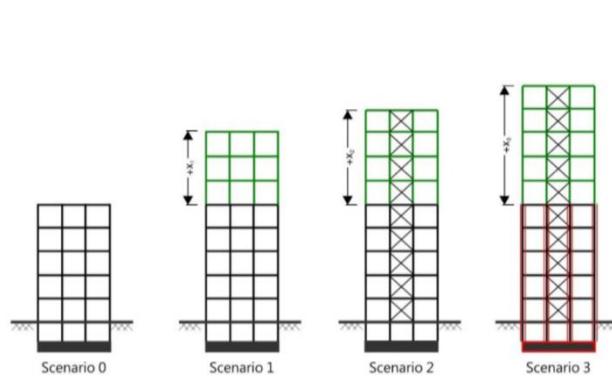
Figuur 7.11 Astoria, te Den Haag. (From “Archipelontwerpers”)



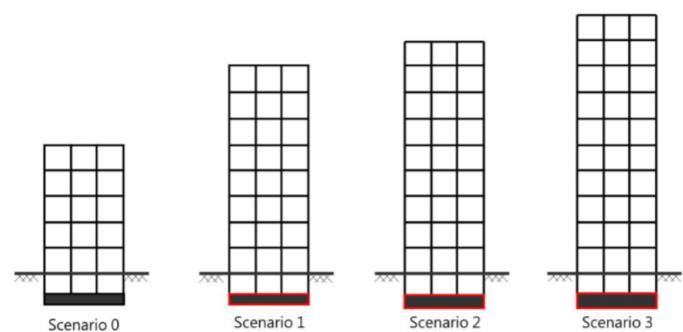
Dit gebouw uit 1983 staat tegenover station Hollands Spoor. Vanwege leegstand is dit gebouw toe aan renovatie. Papageorgiou heeft verschillende optop-mogelijkheden van dit gebouw bekeken om zo tot een conclusie te komen wat de beste mogelijkheid is, gebruikmakend van een stalen frame en lichtgewicht vloer combinatie (2016, p. 107-163).

Scenario 0 is de situatie nu. In scenario 1 wordt het gebouw opgetopt zonder de kritieke constructie elementen te versterken. In scenario 2 wordt het gebouw opgetopt en wordt er de constructie versterkt. Er wordt geprobeerd de krachten beter te verdelen over de bestaande fundering. In scenario 3 worden de bestaande constructie elementen versterkt om zo een maximale optophoogte te bereiken. Deze scenario's zijn schematisch weergegeven in figuur 7.12

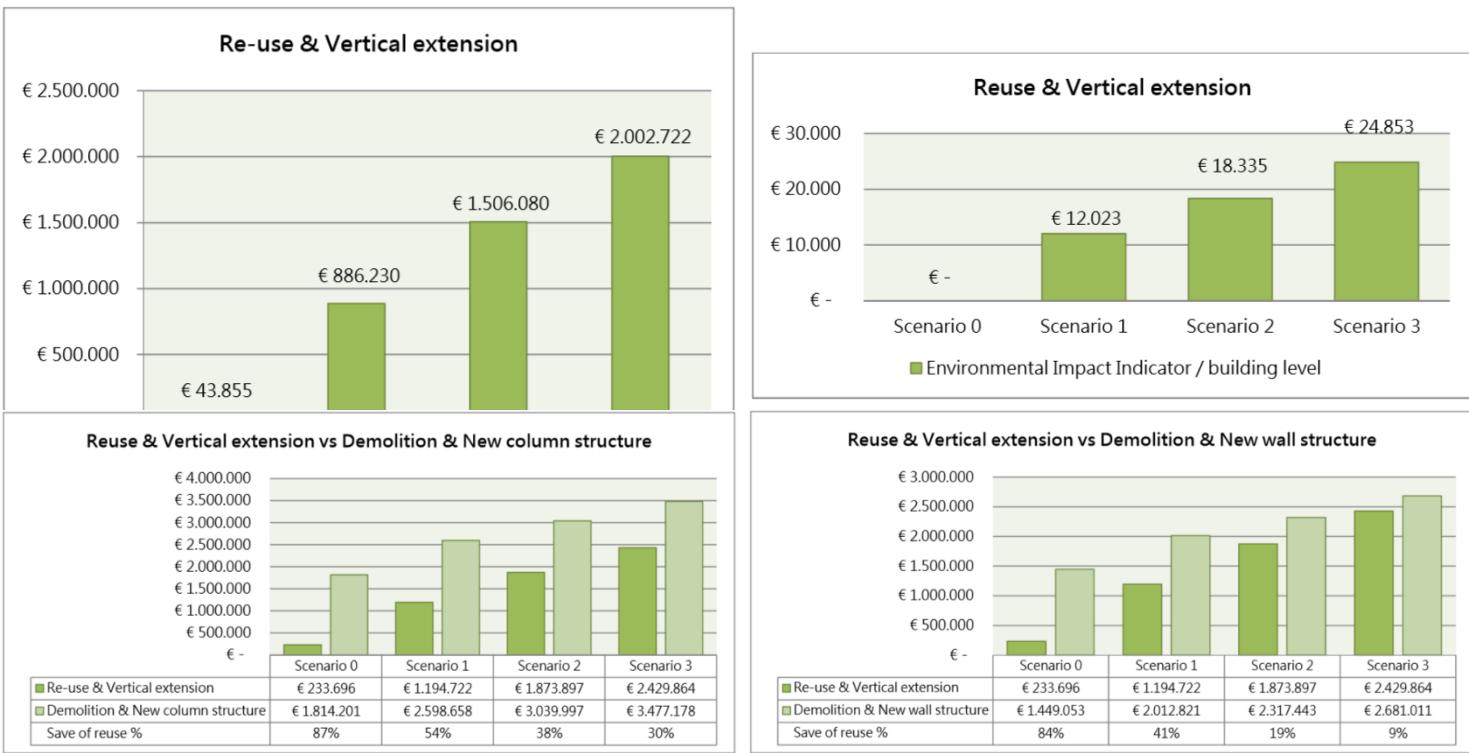
Deze optomogelijkheden worden vergeleken met het scenario van sloop en nieuwbouw, zie figuur 7.13. In deze nieuwbouwmogelijkheden wordt gekeken naar mogelijkheden met betonnen vloeren en muren en mogelijkheden met betonnen vloeren en kolommen. Figuur 7.14 geeft de belangrijkste resultaten van dit onderzoek.



Figuur 7.12 Optomogelijkheden. (Papageorgiou, 2016, figure 6-1)



Figuur 7.13 Nieuwbouwmogelijkheden. (Papageorgiou, 2016, figure 6-35)



Figuur 7.14 Vergelijking Renovatie en optoppen met sloophen en nieuwbouw op basis van kosten. (Papageorgiou, 2016, graph 7-1, 8-2, 8-3 and 8-4)

Uit deze casestudy blijkt dat voor alle scenario's het optoppen goedkoper is dan sloophen en nieuwbouw. Scenario 1 bespaart het meeste geld ten opzichte van nieuwbouw. Scenario 2 blijkt economisch niet voordelig te zijn. De opbrengsten van de extra vloeren die kunnen toe worden gevoegd is kleiner dan de kosten van scenario 2 ten opzichte van scenario 1. Scenario 3 is een interessant maar erg complexe oplossing. Waar meer economisch onderzoek naar dient te worden gedaan. Hieruit kan geconcludeerd worden dat een scenario met geen of minimale aanpassingen aan de bestaande draagconstructie de voorkeur verdient.

De milieu-impact van de extra materialen die zijn toegevoegd aan de bestaande constructie is erg klein ten opzichte van de milieu-impact van de bruto vloeroppervlak. Hierdoor is er vrij weinig te zeggen over de verschillen van de milieu-impact tussen de verschillende optop scenario's.

Met de ECI (Environmental Cost Indicator) is berekend dat het hergebruik in combinatie met optoppen resulteert in een 54% verminderde milieu-impact voor scenario 1 ten opzichte van de kolommen structuur. Voor scenario 2 is dit 38% en voor scenario 3 is dit 30%

Met de ECI (Environmental Cost Indicator) is berekend dat het hergebruik in combinatie met optoppen resulteert in een 41% verminderde milieu-impact voor scenario 1 ten opzichte van de muren structuur. Voor scenario 2 is dit 19% en voor scenario 3 is dit 9% (Papageorgiou, 2016, p. 107-163).

Bijlage B – Eisen voor optopping

B.1 Technische eisen

Om kansrijke situaties gemakkelijk te kunnen onderscheiden van andere situaties, is er in dit rapport gekeken wanneer er bij een project een succesvolle optopping kan worden gecreëerd. Hiervoor zijn eisen opgesteld waaraan een gebouw dient te voldoen. De technische eisen zijn onderstaand opgesomd.

- De bestaande hoofddraagconstructie en de funderingen van het gebouw moeten in orde zijn. Dit kan gecheckt worden door te kijken naar: verzakkingen van vloeren en de fundering of grote (kritische) scheurvorming van de betonnen vloeren, balken en kolommen (Alting, 2016, p. 2).
De Nederlandse Organisatie voor toegepast-natuurwetenschappelijk onderzoek geeft nog enkele andere zichtbare sporen van het gedrag van veroudering. Dit zijn: doorbuigingen, losse stenen en roestvorming. (TNO, 2011, p. 24).
Mogelijke andere manieren om de bestaande hoofddraagconstructie en de funderingen te testen is door gebruik te maken van een lintvoegmeting of een vloerveldwaterpassing (Alting & Doomen, 2018, p. 19). Als een deel van de constructie gesloopt zal worden, kan de fundering onder deze constructie getest worden, en aan de hand van de gevonden resultaten kan de sterkte van de fundering worden geschat (Alting, 2016).
- De sterkte van de bestaande fundering moet voldoen aan de benodigde sterkte die veroorzaakt wordt door de extra belastingen die gepaard gaan met het optoppen van gebouwen. Wanneer de bestaande fundering niet voldoet en deze versterkt moet worden of wanneer er extra fundering moet worden aangebracht, zullen de kosten hoger zijn dan 60 tot 70% van de kosten voor sloop en nieuwbouw. Volgens een vuistregel van projectontwikkelaars is renovatie dan niet meer aantrekkelijk (Vervest, B.C.H. & Barendsz, 2006, p.5) (Papageorgiou, 2016, p. 107-163).
- De bestaande hoofddraagconstructie moet grotendeels de extra belastingen kunnen opvangen. Hierin zijn eventueel kleine ingrepen mogelijk.
- Er dient voldoende vrije ruimte te zijn rond het gebouw, waarvan de constructie elementen het dak op kunnen worden getild.
- Beschikbaarheid van duidelijke originele archieftekeningen of bouwtekeningen. Deze zijn nodig om de situatie in kaart te brengen. Wanneer deze niet aanwezig zijn is het een dure onderneming om deze gegevens zelf, door middel van testen, in kaart te brengen.
- Aanwezigheid van een kelder. Een kelder kan een groot buigend moment opnemen. Het komt veel voor dat gebouwen met kelders nog erg veel restcapaciteit over hebben wat betreft buigende momenten. Dit soort gebouwen tonen dus potentie om op te toppen (Remco Alting, 2018).

B.2 Niet technische eisen

- Samenhang met andere ingrepen, de optopping moet passen bij het onderliggende gebouw. Ook moeten de ingrepen die bij de optopping nodig zijn, samenhang hebben met het onderliggende gebouw. Verder dient er gekeken te worden hoe deze ingrepen zo kunnen worden gebruikt dat het hele gebouw ervan profiteert.

- Stedenbouwkundige randvoorwaarden, de optopping moet passen binnen de stedenbouwkundige visie.
- Draagvlak bij de gemeente, per project en per gemeente kan het verschillen hoe de gemeente omgaat met de regelgeving en de bouwvoorschriften.
- Draagvlak bij bewoners, de eventuele bewoners van het bestaande complex zullen overlast ondervinden aan de bouw van de optopping. Er moet geprobeerd worden om hier voordelen tegenover te zetten, zoals tegelijkertijd de renovatie van het bestaande complex uitvoeren.
- Architectonische randvoorwaarden, de optopping moet passen binnen de architectonische visie.
- Financiële randvoorwaarden, hierin moet gekeken worden naar de kosten van de constructie van de optopping, en het vervoeren en installeren van de optopping. Deze kosten moeten over de tijd gedekt worden door eventuele subsidies en de financiële opbrengsten die deze nieuwe ruimte zal opleveren. Ook dient er te worden gekeken naar dekkingsmogelijkheden (Verburg, 2000, p. 16-18).

Bijlage C – Uitleg stappenplan

In deze bijlage zal per stap uit het stappenplan een toelichting en achtergrondinformatie worden gegeven.

1. Stabiliteit fundering

Doordat het gebouw wordt opgetopt zal de windkracht op het gebouw toenemen. Voor de stabiliteit van de fundering dient gekeken te worden naar de toename van het buigend moment dat door deze extra windbelasting ontstaat. Hiervoor dient NEN-EN 1991-1-4 aan te worden gehouden. Berekend wordt of de fundering genoeg momentcapaciteit heeft om dit buigend moment op te vangen. Zo niet, dan zal er extra funderingen moeten worden aangebracht ten plaatsen van de stabiliteitswandelen. Het aanbrengen van extra fundering is een dure ingreep. Heeft de fundering niet genoeg momentcapaciteit om dit buigend moment op te vangen, dan wordt aangeraden om de keuze voor een optopping te heroverwegen vanwege de hoge kosten. De volledige berekening van de stabiliteit van de fundering is te vinden in bijlage E.

2. Stabiliteit hoofddraagconstructie

Voor de hoofddraagconstructie moet ook gekeken worden of de momentcapaciteit de extra buigend moment door deze extra windbelasting aan kan. Mocht de hoofddraagconstructie het extra buigend moment niet aan kunnen, dan dient er gekeken te worden naar het toevoegen of versterken van de stabiliteitswandelen. Zijn deze ingrepen niet te groot, dan zal de keuze voor een optopping nog de voorkeur hebben boven de keuze voor sloop en nieuwbouw. De berekening van de vervormingen van de hoofddraagconstructie is te vinden in bijlage F.

3. Belastingtoename dak

Er dient te worden gecontroleerd of er ingrepen nodig zijn aan de dakconstructie om deze te gebruiken als vloerconstructie. Zo niet, dan kan het huidige eigengewicht van de dakconstructie in de nieuwe situatie worden aangenomen als eigengewicht van de vloerconstructie. Zijn er wel ingrepen nodig aan de dakconstructie, dan wordt aangeraden om de constructie te versterken met behulp van de gekozen frameconstructie. Deze frameconstructie kan worden aangebracht op de bestaande dakconstructie ter plaatse van de dragende kolommen.

4. Belastingtoename funderingen

Het optopen van gebouwen die ouder zijn dan 15 jaar wordt dus gezien als verbouw. Vanwege deze reden mag er gebruik worden gemaakt van de NEN8700 en de NEN8701 in plaats van de NEN-EN 1990. Het voordeel hiervan is dat de normen voor bestaande bouw reductiefactoren gebruiken, ook zijn de partiële factoren gunstiger dan voor nieuwbouw. Deze partiële factoren worden vermenigvuldigd met de belastingen om zo de rekenwaarde van deze belastingen te bepalen.

Voor funderingen kan allereerst een aanname voor het eigengewicht van de optopping worden gedaan. Uit de referentieprojecten, te vinden in bijlage A.1 en bijlage A.2, is gebleken dat het eigengewicht van een staalframebouw vloer rond de 200kg/m² ligt. Dit getal zal rond de 250 kg/m² liggen wanneer wanden, gevels, balkons, gangen, plafonds, installaties en leidingen worden meegenomen. Daarom zal in de berekening van de sterkte van de fundering en de berekening van de sterkte van de hoofddraagconstructie allereerst een eigengewicht van $F = m * g = 250 * 9,81 = 2452,5N = 2,45 kN/m^2$ worden

aangehouden voor een vloer van de optopconstructie. Voor een begaanbaar dak zal dezelfde vloerbelasting van $2,45 \text{ kN/m}^2$ worden aangenomen.

Voor een onbegaanbaar dak, kan het eigengewicht van het referentieproject Eemstein, zie bijlage 1A, worden gehouden. Hier is het eigengewicht van het dak $64 \text{ kg/m}^2 = 0,63 \text{ kN/m}^2$. Omdat deze constructie maar liefst driemaal zo licht is als de dakconstructie gevonden bij Karel Doorman, wordt een veiliger eigengewicht van $0,75 \text{ kN/m}^2$ aangenomen voor een onbegaanbaar dak.

Voor een groen dakterras wordt allereerst de lichtste optie aangenomen. Dit is een sedumdak met een nat eigengewicht van $75 \text{ kg/m}^2 = 0,75 \text{ kN/m}^2$. Voor een groen dakterras wordt dus in eerste instantie $2,45 + 0,75 = 3,2 \text{ kN/m}^2$ gehouden (ansglobal, 2018).

Wanneer een kantoorgebouw wordt getransformeerd in een woongebouw, komt het vaak voor dat de vloer niet voldoet aan de eisen voor woningscheiding. Voornamelijk qua akoestisch comfort en vibraties zijn er verbeteringen nodig. Er zijn meerder mogelijkheden om de vloeren te verbeteren. Zo kunnen bestaande vloeren worden verzwaard. Dit verdient in het geval van het optopen niet de voorkeur aangezien er extra eigengewicht wordt toegevoegd aan het gebouw. Wat wel de voorkeur verdient, is het toepassen van een verend opgelegde of zwevende dekvloer op de bestaande vloer, deze dekvloer is vaak opgebouwd uit een verende laag van bijvoorbeeld geëlastificeerde EPS of steenwol en een dekvloer van zandcement of anhydriet. Een laatste optie is een geluidsisolerend plafond onder de constructieve vloer aanbrengen. Het aanbrengen van een verend opgelegde of zwevende dekvloer is in het geval dat het gebouw wordt opgetopt meestal de verstandigste keuze, doordat de afwerkvlakken kunnen worden verwijderd, wat weer gewicht scheelt. Volgens het Nederlands Akoestische Genootschap geldt dat: "Een droge lichte zwevende dekvloer bestaat uit twee op elkaar gelijmde (versterkte) gipsplaten met een gezamenlijke dikte van 20 à 25 mm en een oppervlakte-massa van ca. 25 kg/m^2 " (Scheers & Vercammen, 2000, p. 45). Een massa van $25 \text{ kg/m}^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$ wordt dus aangegeven. Doordat dit een ondergrens lijkt te zijn, zal $0,35 \text{ kN/m}^2$ worden gehouden.
De transformatie van een bestaande vloer naar een nieuwe vloer bedraagt dus bestaand + $0,35 \text{ kN/m}^2$.

De transformatie van bestaande dakconstructie naar een nieuwe vloerconstructie is ook afhankelijk per gebouw. Mocht de bestaande dakconstructie gelijk zijn aan de bestaande vloerconstructie dan kan voor de transformatie van het bestaande dak hetzelfde worden aangenomen als de transformatie van een bestaande vloer. Voldoet het dak niet aan de eisen, dan zal de constructie worden versterkt met behulp van de gekozen frameconstructie. Deze frameconstructie kan worden aangebracht op de bestaande vloerconstructie, de bestaande vloerconstructie kan op deze manier worden versterkt. De bestaande afwerkvloer kan dan verwijderd worden. Doordat de bestaande vloerconstructie al een deel van het akoestisch comfort, sterkte en thermische isolatie op zich neemt, hoeft de nieuwe vloerconstructie hierin minder aan mee te dragen. Voor een nieuwe vloerconstructie was een eigengewicht van $2,45 \text{ kN/m}^2$ aangenomen. Daarom wordt voor deze vloer een eigengewicht van $1,45 \text{ kN/m}^2$ aangenomen.

Tabel 9.1 geeft het overzicht van de aannames van de eigengewichten.

Aanpassing	eigengewicht nieuwe situatie [kN/m ²]
Extra toegevoegde vloer	2,45
Dakterras	3,2
Begaanbaar dak	2,45
Onbegaanbaar dak	0,75
Bestaande vloer naar nieuwe vloer	bestaand + 0,35
Bestaand dak naar nieuwe vloer	bestaand – afwerkvloer + 1,45

*uitgangspunt is dat de bestaande begane grond vloer niet versterkt hoeft te worden.

Tabel 9.1 Aannames eigengewichten in nieuwe situatie bij de keuze voor staalframebouw

5. Belastingtoename hoofddraagconstructie.

Net als bij de berekening van de funderingen wordt hier de rekenwaarde van de bestaande situatie vergeleken met de rekenwaarde van de nieuwe situatie. Hier zal een procentuele toename van de belasting op de kolommen uit volgen voor de te testen situaties.

Betonconstructies nemen toe in sterkte over de tijd. Hier dient rekening mee te worden gehouden bij het berekenen van de sterkte van de hoofddraagconstructie. Dit betekent dat een bestaande kolom die constructief in orde is, over de tijd meer belasting aankan.

Door de maatgevende kolommen te vinden en door te rekenen kan tijdwinst behaald worden. Voldoet de maatgevende kolom, dan zullen de andere kolommen ook voldoen.

Dezelfde aannames als voor de berekening van de belastingtoename op de fundering worden gemaakt, zie tabel 9.1.

6. Keuze optopconstructie en materialen

Aangeraden wordt om in eerste instantie uit te gaan van staalframebouw. Mocht de opdrachtgever aangeven dat duurzaamheid belangrijk is, kan er voor een zwaardere houtskeletbouw constructie worden gekozen. Als het eigengewicht van staalframebouw te hoog uitkomt wordt aangeraden om te kijken naar aluminiumframebouw. Wel moet deze keuze goed besproken worden gezien de hoge kosten. Vervolgens zal het gekozen constructietype doorgerekend worden en gedimensioneerd. Dit is in bijlage I gedaan voor de casestudy. Voor de materialen dient er ook gekeken te worden naar de bouwfysica. Er wordt gekeken naar thermisch comfort, akoestisch comfort, vibraties en brandveiligheid.

7. Exacte eigengewichten bepalen

Aan de hand van de gevonden constructie en materialen kan nu de constructie worden doorgerekend met het exacte eigengewicht van de constructie.

Bijlage D – overige informatie en eisen case-study

D.1 Technische informatie hoofddraagconstructie en funderingen

De bestaande hoofddraagconstructie bestaat uit kolommen waar de 160 mm dikke, in twee richtingen voorgespannen betonvloeren op rusten. Deze voorgespannen strengen zijn zonder aanhechting uitgevoerd, ze zijn verankerd in de gevelbanken en in de vloereinden. De betonnen vloeren zijn puntvormig ondersteund door de kolommen. Tussen de vloeren en ondersteunende kolommen zijn geen ponskoppen aanwezig. De kolommen hebben een afmeting van 500x600 mm of 500x700 mm op de begane grond vloer. Op de verdiepingsvloeren is deze afmeting 500x500 mm. Een plattegrond van de hoofddraagconstructie is te vinden in bijlage J.

De bestaande fundering bestaat uit in het werk gestorte funderingsbalken die door vibropalen worden ondersteund. De diameter van deze funderingspalen is Ø480 mm en het paalpuntniveau ligt tussen de -18,5 tot -22,0 meter ten opzichte van NAP.

De karakteristieke draagcapaciteit van deze palen is 1000 á 1200 kN volgens de archieftekeningen. Er is een indicatief palenplan opgesteld omdat het bestaande palenplan niet bekend is bij Pieters Bouwtechniek, zie bijlage K. bouwblok B heeft een fundering die bestaat uit blokpoeren met funderingsbalken van 600x600 mm en 400x500 mm. Onder de centraal gelegen kolommen zijn blokpoeren van 1800x1800x1200 mm gebruikt en funderingsbalken met een afmeting van 1000x1000 mm. De fundering ter plaatse van de gevel bestaat uit lijnpoeren van 600x2800x1000 mm en funderingsbalken van 250x600 mm. (maten in B x H of B x L x H)

Pieters Bouwtechniek heeft voor de bestaande kwaliteit van het beton de volgende informatie gevonden:

- Toelaatbare drukspanning in beton: 180 kg/cm² (18 N/mm² < 22,5 N/mm², C18/22,5)
- Kwaliteit wapeningstaal: FeB 400
- Toelaatbare trekspanning in wapeningstaal: 3480 kg/cm² (348 N/mm², FeB400)

Over de tijd neemt de sterkte van beton toe. Met dit in het achterhoofd is vastgesteld dat voor de controle van de bestaande betonconstructie voor het beton een materiaalkwaliteit van C20/25 kan worden aangehouden. Voor de wapening wordt FeB 400 aangehouden.

D.2 Eisen en wensen

De bestaande gevels verkeren in slechte staat, de opdrachtgever heeft daarom de eis om de gevels moderner en aantrekkelijker te maken, zodat de gevels passender zijn voor het woongebouw. De bestaande gevels bestaan uit metselwerk met glazenpuien. Volgend uit de archiefstukken is het metselwerk in de gevel niet berekend als stabiliteitswanden. De stabiliteit wordt verkregen door de betonnen wanden. In dit onderzoeksverslag zal verder niet worden ingegaan op aanpassingen van de gevels. Het eigengewicht van de gevels wordt verder niet meegenomen in de berekening.

De opdrachtgever heeft ook de eis opgesteld om buitenruimte voor de woningen te creëren. Aan de achterzijde van het pand worden balkons gerealiseerd, aan de voorzijde van het pand worden de bestaande balkons vervangen door inpandige loggia's voornamelijk vanwege geluideisen. Deze aanpassingen worden ook niet behandeld in dit onderzoeksverslag.

Voor de huidige vloeropbouw is er de eis dat deze wordt aangepast om te voldoen aan de eisen vanuit woningscheiding. De opdrachtgever eist dat voor de optopping de eisen voor nieuwbouw worden gehouden. Verder eist de opdrachtgever dat er strengere eisen voor de vloerbelastingen worden toegepast dan de Eurocode aangeeft. Deze belastingen zijn in bijlage G vermeld. Voor de bouwfysica van de optopping, de doorbuiging en de horizontale verplaatsing worden de eisen voor nieuwbouw gehouden.

Tot slot is er de eis om op het nieuwe dak plaats te maken voor drykoelers. Deze worden gebruikt voor de airconditioning van de woningen. Deze drykoelers worden in dit onderzoeksverslag verder niet behandeld.

D.3 Inspectie bestaande constructie

Voor SCYE010 zijn er door Wareco ingenieurs scheefstandsmetingen verricht. Deze scheefstandsmetingen zijn uitgevoerd conform de richtlijnen opgesteld door de branchevereniging Organisatie Onafhankelijk Onderzoek fundering (F₃O). Zowel een lintvoegwaterpassing als een vloerveldwaterpassingen onderzoek zijn uitgevoerd.

De conclusie van dit onderzoek van Wareco is: "Wareco geeft aan dat de gemeten ongelijkmatige zakkingen in relatie tot de grootte van het pand als nihil kunnen worden beoordeeld. Geen van de gemeten zakking duiden op een eventueel (lokaal) verminderd presteren van de fundering van het pand."

Het paaldraagvermogen van de bestaande palen is door ID Geotechniek bepaald. Uit de oorspronkelijke gewichtsberekeningen komt naar voren dat er overcapaciteit zit in het draagvermogen van de bestaande funderingspalen. De bestaande paaldraagvermogens zijn bepaald door ID Geotechniek. Conclusie is dat een toename van de rekenwaarde tot 10% mogelijk is.

Verder zijn de volgende conclusies getrokken uit de inspectie van de bestaande constructie: De brandwerendheid van de bestaande vloeren en kolommen is voldoende voor de nieuwe situatie. Het bestaande dak is berekend en gedimensioneerd als onbegaanbaar dak. Als er geen versterkingen aan worden gebracht aan het bestaande dak dan kan deze de vloerbelastingen van de nieuwe optopping niet opnemen. Leidingen dienen zo veel mogelijk horizontaal door het gebouw te liggen, omdat het verticaal neerleggen zal betekenen dat er extra insparingen in de vloer moeten worden gemaakt.

Bijlage E – Stabiliteit fundering

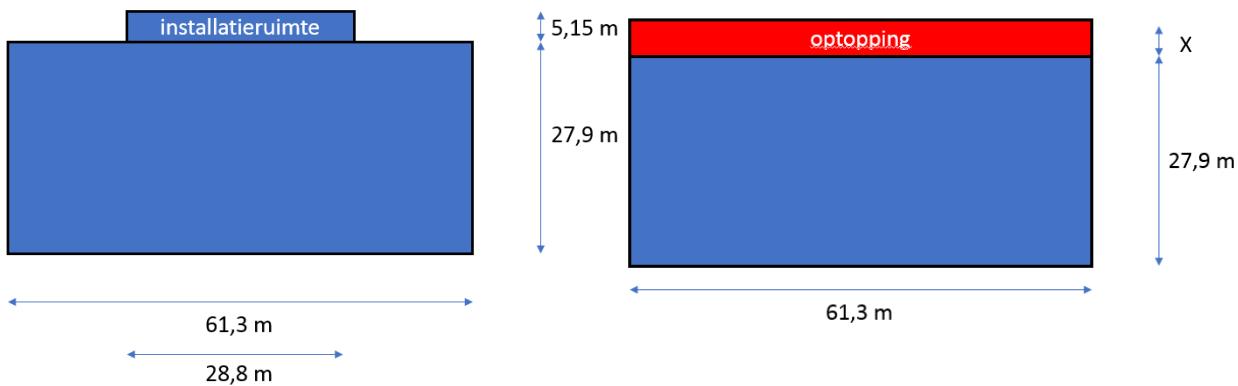
In de oude situatie bevindt zich een installatieruimte op het gebouw van 28,8 meter breed en 5,15 meter hoog. Deze installatieruimte zal van het dak worden verwijderd en er zal een bredere en lagere optopping worden toegevoegd.

Bij de berekening van de stabiliteit van de fundering is de aannname gedaan dat de hoek van 6 graden in het gebouw verwaarloosd kan worden. De plattegrond van bouwblok B wordt dus als een rechthoek aangenomen. Verder is aangenomen dat de windkracht op bouwblok B los van bouwblok C bepaald kan worden.

NEN-1991-1-4 geeft voor de windkracht: $F_w = c_s c_d * c_f * q_p(z_e) * A_{ref}$ (Nederlands Normalisatie Instituut, 2011, p. 28).

Door deze windkracht, F_w , maal de hoogte tot de fundering te vermenigvuldigen, kan de momenttoename op de fundering worden bepaald.

De variabele in de berekeningen is de gekozen hoogte X van de optopping. Er zullen drie situaties worden berekend: de hoogte X waarbij het buigend moment van de fundering niet zal stijgen, de hoogte X waarbij dit moment 5% zal stijgen en de hoogte X waarbij dit moment 10% zal stijgen. Dit is gedaan door het gebouw te schematiseren, zie figuur 11.1. Voor de drie situaties zal de hoogte X worden bepaald.



Figuur 11.1 afmetingen bestaande situatie (links) en nieuwe situatie (rechts)

Volgens NEN-1991-1-4 mag dit gebouw worden beschouwd als een geheel. "Een gebouw waarvan de hoogte h kleiner is dan b behoort te zijn beschouwd als één geheel." (Nederlands Normalisatie Instituut, 2011, p. 36) Dit betekent dat geldt dat $z_e = h$. En dat de extreme stuwdruk als een gelijk verdeelde belasting over de hoogte van het gebouw kan worden beschouwd.

de $c_s c_d$ en c_f waarde zijn in beide situaties dezelfde waardes en deze vallen dus beide weg. Er geldt dus:

$$F_{w_1} * q_p(z_e)_1 * A_{ref_1} = F_{w_2} * q_p(z_e)_2 * A_{ref_2}$$

Voor de bestaande situatie zal de hoogte F_w vanaf de funderingen gelijk zijn aan $(27,9 + \frac{5,15}{\frac{61,3}{28,8}}) / 2 =$

15,16 m. Voor nieuwe situatie zal deze hoogte van F_w vanaf de funderingen gelijk zijn aan $(27,9+X)/2$. Verder geldt $A_{ref_1} = 61,3 * 27,9 + 28,8 * 5,15 = 1858,6 \text{ m}^2$.

Voor het bepalen van de extreme stuwdruk is de Quick Reference gebruikt. (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. gl12). Er geldt windregio = II, Gebied = Urban, $z_e = 33,05$ m.

$$q_p(z_e)_1 = 1,07 \text{ kN/m}^2$$

$$A_{ref_2} = 61,3 * (27,9 + X)$$

voor de $q_p(z_e)_2$ waarde is gebruikt dat voor $z_e = 30\text{m}$ de waarde $q_p(z_e) = 1,03$ en voor $z_e = 35\text{ m}$ de waarde $q_p(z_e) = 1,09$. Er is een linear verloop tussen deze twee waardes aangenomen, dit geeft de formule: $0,67 + (0,012 * (27,9 + X))$

$$q_p(z_e)_2 = 0,67 + (0,012 * (27,9 + X))$$

Uitwerken van deze vergelijkingen geeft het resultaat dat in tabel 11.1 is weergegeven.

Maximale hoogte optopping [m]	
zelfde buigend moment in situatie 1 en situatie 2	2,86
5% toename buigend moment in de fundering	3,50
10% toename buigend moment in de fundering	4,13

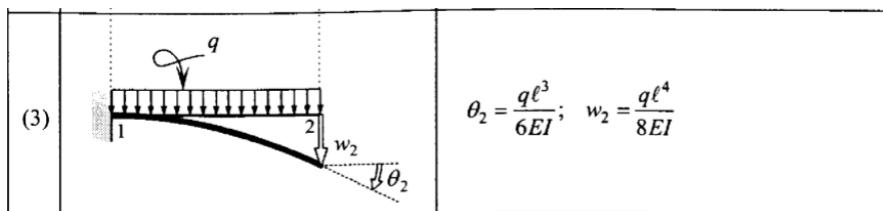
Tabel 11.1 Maximale hoogte optopping vanwege toename windkracht

Bijlage F – Vervormingen hoofddraagconstructie

Er wordt gekozen om de twee buitenste stabiliteitskernen door te trekken in de optopconstructie. Deze twee stabiliteitskeren zullen de stabiliteit en de rotatiestabiliteit van de toptopconstructie verzorgen.

Het dictaat constructief ontwerp 2 vermeldt: "De kern verzorgt de stabiliteit voor het gehele gebouw en alle overige elementen kunnen scharnierend aan deze kern worden bevestigd, mits zij wel plaatsvast zijn." (Abspool, Pasterkamp, de Vries & Terwel, 2012, p. 32).

Belangrijk is dus om de verbinding tussen het staalframe en het betonnen bestaande dak plaatsvast te construeren. Op deze manier zal de stabiliteit in de optopping worden verzorgd. Doordat er gekozen is om ruimte aan te brengen tussen de woningscheidende wanden, is deze stabiliteit nog niet aanwezig. Daarom moeten er windverbanden worden aangelegd die de gehele optopping verbindt aan de stabiliteitskernen.



Figuur 12.1 Model voor bepaling horizontale verplaatsing. (Welleman, 2012)

Verder wordt er gekeken worden naar de horizontale verplaatsing van de top van de constructie ten gevolge van de windbelasting. Voor deze check is het model in figuur 12.1 gebruikt. Dit model wordt 90 graden linksom geroteerd toegepast. De dan verticale staaf in het model stelt de stabiliteitskern voor.

Voor het gehele gebouw dient te gelden volgens NEN-EN 1990 dat:

$$u \leq \frac{1}{500} * h \quad (\text{Nederlands Normalisatie Instituut, 2011, p. 15}).$$

Voor deze check zal een hoogte van de optopping van 3,00 meter worden aangehouden. Dit betekent een totale hoogte van het gebouw van $L = 30,9 \text{ m}$. $1/500 * 30,9 = 0,0618 \text{ m}$. Dus de maximale horizontale verplaatsing is 0,0618 m.

Er geldt dan $q_p(z_e) = 1,04 \text{ kN/m}^2$ ((Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. gl12)).

Er is door Pieters Bouwtechniek gevonden dat het gebruikte beton van de stabiliteitskern een sterkte klasse heeft van C18/22,5 is gebruikt met een elasticiteitsmodulus van $29.000 \text{ N/mm}^2 = 29.000.000 \text{ kN/m}^2$ ((Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. cb2)) (Alting & Doomen, 2018, p. 10).

Deze gegevens invullen in de formule van figuur 12.1 geeft dat het traagheidsmoment groter moet zijn dan $0,66 \text{ m}^4$.

De afmetingen van de twee stabiliteitskernen zijn: 5600 bij 3450 (buitenzijde) en 4800 bij 3600 (tegen bouwblok C aan), zie bijlage J. De diepte van het gebouw is de y-richting en de breedte van het gebouw is de x-richting, zie bijlage J. De hoek in het gebouw wordt voor deze berekening verwaarloosd. Er wordt dus met een vierkant gebouw gerekend. Aangezien de windkracht loodrecht op het gebouw in de y-richting maatgevend is, wordt alleen in deze richting het traagheidsmoment getoetst.

Het traagheidsmoment I_y bedraagt, in y-richting, voor de stabiliteitskern: $50,5 \text{ m}^4$ en $18,7 \text{ m}^4$ respectievelijk.

Deze waarden liggen ver boven de vervormingseis van $0,66 \text{ m}^4$. Omdat de rest van de constructie is verbonden met winverbanden aan deze kernen kan worden aangenomen dat het gebouw qua horizontale vervorming voldoet.

Bijlage G – Berekeningen belastingtoename funderingen

Voor de berekening van de belastingtoename van de funderingen wordt de bestaande situatie doorgerekend volgens de voorschriften TGB 1972. De nieuwe situatie wordt doorgerekend met de voorschriften voor verbouw, de NEN-8700. Vervolgens wordt de toename of afname op de funderingen tussen de bestaande en de nieuwe situatie met elkaar vergeleken. De voorschriften TGB 1972 houden een eigen gewicht van beton van 24 kN/m³ aan. De volgende belastingen zijn aangehouden door Pietersbouwtechniek voor de bestaande situatie, met de aannname dat $y_{beton} = 24$ kN/m³ (Alting & Doomen, 2018, p. 28).

vloer	materiaal	eigen gewicht (kN/m ²)	Variabele belasting (kN/m ²)
begane grond (klasse C3)	betonvloer, d=190 mm afwerking	4,6 1,0	
	Totaal	5,6	4,0
verdiepingsvloer (klasse B)	betonvloer, d=160 mm afwerking plafond	3,9 1,0 0,2	
	Totaal	5,1	2,5
onbegaanbaar dak (klasse H)	betonvloer, d=160 mm grind + afwerking plafond	3,9 0,6 0,2	
	Totaal	4,7	0,5

Tabel 13.1 Belastingen voor de bestaande situatie

De opdrachtgever heeft de eisen, weergegeven in tabel 13.2, opgesteld voor de variabele belasting van de vloeren. Deze eisen zijn in overeenkomst met de Eurocode. Verder zal voor een begaanbaar dak een variabele belasting van 2,5 kN/m² worden aangehouden. De opdrachtgever heeft ervoor gekozen om vanwege de gezamenlijke voorzieningen op de begane grond, deze te zien als Klasse D1 – kleinhandel (winkelruimte).

De funderingspaal onder kolom A en de funderingspaal onder kolom B zijn maatgevend, zie bijlage J. Als de funderingspalen onder deze kolommen voldoen, dan zullen alle funderingspalen voldoen. Allereerst zal kolom A worden uitgewerkt en vervolgens kolom B.

De oppervlakte van de belastingen die via kolom A per verdieping wordt afgedragen is gelijk aan 7,200 m x 7,200 m = 51,84 m²

Naast het eigengewicht van de vloeren, moet ook het eigengewicht van de kolom en de fundering worden meegenomen. In dit geval is dit kolom A. Op de begane grond is deze kolom 500x700 mm en op de verdiepingsvloeren is deze 500x500 mm. De hoogte van de begane grond vloer tot de vloer van de eerste verdiepingsvloer is 4,37 meter. De hoogte tussen twee verdiepingsvloeren is 3,38 meter. Het eigen gewicht van de kolommen is dus:

$$G_{kolommen,A} = 24 * ((7 * (3,38 * 0,5 * 0,5)) + (4,37 * 0,5 * 0,7)) = 178,668 \text{ kN}$$

De fundering bestaat uit een blokpoer van 1,8 x 1,8 x 1,2 meter. Het eigen gewicht van deze blokpoer is dus:

$$G_{blokpoer, A} = 24 * (1,8 * 1,8 * 1,2) = 93,312 \text{ kN}$$

Voor kolom B geldt dat deze oppervlakte gelijk is aan $3,600\text{m} \times 7,200\text{m} = 25,92 \text{ m}^2$

Op de begane grond is de kolom $500 \times 600 \text{ mm}$ en op de verdiepingsvloeren $500 \times 500 \text{ mm}$. Het eigen gewicht van de kolommen is dus:

$$G_{kolommen,B} = 24 * \left((7 * (3,38 * 0,5 * 0,5)) + (4,37 * 0,5 * 0,6) \right) = 173,424 \text{ kN}$$

De fundering bij de gevel bestaat uit een lijnpoer van $0,6 \times 2,8 \times 1,0$ meter. Het eigen gewicht van deze blokpoer is dus:

$$G_{blokpoer,B} = 24 * (0,6 * 2,8 * 1,0) = 40,32 \text{ kN}$$

Volgens de NEN8700 geldt dat voor veranderlijke belasting waarde worden de twee maximale waarde in acht genomen voor de verdiepingen met de grootste veranderlijke belasting. Voor de overige verdiepingen wordt de gevonden veranderlijke belasting waarde met een factor $\psi_0 = 0,4$ vermenigvuldigd. De veranderlijke belasting waarde van het dak wordt met een factor $\psi_0 = 0,0$ vermenigvuldigd en valt dus weg.

Voor de belastingen in de nieuwe situatie worden de waardes uit tabel 13.2 aangehouden. In bijlage C zijn deze aannames voor de belasting uitgewerkt.

Aanpassing	eigengewicht nieuwe situatie [kN/m ²]
Extra toegevoegde vloer	2,45
Dakterras	3,2
Begaanbaar dak	2,45
Onbegaanbaar dak	0,75
Bestaande vloer naar nieuwe vloer	bestaand + 0,35
Bestaand dak naar nieuwe vloer	bestaand – afwerkvloer + 1,45

*uitgangspunt is dat de bestaande begane grond vloer niet versterkt hoeft te worden.

Tabel 13.2 Aannames eigengewichten in nieuwe situaties bij de keuze voor staalframebouw

Er zijn verschillende keuzes voor optoppingen die zullen worden berekend, namelijk

1. Optopping van 2 verdieping met een dakterras
2. Optopping van 2 verdiepingen met een begaanbaar dak
3. Optopping van 2 verdiepingen met een onbegaanbaar dak
4. Optopping van 1 verdieping met een dakterras
5. Optopping van 1 verdieping met een begaanbaar dak
6. Optopping van 1 verdieping met een onbegaanbaar dak

De maatgevende partiële factoren voor deze berekening voor nieuwbouw zijn $\gamma_G = 1,35$ en $\gamma_Q = 1,50$.

De maatgevende partiële factoren voor deze berekening voor verbouw zijn $\gamma_G = 1,30$ en $\gamma_Q = 1,30$.

Door het eigengewicht en de variabele te vermenigvuldigen met γ_G en γ_Q respectievelijk is de rekenwaarde van de belasting te bepalen.

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakterras)			
per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	Q
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	
7	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
6	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
5	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
4	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
3	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
2	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
1	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
0	Begane grond	5,60	4,00	290,304	207,36	
Kolommen	funderingen			178,668		
		93,312			93,312	
F _{tot,k} bestaand		2656,62	1140,48		2539,98	603,94
F _{tot,k} uitbereiding				559,87	93,31	
F _{tot,k} totaal			3797,1			3797,10
F _{tot,d} bestaand			4936,23		4087,09	
F _{tot,d} uitbereiding				895,795		
F _{tot,d} totaal			4936,23		4982,89	
Permanente belasting toename			443,23	16,6841 %		
Veranderlijke belasting toename			-443,23	-38,864 %		
Karakteristiek			0,00	0 %		
Rekenwaarde			46,656	0,94517 %		
Nieuwe situatie						
belasting per paal	4 palen		1245,72 kN	per paal		
oude situatie						
belasting per paal	4 palen		1234,06 kN	per paal		

2 verdiepingen met groen dakterrassen

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met onbegaanbaar dak)			
per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	Q
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	
7	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
6	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
5	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
4	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
3	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
2	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
1	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
0	Begane grond	5,60	4,00	290,304	207,36	
Kolommen	funderingen			178,668		
		93,312			93,312	
F _{tot,k} bestaand		2656,62	1140,48		2539,98	603,94
F _{tot,k} uitbereiding				432,86	93,31	
F _{tot,k} totaal			3797,1			3670,09
F _{tot,d} bestaand			4936,23		4087,09	
F _{tot,d} uitbereiding				724,334		
F _{tot,d} totaal			4936,23		4811,43	
Permanente belasting toename			316,22	11,9032 %		
Veranderlijke belasting toename			-443,23	-38,864 %		
Karakteristiek			-127,01	-3,8449 %		
Rekenwaarde			-124,8	-2,5283 %		
Nieuwe situatie						
belasting per paal	4 palen		1202,86 kN	per paal		
oude situatie						
belasting per paal	4 palen		1234,06 kN	per paal		

2 verdiepingen met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (1 verdieping met begaanbaar dak)			
per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	Q
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	
7	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
6	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
5	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
4	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
3	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
2	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
1	verdieplings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	
0	Begane grond	5,60	4,00	290,304	207,36	
Kolommen	funderingen			178,668		
		93,312			93,312	
F _{tot,k} bestaand		2656,62	1140,48		2539,98	603,94
F _{tot,k} uitbereiding				393,98	46,66	
F _{tot,k} totaal			3797,1			3584,56
F _{tot,d} bestaand			4936,23		4087,09	
F _{tot,d} uitbereiding				601,624		
F _{tot,d} totaal			4936,23		4688,953	
Permanente belasting toename			277,34	10,43973 %		
Veranderlijke belasting toename			-489,89	-42,9545 %		
Karakteristiek			-212,54	-5,59753 %		
Rekenwaarde			-247,277	-5,09043 %		
Nieuwe situatie						
belasting per paal	4 palen		1172,238 kN	per paal		
oude situatie						
belasting per paal	4 palen		1234,058 kN	per paal		

1 verdieping met begaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met begaanbaar dak)			
per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	Q
10	dak	2,45	0,00	127,01	0,00	
9	verdieplings vloer	2,45	0,90	282,53	46,66	
8	verdieplings vloer	5,15	0,90	266,98	46,66	
7	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
6	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
5	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
4	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
3	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
2	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
1	verdieplings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
0	Begane grond	5,60	4,00	290,304	207,36	
Kolommen	funderingen			178,668		
		93,312			93,312	
F _{tot,k} bestaand		2656,62	1140,48		2539,98	603,94
F _{tot,k} uitbereiding				520,99	93,31	
F _{tot,k} totaal			3797,1			3758,22
F _{tot,d} bestaand			4936,23		4087,09	
F _{tot,d} uitbereiding				843,307		
F _{tot,d} totaal			4936,23		4930,4	
Permanente belasting toename			404,35	15,2205 %		
Veranderlijke belasting toename			-443,23	-38,864 %		
Karakteristiek			38,88	-1,0239 %		
Rekenwaarde			-5,832	-0,1181 %		
Nieuwe situatie						
belasting per paal	4 palen		1232,6 kN	per paal		
oude situatie						
belasting per paal	4 palen		1234,058 kN	per paal		

1 verdieping met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN			
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakters)						
per m ²		totaal	per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	G	Q	Q	
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96		10 dak	3,20	0,00	82,94 0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		9 verdiepings vloer	2,45	0,90	63,50 23,33
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		8 verdiepings vloer	5,15	0,90	133,49 23,33
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		7 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		6 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		5 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		4 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
1 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		3 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
0 Begane grond	5,60	4,00	145,152	103,68		2 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
Kolommen funderingen						1 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
						0 Begane grond	5,60	4,00	145,15 103,68

Permanente belasting toename	221,62	15.7614 %
Veranderlijke belasting toename	-221,62	-38,864 %
Karakteristiek	0,00	0 %
Rekenwaarde	23,328	0,90799 %
Nieuwe situatie		
belasting per paal	4 palen	648,131 kN per paal
oude situatie		
belasting per paal	4 palen	642,299 kN per paal

2 verdiepingen met groen dakters

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	ψ_0	0,4	Getallen in kN			
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met onbegaanbaar dak)						
per m ²		totaal	per m ²		totaal	per m ²		totaal	
G	Q	G	G	Q	G	G	Q	Q	
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96		10 dak	0,75	0,00	19,44 0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		9 verdiepings vloer	2,45	0,90	63,50 23,33
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		8 verdiepings vloer	5,15	0,90	133,49 23,33
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		7 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		6 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		5 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		4 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
1 verdiepings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		3 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
0 Begane grond	5,60	4,00	145,152	103,68		2 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
Kolommen funderingen						1 verdiepings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
						0 Begane grond	5,60	4,00	145,15 103,68

Permanente belasting toename

Veranderlijke belasting toename

Karakteristiek

Rekenwaarde

Nieuwe situatie

belasting per paal

oude situatie

belasting per paal

De resultaten van deze berekening worden in tabel 13.3 weergegeven.

Type optopping	Kolom A	Kolom B
Optopping van 2 verdieping met een groen dakterras	0,95	0,91
Optopping van 2 verdiepingen met een begaanbaar dak	-0,12	-0,11
Optopping van 2 verdiepingen met een onbegaanbaar dak	-2,53	-2,43
Optopping van 1 verdieping met een groen dakterras	-3,95	-3,79
Optopping van 1 verdieping met een begaanbaar dak	-5,01	-4,81

Tabel 13.3 Belastingtoename (+) en belastingafname (-) van de fundering, ter plaatse van maatgevende kolommen A en B

Bijlage H – Berekeningen belastingtoename hoofddraagconstructie

Voor de berekening van de hoofddraagconstructie is in de hoofdlijnen hetzelfde als de berekening van de sterkte van de fundering, zie bijlage G. Alleen de punten waarop deze berekening verschilt van de berekening van de belastingtoename van de hoofddraagconstructie worden besproken in deze bijlage.

Er dient rekening mee te worden gehouden dat het eigengewicht van de verdiepingen onder de kolom die berekend wordt niet van invloed is op de belasting op die kolom, en dus niet mee moet worden genomen. Kolom A en kolom B zijn weer de maatgevende kolommen. En voor deze kolommen zal gekeken worden naar de belastingtoename op begane grond niveau en op 1^e verdiepingsniveau.

Kolom A is op de verdiepingsvloeren 500x500 mm.

Eigengewicht kolommen boven begane grond kolom A:

$$G_{kolom\ A,begane\ grond} = 24 * (7 * (3,38 * 0,5 * 0,5)) = 141,96\ kN$$

Eigengewicht kolommen boven eerste verdieping kolom A:

$$G_{kolom\ A,eerste\ verdieping} = 24 * (6 * (3,38 * 0,5 * 0,5)) = 121,68\ kN$$

Doordat de kolommen op de verdiepingsvloeren op de positie van kolom A en kolom B dezelfde omvang hebben, zal het eigengewicht van de kolommen hetzelfde zijn. De afgedragen oppervlakte verschilt en is voor kolom B gelijk aan 3,600m x 7,200m = 25,92 m²

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, begane grond						
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakterras)									
per m ²		totaal	per m ²		totaal							
G	Q	G	G	Q	G	Q						
			10	dak	3,20	0,00	165,89	0,00				
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	9	verdieping vloer	2,45	0,90	127,01	46,66	
7	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	8	verdieping vloer	5,15	0,90	266,98	46,66	
6	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	7	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
5	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	6	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
4	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	5	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
3	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	4	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
2	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	3	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
1	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	2	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
			1	verdieping vloer	5,45	2,25	282,53	116,64				
Kolommen			141,96				141,96					
$F_{tot,k}$ bestaand			2236,3	933,12			2119,66	396,58				
$F_{tot,k}$ uitbreiding					559,87	99,31						
$F_{tot,k}$ totaal			3169,42				3169,42					
$F_{tot,d}$ bestaand												
$F_{tot,d}$ uitbreiding												
$F_{tot,d}$ totaal			4120,24				3271,1					
Permanente belasting toename							895,795					
Veranderlijke belasting toename								4166,9				
Karakteristiek												
Rekenwaarde												
Permanente belasting toename							443,23	19,8199 %				
Veranderlijke belasting toename							-443,23	-47,5 %				
Karakteristiek							0,00	0 %				
Rekenwaarde							46,656	1,13236 %				

2 verdiepingen met groen dakterras

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, begane grond						
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met onbegaanbaar dak)									
per m ²		totaal	per m ²		totaal							
G	Q	G	G	Q	G	Q						
			10	dak	0,75	0,00	38,88	0,00				
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	9	verdieping vloer	2,45	0,90	127,01	46,66	
7	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	8	verdieping vloer	5,15	0,90	266,98	46,66	
6	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	7	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
5	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	6	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
4	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	5	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
3	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	4	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
2	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	3	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
1	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	2	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
			1	verdieping vloer	5,45	2,25	282,53	116,64				
Kolommen			141,96				141,96					
$F_{tot,k}$ bestaand			2236,3	933,12			2119,66	396,58				
$F_{tot,k}$ uitbreiding					432,86	99,31						
$F_{tot,k}$ totaal			3169,42				3042,41					
$F_{tot,d}$ bestaand												
$F_{tot,d}$ uitbreiding												
$F_{tot,d}$ totaal			4120,24				3271,1					
Permanente belasting toename							316,22	14,1405 %				
Veranderlijke belasting toename							-443,23	-47,5 %				
Karakteristiek							-127,01	-4,0073 %				
Rekenwaarde							-124,805	-3,02907 %				

2 verdiepingen met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, begane grond						
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (1 verdieping met groen dakterras)									
per m ²		totaal	per m ²		totaal							
G	Q	G	G	Q	G	Q						
			9	dak	2,45	0,00	127,01	0,00				
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	8	verdieping vloer	5,15	0,90	266,98	46,66	
7	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	7	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
6	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	6	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
5	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	5	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
4	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	4	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
3	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	3	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
2	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	2	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
1	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	1	verdieping vloer	5,45	2,25	282,53	116,64	
kolommen			141,96				141,96					
$F_{tot,k}$ bestaand			2236,3	933,12			2119,66	396,58				
$F_{tot,k}$ uitbreiding					393,98	46,66						
$F_{tot,k}$ totaal			3169,42				2956,87					
$F_{tot,d}$ bestaand												
$F_{tot,d}$ uitbreiding												
$F_{tot,d}$ totaal			4120,24				3271,1					
Permanente belasting toename							601,862					
Veranderlijke belasting toename							3872,96					
Karakteristiek							-212,54	-6,70609 %				
Rekenwaarde							-247,277	-6,00151 %				

1 verdieping met begaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, begane grond						
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met begaanbaar dak)									
per m ²		totaal	per m ²		totaal							
G	Q	G	G	Q	G	Q						
			10	dak	2,45	0,00	127,01	0,00				
8	dak	4,70	0,50	243,648	25,92	9	verdieping vloer	5,15	0,90	266,98	46,66	
7	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	8	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
6	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	7	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
5	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	6	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
4	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	5	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
3	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	4	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
2	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	3	verdieping vloer	5,45	0,90	282,53	46,66	
1	verdieping vloer	5,10	2,50	264,384	129,6	2	verdieping vloer	5,45	2,25	282,53	116,64	
Kolommen			141,96				141,96					
$F_{tot,k}$ bestaand			2236,3	933,12			2119,66	396,58				
$F_{tot,k}$ uitbreiding					520,99	99,31						
$F_{tot,k}$ totaal			3169,42				3130,54					
$F_{tot,d}$ bestaand												
$F_{tot,d}$ uitbreiding												
$F_{tot,d}$ totaal			4120,24				3271,1					
Permanente belasting toename							895,795					
Veranderlijke belasting toename								4166,9				
Karakteristiek												
Rekenwaarde												
Permanente belasting toename							443,23	18,				

afgedragen oppervlakte per verdieping				51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, 1e verdieping				
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakterras)							
		per m ²		totaal			per m ²		totaal		
		G	Q	G	Q			G	Q	G	Q
8 dak	4,70	0,50	243,648	25,92		10	dak	3,20	0,00	165,89	0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		9	verdiepings vloer	2,45	0,90	127,01	46,66
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		8	verdiepings vloer	5,15	0,90	266,98	46,66
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		7	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		6	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		5	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		4	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						3	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						2	verdiepings vloer	5,45	2,25	282,53	116,64
kolommen				121,68		kolommen				121,68	
F _{tot,k} bestaand	1951,63			803,52		F _{tot,k} uitbreiding	1816,85			349,92	
F _{tot,k} uitbreiding				2755,15		F _{tot,k} totaal	559,87			93,31	
										2819,95	
F _{tot,d} bestaand				3581,7		F _{tot,d} uitbreiding				2816,8	
F _{tot,d} uitbreiding				3581,7		F _{tot,d} totaal	895,795			843,307	
										3712,59	
Permanente belasting toename						Rekenwaarde					
Veranderlijke belasting toename							425,09			21,7812 %	
Karakteristiek							-360,29			-44,8387 %	
Rekenwaarde							64,80			2,35196 %	
							130,896			3,65458 %	

2 verdiepingen met groen dakterras

afgedragen oppervlakte per verdieping				51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, 1e verdieping				
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (2 verdiepingen met onbegaanbaar dak)							
		per m ²		totaal			per m ²		totaal		
		G	Q	G	Q			G	Q	G	Q
8 dak	4,70	0,50	243,648	25,92		10	dak	0,75	0,00	38,88	0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		9	verdiepings vloer	2,45	0,90	127,01	46,66
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		8	verdiepings vloer	5,15	0,90	266,98	46,66
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		7	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		6	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		5	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		4	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						3	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						2	verdiepings vloer	5,45	2,25	282,53	116,64
kolommen				121,68		kolommen				121,68	
F _{tot,k} bestaand	1951,63			803,52		F _{tot,k} uitbreiding	1816,85			349,92	
F _{tot,k} uitbreiding				2755,15		F _{tot,k} totaal	432,86			93,31	
										2692,94	
F _{tot,d} bestaand				3581,7		F _{tot,d} uitbreiding				2816,8	
F _{tot,d} uitbreiding				3581,7		F _{tot,d} totaal	724,334			3541,13	
							298,08			15,2734 %	
Permanente belasting toename						Veranderlijke belasting toename	-360,29			-44,8387 %	
Karakteristiek						Karakteristiek	-62,21			-2,25788 %	
Rekenwaarde						Rekenwaarde	-40,5648			-1,13256 %	

2 verdiepingen met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping				51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, 1e verdieping				
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (1 verdieping met begaanbaar dakterras)							
		per m ²		totaal			per m ²		totaal		
		G	Q	G	Q			G	Q	G	Q
8 dak	4,70	0,50	243,648	25,92		9	dak	2,45	0,00	127,01	0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		8	verdiepings vloer	5,15	0,90	266,98	46,66
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		7	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		6	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		5	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		4	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		3	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						2	verdiepings vloer	5,45	2,25	282,53	116,64
kolommen				121,68		kolommen				121,68	
F _{tot,k} bestaand	1951,632			803,52		F _{tot,k} uitbreiding	1816,85			349,92	
F _{tot,k} uitbreiding				2755,12		F _{tot,k} totaal	393,98			46,66	
										2607,41	
F _{tot,d} bestaand				3581,698		F _{tot,d} uitbreiding				2816,798	
F _{tot,d} uitbreiding				3581,698		F _{tot,d} totaal	601,8624			3418,661	
							259,20			13,28119 %	
Permanente belasting toename						Veranderlijke belasting toename	-406,94			-50,6452 %	
Karakteristiek						Karakteristiek	-147,74			-5,36246 %	
Rekenwaarde						Rekenwaarde	-163,0368			-4,55194 %	

1 verdieping met begaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping				51,84 m ²	ψ_0	0,4	kolom A, 1e verdieping				
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (2 verdiepingen met begaanbaar dak)							
		per m ²		totaal			per m ²		totaal		
		G	Q	G	Q			G	Q	G	Q
8 dak	4,70	0,50	243,648	25,92		10	dak	2,45	0,00	127,01	0,00
7 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		9	verdiepings vloer	5,15	0,90	266,98	46,66
6 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		8	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
5 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		7	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
4 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		6	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
3 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		5	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
2 verdiepings vloer	5,10	2,50	264,384	129,6		4	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						3	verdiepings vloer	5,45	0,90	282,53	46,66
						2	verdiepings vloer	5,45	2,25	282,53	116,64

afgedragen oppervlakte per verdieping	25,92	m ²	ψ_0	0,4	kolom B, begane grond				
Bestaande situatie									
per m ²		totaal		Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakkertjes)					
G	O	G	Q	G	O				
8 verdiepingen vloer	4,70	0,50	121,824	12,96	10 verdiepingen vloer	3,20	0,00	82,94	0,00
7 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	9 verdiepingen vloer	2,45	0,90	63,50	23,33
6 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	8 verdiepingen vloer	5,15	0,90	133,49	23,33
5 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	7 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
4 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	6 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
3 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	5 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
2 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	4 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
1 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	3 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
Kolommen				2 verdiepingen vloer					
141,96				1 verdiepingen vloer					
				1 verdiepingen vloer					
				1 verdiepingen vloer					
F _{tot,k} bestand	1189,13			1130,81					
F _{tot,k} uitbreiding				198,29					
F _{tot,k} totaal	1655,69			279,94					
F _{tot,d} bestand				46,66					
F _{tot,d} uitbreiding									
F _{tot,d} totaal	2152,39			1655,69					
Permanente belasting toename									
Veranderlijke belasting toename									
Karakteristiek									
Rekenwaarde									
Permanente belasting toename				221,62	18,6368 %				
Veranderlijke belasting toename				-221,62	-47,5 %				
Karakteristiek				0,00	0 %				
Rekenwaarde				23,328	1,08382 %				

afgedragen oppervlakte per verdieping	25,92 m ²	ψ_0	0,4	kolom B, begane grond
Bestaande situatie		Nieuwe situatie (2 verdiepingen met begaanbaar dak)		
	per m ²	totaal		per m ²
	G	Q G	Q	G
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96
7 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
6 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
5 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
4 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
3 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
2 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
1 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
Kolommen		141,96		141,96
F _{tot,k} bestaand	1189,13		466,56	1130,81
F _{tot,k} uitbreiding				198,29
F _{tot,k} totaal	1655,69			260,50
F _{tot,d} bestaand	2152,39			46,66
F _{tot,d} uitbreiding				1727,82
F _{tot,d} totaal	2152,39			421,654
Permanente belasting toename			202,18	17,002 %
Veranderlijke belasting toename			-221,62	-47,5 %
Karakteristiek			-19,44	-1,17413 %
Rekenwaarde			-2,916	-0,13548 %

2 verdiepingen met groen dakterras

sfgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	Ψ_0	0,4	kolom B, begane grond		
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen om begaanbaar dakterrein)					
	per m ²	totaal		per m ²	totaal			
	G	Q	G	G	Q	Q		
8	dak	4,70	0,50	121,824	12,96			
7	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
6	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
5	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
4	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
3	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
2	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
1	verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8			
Kolommen			141,96					
F _{tot,k} bestaand	1189,13		466,56			1130,81		
F _{tot,d} uitbreiding						198,29		
F _{tot,k} totaal	1655,69			216,43		216,43		
						46,66		
						1592,18		
F _{tot,d} bestaand	2152,39					1727,82		
F _{tot,d} uitbreiding						362,167		
F _{tot,d} totaal	2152,39					2089,99		
Permanente belasting toename				158,11	13,2965 %			
Veranderlijke belasting toename				-221,62	-47,5 %			
Karakteristiek				-63,50	-3,83551 %			
Rekenwaarde				-62,4024	-2,89921 %			

2 verdiepingen met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	Ψ_0	0,4	kolom B, begane grond
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (1 verdieping met begaanbaar dak)			
per m ²		totaal				
G	Q	G			G	Q
			9	dak	2,45	0,00
8	dak	4,70	0,50	121,824	12,96	65,50
7	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	133,49
6	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
5	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
4	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
3	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
2	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
1	verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	141,26
kolommen			141,96			
F _{tot,k} bestaand			1189,13	466,56		1130,81
F _{tot,k} uitbreiding						198,25
F _{tot,k} totaal			1655,69			196,99
						23,33
F _{tot,d} bestaand				2152,39		1727,82
F _{tot,d} uitbreiding						300,93
F _{tot,d} totaal			2152,39			2028,76
Permanente belasting toename						
Veranderlijke belasting toename						
Karakteristiek						
138,67			11,6617 %			
-244,94			-52,5 %			
-106,27			-6,4186 %			

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	ψ_0	0,4	kolom B, begane grond				
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (1 verdieping met onbegaanbaar dak)						
per m ²		totaal		per m ²		totaal				
G	Q	G	Q	G	Q	G	Q			
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96		9 dak	0,75	0,00	19,44	0,00
7 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		8 verdieplings vloer	5,15	0,90	133,49	23,33
6 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		7 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
5 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		6 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
4 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		5 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
3 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		4 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
2 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		3 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
1 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8		2 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
						1 verdieplings vloer	5,45	2,25	141,26	58,32
kolommen				141,96				141,96		
F _{tot,k} bestand	1189,13			466,36				1130,81	198,29	
F _{tot,k} uitbreiding								152,93	23,33	
F _{tot,d} totaal				1655,69					1505,35	
F _{tot,d} bestand				2152,39					1727,82	
F _{tot,d} uitbreiding									241,44	
F _{tot,d} totaal				2152,39					1969,24	
Permanente belasting toename							94,61	7,95608 %		
Veranderlijke belasting toename							-244,94	-52,5 %		
Karakteristiek							-150,34	-9,07997 %		

1 verdieping met begaanbaar dak

1 verdieping met onbegaanbaar dak

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	Ψ_0	0,4	kolom B, 1e verdieping
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (2 verdiepingen met groen dakterrassen)			
per m ²		totaal			per m ²	totaal
G	Q	G			G	Q
			10	dak	3,20	0,00
8 dak	4,70	65,60	9	verdieplings vloer	2,45	0,90
7 verdieplings vloer	5,10	121,824	8	verdieplings vloer	5,15	0,90
6 verdieplings vloer	5,10	121,824	7	verdieplings vloer	5,45	0,90
5 verdieplings vloer	5,10	121,824	6	verdieplings vloer	5,45	0,90
4 verdieplings vloer	5,10	121,824	5	verdieplings vloer	5,45	0,90
3 verdieplings vloer	5,10	121,824	4	verdieplings vloer	5,45	0,90
2 verdieplings vloer	5,10	121,824	3	verdieplings vloer	5,45	0,90
			2	verdieplings vloer	5,45	2,25
kolommen		121,68				121,68
F _{tot,k} bestaand	1036,66 401,76					969,26 174,9
F _{tot,k} uitbreiding						279,94 46,6
F _{tot,k} totaal	1438,42					1470,8
F _{tot,d} bestaand	1869,94					1487,4
F _{tot,d} uitbreiding						447,89
F _{tot,d} totaal	1869,94					1935,3
Permanente belasting toename						
Veranderlijke belasting toename				212,54	20,5028 %	
Karakteristiek				-180,14	-44,8387 %	
Rekenwaarde				32,40	2,25248 %	
				65,448	3,5 %	

afgedragen oppervlakte per verdieping	25,92 m ²	Ψ_0	0,4	kolom B, 1e verdieping
Bestaande situatie				
per m ²		totaal		
G	O	G	Q	
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96
7 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
6 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
5 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
4 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
3 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
2 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8
kolommen	121,68			121,68
F _{tot,d} bestaand	1036,66			401,76
F _{tot,d} uitbreiding				969,26
F _{tot,d} totaal	1438,42			174,96
F _{tot,d} bestaand	1869,94			421,654
F _{tot,d} uitbreiding				1909,14
F _{tot,d} totaal	1869,94			1487,49
Nieuwe situatie (2 verdieplingen met begaanbaar dak)				
per m ²		totaal		
G	O	G	Q	
10 dak	2,45	0,00	63,50	23,33
9 verdieplings vloer	2,45	0,90	63,50	23,33
8 verdieplings vloer	5,15	0,90	133,49	23,33
7 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
6 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
5 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
4 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
3 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33
2 verdieplings vloer	5,45	2,25	141,26	58,32

2 verdiepingen met groen dakterras

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	ψ_0	0,4	kolom B, 1e verdieping					
Bestaande situatie			Nieuwe situatie (1 verdieping met groen dakterras)								
	per m ²	totaal		per m ²	totaal						
	G	Q	G	G	Q	Q					
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96	9 dak	3,20	0,00	82,94	0,00		
7 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	8 verdieplings vloer	5,15	0,90	133,49	23,33		
6 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	7 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33		
5 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	6 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33		
4 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	5 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33		
3 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	4 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33		
2 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	3 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26	23,33		
					2 verdieplings vloer	5,45	2,25	141,26	58,32		
kolommen			121,68					121,68			
$F_{tot,k}$ bestaand	1036,66			401,76				969,26	174,96		
$F_{tot,d}$ uitbreidning								216,43	33,33		
$F_{tot,d}$ totaal	1438,42								1383,98		
$F_{tot,d}$ bestaand	1869,94								1487,49		
$F_{tot,d}$ uitbreidning									327,175		
$F_{tot,d}$ totaal	1869,94								1814,67		
Permanente belasting toename							149,04	14,377 %			
Veranderlijke belasting toename							-203,47	-50,6452 %			
Karakteristiek							-54,43	-3,78416 %			
Rekenwaarde							-55,2744	-2,95594 %			

2 verdiepingen met onbegaanbaar dak

1 verdieping met groen dakterras

afgedragen oppervlakte per verdieping		25,92 m ²	Ψ_0	0,4	kolom B, 1e verdieping			
Bestaande situatie		Nieuwe situatie (1 verdieping met begaanbaar dak)						
per m ²				per m ²		totaal		
G	Q	G	Q	G	Q	G	Q	
8 dak	4,70	0,50	121,824	12,96	9 dak	2,45	0,00	63,50 0,00
7 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	8 verdieplings vloer	5,15	0,90	133,49 23,33
6 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	7 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
5 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	6 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
4 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	5 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
3 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	4 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
2 verdieplings vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	3 verdieplings vloer	5,45	0,90	141,26 23,33
				2 verdieplings vloer	5,45	2,25	141,26 58,33	
kolommen		121,68				121,68		
$F_{tot,k}$ bestaand	1036,66		401,76		969,26		174,9	
$F_{tot,k}$ uitbreiding					196,99		35,33	
$F_{tot,k}$ totaal	1438,42						1364,5	
$F_{tot,d}$ bestaand	1869,94						1487,4	
$F_{tot,d}$ uitbreiding							300,93	
$F_{tot,d}$ totaal	1869,94						1788,4	
Permanente belasting toename		129,60		12,5017 %				
Veranderlijke belasting toename		-203,47		-50,6452 %				
Karakteristiek		-73,87		5,13565 %				
Rekenwaarde		-81,5184		-4,35941 %				

afgedragen oppervlakte per verdieping			25,92 m ²	ψ_0	0,4	kolom B, 1e verdieping							
Bestaande situatie				Nieuwe situatie (1 verdieping met onbegaanbaar dak)									
	per m ²	totaal			per m ²	totaal							
	G	Q	G	Q	G	Q	G	Q					
8 verdiepingen vloer	4,70	0,50	121,824	12,96	9 verdiepingen vloer	0,75	0,00	19,44					
7 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	8 verdiepingen vloer	5,15	0,90	133,49					
6 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	7 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26					
5 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	6 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26					
4 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	5 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26					
3 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	4 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26					
2 verdiepingen vloer	5,10	2,50	132,192	64,8	3 verdiepingen vloer	5,45	0,90	141,26					
					2 verdiepingen vloer	5,45	2,25	141,26					
kolommen				121,68									
F _{tot,k} bestaand	1036,66			401,76		969,26		174,9					
F _{tot,k} uitbereiding						152,93		28,3					
F _{tot,k} totaal				1438,42				1320,4					
F _{tot,d} bestaand				1869,94		1487,4							
F _{tot,d} uitbereiding						241,44							
F _{tot,d} totaal				1869,94		1728,5							
Permanente belasting toename				85,54 8,25115 %									
Veranderlijke belasting toename				-203,47 -50,6452 %									
Karakteristiek				-117,94 -8,19902 %									
Rekenwaarde				-141,005 -7,5406 %									

1 verdieping met begaanbaar dak

1 verdieping met onbegaanbaar dak

De resultaten van deze berekening worden in tabel 14.1 weergegeven.

	Kolom A, begane grond	Kolom A, 1e verdieping	Kolom B, begane grond	Kolom B, 1e verdieping
Optopping van 2 verdieping met een dakterras	1,13	3,66	1,08	3,50
Optopping van 2 verdiepingen met een begaanbaar dak	-0,14	2,19	-0,14	2,10
Optopping van 2 verdiepingen met een onbegaanbaar dak	-3,02	-1,13	-2,90	-1,09
Optopping van 1 verdieping met een dakterras	-4,73	-3,08	-4,52	-2,96
Optopping van 1 verdieping met een begaanbaar dak	-6,00	-4,55	-5,74	-4,36
Optopping van 1 verdieping met een onbegaanbaar dak	-8,89	-7,87	-8,51	-7,54

Tabel 14.1 Belastingtoename (+) en belastingafname (-) van de hoofddraagconstructie, ter plaatse van maatgevende kolommen A en B

Bijlage I – Dimensionering optopconstructie.

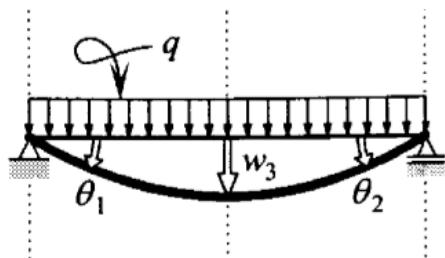
I.1 Dimensionering vloerconstructie

De hoofdliggers zullen de dwarsprofielen dragen, zie figuur 5.5. Op deze dwarsprofielen is vervolgens de anhydride dekvloer aangebracht voor de vloerconstructie en het sedumdak voor de dakconstructie. Voor beide zijn de dwarsprofielen elke 1800 mm geplaatst.

Voor de verdiepingsvloer is punt X maatgevend, zie figuur 5.8. Volgens NEN-EN 1990 mag de totale doorbuiging op punt X maximaal $w = 0,003 \cdot L$ zijn (Nederlands Normalisatie Instituut, 2011, p. 13). Er geldt $L = 7200$ millimeter. De totale doorbuiging mag dus maximaal 21,6 mm zijn. Deze doorbuiging is de som van de doorbuiging van de dekvloer, de dwarsprofielen en de hoofdliggers. Daarom wordt aangenomen dat van de totale doorbuiging de dekvloer de helft van deze doorbuiging op zich neemt (10,8 mm) en de dwarsprofielen en hoofdliggers een kwart. (5,4 mm)

De vloeropbouw bestaat uit een anhydride dekvloer en een gipsplaat. Voor de anhydride dekvloer wordt aangenomen dat $E = 17.000 \text{ N/mm}^2$ (Knauf, 2017, p. 4). Voor de gipsplaat geldt dat de E-modulus tussen de 2130 en 4161 ligt (Petrone, Magliulo en Manfredi, 2016, p. 15). Omdat de E-modulus van de gipsplaat veel lager is, zal deze worden verwaarloosd.

De formule weergegeven in figuur 15.1 wordt voor alle berekeningen in deze bijlage aangehouden om de doorbuiging van de ligger te bepalen.



$$\theta_1 = \theta_2 = \frac{1}{24} \frac{q \ell^3}{EI}; \quad w_3 = \frac{5}{384} \frac{q \ell^4}{EI}$$

Figuur 15.1 Doorbuiging bij het aanbrengen van een q -last op een ligger. (Welleman, 2012)

Het eigengewicht van de anhydride dekvloer is $2,2 \text{ kg/l} = 2200 \text{ kg/m}^3$ (Knauf, 2017, p. 4). Het eigengewicht is dus $2200 \cdot [\text{dikte in m}]$. De variabele belasting op een verdiepingsvloer bedraagt $2,5 \text{ kN/m}^2$, zie bijlage G.

berekening dikte anhydride dekvloer			
maximale doorbuiging	w	10,8	mm
lengte overspanning	L	1.800	mm
variabele belasting	Q	$0,0025 + G_k, \text{eigengewicht}$	N/mm^2
breedte	b	7.200	mm
q -last	q	$7,2 * \text{variabele belasting}$	N/mm
elasticiteitsmodulus	E	17.000	N/mm^2
traagheidsmoment	I	$1/12 * b * h^3$	mm^4

Tabel 15.1 Benodigde gegevens voor berekening van de dikte van de anhydride dekvloer

Uitwerken met Python geeft een dikte van 30,5 mm van de anhydride dekvloer. Het model van figuur 15.1 neemt aan dat de oplegging volledig scharnierend zijn, terwijl deze in werkelijkheid veel momentvaster zijn. De opleggingen zijn veel momentvaster omdat de anhydride vloer doorloopt over de dwarsprofielen. Omdat er dus enigszins over gedimensioneerd is, is een dikte van 30 mm van de anhydride dekvloer een veilige aanname. Het eigengewicht van de dekvloer is dan $2200 * 0,030 = 66 \text{ kg/m}^2 = 0,66 \text{ kN/m}^2$.

Er wordt gekozen voor een gipsplaat van 15 mm, deze heeft een eigengewicht van 900 kg/m^3 (Schaap, 2017, p. 78). $900 * 0,015 = 13,5 \text{ kg/m}^2 = 0,14 \text{ kN/m}^2$

De totale belasting is dus $0,66 + 0,14 + 2,5 = 3,3 \text{ kN/m}^2$. Voor het berekenen van de doorbuiging van de dwarsprofielen wordt deze belasting aangehouden. De dwarsprofielen zijn $L = 7200$ millimeter lang. Over een breedte van 1800 millimeter wordt de totale belasting op de dwarsprofielen afgedragen. De q-last op deze dwarsprofielen is dus gelijk aan $3,3 * 1,8 = 6,0 \text{ kN/m} = 6,0 \text{ N/mm}$.

berekening keuze dwarsprofiel			
maximale doorbuiging w		5,4	mm
lengte overspanning L		7.200	mm
variabele belasting Q		0,0033	N/mm^2
breedte b		1.800	mm
q-last q		6,0	N/mm
elasticiteitsmodulus E		210.000	N/mm^2
traagheidsmoment I		-	mm^4

Tabel 15.2 Benodigde gegevens voor berekening van de dimensionering van het dwarsprofiel

Uitwerken geeft $I > 1,85 * 10^4 \text{ mm}^4$

Er wordt gekozen voor het HE280B profiel (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. sb10). Het eigengewicht van dit profiel is 93 kg/m. Elk dwarsprofiel weegt dus $93 * 7,2 = 670 \text{ kg}$. Per 7200 millimeter steunen vijf van deze dwarsprofielen voor de helft op de hoofdliggers. Dus $5 * 670 / 2 = 1675 \text{ kg} = 16,4 \text{ kN}$. Deze belasting wordt aangenomen als verdeelde belasting over het 7200 millimeter lange profiel. Dat is een belasting van $2,2 \text{ N/mm}$. Het eigengewicht van de muren zal ook door de hoofdliggers worden afgedragen. Gevonden is dat het eigengewicht van de muren in Eemstein: $54,0 \text{ kg/m}^2$ (Schaap, 2017, p. 89) en Karel Doorman: $58,4 \text{ kg/m}^2$ zijn. Voor de casestudy zal dus een eigengewicht van de muren van $60 \text{ kg/m}^2 = 6,0 * 10^{-4} \text{ N/mm}^2$ worden aangenomen.

Aangezien de dikte van de muren rond de 150 mm zullen liggen, is het eigengewicht van de muren zo klein dat het verwaarloosd kan worden.

De totale belasting wordt op de hoofdliggers afgedragen. Dat is $3,3 \text{ kN/m}^2 * 3,6 \text{ m} = 11,9 \text{ kN/m} = 11,9 \text{ N/mm}$. Hier dient nog het eigengewicht van de dwarsprofielen bij opgeteld te worden. $11,9 + 2,2 = 14,1 \text{ N/mm}$

berekening keuze hoofdlijger			
maximale doorbuiging w		5,4	mm
lengte overspanning L		7.200	mm
variabele belasting Q		0,0033	N/mm ²
breedte b		3.600	mm
q-last q		14,1	N/mm
elasticiteitsmodulus E		210.000	N/mm ²
traagheidsmoment I		-	mm ⁴

Tabel 15.3 Benodigde gegevens voor berekening van de dimensionering van de hoofdlijger

Er wordt gevonden $I > 4,35 \cdot 10^8 \text{ mm}^4$. Dus wordt er gekozen voor een HE400A profiel (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, 2014, p. sb11).

1.2 Dimensionering dakconstructie

Voor de doorbuiging van de dakkvloer geldt hetzelfde als voor de doorbuiging van de verdiepingsvloer. De maximale doorbuiging van het sedumdak is dus 10,8 mm en de maximale doorbuiging van de dwarsprofielen en hoofdlijgers is 5,4 mm.

De E-modulus van multiplex verschilt afhankelijk van de dikte van het materiaal. Door middel van itereren kan de juiste plaat worden gevonden. Er wordt in eerste instantie een elasticiteitsmodulus van 9000 N/mm² aangenomen (Finnish Forest Industries Federation, 2002, p. 19).

Net als bij de vloerconstructie wordt er elke 1,8 meter een dwarsprofielen geplaatst. Aan de hand hiervan en aan de hand van de doorbuigingseis zal het type multiplex plaat worden bepaald.

Voor het eigengewicht van het sedumdak wordt in totaal 125 kg/m² gehouden, zie paragraaf 5.4.6. Dit is gelijk aan 1,25 kN/m². Voor de variabele belasting van het dak wordt 2,5 kN/m² gehouden. Er worden multiplex platen gekozen van 1,0 meter breed. Dus de q-last op de lengte van de platen is $3,75 \cdot 1,0 = 3,75 \text{ kN/m} = 3,75 \text{ N/mm}$

berekening dikte multiplex plaat			
maximale doorbuiging w		10,8	mm
lengte overspanning L		1.800	mm
variabele belasting Q		0,00375	N/mm ²
breedte b		1,000	mm
q-last q		3,75	N/mm
elasticiteitsmodulus E		9.000	N/mm ²
traagheidsmoment I		$1/12 * b * h^3$	mm ⁴

Tabel 15.4 Benodigde gegevens voor berekening van de dikte van de multiplex plaat

Rekenmachine geeft een dikte van 40 mm van de multiplex plaat.

Een berken multiplex plaat met een dikte van 40 mm wordt gekozen met een elasticiteitsmodulus van 9296 N/mm² (Finnish Forest Industries Federation, 2002, p. 19). Omdat dit dicht bij 9000 N/mm² hoeft er niet te worden geïtereerd.

Voor de doorbuiging van de dwarsprofielen wordt dezelfde totale belasting van 3,75 kN/m² aangehouden, omdat het eigengewicht van de multiplex plaat al in deze belasting is opgenomen. De dwarsprofielen zijn 1800 millimeter breed en 7200 millimeter lang. De q-last op deze dwarsprofielen is gelijk aan $3,75 * 1,8 = 6,75 \text{ kN/m} = 6,75 \text{ N/mm}$.

berekening keuze dwarsprofiel			
maximale doorbuiging	w	5,4	mm
lengte overspanning	L	7.200	mm
variabele belasting	Q	0,00375	N/mm ²
breedte	b	1.800	mm
q-last	q	6,75	N/mm
elasticiteitsmodulus	E	210.000	N/mm ²
traagheidsmoment	I	-	mm ⁴

Tabel 15.5 Benodigde gegevens voor dimensionering van het dwarsprofiel

Rekenmachine geeft $I > 2,0 * 10^8 \text{ mm}^4$. Er wordt gekozen voor een IPE 400 A profiel (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. sb9).

Het eigengewicht van dit profiel is 57,4 kg/m. Elk dwarsprofiel weegt dus $57,4 * 7,2 = 413 \text{ kg}$. Vijf van deze dwarsprofielen steunen voor de helft op de hoofdliggers. Dus $5 * 413 / 2 = 1030 \text{ kg} = 1,0 \text{ kN}$. Deze belasting wordt aangenomen als verdeelde belasting over het 7200 millimeter lange profiel. Dat is een belasting van 1,4 N/mm.

De totale belasting wordt op de hoofdliggers afgedragen. Dat is $3,75 \text{ kN/m}^2 * 3,6 \text{ m} = 13,5 \text{ kN/m} = 13,5 \text{ N/mm}$. Hier dient nog het eigengewicht van de dwarsprofielen bij opgeteld te worden. $13,5 + 1,4 = 14,9 \text{ N/mm}$

berekening keuze hoofdligger			
maximale doorbuiging	w	5,4	mm
lengte overspanning	L	7.200	mm
variabele belasting	Q	0,00375	N/mm ²
breedte	b	3.600	mm
q-last	q	14,9	N/mm
elasticiteitsmodulus	E	210.000	N/mm ²
traagheidsmoment	I	-	mm ⁴

Tabel 15.6 Benodigde gegevens voor dimensionering van de hoofdligger

Uitwerken geeft $I > 4,6 * 10^8 \text{ mm}^4$. Er wordt gekozen voor een IPE 450 V profiel (Soons, van Raaij, Wagemans, Pasterkamp & van Es, 2014, p. sb9). Dit profiel heeft een eigengewicht van 103,6 kg/m.

I.3 Dimensionering verticale profielen

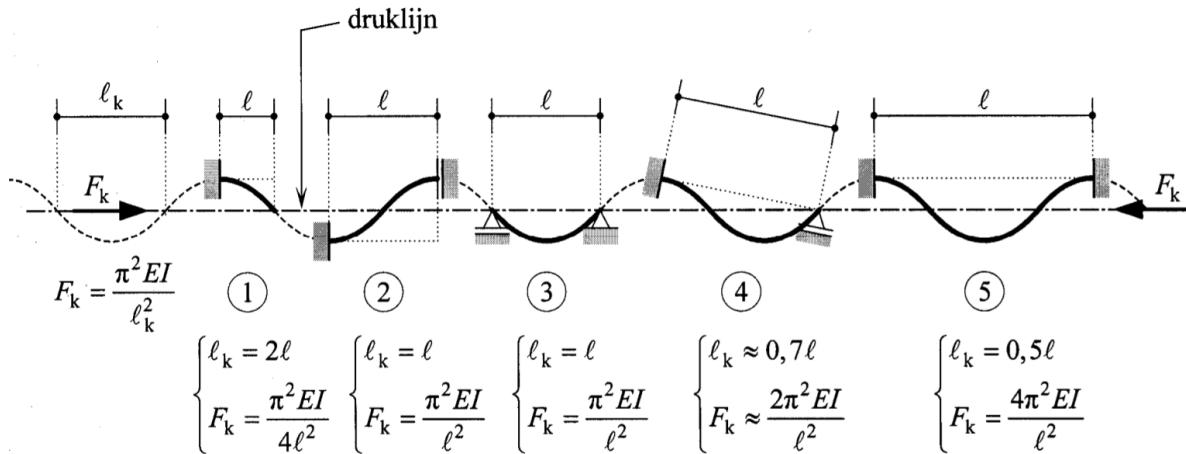
De woning scheidende wanden zijn geplaatst tussen verticale profielen. Deze verticale profielen dragen de belasting van de dakconstructie. Er zal eerst worden gekeken naar profielen die centraal in het gebouw liggen en dus een maximale drukkracht moeten opvangen.

De dakbelasting is $3,375 \text{ kN/m}^2$, een maatgevend profiel draagt dus $3,75 * 7,2 * 7,2 = 194,4 \text{ kN}$ van de dakbelasting plus het eigengewicht van de sedumdaklaag. Hier komt nog het eigengewicht van de dwarsprofielen en hoofdliggers bij. Een verticaal profiel draagt het eigengewicht van 8 halve dwarsprofielen $= 4 * 413 = 1652 \text{ kg} = 16,5 \text{ kN}$. Verder draagt dit verticale profiel het eigengewicht van 2 hoofdliggers van 7,2 meter $= 2 * 103,6 * 7,2 = 1492 \text{ kg} = 14,9 \text{ kN}$.

Een maatgevende verticale profiel draagt dus in totaal $194,4 + 16,5 + 14,9 = 225,4 \text{ kN} = 225400 \text{ N}$

Voor de knikformule van Euler geldt: $I_k = l = 7200 \text{ mm}$, $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

Kniklengte Euler geeft voor verticale profiel: $I > 5,6 * 10^6$ (in beide richtingen)



Figuur 15.2 Kniklengtes bij de knikformule van Euler (Hartsuijker & Welleman, 2016, p.146, From: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/collegestof/stabiliteit/files/2016_deel1_Theorie.pdf)

Voor de sterkte van het profiel wordt de volgende formule nogmaals gekozen voor een maatgevende centraal gelegen verticaal profiel. Hierbij geldt:

$$\sigma = \frac{N}{A}$$

$$N = 225400 \text{ N}, \sigma (\text{vloeisterkte}) = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{dus } A > 959 \text{ mm}^2$$

Omdat het profiel in beide richtingen kan knikken, wordt aangeraden om hier een kokerprofiel voor te gebruiken en niet een I-profiel. Aan de hand van deze informatie wordt aangeraden voor een 120x120 profiel te kiezen met een t van 6,3 mm met een traagheidsmoment I van $6,03 * 10^6$ in beide richtingen. De knikkracht van dit profiel is, berekend met Euler, $F_k = 241 \text{ kN}$

Naast de centraal gelegen profielen moeten ook de profielen op de positie van de gevel getoetst worden. Aangenomen is dat de profielen op de positie van de gevel de horizontale windbelastingen opnemen. Voor de verticale profielen ter plaatse van de gevel wordt aangeraden om rechthoekige kokers te gebruiken of I-profielen, vanwege de horizontale windbelasting die op de gevel werkt. Deze verticale profielen dragen slechts de helft van de verticale belasting ten opzichte van een centraal

gelegen verticaal profiel, dus 113 kN. Deze gevels worden ook belast door een windbelasting van $q_p(z_e) = 1,04 \text{ kN/m}^2$, zie bijlage F. Voor de verticale profielen is dit een q-last van $7,2 * 1,04 = 7,5 \text{ kN/m} = 7,5 \text{ N/mm}$. Voor de berekening wordt figuur 15.3 aangehouden.

De vervormingseis van $w_{\max} < 0,004 * L$ wordt aangehouden voor de doorbuiging van de verticale profielen ter plaatse van de gevel. $L = 7200 \text{ mm}$ dus $w_{\max} = 28,8 \text{ mm}$.

$$w = \frac{F_k}{F_k - F} w_0 = \frac{n}{n-1} w_0 \quad \text{waarin } n = \frac{F_k}{F} \quad (n > 1)$$

Figuur 15.3 Vergrotingsfactor bij een drukstaaf met een dwarsbelasting. (Hartsuijker & Welleman, 2016, p.304,
From: http://icozct.tudelft.nl/TUD_CT/CT2031/collegestof/stabiliteit/files/2016_deel1_Theorie.pdf

Python geeft een minimale traagheidsmoment I van $4,34 * 10^7$ loodrecht op de gevel.

In de andere richting geldt: $N = 113050 \text{ N}$, $I_k = 7200 \text{ mm}$ en $E = 210.000 \text{ N/mm}^2$

Kniklengte Euler geeft voor verticale profiel in de andere richting: $I > 2,8 * 10^6$ (in beide richtingen)

Gekozen wordt voor een IPE 240 O profiel, met $A = 4370 \text{ mm}^2$ en $W = 361 * 10^3 \text{ mm}^3$

$$M = \frac{1}{8} q l^2 = \frac{1}{8} 7,5 * 7200^2 = 4,86 * 10^7 \text{ Nmm}$$

$$\sigma = \frac{N}{A} + \frac{M}{W} = 160,5 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma (\text{vloeisterkte}) = 235 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Unity check sterkte} = \frac{160,5}{235} = 0,68$$

Dit profiel voldoet dus ook qua sterkte.

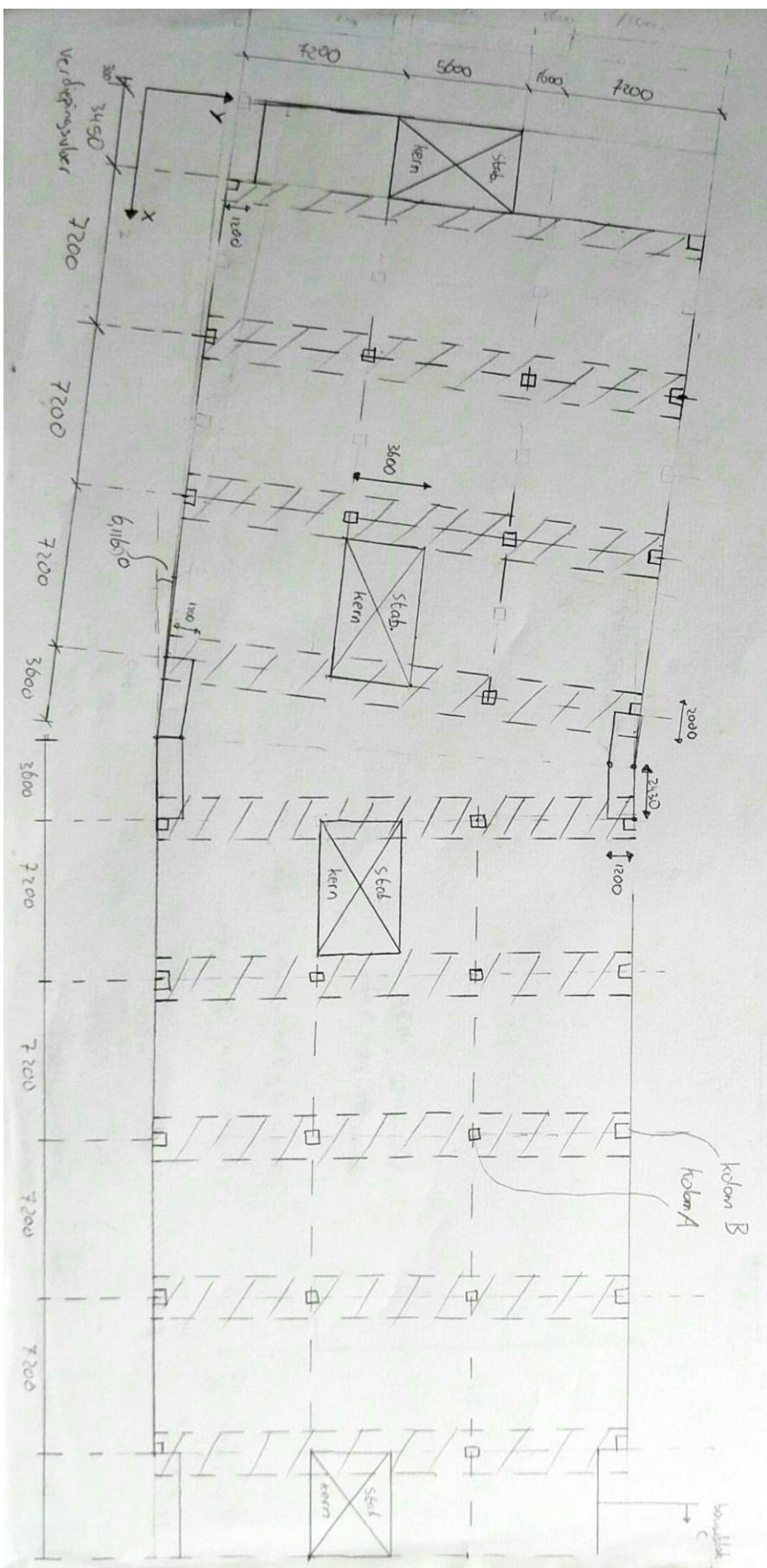
1.4 Check sterkte profielen

Uit tabel 15.7 blijkt dat de aanname dat de doorbuiging maatgevend is juist is. De keuze voor S235 staal is inderdaad beter dan de keuze voor S355 staal, omdat de doorbuiging maatgevend is.

			weerstandsmoment [mm ³]	q-last[N/mm]	Lengte [m]	Moment [Nmm]	σ [N/mm ²]	unity check
vloerconstructie	dwarsprofiel	HE280B	1.376.000	6,0	7.200	38.880.000	28,25581395	0,120237506
	hoofdlijger	HE400A	2.311.000	14,1	7.200	91.368.000	39,53613154	0,168238858
dakconstructie	dwarsprofiel	IPE400A	1.022.000	6,75	7.200	43.740.000	42,79843444	0,182120998
	hoofdlijger	IPE450V	2.009.000	14,9	7.200	96.552.000	48,05973121	0,204509495

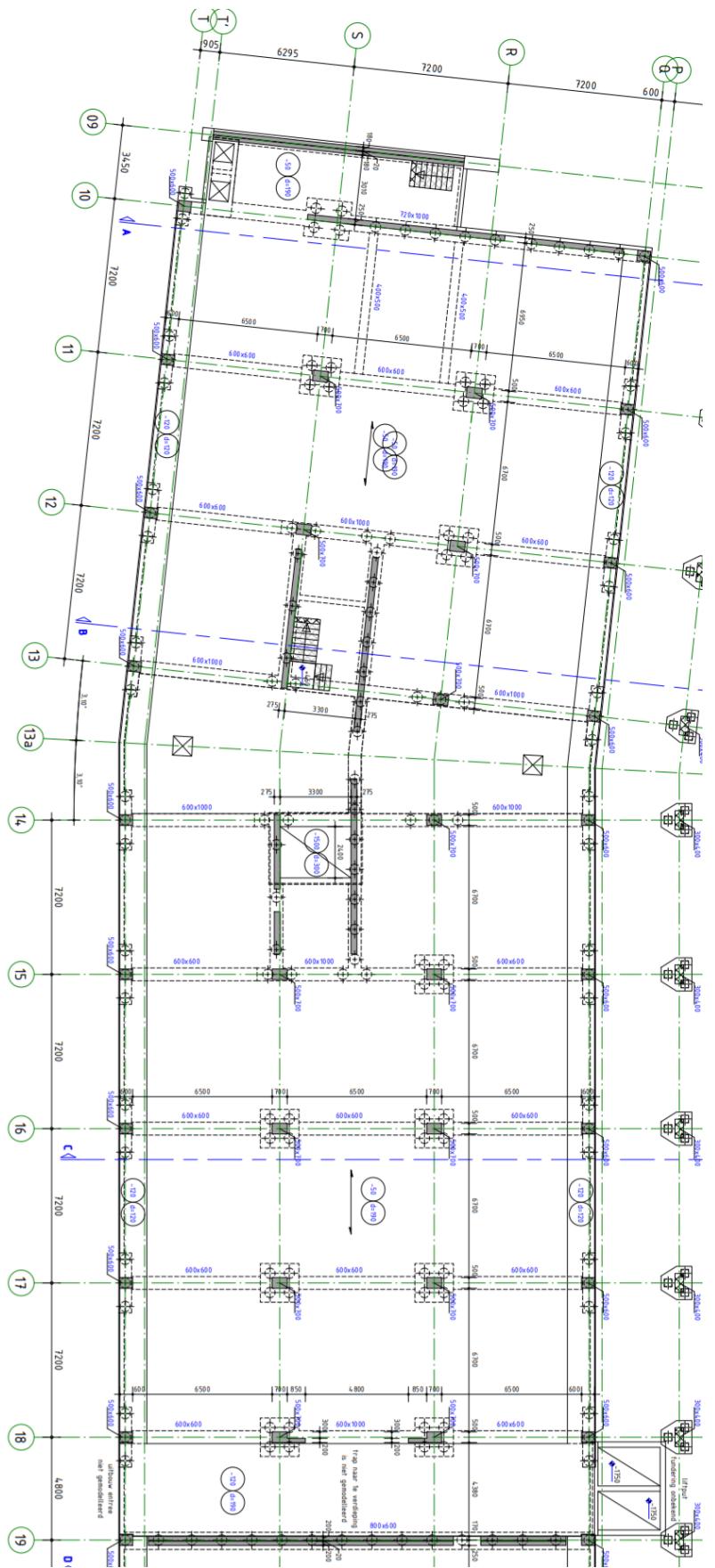
Tabel 15.7 Unity Check sterkte gekozen profielen

Bijlage J – plattegrond bestaande situatie Bouwblok B



Figuur 16.1 plattegrond bestaande situatie Bouwblok B

Bijlage K – indicatief palenplan



Figuur 17.1 Indicatief palenplan. (Alting & Doomen, 2018)