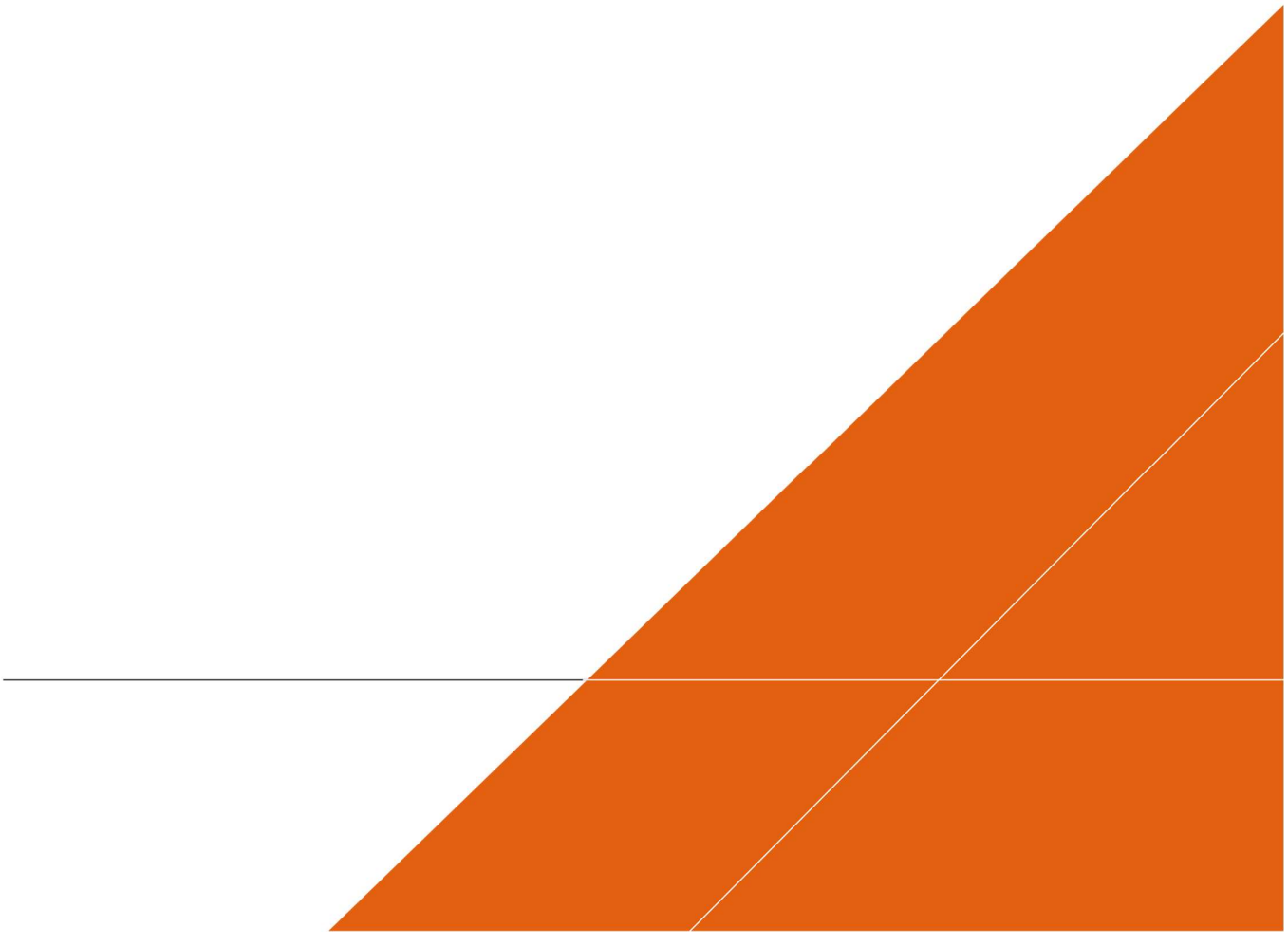
ARCADIS Design & Consultancy for natural and built assets

THE VIEW II

Robuustheidsanalyse

The View of Rotterdam

15 DECEMBER 2022



Contactpersoon

[redacted]

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 4205
3006 AE Rotterdam
Nederland

INHOUDSOPGAVE

1 INLEIDING 5

2 BIJZONDERE ONTWERPSITUATIES 6

2.1 Bijzondere belastingen met bekende oorzaken 7

2.2 Voorkomen van voortschrijdende instortingen bij onbekende oorzaken door lokaal bezwijken 8

2.3 Risicoanalyse 12

3 BESCHOUWING VAN BEZWIJKEN CONSTRUCTIEVE ONDERDELEN DOOR BEKENDE OORZAKEN 16

3.1 Aanrijdbelastingen 16

3.2 Overstromingen 17

4 BESCHOUWING VAN BEZWIJKEN CONSTRUCTIEVE ONDERDELEN DOOR ONBEKENDE OORZAKEN 19

4.1 Hoekkolom begane grondniveau 20

4.2 Tussenkolom gevel begane grondniveau 22

4.3 Gevelkolommen 5e verdieping en hoger 24

4.4 Hoekkolom 5e verdieping en hoger 28

4.5 Overgangsconstructie (ring) niveau 5 30

4.6 Kern-, en stabiliteitswanden 32

4.7 Kopgevel 5e verdieping en hoger 34

4.8 Vloeren 35

4.9 Langsgevel elementen 36

4.10 Kolommen laagbouw 37

4.11 Dak laagbouw (5e verdieping) 39

4.12 Sleutelelementen 40

COLOFON 41

SAMENVATTING

Het door DEDRIE-architecten ontworpen plan The View II omvat de nieuwbouw van een woontoren (hoogbouw) van 128 meter hoog en een commerciële plint (laagbouw) van 10meter hoog in de wijk Katendrecht te Rotterdam. De woontoren bestaat uit 34 bouwlagen en de laagbouw uit 4/5 bouwlagen. Onder het gehele complex komt een tweelaagse kelder. De kelder en de laagbouw zal aan de noordzijde direct grenzen aan de bestaande parkeerkelder en de nieuwbouw van het project The View I (Oostgebouw). De laagbouw strekt zich deels uit boven de bestaande parkeerkelder.

Dit rapport omvat de robuustheidsanalyse voor het constructieve ontwerp van The View II. Voor een uitgebreide toelichting op de uitgangspunten van het constructieve ontwerp verwijzen wij naar het uitgangspuntenrapport VII-ARC-SE-RP-03-DO Uitgangspunten Constructie. Voor een toelichting op uitvoeringstechnische aandachtspunten, eventueel voortvloeiend uit deze robuustheidsanalyse, zijn opgenomen in het rapport VII-ARC-SE-RP-06-DOToetsprotocol CV.

Uit de analyse blijkt dat het gebouw in principe voldoende robuustheid bezit om overal een 2^{e} draagweg te creëren. Desondanks wordt aan de kolommen onder de hoogbouw (hoofdstuk 4.1 en 4.2) en de wandligger (hoofdstuk 4.5) op de 5^{e} verdieping een dermate hoog belang toegekend dat het raadzaam is om deze elementen als sleutelelement te classificeren.

Revisie overzicht

#	Datum	Omschrijving	Opmerking
A	21-02-2020	Definitief	DO
B	27-11-2020	Wijzigingen ontwerp	DO
C	15-12-2022	Wijzigingen ontwerp	DO

1 INLEIDING

In opdracht van Frame Vastgoed is door Arcadis Nederland BV; divisie Gebouwen een ontwerp gemaakt voor de hoofddraagconstructie van The View of Rotterdam Fase 2 met de werktittel “The View II”.

Het door DEDRIE Architecten ontworpen plan omvat de nieuwbouw van een woontoren (34 lagen) met commerciële plint (4 lagen) en ondergrondse kelder (2 lagen).

Fase 1 van het totale plan is het deel aan de noordzijde waarbij boven op een bestaande parkeerkelder een hotel van 10 lagen (oostgebouw) en een woongebouw van 12 lagen (westgebouw; ook wel “The Bayhouse”) wordt gerealiseerd.

De constructie van de View II bestaat uit een betonnen kelder op palen. De hoogbouw bestaat uit een, deels prefab, betonnen kern vanuit de kelder en massief betonnen woningscheidende wanden en vloeren met aan de noord- en zuidzijde een dragende gevel. De laagbouw bestaat uit prefab betonnen kolommen en een in situ betonnen vlakkeplaatvloer met ponskoppen.

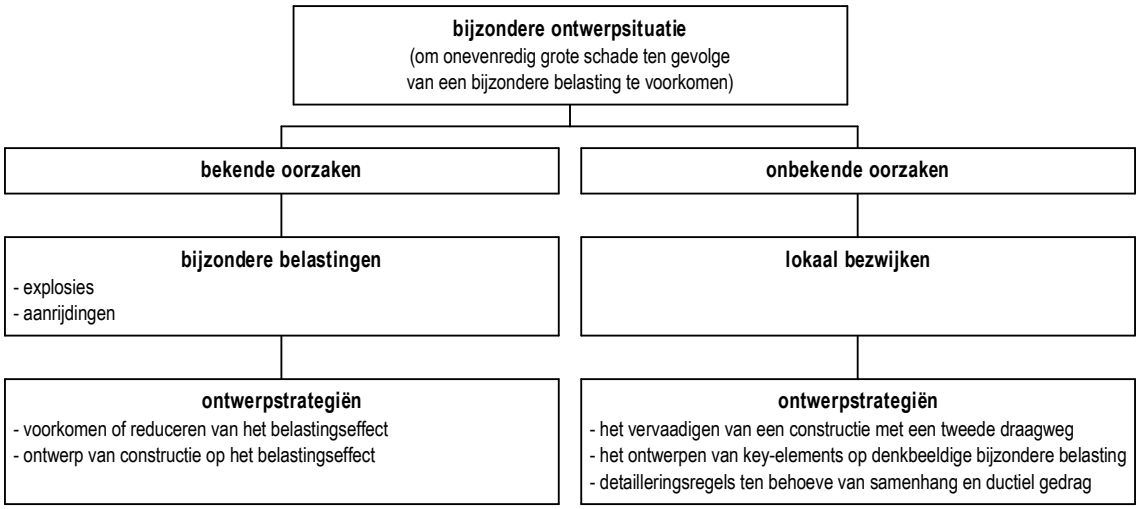
Door Arcadis is de definitieve hoofdopzet van de draagconstructie uitgewerkt aan de hand van (interne) ontwerpberekeningen en zijn kritieke onderdelen van de bestaande constructie beschouwd en getoetst.

2 BIJZONDERE ONTWERPSITUATIES

Op de hoofddraagconstructie van dit project is de Eurocode 1 van toepassing. In deze norm komen aspecten als voortschrijdende instortingen en incasseringsvermogen van bouwconstructies aan de orde.

In de ontwerpnorm wordt onderscheid gemaakt tussen **bekende** en **onbekende** oorzaken van bijzondere belastingen. De benaderingswijze van het ontwerpen voor bijzondere belastingen is schematisch weergegeven in onderstaande figuur. Deze volgt uit NEN-EN 1991-1-7 en is deels aangevuld ter verduidelijking.

De norm biedt echter geen volledige invulling van de werkwijze ter voorkoming van voortschrijdende instortingen door alle bijzondere ontwerpsituaties. Hierom worden in dit hoofdstuk de oorzaken, risico's en ontwerpstrategieën behandeld ten aanzien van het gebouw.



2.1 Bijzondere belastingen met bekende oorzaken

Bij bijzondere belastingen met bekende oorzaken is het mogelijk om doelmatig op te ontwerpen op de belasting. Vaak zijn de belastingen uit deze oorzaken voorgeschreven en kan beredeneerd worden waar de belasting op zal treden. Daarbij is er een reële kans aanwezig dat de belasting een keer op kan treden, hoewel het in sommige gevallen mogelijk is om de kans op de belasting significant te verlagen door actieve of passieve maatregelen te treffen.

In onderstaande tabel zijn bijzondere belastingen met bekende oorzaak geïnventariseerd en beoordeeld. Er zijn verwijzingen opgenomen naar sub paragrafen om de risico's die voor het gebouw kunnen gelden nader worden toegelicht. Daarna volgen de uitwerkingen (berekeningen) van de oplossingen om deze risico's te verkleinen.

Mogelijke oorzaak	Beoordeling
Botsbelasting • Voertuigen • Schepen • Treinen/metro • Vliegtuigen	Afstand tot spoor en vaarwegen is dermate groot dat er geen rekening gehouden hoeft te worden met botsbelasting door schepen/treinen/metro. Ook ligt het gebouw niet in directe nabijheid van een vliegveld, daarnaast is het de vraag of ontwerpen op impact van een vliegtuig in dit geval zinvol is. Botsbelasting uit voertuigen wordt in rekening gebracht volgens paragraaf 3.1 Als alternatief kan onderzocht worden of in de openbare ruimte aanrijdbeveiliging aangebracht kan worden.
Explosiebelasting • Stofexplosie • Explosie door natuurlijk gas • Explosie veroorzaakt door gebruiker	In de verblijfsruimtes zijn geen gasleidingen of gevaarlijke stoffen aanwezig. In de kelder zijn geen technische ruimtes aanwezig waar gasleidingen en/of grote installaties staan opgesteld. Door te voorzien in een tweede draagweg, of sleutelelementen te ontwerpen op een horizontale belasting wordt de robuustheid tegen een explosiebelasting vergroot. Explosies door natuurlijk gas zijn niet van toepassing in dit project. Explosies doelmatig veroorzaakt door gebruikers zijn zeer onwaarschijnlijk, gezien de functies van het gebouw en worden niet onderzocht.
Brand • Intern • Extern (bijvoorbeeld de gevel)	Op brandbelasting wordt ontworpen conform huidige normen. Hoofddraagconstructie: 120 min brandwerend. Opgemerkt wordt dat verspreiding van brand via de spouw in de gevel verhinderd moet worden. Opmerking: brand vormt geen onderdeel van de bijzondere belastingen onder NEN1991-1-7. In het uitgangspuntenrapport wordt het thema brand verder uitgewerkt.
Natuurverschijnselen • Overstroming • Aardbeving • Storm • Sneeuw(ophoping)	Overstroming zal niet leiden tot ondermijning van de draagconstructie, aangezien het gebouw diep gefundeerd is. Opdrijven en een overstromingsscenario wordt nader bekeken in paragraaf 3.2 Aardbevingen komen niet voor in het gebied. Windbelastingen en sneeuw worden in rekening gebracht conform normen. Er is voor het gebouw ook een windtunnelonderzoek gedaan. NB. Wind en sneeuw worden niet aangemerkt als bijzondere belastingen onder NEN1991-1-7. In het uitgangspuntenrapport wordt het thema wind en sneeuw verder uitgewerkt.
Bezwijken ondergrond • Draagkracht diepere lagen • Aanpalende funderingen • Boringen in de omgeving	Het gebouw wordt diep gefundeerd, bezwijken van dieper gelegen grondlagen is hoogst onwaarschijnlijk. Daarnaast zijn er voor de ontwerpsituatie (met veiligheidsfactoren volgens CC3) zoveel palen aanwezig dat er in de buitengewone ontwerpsituatie met veiligheidsfactor 1,0 bij bezwijken van een paal altijd een tweede draagweg gerealiseerd kan worden. Doordat de fundering onder de hoogbouw is gemodelleerd als massieve stijve plaat zal de belasting zonder meer spreiden naar de overige palen. Er dient bij aanbrengen van de nieuwe palen rekening gehouden te worden met evt. beïnvloeding van bestaande gebouwen. Daarom is gekozen voor een trillingsarm grondverdringend paalsysteem binnen een bepaalde afstand tot de belending en wordt een veilige afstand t.o.v. de bestaande palen gehanteerd.

2.2 Voorkomen van voortschrijdende instortingen bij onbekende oorzaken door lokaal bezwijken

In de vorige paragraaf zijn de bijzondere belastingen door bekende oorzaken geïnventariseerd en zijn er maatregelen voorgesteld. Er zijn echter ook andere bedreigingen die kunnen leiden tot het bezwijken van (een deel van) de constructie als er geen maatregelen zouden worden getroffen.

Van deze bedreigingen wordt verondersteld dat de oorzaak onbekend is, maar dat de stabiliteit van de constructie gewaarborgd moet blijven en dat voortschrijdend instorten wordt voorkomen. Daarbij wordt het niet mogelijk geacht om de oorzaak van de bedreiging weg te nemen, wat inhoudt dat actieve of passieve maatregelen ter bescherming van de constructie niet mogelijk zijn.

Het doel van deze analyse is om het gebouw veilig te kunnen ontvluchten en dat mensen te redden moeten zijn door hulpdiensten. Het volledig voorkomen van schade op lokaal niveau is geen doel, omdat dit bij deze ontwerpstrategie juist als oorzaak wordt aangemerkt.

2.2.1 Niet-gedefinieerde oorzaken

2.2.1.1 Ontwerpfouten

Ten aanzien van het voorkomen van structurele ontwerpfouten worden in ieder geval de volgende acties ondernomen:

- Conform de normering voor een gebouw in gevolgklasse CC3 dient er controle te worden uitgevoerd door een externe, onafhankelijke en deskundige partij (supervisieniveau DSL 3*)
- Ook wordt altijd, conform het Arcadis kwaliteitsproces, op alle stukken een 2^{e} lezer controle uitgevoerd. Hiermee is de controle op ontwerp ook vastgelegd in het kwaliteitssysteem.

Er zijn ook preventiemogelijkheden die te maken hebben met het voorkomen en opsporen van fouten, door:

- Rekenmodellen worden met handsommen gecontroleerd
- Ervaren ontwerpers te betrekken
- Onderlinge discussies over de constructieve kwaliteit te stimuleren
- Zorgen voor kennisontwikkeling bij collega's

*) *Ten aanzien van het te hanteren supervisieniveau wordt naar NEN-EN 1990 bijlage B4 verwezen.*

2.2.1.2 Uitvoeringsfouten

Het gaat bij deze analyse om het beperken van risico's voortvloeiend uit het ontwerp en de uitwerking. Er wordt opgemerkt dat deze analyse de gevolgen van structurele bouwfouten niet kan afvangen, zoals het algeheel toepassen van te lage materiaalsterktes of het niet naleven van de bouwtekeningen. Wel is het mogelijk om het risico door lokale uitvoeringsfouten te verkleinen. Er treedt dan echter mogelijk geen (zichtbaar) lokaal bezwijken op.

Om de constructieve veiligheid te borgen is het van belang dat tijdens de uitvoeringsfase de verschillende rollen en verantwoordelijkheden duidelijk zijn beschreven. Ook de wijze van toetsen dient te worden vastgelegd. Voor dit project is dit beschreven in het rapport VII-ARC-SE-RP-06-DO Toetsprotocol CV.

Voor het beperken van risico's in de uitvoering is o.a. constructief toezicht nodig. Daarbij zijn inspecties van de vooraf gefabriceerde elementen noodzakelijk, bijvoorbeeld met visuele controle of andere onderzoekstechnieken. Voor het inspectieniveau wordt IL3 aangehouden (zie NEN-EN 1990 bijlage B5).

De te ondernemen acties zijn:
- Geadviseerd wordt dat de opdrachtgever toezicht de organisatie van de uitvoeringsfase inricht conform het compendium constructieve veiligheid.
- De aannemer stelt, voordat de uitvoering start, een goed 'Projectplan engineering constructies' op (als onderdeel of nadere uitwerking van het Projectkwaliteitsplan uitvoering).
- Zie het rapport VII-ARC-SE-RP-06-DO Toetsprotocol CV voor een volledige beschrijving van deze fase en de te nemen maatregelen.

2.2.1.3 Materiaalfalen

Het is mogelijk dat de materiaalspecificaties niet overeenkomen met de daadwerkelijke eigenschappen van het materiaal. Een materiaal kan bijvoorbeeld sterk of zwakker zijn, of juist ductieler of brosser.

De te ondernomen actie is:
- Het uitvoeren van gevoeligheidsanalyses waarbij de materiaalstijfheden worden gevarieerd.

2.2.1.4 Communicatiefouten tijdens de uitvoeringsfase

De uitvoeringsfase wordt gekenmerkt door de vele partijen en de versnippering van taken en verantwoordelijkheden. Het vastleggen van die taken, verantwoordelijkheden en hoe en door wie documenten getoetst moeten worden is daarom van uiterst belang. De invulling van de rollen en verantwoordelijkheden dient te geschieden aan de hand van het compendium constructieve veiligheid. De volgende rollen dienen bekend te zijn:

- Ontwerpend constructeur
- Coördinerend constructeur
- Engineeringscoördinator
- BIM-coördinator

De te ondernemen actie is:
- Opstellen van Toetsprotocol Constructieve Veiligheid voor de uitvoeringsfase waarin o.a. bovenstaande aspecten zijn beschreven.

2.2.2 Ontwerpstrategie

De ontwerpstrategie bestaat uit:
1. Het creëren van een 2e draagweg:
   a. Horizontale en verticale trekbanden maken (samenhang)
   b. Extra koppelen van elementen (redundantie)
   c. Elementen in prefab strategisch plaatsen (samenhang)
2. Het creëren van waarschuwend gedrag in de constructie:
   a. Grote vervormingscapaciteit in constructiedelen, zoals zeilwerking
   b. Ductiel gedrag in verbindingen, bijvoorbeeld vloeien van staal
3. Het verhogen van capaciteit in constructiedelen:
   a. Verhoogde belastingcapaciteit
   b. Vallende brokstukken op kunnen vangen
4. Het toekennen van sleutelelementen

Robuustheid wordt ook in de detailberekeningen meegenomen. Tevens wordt in verschillende fases gekeken naar robuustheid, waarbij een ander niveau van uitwerking mogelijk is.

2.2.2.1 Tweede draagweg

De constructie dient voldoende robuustheid te bezitten, zodat voortschrijdende instorting bij lokaal bezwijken wordt voorkomen. Strategieën hierin die wij hanteren zijn:

1. Horizontale trekbanden in combinatie met verticale trekbanden in alle dragende kolommen en wanden passen
2. Controles uitvoeren of de stabiliteit van het gebouw is verzekerd en of lokale schade een bepaalde grens niet overschrijdt bij het denkbeeldig verwijderen van:
   - Kolommen
   - Liggers
   - Wanden of delen van wanden
3. Het verhogen van de onderlinge samenhang om de gevolgen van lokaal bezwijken te verkleinen, bijvoorbeeld:
   - Afschuifverbindingen tussen prefab wanden of het in halfsteensverband plaatsen van prefab wanden (dus niet droog doorstapelen)
   - Meerdere mechanismes mogelijk maken in wanden (bijvoorbeeld liggerwerking en trekband/drukboog werking)

2.2.2.2 Waarschuwend gedrag in de constructie

Door middel van het vergroten van het waarschuwend gedrag kunnen mensen het gebouw ontvluchten voordat er daadwerkelijk een instorting plaatsvindt. Voorbeelden hiervan zijn:

- Vloeren die eerst onder zeilwerking blijven hangen voor daadwerkelijk bezwijken optreedt
- Het vloeien van constructies, zoals bijvoorbeeld bij plastische scharnieren
- Een grote rotatiecapaciteit ter plaatse van verbindingen

2.2.2.3 Verhoogde capaciteit

Ook indien een onderdeel niet als sleutelelement is aangewezen kan het nuttig zijn om de capaciteit te verhogen. Dit hoeft niet per se tot een kostenverhoging te leiden omdat er in het ontwerp ook rekening gehouden kan zijn met een reguliere verhoging van de nuttige vloerbelasting voor bijvoorbeeld scheidende wanden, waaruit extra capaciteit beschikbaar is. In dit project is de nuttige vloerbelastingen voor de woningen opgehoogd van 1,75 kN/m2 naar 2,5 kN/m2.

2.2.2.4 Sleutelelementen

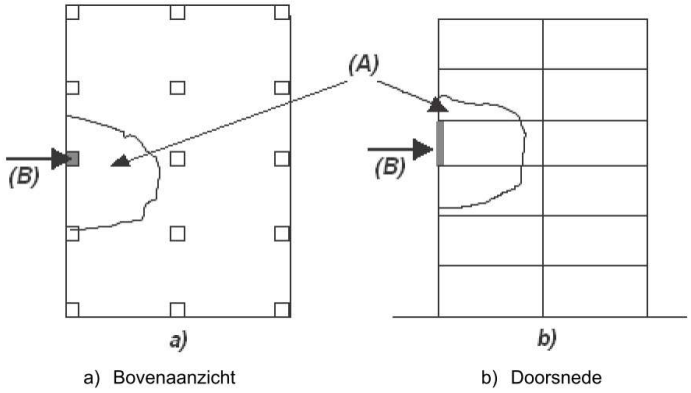
Indien het voor bepaalde elementen niet mogelijk blijkt, of tot een onevenredige oplossing leidt, dan zullen deze elementen als “sleutelelement” ontworpen worden. Het aanwijzen van een sleutelelementen wordt alleen gedaan indien daar geen betere ontwerpmogelijkheden zijn dan het aanwijzen van een sleutelelement. Er moet kritisch gekeken worden of een sleutelelement-belasting wel een realistisch beeld geeft van de onbekende bedreiging op het element, aangezien het doel van het sleutelelement is om de constructieveiligheid te vergroten en niet om slechts te voldoen aan normeringseisen.

Daar waar de denkbeeldige verwijdering van dergelijke kolommen en delen van wanden zou resulteren in een schade groter dan de afgesproken grens, behoren dergelijke elementen te zijn ontworpen als “sleutelelement”. Specifiek voor CC3 moeten deze elementen ontworpen worden op de optredende belasting in UGT, vermenigvuldigd met een extra partiële belastingfactor van $1{,}20$ (zie NTA 4614-1 deel 3, paragraaf 6.4.2.3). Daarnaast wordt het betreffende element berekend op een belasting $A_d = 34kN/m^2$ in een buitengewone belastingcombinatie (NEN-EN 1991-1-7).

2.2.3 Definitie van lokale schade

Bij het beoordelen van de robuustheid wordt het model van lokale schade gebruikt.

Dit geeft een houvast voor de te rekenen schade en de analyse van de gevolgen daarvan. Deze definitie van lokale schade is gegeven in NEN-EN 1991-1-7. De denkbeeldige grens mag verschillen per gebouw, maar wordt aanbevolen op 15% (of 100m²) van de vloeroppervlakte, per bouwlaag of in twee aangrenzende bouwlagen.



Figuur 1: Aanbevolen grens voor toelaatbare schade volgens NEN-EN1991-1-7 Figuur A.1

Voor de plattegrond van de woontoren in The View II is het te rekenen oppervlak dan $15\% * 24m * 32m = 115m^2 > 100m^2$. Een oppervlak van deze afmeting relateert zich tot de plattegrond zoals weergegeven in Figuur 2. Deze afmeting is mogelijk niet geheel realistisch voor alle delen van de plattegrond, en hierdoor wordt er per beschouwing kritisch gekeken naar wat voor gevolgen er mogen worden verwacht bij lokaal bezwijken en de ondergrens aangehouden van $100m^2$.



Figuur 2: Relatie verhouding van genormeerd bezwijkgebied ten opzichte van de plattegrond van de woontoren

2.2.4 Risiconiveaus

Zoals voorgesteld in NEN-EN1991-1-7 bijlage A4 wordt een systematische (dus op meerdere locaties) risicoanalyse gemaakt een van lokale bezwijking in het gebouw. In deze beschouwing wordt alleen rekening gehouden met bezwijken door onbekende oorzaken, omdat op de bekende oorzaken doelmatig wordt ontworpen en hiermee het risico zo goed mogelijk wordt afgedekt.

Deze risico-inventarisatie heeft betrekking op de gevolgen die zouden optreden op het moment dat er geen tweede draagwegen en/of waarschuwend gedrag is in de constructie, dus: mensen kunnen niet op tijd vluchten.

Door het aanbrengen van voorzieningen zullen de gevolgen van een instorting lokaal blijven (er treedt dan geen voortschrijdende instorting op). Hierdoor verkleint het gevolg en is het risico acceptabel.

Het verkleinen van de kans op lokaal bezwijken is moeilijker dan het verkleinen van de gevolgen, immers is de oorzaak onbekend. Daarentegen is van veel elementen wel goed te beredeneren wat de mate van bereikbaarheid is.

2.3 Risicoanalyse

Als maat voor de gevolgen uit de opgetreden schade, wordt de definitie in Tabel 1 gebruikt. Hierin wordt de ernst van het gevolg uiteengezet tegen de verschillende belangen. Dit zijn de mensen in het gebouw, het gebouw zelf, de exploitatie van het gebouw en de gevolgen voor de maatschappij.

Per risico wordt ook de kans beschouwd voor het bezwijken van een element. Hierbij wordt gekeken naar historische falen en de mate van blootstelling van het element aan externe factoren.

Er wordt in deze ontwerpfase alleen nog een studie gedaan op elementniveau. Er dient echter ook kritisch naar de detaillering van de diverse verbindingen te worden gekeken, zowel om het risico daarvan in te schatten, als om de robuustheidsoplossing ook op de juiste manier in het ontwerp te verwerken. Deze analyse volgt in een volgende ontwerpfase.

Er wordt in de analyse steeds per elementtype en locatie gekeken wat de gevolgen en kansen zijn ten aanzien van robuustheid. Hierbij wordt (omwille de omvang van de studie) steeds een groepering van dezelfde elementtypen gemaakt zodat vergelijkbare elementen een vergelijkbare oplossing krijgen.

In een later ontwerpstadium wordt een beschouwing op meerdere elementposities uitgevoerd (bijvoorbeeld bezwijken van een kolom op de begane grond en dit systematisch afwerken voor alle as snijpunten).

2.3.1 Kansen

Het uitdrukken van de kans op bezwijken van een element is arbitrair. Ook de positie van het element in het gebouw is belangrijk. Het spreekt voor zich dat een hoekkolom op begane grondniveau meer risico op beschadiging heeft dan dezelfde kolom op een hooggelegen verdieping.

Er zijn in totaal vijf kans categorieën gedefinieerd. Deze zijn (in oplopende voorkomendheid):

A. Bijna niet mogelijk
B. Zelden
C. Af en toe
D. Enige kans
E. Kan gebeuren

Van deze kans-categorieën wordt opgemerkt dat de benaming misleidend is. Namelijk een kans als ‘kan gebeuren’ lijkt voor te stellen dat dit dan regelmatig optreedt, terwijl het in feite nog steeds een incident is. De benaming van de kans-grootte is daarom kwalitatief en is niet op statistiek berust.

De indeling van elementen zijn in deze categorieën ingedeeld. Daarbij is vaak de afweging afhankelijk van:

- Eerdere instortingen bij vergelijkbare elementen of gebouwonderdelen
- De locatie van het element in het gebouw
- De mate van beschutting van het element en hiermee de mate van blootstelling aan externe factoren
- De mate van controleerbaarheid van het element
- De afmeting van het element

2.3.2 Gevolgen

Om een kwantificatie aan het gevolg te geven is er gekozen om het bezwijken van een element af te zetten tegen het vloeroppervlak wat er dan bezwijkt. Zo krijgt een bezweken kolom op de begane grond een groter gevolg, omdat hierop een groter vloerveld wordt gedragen doordat er meer verdiepingen op rusten dan een kolom boven in het gebouw.

Er zijn vervolgens enkele drempels aangehouden om de grootte van het gevolg aan te geven. Dit gaat volgens de (zeer arbitraire) vergelijking:

$$gevolg[\%] = \frac{A_{bezweken\ deel}}{A_{verdieping}} * 100\%$$

Er wordt voor de toren een totaaloppervlak $7{,}8^2 * (3 * 4) = 730m^2$ gerekend. Voor de laagbouw is dit $7{,}8^2 * (8 * 7) = 3407m^2$.

De drempelwaardes 5%, 10%, 20% en 40% (van vloeroppervlak bezweken) worden gehanteerd om de ernst van de gevolgen uit te drukken.

Tabel 1: Gevolgen en weging hierin

Gevolg	Zeer klein	Klein	Gemiddeld	Groot	Ernstig
Mensen	Minimaal letsel of gezondheids-effect	Licht letsel of gezondheids-effect	Zwaar letsel of gezondheids-effect	Blijvende verminking of tot 3 doden	Meer dan 3 doden
Gebouw	Minimale schade	Kleine schade	Gemiddelde schade	Grote schade	Gigantische schade
Exploitatie	Minimale invloed	Kleine invloed	Grote invloed	Sluiten van exploitatie/woningen	Langere tijd sluiten van exploitatie/woningen
Maatschappij	Lichte impact	Kleine impact	Gemiddelde impact	Grote impact	Gigantische impact
Gevolg	<5%	5% tot 10%	10% tot 20%	20% tot 40%	>40%

De analyse is te vinden in tabel 3.

2.3.3 Voorbeeld

Bij instorten van de hoekkolom op snijpunt N24 op de 5e verdieping zouden (zonder voorzieningen) 23 verdiepingen kunnen bezwijken. Per verdieping draagt de kolom een vloeroppervlak van $12m^2$. Hiermee:

$$A_{bezweken} = 23 * 12m^2 = 276m^2$$

Ten opzichte van een geheel vloeroppervlak van één verdieping is dit:

$$\frac{246m^2}{730m^2} * 100\% = 38\%$$

Daarmee valt dit gevolg in de categorie ‘groot’ en hier moet dus zeker een tweede draagweg voor ontworpen worden. Er wordt hier dan wel vanuit gegaan dat de verdiepingen onder dit niveau niet bezwijken, wat wellicht niet realistisch is. Dit geldt echter als beperking in de risico-inschatting om deze aanpak hanteerbaar te houden.

2.3.4 Risicomatrix

In Tabel 3 volgt de uitgebreide risico-gevolgberekening in tabelvorm.

De verschillende type gebouwonderdelen zijn in de onderstaande risicomatrix weergegeven.

De onderdelen in rood (enkele kolommen) moeten goed bekeken worden. Hiervan is het mogelijk dat deze als key-element zullen moeten worden aangemerkt, indien een 2e draagweg niet haalbaar blijkt.

Enkele kolommen op de 5e verdieping zijn in oranje aangemerkt. Hierbij zou het goed zijn om een tweede draagweg te realiseren (via de ring) en de kolommen zijn mogelijk met trekbanden of extra gewapende balken te versterken.

In geel staan onderdelen zoals kopgevels, deze staan minder beschut opgesteld dan de interne wanden, waardoor deze iets meer risico lopen.

De overige elementen, zoals wanden, vloeren en de ringstructuur vallen in de groene velden. Wanden zijn uit zichzelf robuuster dan kolommen door het grotere oppervlak maar lopen eventueel nog risico door de stapelingswijze. Kelderwanden zijn slechts aan één zijde controleerbaar (de andere kant is niet zichtbaar). De ringstructuur op de 5e verdieping is een in-situ gestorte wand van 500 mm dik die uit zichzelf al een grote mate van robuustheid heeft.

Dat sommige elementen in groen staan aangemerkt wil echter niet uitsluiten dat het risico niet verder verkleind moet worden als dat kan.

De benaming van de onderdelen in de risicomatrix komt overeen met tabel op de volgende pagina waarin de risico-gevolgindeling per onderdeel is bepaald. Vervolgens is in hoofdstuk 4 per onderdeel de risicoanalyse vastgelegd en de bijbehorende maatregelen.

Tabel 2: Risicomatrix

Gevolg \ Kans	A: Bijna niet mogelijk	B: Zelden	C: Af en toe	D: Enige kans	E: Kan gebeuren
Zeer klein <5%		Vloer C Vloer D Vloer E	Vloer_A, Langsgevel_n5		
Klein 5% tot 10%			Vloer_B		
Gemiddeld 10% tot 20%					
Groot 20% tot 40%				Kolom_L27_n0	
Ernstig >40%	Kernwanden_n20, Kernwanden_n5, Stabiliteitswanden, Kelderwanden, Ring_as_N, Ring_as_W	Kopgevel_n20, Kopgevel_n5	Kolom_N23_n5, Kolom_N26_n5, Kolom_N24_n5	Kolom_N23_n0, Kolom_N26_n0, Kolom_N24_n0	

Tabel 3: Risico-gevolg indeling

Nummer	Positie	Type	Materiaal	Dimensies	Vloeroppervlak Toren [m²]	Verdiepingen te rekenen [n]	Vloeroppervlak Laagbouw [m²]	Verdiepingen te rekenen [n]	Gevolg [% van oppervlak verdieping]	Kans volledig bezwijken	Opmerkingen
Vloer_A	Vloerplaat hoogbouw	Vloer	Voorspanvloer	d=250mm, b=2,4m	18,7	1			3%	C: Af en toe	Bezwijken enkele plaat
Vloer_B	Veld hoogbouw	Vloer	Voorspanvloer	d=250mm, b=2,4m	60,8	1			8%	C: Af en toe	Bezwijken groter vloerveld
Vloer_C	Betonvloer laagbouw	Vloer	Insitu vloer	d=300mm, b=2,4m			18,7	1	1%	B: Zelden	Bezwijken enkele plaat
Vloer_D	Veld laagbouw	Vloer	Insitu vloer	d=300mm, b=2,4m			60,8	1	2%	B: Zelden	Bezwijken vloerveld
Vloer_E	Kernvloer	Vloer	IHWG beton	d=250mm	28,0	1			4%	B: Zelden	Overbelasting?
Kernwanden_n20	Kernwanden niveau 20	Wand	Prefab	d=250mm	30,4	14	30,4	5	63%	A: Bijna niet mogelijk	Bezwijken kernwand op niveau 20
Kernwanden_n5	Kernwanden niveau 5	Wand	Prefab	d=350mm	30,4	30	30,4	5	129%	A: Bijna niet mogelijk	Bezwijken kernwand in garage
Stabiliteitswanden	Stabiliteitswanden	Wand	Prefab	d=350mm	60,8	30	60,8	5	259%	A: Bijna niet mogelijk	Bezwijken stabiliteitswand garage
Kelderwanden	Kelder	Wand	IHWG beton	d=600mm	30,4	30	30,4	5	129%	A: Bijna niet mogelijk	Aantasting mogelijk?
Kolom_N23_n0	Hoekkolom toren	Kolom	Prefab	L 1950x500mm	12,0	30	30,4	3	52%	D: Enige kans	Toren scherpe punt, onderbouw in vlakke gevel, bereikbaar vanaf straat
Kolom_N23_n5	Hoekkolom toren	Kolom	Prefab	L 850x400mm	12,0	30			49%	C: Af en toe	Toren scherpe punt, onderbouw in vlakke gevel, bereikbaar vanaf dakterras
Kolom_N26_n0	Hoekkolom toren	Kolom	Prefab	L 1255x500mm	20,0	30	20,0	3	84%	D: Enige kans	Vanaf maaiveld scherpe punt op kelderwand, bereikbaar vanaf straat
Kolom_N26_n5	Hoekkolom toren	Kolom	Prefab	L 850x400mm	20,0	30			82%	C: Af en toe	Vanaf maaiveld scherpe punt op kelderwand, bereikbaar vanaf straat
Kolom_L27_n0	Gevelkolom L27	Kolom	Prefab	L 2150x500mm	8	30	60,8	3	37%	D: Enige kans	Hoofddraagelement voor bovengelegen wanden
Langsgevel_n5	Gevelelement langszijde niveau 5	Kolom	Prefab	8000x250mm	0	0			0%	C: Af en toe	Draagt alleen zichzelf
Kolom_N24_n0	Gevelkolom N24	Kolom	Prefab	L 950x500mm	29	30	29,0	3	122%	D: Enige kans	Bereikbaar vanaf straat
Kolom_N24_n5	Gevelkolom N24	Kolom	Prefab	L 850x400mm	29	30			119%	C: Af en toe	
Ring_as_N	Overgangsconstructie	Wand	Prefab	d=500mm	30,4	30			125%	A: Bijna niet mogelijk	Zeer fors gedimensioneerd
Ring_as_W	Overgangsconstructie	Wand	Prefab	d=500mm	30,4	30			125%	A: Bijna niet mogelijk	Zeer fors gedimensioneerd
Kopgevel_n20	Gevelelement kop niveau 20	Wand	Prefab	d=250mm	30,4	14			58%	B: Zelden	Bezwijken enkel geveldeel
Kopgevel_n5	Gevelelement kop niveau 5	Wand	Prefab	d=400mm	30,4	30	30,4	5	129%	B: Zelden	Bezwijken enkel geveldeel

3 BESCHOUWING VAN BEZWIJKEN CONSTRUCTIEVE ONDERDELEN DOOR BEKENDE OORZAKEN

3.1 Aanrijdbelastingen

Scenario's

De nieuwbouw van The View II is gelegen binnen de bebouwde kom. De constructieve elementen van de hoofddraagconstructie moeten worden gedimensioneerd op botsbelastingen conform tabel NB1-4.1 van NEN-EN 1991-1-7.

De constructieve elementen worden ingedeeld in de volgende categorieën:

- Kolommen op de begane grond op as N en W01
- Kolommen op de begane grond binnen de expeditieruimte
- Kolommen in de parkeergarage

Uitgangspunten

- Een kolom of wand mag niet bezwijken ten gevolge van een aanrijding, berekend op de belastingen volgens de navolgende tabel.
- Er is geen duidelijkheid over eventuele aanrijdbeveiligingen. Hierom wordt daar in dit stadium geen rekening mee gehouden (belasting wordt onverminderd op de kolom gerekend).

Ontwerpstrategie

- De kolommen in de parkeergarage worden berekend op een aanrijdbelasting die geldt voor 'parkeren voor auto's'
- Kolommen binnen de expeditieruimte worden berekend op een aanrijdbelasting die geldt voor 'Expeditie vrachtwagens zwaarder dan 3,5 ton'. Aanvullend gelden voor vorkheftrucks de belastingen uit paragraaf 4.4.
- De kolommen op de begane grond op as N en W01 worden niet berekend op een aanrijdbelasting die geldt voor 'wegen in stedelijk gebieden' omdat rijbaan op meer dan 10 m. van de kolommen ligt.

Tabel 4: Rekenwaarden statische krachten door stootbelastingen uit voertuigen op elementen grenzend aan wegen

Verkeerscategorie	F_{dx} (In rijrichting)	F_{dy} (⊥ op rijrichting)	d_b
Parkeren van auto's	100kN	50kN	4m
Expeditie vrachtwagens zwaarder dan 3,5 ton	200kN	100kN	5m
Wegen in stedelijk gebied	1000kN	500kN	10m
Vorkheftrucks	$F = 5 * w_{vorkheftruck+belading}$		

Deze waarden mogen worden gereduceerd door te vermenigvuldigen met een factor $\sqrt{1 - d/d_b}$. Hierin is d de afstand van het midden van de baan tot het botsingspunt en d_b is een vast gegeven. Voor de gevel wordt waar mogelijk uitgegaan van realisatie van een tweede draagweg mocht 1 penant bezwijken.

De berekening hiervan kan als lokaal model worden gemaakt (bijvoorbeeld een enkele kolom berekenen).



Figuur 3: Afstand gevelkolommen tot hart rijbaan

3.2 Overstromingen

Scenario's

Door extreme waterstanden van de Maas is het mogelijk dat de waterstand flink hoger wordt dan waar standaard rekening mee wordt gehouden. De waterstand kan zodanig stijgen dat de kelder van het gebouw volloopt met water. Aannemelijk is dat dan de kelder vult vanaf de onderste laag en de belasting geleidelijk oploopt, tot maximaal de hoogte van de inrit. Daarna neemt de opwaartse waterdruk niet meer toe, omdat de waterstand in de kelder dan gelijk wordt geacht met de waterstand in de omgeving.

Uitgangspunten

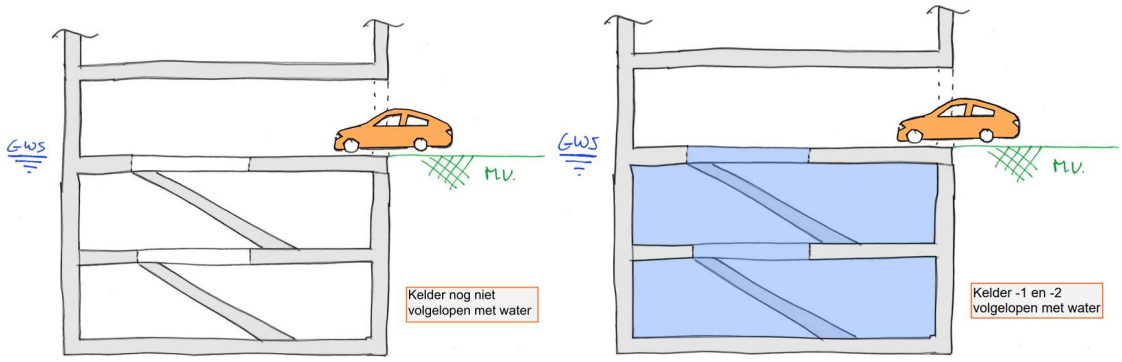
- De funderingspalen mogen niet bezwijken door de op -of neerwaartse belasting.
- De verandering van belasting op de keldervloer mag niet leiden tot scheurvorming in het beton (ivm toekomstige lekkages) of bezwijken.
- De kelderwanden mogen niet bezwijken.
- Er wordt vanuit gegaan dat de grondwaterstand evenredig verhoogt met het waterniveau in de kelder

Ontwerpstrategie

Er worden verschillende waterstanden berekend in combinatie met de totale evenwichtssituatie:

1. Het water is tot maaiveld gestegen, maar stroomt nog net niet in de kelder
2. Kelder -1 en -2 volgelopen met water (tot niveau van de oprit)

De belastingen worden beschouwd in combinatie met de gewichtsberekening. De maximaal opwaartse belasting wordt bereikt op het moment dat het waterpeil overeenkomt met de peilmaat van de inrit.



Figuur 4: Twee scenario's voor overstroming

Risicoprofiel

Er zijn risico's op lokaal niveau, zoals het bezwijken van vloeren of delen van wanden. Ook op globaal niveau kan een effect optreden als de belasting op de palen significant verandert, bijvoorbeeld door bezwijken van palen of nieuwe zettingen.

4 BESCHOUWING VAN BEZWIJKEN CONSTRUCTIEVE ONDERDELEN DOOR ONBEKENDE OORZAKEN

De situaties uit de risicomatrix worden stapsgewijs afgelopen. Per situatie wordt een 2e draagweg voorgesteld. Deze wordt vervolgens geanalyseerd.

De analyse wordt in twee stappen onderverdeeld:

Stap 1

Eerst worden de verschillende scenario's onderzocht en worden eventuele oplossingsrichtingen voorgesteld. Deze worden vervolgens onderling afgestemd met de andere ontwerpende partijen en de gemeente.

Stap 2

Nadat een besluit genomen is over de te nemen oplossingsrichting, wordt een nadere analyse uitgevoerd.

Er wordt eventueel gebruik gemaakt van een EEM-model om een maat te krijgen van de optredende belastingen in het gebouw in de normale gebruik situatie en tijdens een lokale bezwijksituatie. De belastingen die worden vergeleken:

1. Fundamentele ontwerpbelasting (uiterste omhullende combinatie)
2. Fundamentele ontwerpbelasting zonder wind of sneeuw
3. Bijzondere ontwerpbelasting

Hiermee kan vergeleken worden wat de verandering is in belastingsituatie én of de belastingen in de bezwijksituatie hoger gaan zijn dan in de uiterste omhullende combinatie.

Hiervoor worden momentaan factoren voor sneeuw en wind $\Psi = 0$ aangenomen. Momentane nuttige vloerbelasting wordt wel meegenomen.

Per element wordt gekeken wat de verandering is in belasting. Er wordt ook gekeken naar de omliggende elementen en hoe een 2e draagweg ontstaat.

4.1 Hoekkolom begane grondniveau

4.1.1 Risicomatrix elementen

- Kolom_N23_n0
- Kolom_N26_n0

4.1.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Door het wegvallen van de hoekkolom op begane grondniveau kan catastrofale schade verwacht worden, welke zich dan waarschijnlijk wel beperkt tot de hoek van het gebouw. Er is in dit geval geen primaire verticale draagweg, waardoor de belasting uit de vloeren niet kan worden afgedragen. Voor de onderbouw is het nog mogelijk dat een deel van de vloer blijft hangen doordat deze in het werk gestort is. Ter plaatse van de ring op niveau 5 is het mogelijk dat de wapening bezwijkt door de veranderde krachtwerking, waardoor de ringwand op de hoek ook bezwijkt. Hierdoor is dan er ook geen oplegmogelijkheid voor de bovengelegen kopgevelelementen, welke verticaal zijn door gestapeld.

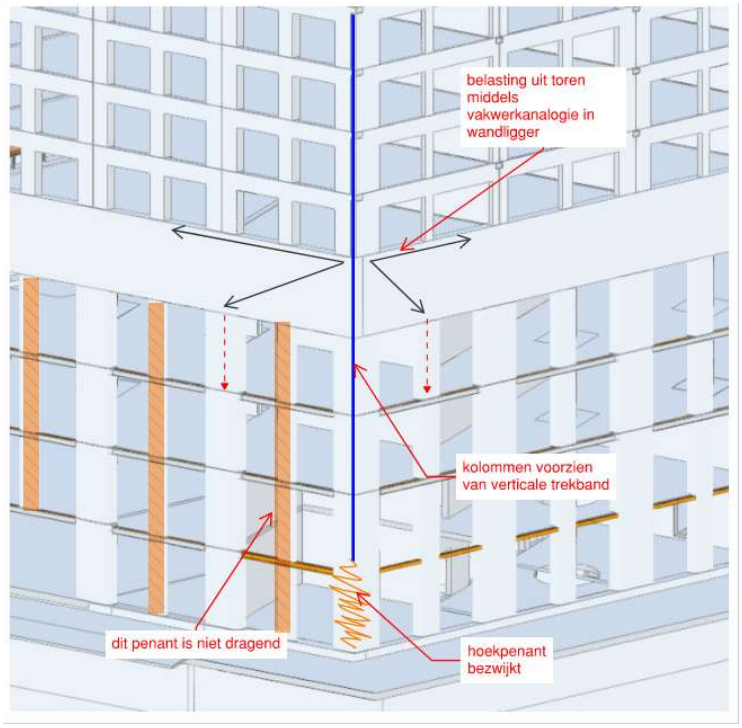
4.1.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

De gekozen strategie is om het wegvallen van de kolom op te vangen met de ringstructuur op de 5e verdieping. Dit kan tijdens deze bezwijksituatie werken als een uitkragende ligger op meer steunpunten in twee richtingen.

Voorwaarden:

- De ring wordt ontworpen om deze belasting volgens liggerwerking met bovenbelasting uit de kopgevel elementen en met hangende belasting van de onderliggende verdiepingen niveau 1 t/m 4.
- De ring wordt in het werk gestort met dikte 500mm. In de ringstructuur zijn geen sparingen aangebracht. Aan de zijde van de laagbouw is een verdikking met een balk 1100x1350mm aan de onderzijde van de wand
- De kolom (met een doorsnede in L-vorm zonder verdere delingen verticaal) tussen de begane grond en de 5e verdieping wordt als hangende prefab kolom beschouwd. Hierdoor ontstaat trek in de wapening. Ook de aansluitingen tussen de kolommen moeten hierop zijn ontworpen

Door middel van deze ontwerpstrategie is het niet per se nodig om de kolom als sleutelelement uit te voeren.



Figuur 5: Wegvallen hoekkolom N26 begane grond

4.1.4 Gevolgen kolommen

De normaalkracht in hoekkolom N26 boven begane grond neemt af en verplaatst naar kolommen N25 en MN/W01 (in Figuur 5 moet de rode stippellijn pijlen aangegeven).

4.1.5 Gevolgen ring niveau 5

De ring op niveau 5 wordt nu anders belast:

- De momenten in de wand worden anders doordat het nu een uitkragende ligger wordt.
- Een uitkraging van 7,8m is te groot voor de wandligger
- De wandligger kan als uitkraging kunnen worden berekend door vakwerkanalogie met inwendige drukdiagonalen toe te passen. Hierbij is echter zeer zware wapening te verwachten.

4.1.6 Conclusies

Het is mogelijk om een 2e draagweg te creëren bij het wegvallen van de hoekkolom op as J en N, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- De wandligger berekenen op het mechanisme dat ontstaat als de hoekkolom wegvalt m.b.v. vakwerkanalogie.
- De hoekkolommen worden ongeacht de 2e draagweg tevens aangemerkt als sleutelelement.

4.2 Tussenkolom gevel begane grondniveau

4.2.1 Risicomatrix elementen

- Kolom_L27_n0
- Kolom_N24_n0

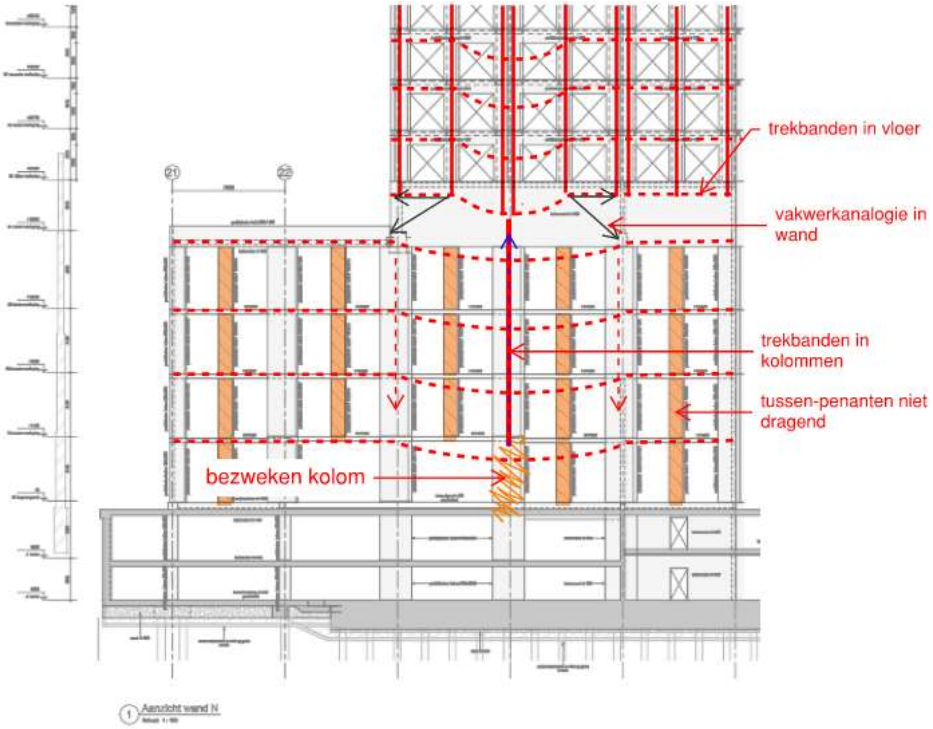
4.2.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Er zijn kolommen in zowel de langs- als kopgevel. Bij bezwijken hiervan is er geen primaire draagweg voor de bovengelegen verticale belasting.

Op de niveaus tussen begane grond en de 5e verdiepingsvloer zijn enkel dragende kolommen aanwezig op de snijpunten van de aslijnen. Indien hier een van bezwijkt is het waarschijnlijk dat er een plaatselijke instorting plaatsvindt in dit gebied op alle bovengelegen verdiepingen als er geen aanvullende maatregelen worden genomen.

4.2.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Onder de 5e verdieping kan een 2e draagweg worden gemaakt met de ring van niveau 5, op dezelfde wijze als beschreven in paragraaf 4.1. Wel is hierbij de overspanning een stuk groter met $2 * 7{,}8 = 15{,}6m$. Het is wellicht raadzaam om zowel de ring als de bovengelegen kopgevelelementen in te zetten om de belasting te spreiden naar de naastgelegen kolommen, omdat de overspanning groter is.



Figuur 6: Wegvallen gevelkolom begane grond

4.2.4 Gevolgen kolommen

Als voorbeeld: de normaalkracht in kolom N24 boven begane grond neemt af en verplaatst naar kolommen N23 en N25 (in Figuur 6 moet de rode stippellijn pijlen aangegeven).

4.2.5 Gevolgen ring niveau 5

De ring op niveau 5 wordt nu anders belast:

- De momenten in de wand worden anders doordat een steunpunt wegvalt.
- De wandligger kan berekend door vakwerkanalogie met inwendige drukdiagonalen toe te passen. Hierbij is echter zeer zware wapening te verwachten.

4.2.6 Conclusies

Het is mogelijk om een 2e draagweg te creëren bij het wegvallen van de kolommen op as W01, W02, J en N mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarde:

- De wandligger ontwerpen volgens de vakwerkanalogie. Als alternatief kan ook een voorgespannen wandligger worden ontworpen.
- Het is aan te bevelen om de kolommen op as W01, W02, J en N ongeacht de 2e draagweg ook aan te merken als sleutelelement.

4.3 Gevelkolommen 5e verdieping en hoger

4.3.1 Risicomatrix elementen

- Kolom_N24_n5 (onderdeel van prefab gevelelement)

4.3.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Boven de 5e verdiepingsvloer is op de kopgevel een tussenliggende kolom beschikbaar, welke afdraagt op de ringstructuur. Hierdoor is de grootste overspanning tijdens normale gebruik situatie 3,9m. Bij bezwijken van een gevelkolom neemt de overspanning toe tot 7,8m.

4.3.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Voor deze kolommen gelden dezelfde oplossingsmogelijkheden als beschreven in paragraaf 4.4, zie figuur 8:

- Liggerwerking
- Horizontale trekbanden toepassen in de vloer en in prefab gevelelementen per laag
- Verticale trekbanden toepassen in gevelpenanten

4.3.4 Liggerwerking lateibalken niveau 5 tot dak

Voorwaarde voor de schematisatie als ligger op meerdere steunpunten is dat de onderwapening doorloopt tussen de kopgevel elementen. Dit is echter niet het geval bij de huidige detaillering van de kopgevel elementen omdat de prefab elementen naast elkaar worden geplaatst kan er geen doorlopende horizontale wapening worden toegepast.

Conclusie

Ten tijde van uitval van een middenkolom (hoofdpenant in de gevel die doorloopt naar fundering) is liggerwerking niet haalbaar vanwege de detailering van de prefab wandelementen.

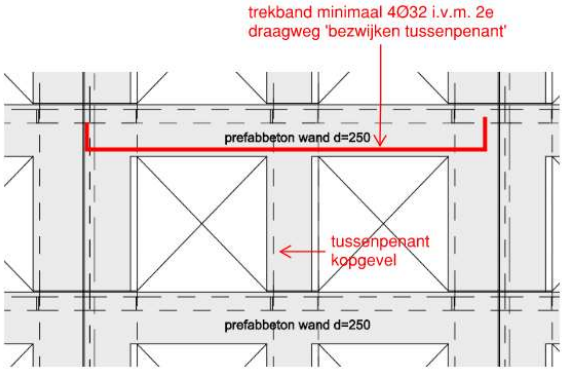
Ten tijde van uitval van een tussenpenant in de kopgevels kan de bovenliggende latei wel als trekband fungeren. Ter indicatie is de volgende wapening nodig in de gevelbalken.

Ter indicatie bedraagt de benodigde trekband in de wand:

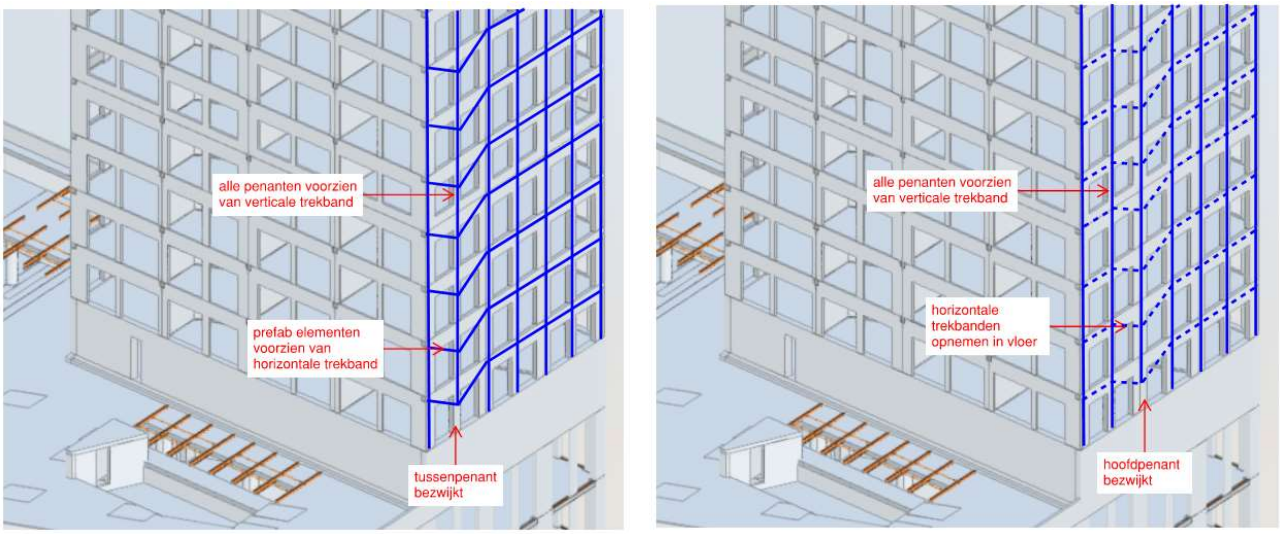
F = 30 m2 * 10,1 kN/m2 + 7,8 * 3,6 * 8,5 = 542 kN

M = 0,25 * 542 * 7 = 950 kNm

A_ben = $950^{E}6$/0,9*900*435 = 2696 mm2 (minimaal 4Ø32 toepassen)



Figuur 7: Liggerwerking prefab gevelelement

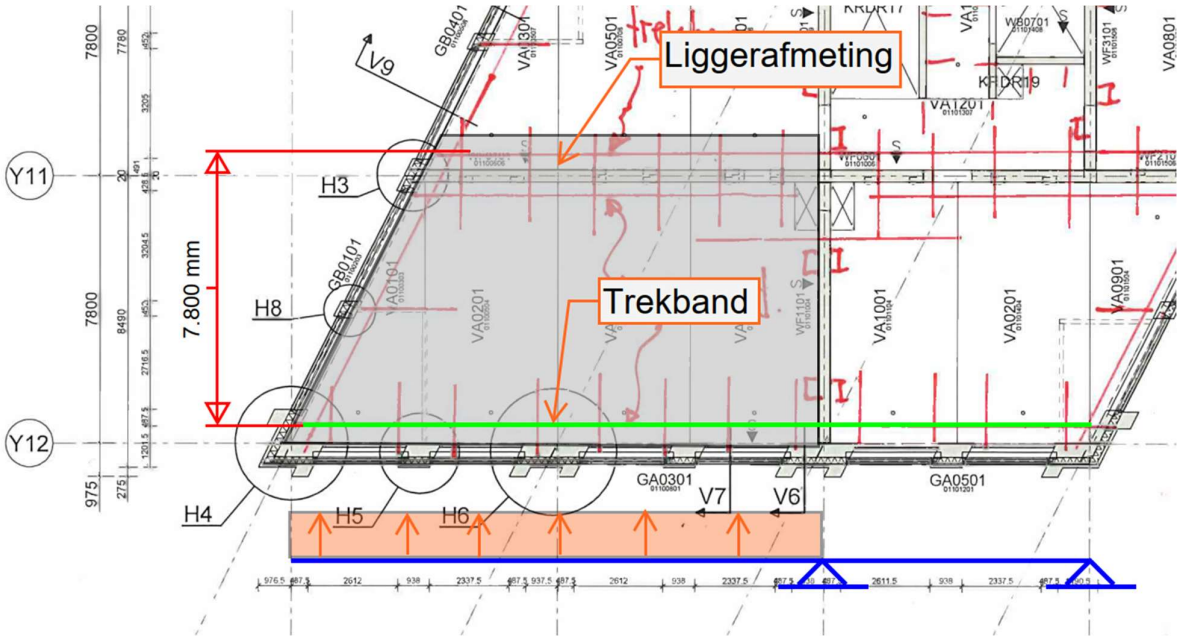


Figuur 8: Wegvallen gevelkolom 5e verdieping en hoger

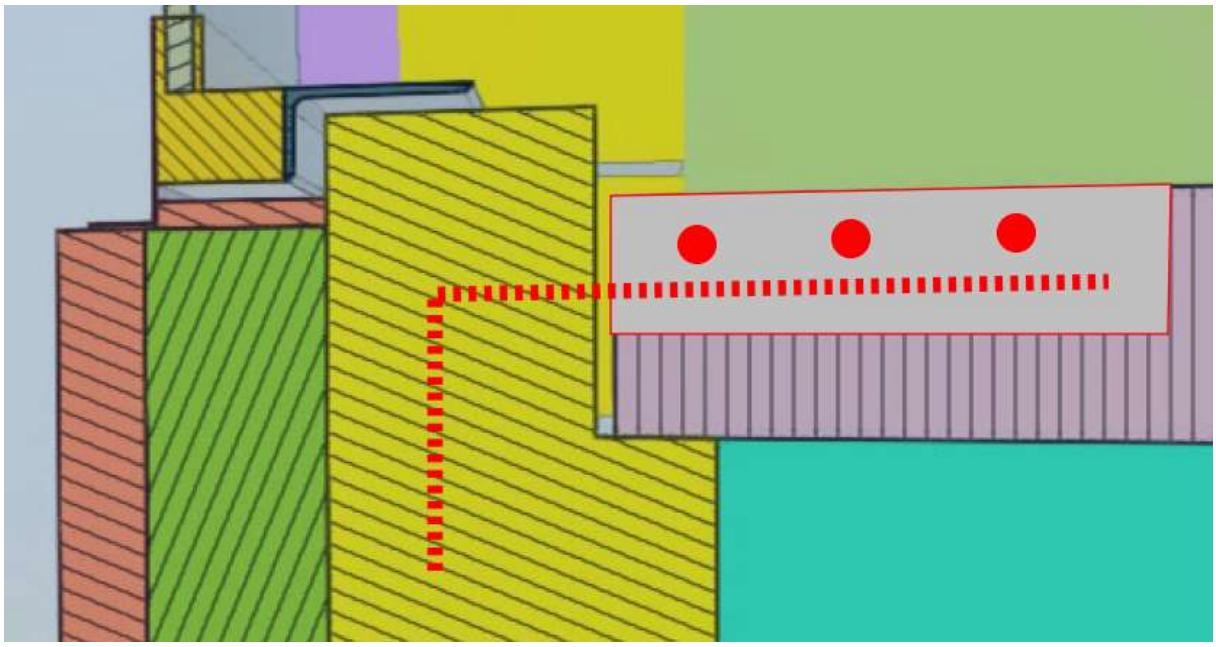
4.3.5 Trekbandwerking in vloeren

Indien de kolom bezwijkt wordt de trekband die normaal gesproken dient voor het stabiliteitssysteem van de vloer gebruikt als tweede draagweg. De hiervoor te rekenen belasting is de belasting op de vloer en de verticale belasting uit het gevelelement. Er wordt vanuit gegaan dat elke verdieping evenredig veel belasting afdraagt.

Bij het berekenen van de benodigde trekbanden voor een tweede draagweg is de zakking van de trekbanden van grote invloed op de grootte van de krachten. Zowel in de EC als in de NTA is niet aangegeven wat deze zakking is of hoe deze bepaald dient te worden. In het artikel “Voortschrijdende instorting” van ir. Menno van Dijk (Cementonline 2012) is aangeven dat in de EC als zakking ongeveer 10 % van de overspanning van de trekband aanbevolen (dwz. de twee vloervelden aan weerzijden van de wegvallende kolom) is aangehouden als uitgangspunt).



Figuur 9: Schema voor trekbandwerking in stabiliteitssysteem



Figuur 10: Aansluiting aan de wand (tpv latei)

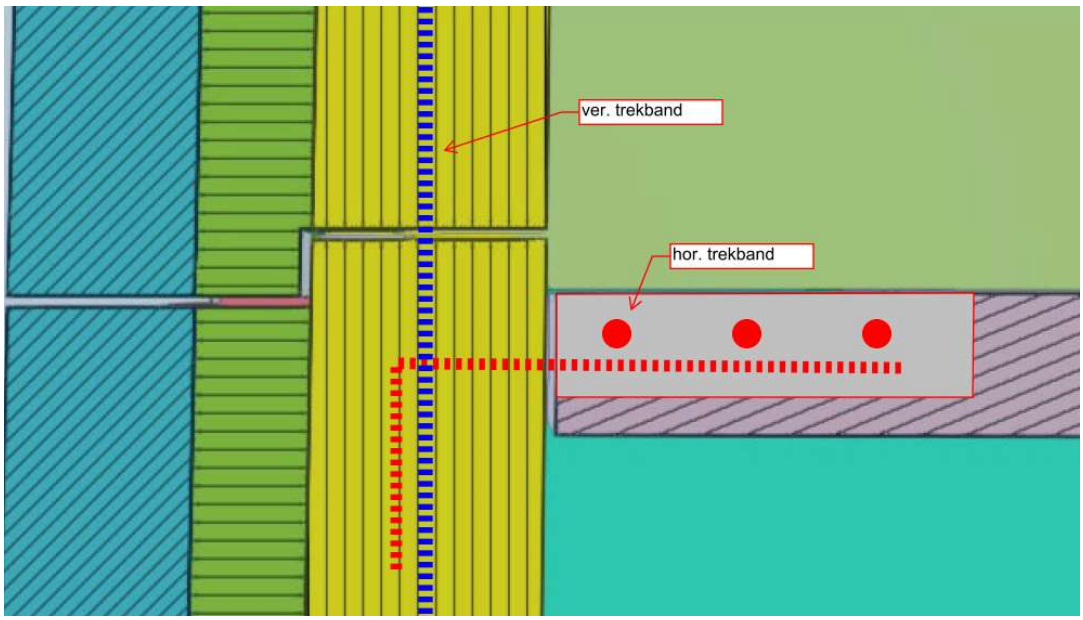
Conclusie

- Er wordt uitgegaan van het ontstaan van plastische scharnieren (zeilwerking)
- Wapening wordt gedimensioneerd op een zakking van ca. 10% van de overspanning

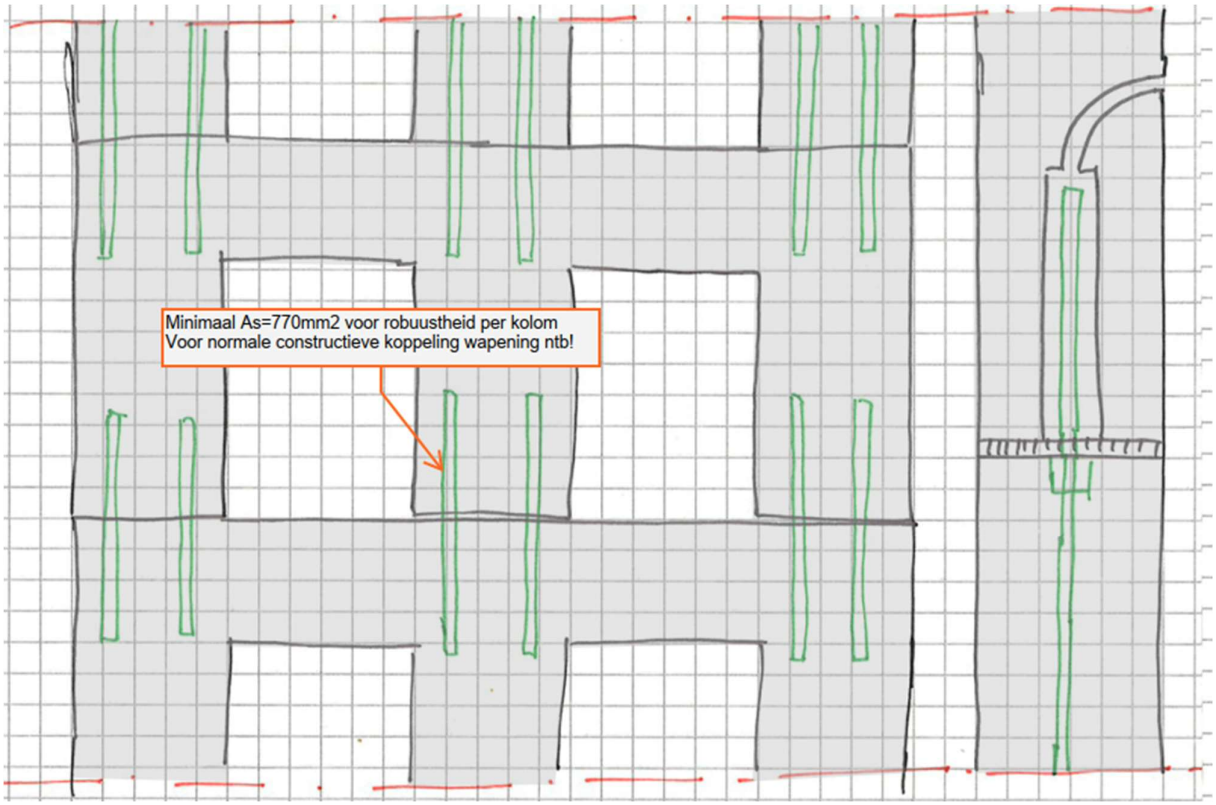
4.3.6 Kolommen

De normaalkracht verplaatst naar de naastgelegen kolommen via verticale trekbandwapening en de horizontale trekbandwapening in de lateien of de vloeren. De herverdeelde belasting in de bijzondere belastingscombinatie is lager de dan de kolombelasting in de UGT situatie.

Tevens blijft de herverdeelde belasting naar de naastgelegen kolommen in de bijzondere belastingscombinatie lager dan de UGT waarde van de normaalkracht in die kolommen.



Figuur 11: Aansluiting aan wand (tpv de kolom)



Figuur 12: Aanzicht en doorsnede van de koppeling tbv verticale koppeling

Conclusie

De middenkolommen in de kopgevel kunnen als verticale trekband functioneren. Voor een betere samenhang tussen de gevelelementen is het toepassen van verticale deuvels aan te raden zodat dwarskracht overdracht mogelijk wordt.

4.4 Hoekkolom 5e verdieping en hoger

4.4.1 Risicomatrix elementen

- Kolom_N23_n5
- Kolom_N26_n5

4.4.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

De kopgevelelementen zijn doorgestapelde dragende elementen waarvan het in principe mogelijk is dat een enkele van de meerdere kolommen in het element uitvalt. Het naastgelegen langsgevelelement is verticaal gekoppeld langs de rand van de kolom van de langsgevels. Er wordt bij deze analyse vanuit gegaan dat ook dat deel uitvalt, zodat er in de hoek van het gebouw in het geheel geen kolom meer staat. Hierdoor worden de bovengelegen vloeren niet meer gedragen en zullen deze op alle bovengelegen verdiepingen plaatselijk bezwijken.

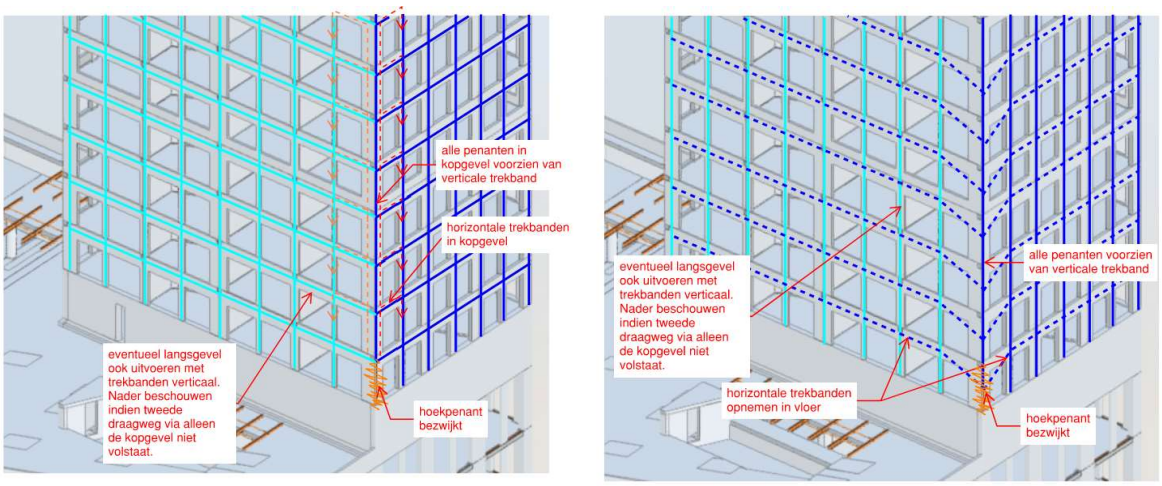
4.4.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Vanaf de 6e verdieping kan voor de kolommen geen voordeel gehaald worden uit de ringstructuur op de 5e verdieping. Het risico op bezwijken is op deze positie echter kleiner dan op de begane grond, omdat de kolom minder goed bereikbaar is vanaf de buitenzijde van het gebouw.

Deze strategieën worden aangehouden:

- Door de middenkolommen in de kopgevelelementen de dragende functie van de hoekkolom in de kopgevel over te laten nemen is een tweede draagweg mogelijk (zie Figuur 13 links). Hiervoor worden de balken op alle verdiepingen geactiveerd. In de verdere uitwerking wordt getracht alleen de belasting uit het hoekpenant via de kopgevel op te nemen en niet via de langsgevels.

- Tweede draagweg middels zeilwerking van de vloeren. In de vloeren wordt een horizontale trekband, opgenomen. Er treden grotere vervormingen op maar de gevel wel blijft hangen. Verticale trekbanden zijn ook noodzakelijk om de belasting te verdelen over de vloeren.



Figuur 13: 1) 2e draagweg als liggerwerking in balken (li) en werking als trekband in vloeren (re)

4.4.4 Vloeren

De vloeren worden voorzien van doorlopende trekbanden. Hierbij gelden dezelfde voorwaarden als bij paragraaf 4.3.5. De balken in de gevel voorzien van doorlopende trekbandwapening.

4.4.5 Kolommen

De kolommen voorzien van doorlopende trekbandwapening. De normaalkracht wordt opgenomen door de naastgelegen kolommen.

- De belasting uit kolom N23 en N26 wordt opgenomen door de naastgelegen tussenpenanten. Zie ook figuur 13. Hetzelfde geldt voor de andere hoekkolommen op as J.

4.4.6 Conclusie

Het is mogelijk om een 2^{e} draagweg te creëren bij het wegvallen van de hoekkolommen op as J en N, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarden. Door zowel de 1^{e} als 2^{e} strategie uit te werken wordt een extra robuustheid aan de constructie meegegeven.

- De gevelbalken in de kopgevels kunnen per verdieping de belasting uit de hoekkolom overdragen naar het naastgelegen penant
- De trekbanden in de vloeren kunnen per de verdieping de belasting uit de hoekkolom overdragen naar het naastgelegen penant
- De kolommen voorzien van verticale trekbandwapening
- De naastgelegen penanten kunnen de extra belasting uit de hoekkolom in de bijzondere belastingscombinatie opnemen. Uit handberekeningen blijkt dat de extra belasting in de bijzondere belastingscombinatie de UGT belasting in de kolom niet overschrijdt.

Als alternatief in de nadere detailuitwerking van de robuustheid kunnen de langsgevels ook van trekbanden worden voorzien. Dit kan door de penanten van voldoende wapening te voorzien en de gains na gereedkomen van het casco aan te gieten. Op die manier zijn alle langsgevelelementen in principe zelfdragend van letteras naar letteras. Echter in geval van een calamiteit kunnen er wel krachten opgehangen worden en overgedragen worden naar de naastgelegen kolommen.

4.5 Overgangsconstructie (ring) niveau 5

4.5.1 Risicomatrix elementen

- Ring_as_N
- Ring_as_W

4.5.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Het falen van de ringstructuur zou catastrofale gevolgen hebben, omdat dit de overdrachtsconstructie is voor de bovenliggende belasting, welke van meerdere kolommen naar minder kolommen gaat om de plattegrond vrijer in te kunnen delen. Daarbij zorgt de ringconstructie ook voor hoofdstabiliteit in het gebouw, door de stabiliteitskrachten ter plaatse van de gevel te spreiden over de onderliggende kolommen.

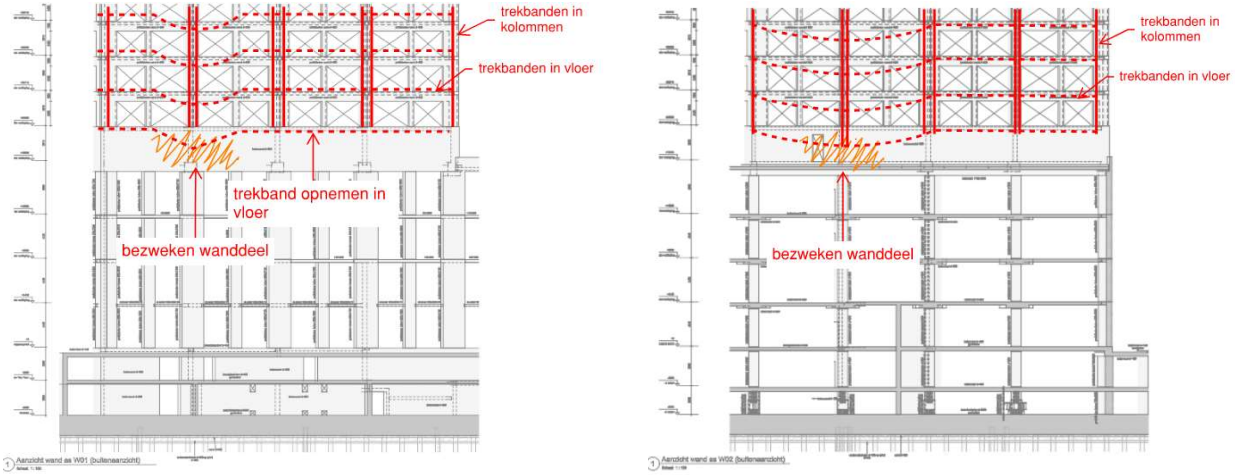
De ring is echter zeer robuust gedimensioneerd en wordt insitu gestort. Daarmee is het geheel bezwijken van de volledige ring op niveau 5 zeer onwaarschijnlijk. Logischer is om naar het bezwijkrisico van een deel van de ring te kijken, bijvoorbeeld tussen de assen (een lengte van 7,8m) of een deel boven een kolom. Er zijn een aantal scenario's beschouwd.

- Bezwijken ring t.p.v. langsgevel – t.p.v. een hoofdkolom
- Bezwijken ring t.p.v. langsgevel – t.p.v. een hoofdkolom
- Bezwijken ring t.p.v. kopgevel – tussen de hoofdkolommen
- Bezwijken ring t.p.v. kopgevel – t.p.v. een hoofdkolom
- Bezwijken hoekpunt ring as J28
- Bezwijken hoekpunt ring as N26
- Bezwijken hoekpunt ring as N23
- Bezwijken hoekpunt ring as J26

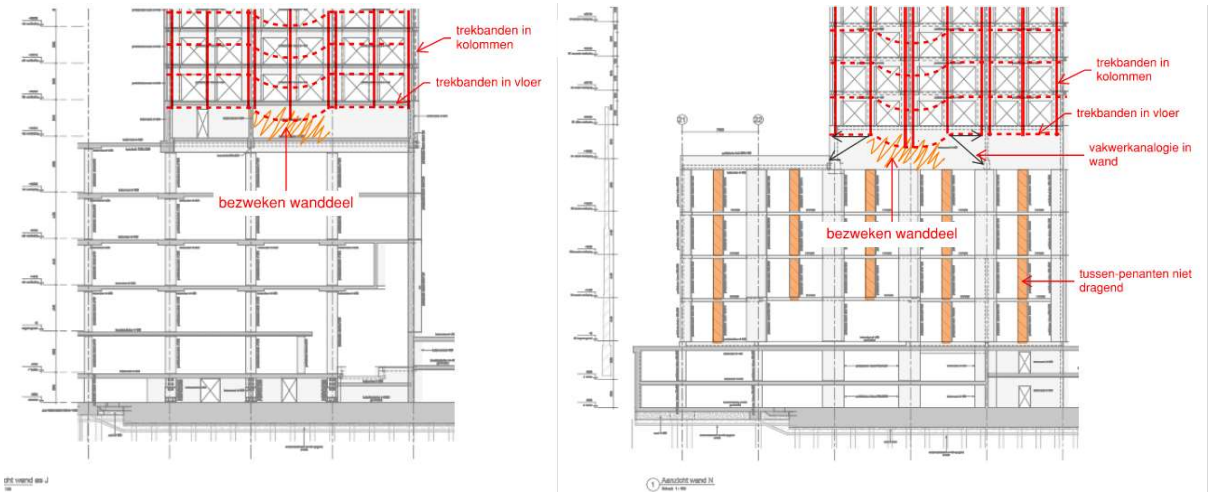
4.5.3 Ontwerpstrategie om deze scenario's te voorkomen

Er zijn twee scenario's mogelijk. Omdat beide scenario's kunnen voorkomen, wordt op beide scenario's ontworpen. Zie figuur 14.

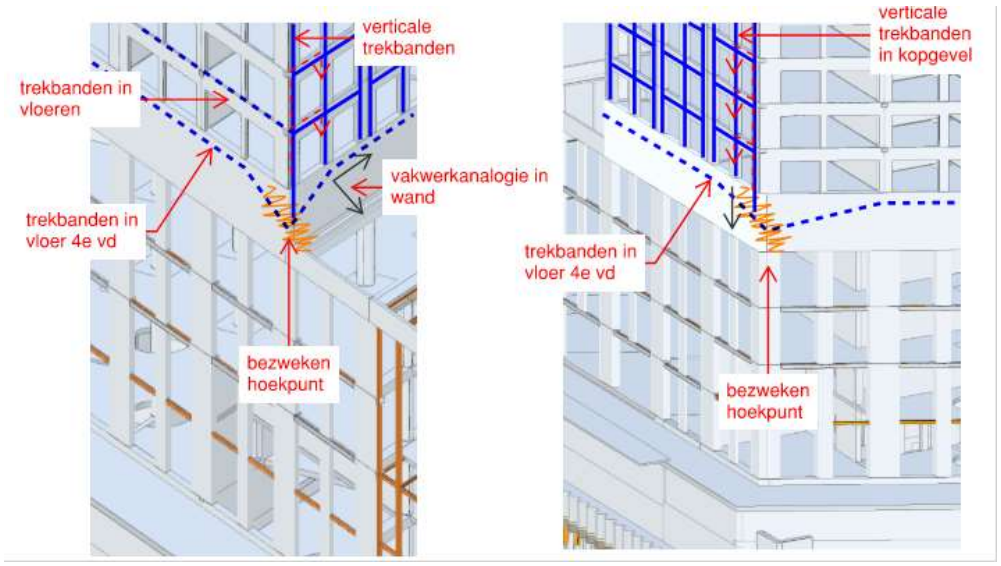
1. Per verdieping de belasting overbrengen naar de naastgelegen kolommen via liggerwerking. Met behulp van doorlopende trekbandwapening in alle vloeren de belasting afdragen via zeilwerking. Dit geeft waarschijnlijk meer schade. Liggerwerking is vanwege de deling van de prefab elementen in de langsgevels niet mogelijk.
2. De vakwerkanalogie van de ring voor de verschillende scenario's beschouwen.



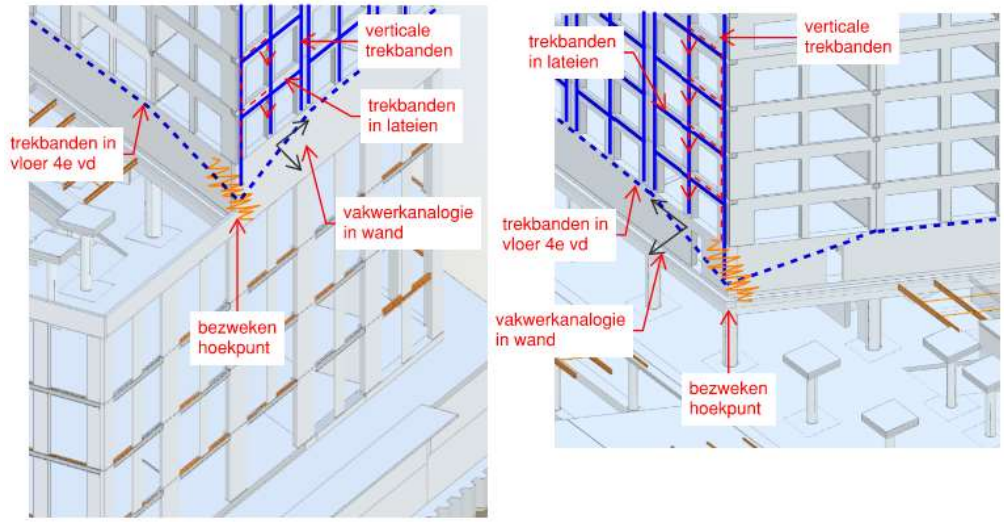
Figuur 14: Ontwerpstrategieën langsgevels W01 en W02



Figuur 15: Ontwerpstrategieën kopgevels as J en N



Figuur 16: Ontwerpstrategieën hoekpunten as J28 (li) en N26 (re)



Figuur 17: Ontwerpstrategieën hoekpunten as N23 (li) en J26 (re)

4.5.4 Gevolgen gevelelementen

De kopgevelelementen worden voorzien van doorlopende trekbanden. Hierbij gelden dezelfde voorwaarden als bij paragraaf 4.3.5.

4.5.5 Gevolgen vloeren

De vloeren worden voorzien van doorlopende trekbanden. Hierbij gelden dezelfde voorwaarden als bij paragraaf 4.3.5.

4.5.6 Gevolgen kolommen

De normaalkracht verplaatst naar de naastgelegen kolommen. De kolommen worden voorzien van doorlopende trekbanden. Hierbij gelden dezelfde voorwaarden als bij paragraaf 4.3.6.

4.5.7 Conclusie

Het is mogelijk om een 2e draagweg te creëren bij het wegvallen van de wandligger (ring) niveau 5 op as W01, W02, J en N, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarde:

- Horizontale en verticale trekbanden toepassen in alle bovenliggende vloeren en kolommen t.p.v. de kopgevel. Het e.e.a. conform hoofdstuk 4.3 en 4.4.
- De vakwerkanalogie in de wandligger wordt beschouwd op basis van de scenario's zoals beschreven in hoofdstuk 4.5.3.
- Om de ring extra robuust te ontwerpen wordt deze tevens aangemerkt als sleutelelement.

4.6 Kern-, en stabiliteitswanden

4.6.1 Risicomatrix elementen

- Kernwand_n20
- Kernwand_n5
- Stab.wand
- Kelderwand

4.6.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

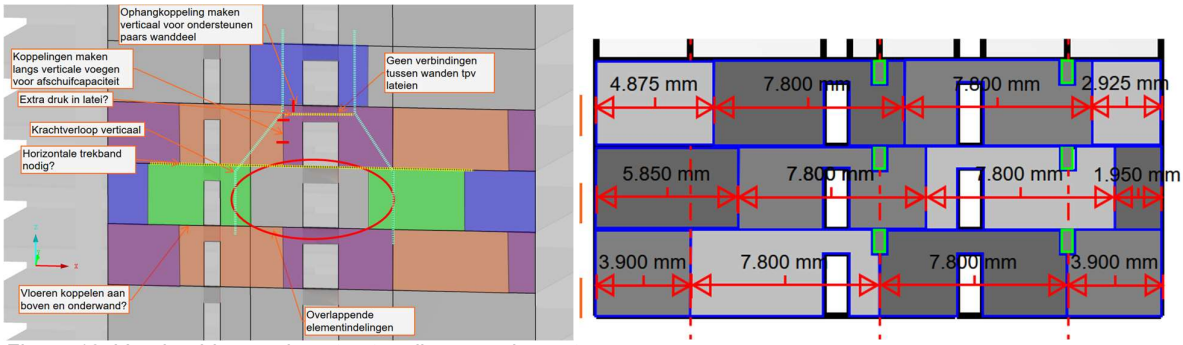
De eenvoudigste detailleringswijze voor de wanden is om deze op te knippen op de as snijpunten. Hierdoor ontstaat een verticale doorstapeling van elementen welke makkelijker en goedkoper te produceren zijn. Daarnaast is hiervoor het minste aantal hijsbewegingen nodig. Het grote nadeel is echter dat als een enkele wand bezwijkt, de bovengelegen wanden ook allemaal bezwijken. Omdat er per wand twee vloervelden worden gedragen, zijn de gevolgen van een dergelijke instorting catastrofaal.

4.6.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

De kans op bezwijken is klein voor een volledig wanddeel. Desondanks kan de schade groot zijn indien voortschrijdend instorten optreedt. Hierom kan gekozen worden voor:

1. Elementindelingen zo kiezen dat ze in verband zijn gestapeld. Dit is echter een kostbare oplossing (zie Figuur 18)
2. Afschuifkoppelingen of vertanding aan de verticale zijden maken. Hierdoor ontstaat afschuifcapaciteit langs de wand als de oplegging wegvalt.

Omdat er haaks op elkaar staande wanden zijn is de gekozen oplossing een combinatie van beiden, waarbij de wanden op assen 25 en 26 vertand aansluiten op de wanden op assen K, L en M.
Bij bezwijken van een wand moeten de vloeren onder zeilwerking kunnen blijven hangen. Hiervoor zijn trekbanden in de vloer opgenomen.
Bij uitvallen van een wand moet ook het bovengelegen wanddeel blijven hangen. Hiervoor zijn trekbanden noodzakelijk in combinatie met drukdiagonalen in de wand zelf.



Figuur 18: Voorbeeld van robuuste stapeling van elementen

4.6.4 Randvoorwaarden

De elementindelingen moeten zo groot mogelijk zijn om het aantal elementen per verdieping te minimaliseren. Hierdoor zijn de minste hijsbewegingen nodig (kosten optimaal).

De verticale voegen tussen de elementen moeten zo ver mogelijk verwijderd zijn van de wandeinden (indien mogelijk) indien de krachten in de onderlinge koppelingen te groot worden. De afstand moet ook weer niet zo groot zijn dat er voortschrijdende instorting optreedt omdat de belasting uit de bovenliggende wanden niet meer afgedragen kan worden.

Trekbandwapening in de vloer is ook nodig voor het vormen van een 2e draagweg. Dit kan gecombineerd worden met de reguliere trekbandwapening voor stabiliteitsdoeleinden. De koppeling tussen de wanden en de vloeren moeten wel op deze afschuifbelasting berekend zijn.

Bij grote geprefabriceerde constructieonderdelen mag worden aangenomen dat de breedteafmeting van het fictief te verwijderen deel beperkt blijft tot 1,5 maal de verdiepingshoogte als wordt aangetoond dat de verbindingen, waarmee het geprefabriceerde constructieonderdeel aan de aangrenzende constructieonderdelen is verbonden, zodanig sterk zijn dat bij een belasting loodrecht op het vlak van het element het bezwijken van het element niet wordt bepaald door de verbindingen maar door de sterkte van het element zelf. In dit geval is 1,5 * H = 5,3m wat overeenkomt met de gemiddelde afmeting van een prefab wandelement.

4.6.5 Conclusie

Het is mogelijk om een 2e draagweg te creëren bij het wegvallen van een prefab wandelement mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarden:

- Elementen in verband stapelen; indien niet mogelijk worden de wanden gekoppeld middels vertanding dan wel verticale deuvels aanbrengen op de wandeindes.
- Trekbandwapening in zowel de wand als vloer aanbrengen.

4.7 Kopgevel 5e verdieping en hoger

4.7.1 Risicomatrix elementen

- Kopgevel_n20
- Kopgevel_n5

4.7.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Boven de 5e verdiepingsvloer zijn de gevelelementen zonder verband op elkaar gestapeld vanaf de ringstructuur. Hierdoor is de grootste overspanning tijdens normale gebruik situatie 3,9m. Bij bezwijken van een gevelelement neemt de overspanning toe tot 7,8m, waarbij bovenliggende gevelelementen en de aansluitende vloer geen oplegging meer hebben. Op de hoek steunt hier tevens het aangrenzende langsgevelelement welke dus ook zal bezwijken samen met alle bovenliggende elementen.

4.7.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Hierbij geldt dezelfde strategie als in hoofdstuk 4.5.3

4.7.4 Conclusie

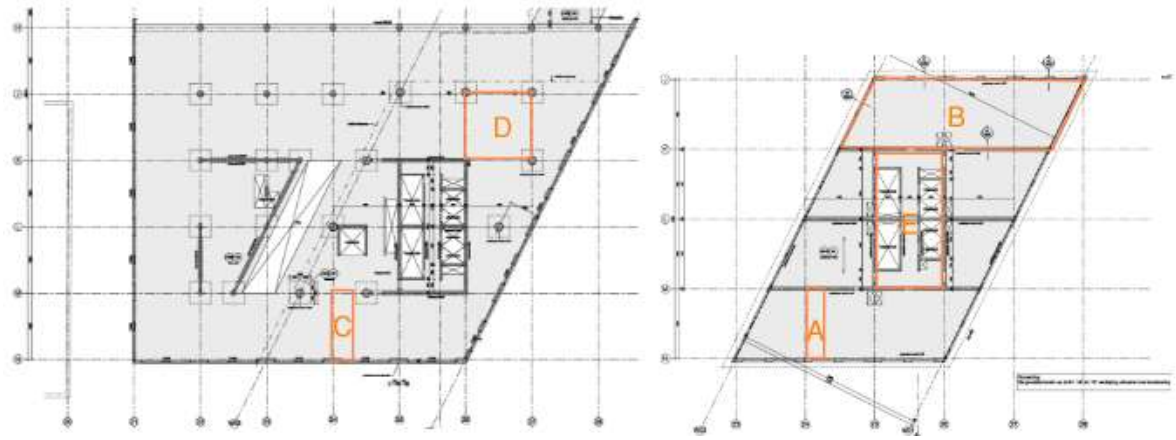
Het is mogelijk om een 2e draagweg te creëren bij het wegvallen van een gevelelement op as J en N, mits wordt voldaan aan de volgende voorwaarde:

- Horizontale en verticale trekbanden toepassen in alle bovenliggende vloeren en kolommen t.p.v. de kopgevel. Het e.e.a. conform hoofdstuk 4.3 en 4.4.

4.8 Vloeren

4.8.1 Risicomatrix elementen

- Vloer_A
- Vloer_B
- Vloer_C
- Vloer_D
- Vloer_E



Figuur 19: Vloerelementen

4.8.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Bij het bezwijken van een vloer is het mogelijk dat de onderliggende vloeren belast worden door brokstukken. Indien de gehele vloer bezwijkt, zou een stapeling van bezweken vloeren kunnen ontstaan, waardoor de schade niet meer lokaal is.

4.8.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Het scenario splitst zich uiteen in twee mogelijkheden:

1. De vloer bezwijkt als gehele plaat (bijvoorbeeld op de koppelingen)
2. Brokstukken vallen van een deel van de vloerplaat en de rest blijft hangen

Indien vallende brokstukken te dragen zijn door de verdieping eronder, leidt het bezwijken van een vloerveld niet direct tot voortschrijdend instorten. Doordat de meeste vloeren in de toren tweezijdig zijn opgelegd, is het niet mogelijk om voordeel te halen uit steunpuntswapening naar de naastgelegen vloervelden. Wel kan een koppeling gemaakt worden met de wanden, waarbij eventueel boogwerking in de vloer mogelijk is. Hiermee wordt de aanpak als volgt:

- Koppel de vloeren aan de wanden zodat de gehele plaat niet zal bezwijken
- Maak trekbandwerking mogelijk met de gekozen wapening
- Koppel naast elkaar gelegen vloeren middels wapening in de vloer

Indien de grootste brokstukken blijven hangen aan de wapening, zal er ook niet gerekend hoeven worden met een volledige vloer als belasting op de onderliggende vloer. Daarmee hoeft de vloer ook niet onnodig overgedimensioneerd te worden.

4.8.4 Conclusie

Middels trekbanden in de vloer wordt voorkomen dat een vloerelement als geheel kan bezwijken.

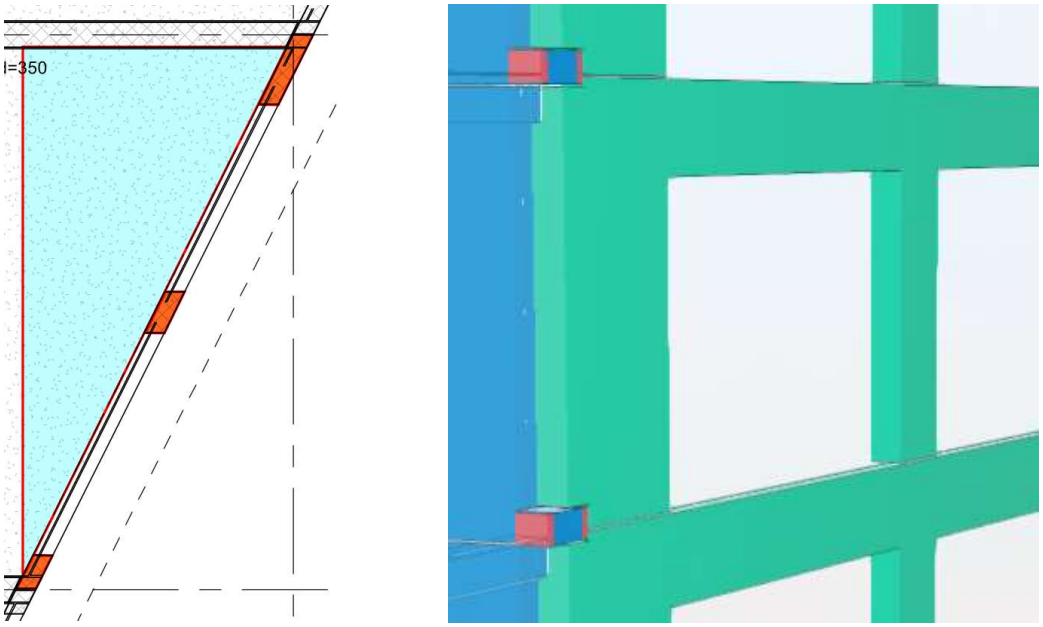
4.9 Langsgevel elementen

4.9.1 Risicomatrix elementen

- Langsgevel_n5

4.9.2 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Het bezwijken van een langsgevel zal niet leiden tot voortschrijdende instorting, omdat deze elementen alleen zichzelf dragen en een klein gedeelte van de vloer vanwege de schuine aansluiting op de overspanningsrichting. Wel kunnen vallende brokstukken tot letsel leiden.



Figuur 20: Fragment langsgevel

4.9.3 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

De elementen worden met een nok aan de beide uiteindes op de wanden van as J t/m N opgelegd. Daarnaast worden de elementen horizontaal verbonden met de vloer om de windbelasting over te kunnen brengen. Door de langsgevelelementen voldoende te koppelen langs de aansluitende randen kunnen zodoende vallende brokstukken voorkomen worden.

4.9.4 Conclusie

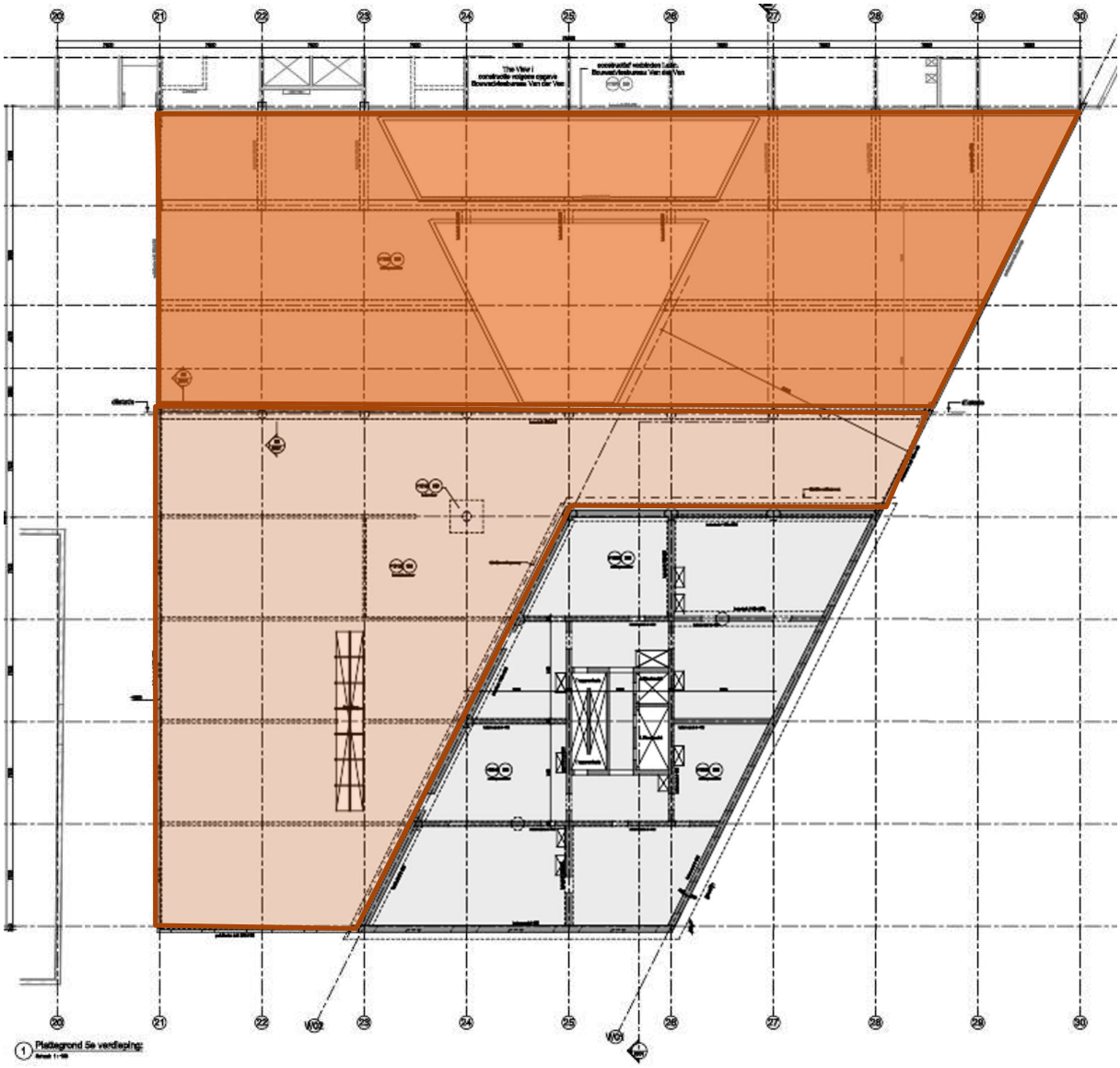
Omdat het (gedeeltelijk) bezwijken van een langsgevelelement niet direct tot voortschrijdende instorting leidt, is het creëren van een 2e draagweg niet noodzakelijk. Wel dient het element rondom gekoppeld te worden om windbelasting af te kunnen dragen, maar wordt het risico op vallende brokstukken verlaagd.

Indien uit de nadere detailuitwerking van de robuustheidsanalyse blijkt dat er toch krachten opgehangen moeten kunnen worden via de penanten. Dan kunnen de gains na gereedkomen van het casco worden aangegoten. Zo kunnen de penanten t.b.v. een twee draagweg een trekkracht overdragen. Mits de stekwapening en de wapening in de penanten daarop wordt berekend.

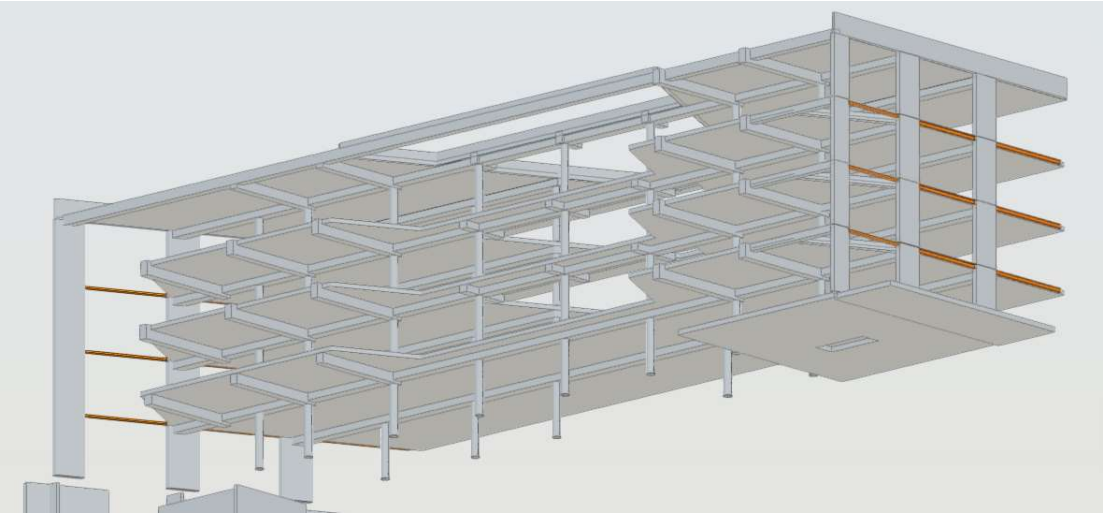
4.10 Kolommen laagbouw

De hoofddraagconstructie van de laagbouw bestaat uit een breedtplaat vloer met kolommen op ieder kruispunt van het stramienplan. In de laagbouw komen 1 type kolom voor:

1. Standaard rechthoekige en/of ronde kolommen vanuit de kelder. Zie onderstaande afbeelding tussen as H en N.



Figuur 21: Tussenbouw tussen as E en H en laagbouw tussen H en N



Figuur 22: Doorsnede met standaard kolommen en 'parasolkolommen'

4.10.1 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Voor de analyse bij lokaal bezwijken van de standaard kolommen geldt dat de vloervelden binnen het grid welke afdragen naar de betreffende kolom meegetrokken zullen worden bij bezwijken.

4.10.2 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Standaard kolom: In de balken zal zeilwerking optreden. De balkwapening dient hierop te worden gecontroleerd.

4.10.3 Conclusie

Middels het toepassen van zeilwerking in de balken tussen as H en N kan er een 2^{e} draagweg gecreëerd worden.

4.11 Dak laagbouw (5e verdieping)

Het dak van de laagbouw wordt voor een groot deel omsloten door hoogbouw van zowel The View I als II. Mochten er door lokaal bezwijken in deze hoogbouw brokstukken naar beneden vallen dan kunnen deze op het dak van de laagbouw vallen.



Figuur 23: Dakvloer niveau 5

4.11.1 Analyse van te verwachten schade zonder maatregelen

Afhankelijk van het soort materiaal, afmeting en valhoogte waar het brokstuk van afkomstig is zal het een bepaalde impact hebben op de dakvloer die daarmee lokaal zodanig beschadigd kan raken dat het bezwijkt. Hierbij dient onderscheid te worden gemaakt tussen brokstukken die vallen op:

1. Lichtstraat: Er zijn grote glazen lichtstraten in het dak met stalen gordingen als ondersteuning. Tussen de lichtstraten is een betondak aanwezig.
2. Daktuin: Het gehele dak wordt ingericht als groendak waarbij naast een isolatielaag ook een mossedumlaag of een klein grondpakket aanwezig is op de betonnen dakvloer.

Bij het bezwijken van de dakvloer is het mogelijk dat de onderliggende vloeren belast worden door brokstukken. Indien een heel vloerveld bezwijkt, zou een stapeling van bezweken vloeren kunnen ontstaan, waardoor de schade niet meer lokaal is.

4.11.2 Ontwerpstrategie om dit scenario te voorkomen

Het dak wordt al enigszins overgedimensioneerd, omdat er rekening wordt gehouden met sneeuwophoping of een grote mensenmassa vanwege de functie als daktuin. Daarnaast wordt de dakvloer als monoliete betonvloer ontworpen en kan er dus overal gebruik worden gemaakt van zeilwerking in de vloer op het moment van lokaal bezwijken. De wapening van de vloer zal hierop gedimensioneerd moeten worden.

Indien de grootste brokstukken blijven hangen aan de wapening, zal er ook niet gerekend hoeven worden met een volledige vloer als belasting op de onderliggende vloer. Daarmee hoeft de vloer ook niet onnodig overgedimensioneerd te worden.

Voor de lichtstraten is dit niet mogelijk. Hierbij zou de staalconstructie overgedimensioneerd kunnen worden op een theoretische grenswaarde behorende bij een bepaalde impact van een vallend object.

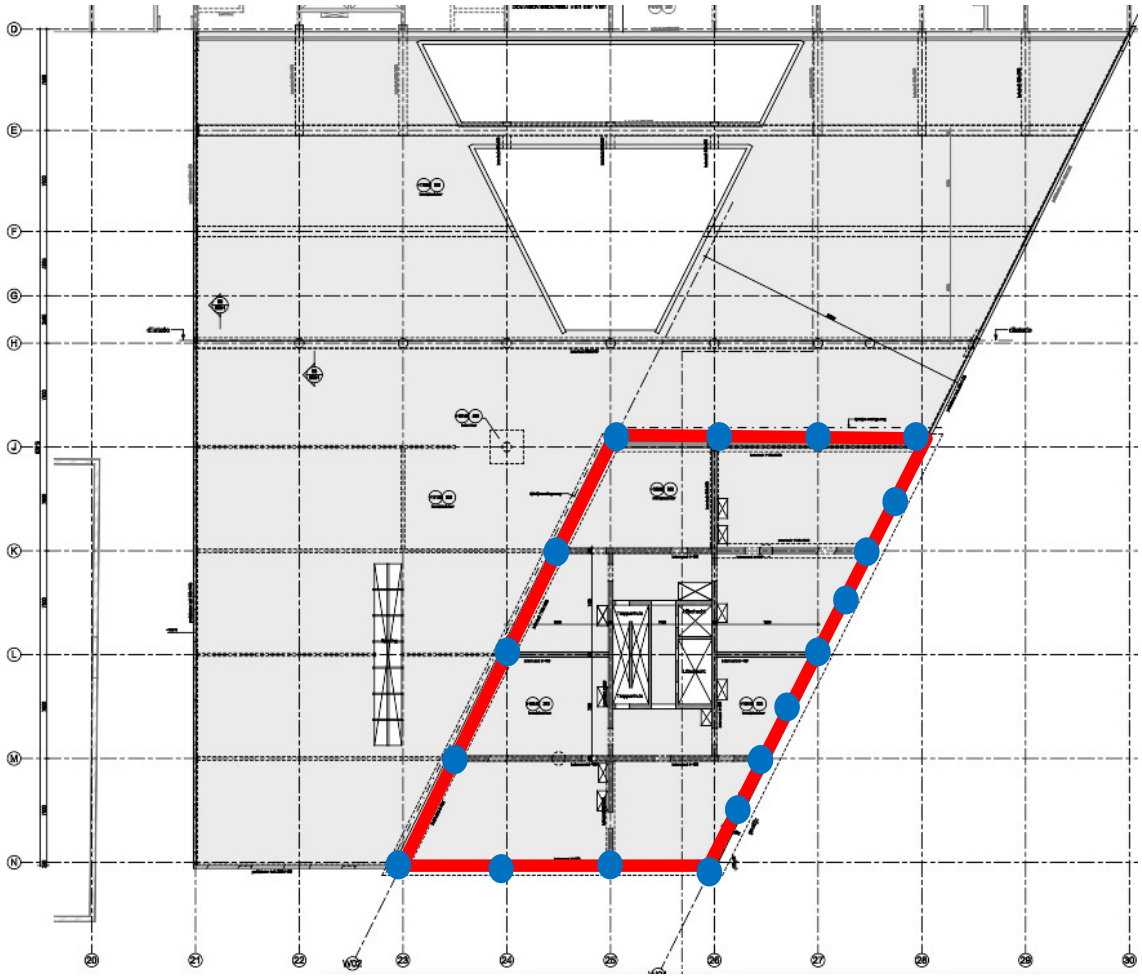
4.11.3 Conclusie

Middels het toepassen van zeilwerking in de betonnen vloervelden kan er een 2e draagweg gecreëerd worden.

4.12 Sleutelelementen

In voorgaande hoofdstukken is uit de analyse gebleken dat het gebouw in principe voldoende robuustheid bezit om overal een 2e draagweg te kunnen creëren. Desondanks wordt aan de kolommen onder de hoogbouw (hoofdstuk 4.1 en 4.2) en de wandligger (hoofdstuk 4.5) op de 5e verdieping een dermate hoog belang toegekend dat het raadzaam is om deze elementen als sleutelelement te classificeren. Het betreft de volgende elementen (zie Figuur 24):

- De kolommen op as W01 en W02 onder de hoogbouw (blauw)
- De kolommen op as J en N onder de hoogbouw (blauw)
- De wandligger op de 5e verdieping in de gevel (rood)



Figuur 24: Overzicht sleutelelementen

Bijzondere belastingen door een onbekende oorzaak worden niet gecombineerd met de belasting voor een sleutelelement. Ontworpen wordt op de maatgevende belasting. In de detailberekeningen moet met dit belastinggeval rekening gehouden worden.

Ook in de uitvoeringsfase dient er voldoende aandacht uit te gaan naar deze elementen. Hier kunnen aanvullende controlemomenten in de fabriek en op de bouwplaats voor worden uitgevoerd. Dit is beschreven in het rapport Toetsprotocol Constructieve Veiligheid.

COLOFON

THE VIEW II
ROBUUSTHEIDSANALYSE

KLANT
The View of Rotterdam

AUTEUR
[redacted]

PROJECTNUMMER
E01031.000177.0470

ONZE REFERENTIE
BIM360Docs

DATUM
15 december 2022

STATUS
Definitief

GECONTROLEERD DOOR

[redacted]
Constructie Adviseur

VRIJGEGEVEN DOOR

[redacted]
projectmanager

Arcadis Nederland B.V.
Postbus 4205
3006 AE Rotterdam
Nederland
+31 (0)88 4261 261

www.arcadis.com