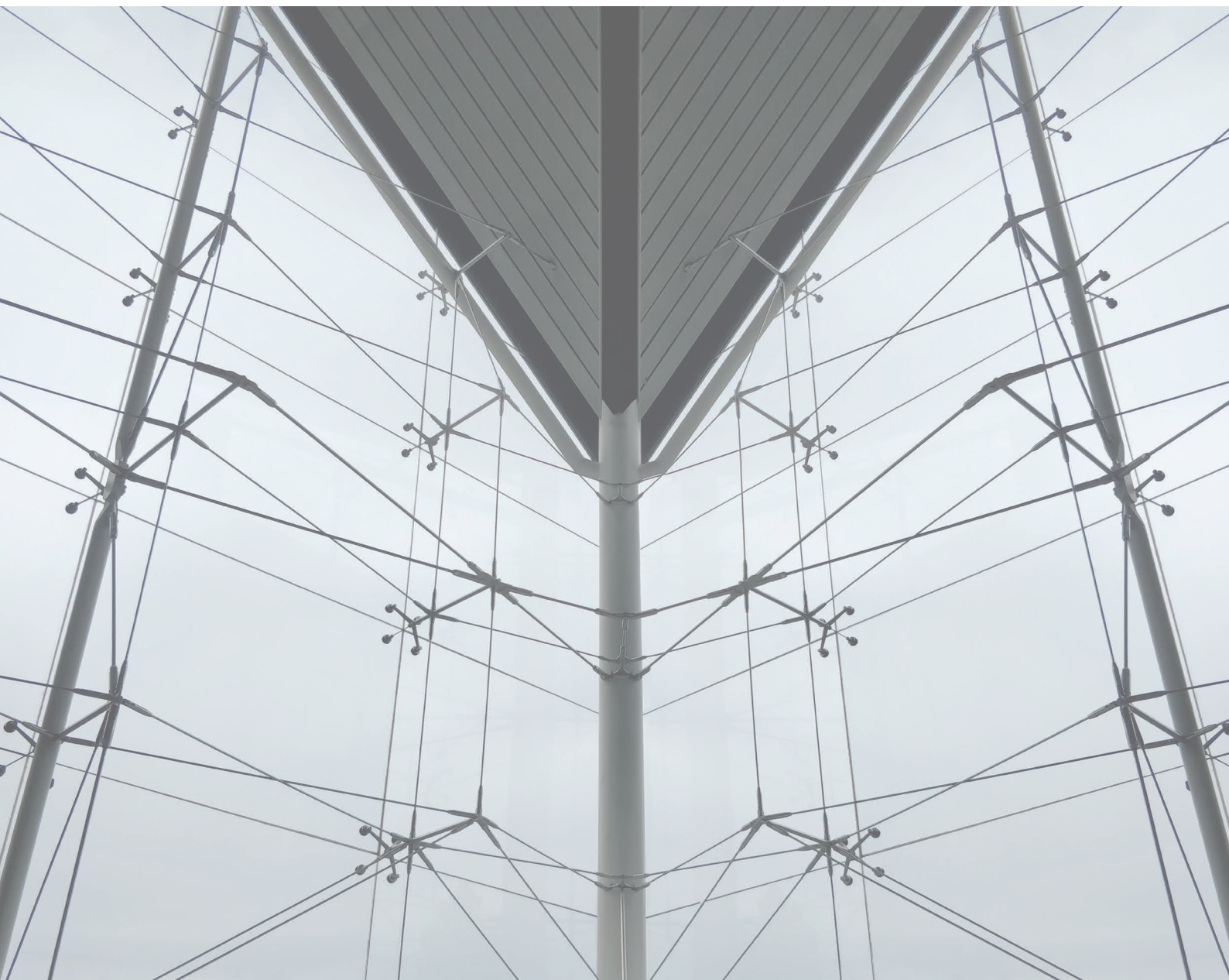




**ADVIESBUREAU  
TIELEMANS**

BOUWCONSTRUCTIES B.V.



## **RISE te Rotterdam**

MM20029  
26-08-2022

Robuustheid Coolsingeltoren en Coolsingelblok  
Document\_DO-C002\_



**Document** MM20029\_Document DO\_C002  
**Project** RISE te Rotterdam

**Robuustheid**

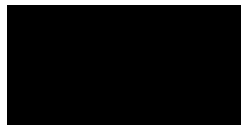
**Opdrachtgever** Hofplein Ontwikkel BV

**Datum** 26-08-2022

**Revisie** A | 15-09-2023

**Projectverantwoordelijke**

**Opgesteld door**



## Inhoudsopgave:

<b>1</b>	<b>Algemeen .....</b>	<b>5</b>
1.1	Inleiding .....	5
1.2	Gebouwbeschrijving .....	5
<b>2</b>	<b>Algemene uitgangspunten .....</b>	<b>5</b>
2.1	Van toepassing zijnde voorschriften: .....	5
2.2	Veiligheidsklasse en referentieperiode: .....	6
2.2.1	Tabel NB.7 – A1.3 — Rekenwaarden van buitengewone belastingen .....	6
2.3	Materialen.....	6
<b>3</b>	<b>Belastingen .....</b>	<b>6</b>
<b>4</b>	<b>Strategie voor het maken van een robuust ontwerp. ....</b>	<b>6</b>
4.1	Kolommen en penanten: .....	6
4.1.1	Mechanisch schema .....	6
4.1.2	Maatgevende kolommen en gevelpenanten .....	7
4.2	Wanden: .....	7
4.2.1	Definitie fictief te verwijderen wanddeel: .....	7
4.2.2	Voorzieningen om voortschrijden instorting te voorkomen: .....	8
4.2.3	Trekbanden in wanden: .....	8
4.2.4	Trekbanden en schijfwerking in vloeren .....	9
4.2.5	Aanvullende buigtrekwapening in vloeren: .....	10
4.2.6	Maatgevende wanddelen: .....	14
4.3	Wandspanning en aanvullende wapening: .....	15
<b>5</b>	<b>Eindige elementen analyses: .....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Wandaanzichten te verwijderen kolommen penanten en wanddelen: .....</b>	<b>15</b>

**Documentversies**

Revisie 0 (26-08-2022)

Eerste uitgave

Revisie A (15-09-2023)

Revisie, Coolsingelblok boven verdiepingsvloer 2 uitgevoerd in hout-constructie

## **1 Algemeen**

### **1.1 Inleiding**

Dit rapport beschrijft de maatregelen die er voor zorgen dat het risico op bezwijken ten gevolge van een niet-gedefinieerde oorzaak zo klein mogelijk te houden. Om de kans op en de effecten van het bezwijken van een constructie-onderdeel door een niet-gedefinieerde oorzaak, zoals beschreven in 3.3 van NEN-EN 1991-1-7, zo klein mogelijk te houden, moeten diverse maatregelen worden uitgevoerd. De constructieve maatregelen die getroffen kunnen worden zijn:

- a) in de constructie moet een tweede draagweg worden ontworpen opdat het bezwijken van één constructie-onderdeel niet leidt tot het bezwijken van een constructie-onderdeel dat zich niet in de directe nabijheid van het bezwijken constructie-onderdeel bevindt;
- b) onderdelen van de hoofddraagconstructie waarvan het bezwijken leidt tot het bezwijken van een constructie-onderdeel dat zich niet in de directe nabijheid van het bezwijken constructie-onderdeel bevindt, moeten zijn ontworpen als sleutelement.

In dit document wordt de strategie beschreven, op voorspraak van de constructeurs van de Gemeente Rotterdam die in vooroverleg aangegeven hebben nog nooit een sluitende risico-analyse met Key-elements gezien te hebben, om zonder gebruik te maken van key-elements voldoende robuust te ontwerpen.

Dit rapport behandelt ten eerste door middel van een beschrijving van hoe robuustheid door aanvullende schijf- en membraamwerking in de vloeren, naast de nodige spanningscontroles in de wanden en kolommen onder deze belastingsituatie van niet-gedefinieerde oorzaak. Vervolgens worden voor iedere wand en kolom aangegeven op welke posities constructie-onderdelen worden weggenomen, waarbij er vanuit gegaan wordt dat alle overige onderdelen hun functie behouden. In deze situatie kan er gerekend worden met gereduceerde belasting- en materiaalfactoren en hoeft er niet voldaan te worden aan vervormingseisen.

### **1.2 Gebouwbeschrijving**

Hiervoor wordt verwezen naar document DO-C001 en DO-C003. Het Coolsingelblok wordt boven de 2-de verdiepingvloer uitgevoerd in houtconstructie. Robuustheid de houtconstructie is beschreven in DO-C003. Robuustheid van het in beton ontworpen deel is beschreven in dit document.

## **2 Algemene uitgangspunten**

### **2.1 Van toepassing zijnde voorschriften:**

Voor het bepalen en aangeven van de ontwerpstrategie voor het garanderen van voldoende robuust bouwwerk zijn de volgende de volgende normen aangehouden / van toepassing:

NEN-EN 1990:	Grondslagen van het constructief ontwerp
NEN-EN 1991:	Belastingen op constructies
NEN-EN 1992:	Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 1993:	Ontwerp en berekening van staalconstructies
NEN-EN 1994:	Ontwerp en berekening van staal-betonconstructies
NEN-EN 1995:	Ontwerp en berekening van houtconstructies
NEN-EN 1996:	Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
NEN-EN 1997	Geotechnisch ontwerp

Hiernaast wordt het volgende convenant gebruikt voor nemen van keuzen in “hoe bovenstaande normen geïnterpreteerd worden”:

NTA 4614-3: Convenant hoogbouw - Deel 3: Constructieve veiligheid,

Met in het bijzonder hoofdstuk 6, “nadere uitwerking van bijzondere ontwerpsituaties volgens NEN-EN-1-7.

## 2.2 Veiligheidsklasse en referentieperiode:

Voor hier van toepassing zijnde voorschriften wordt verwezen naar opgesomde documenten in ons document: DO-C001.

Hieraan toegevoegd worden op elke verdieping (incl. dakverdieping) de combinatie “

### 2.2.1 Tabel NB.7 – A1.3 — Rekenwaarden van buitengewone belastingen

Ontwerpsituaties	Blijvende belastingen		Overheersende buitengewone of aardbevings-belasting	Veranderlijke belastingen gelijktijdig met de overheersende	
	Ongunstig	Gunstig		Belangrijkste (indien aanwezig)	Andere
Buitengewoon (Vgl. 6.11a/b)	$1,00 \cdot G_{k,j,sup}^a$	$1,00 \cdot G_{k,j,inf}$	$1,00 \cdot A_d$	$\psi_{1,1} Q_{k,1}^a$	$\psi_{2,i} Q_{k,i} (i > 1)$
<sup>a</sup> Uitsluitend voor wind in combinatie met brand bij het beoordelen van disproportionele schade volgens NEN-EN 1991-1-7; voor overige gevallen $\psi_{2,1}$ .					

## 2.3 Materialen

Voor materiaalkeuzen wordt verwezen naar ons document DO-C001.

## 3 Belastingen

Voor materiaalkeuzen wordt verwezen naar ons document DO-C001.

Alle aangenomen belasting op de constructie wordt berekend in een bijzondere combinatie.

## 4 Strategie voor het maken van een robuust ontwerp.

Om te komen tot een robuust ontwerp dient er een willekeurig verticaal dragend elementen te kunnen verval- len (bezwijken) zonder dat dat leidt tot voortschrijdende instorting. Met andere woorden indien er plaatselijk constructiedeel bezwijkt mag dat niet leiden tot het bezwijken van andere constructie delen.

Voor verticaal dragende constructie delen wordt er onderscheid gemaakt in kolommen, penanten en wan- den. In het volgende wordt toegelicht hoe bezwijken van deze onderdelen is gedefinieerd.

### 4.1 Kolommen en penanten:

#### 4.1.1 Mechanisch schema

Kolommen en penanten zijn hier gedefinieerd als verticaal dragende elementen met een breedte/diepte

verhouding kleiner dan 4/1. Deze elementen hebben in de Coolsingel-, Weenatoren en -blokken enkel een verticaal dragende functie en geen noemenswaardige functie in het verzorgen van horizontale stabiliteit.

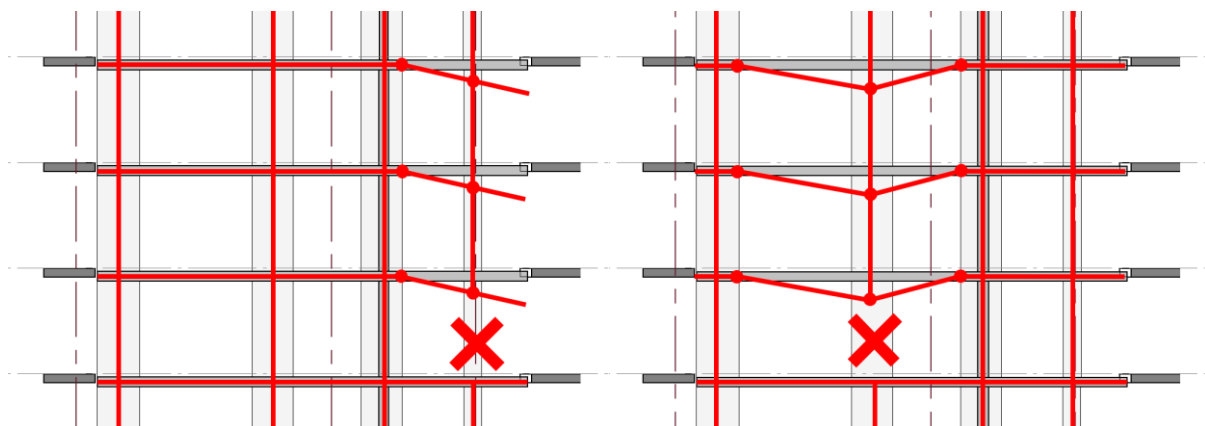
Als één van deze elementen komen te vervallen, dienen de vloeren en naastgelegen constructies voldoende sterkte te hebben om hoger aangrijpende belasting over te dragen naar naastliggende verticale elementen. Een en ander is met een voorbeeld geïllustreerd in mechanische schema's hieronder, zie figuur 1.

In alle vloeren van Coolsingel toren en Coolsingelblok moet voldoende wapening zijn toegepast om krachtwerving als geïllustreerd in deze schema's op te nemen. Verderop in dit document zijn enkele voorbeeld gevallen uitgewerkt.

#### 4.1.2 Maatgevende kolommen en gevelpenanten

In de in hoofdstuk 6 aangegeven wandaanzichten zijn alle unieke kolommen en penanten waarvan een robuustheidscontrole wordt uitgevoerd met rood omkaderd. Onder een robuustheidscontrole wordt verstaan; "Een controle of voorzieningen die worden aangebracht, voortschrijdende instorting kunnen voorkomen indien het (met rood) omkaderd constructiedeel vervalt ten gevolge van een bijzondere belasting met 'niet-gedefinieerde oorzaak'".

Van overige constructiedelen wordt geen robuustheidscontrole uitgevoerd. Voorzieningen ten behoeve van robuustheid van overige constructiedelen worden afgeleid en toegepast op basis van de berekeningsresultaten van de robuustheidscontroles van de rood omkaderde constructiedelen.



figuur 1: Mechanisch schema bezwijken tussenkolom (rechts) en hoekkolom (links).

## 4.2 Wanden:

### 4.2.1 Definitie fictief te verwijderen wanddeel:

Wanden zijn in dit document gedefinieerd als verticaal dragende elementen met een breedte (lengte) /diepte (dikte) verhouding groter dan 4:1. Deze verhouding kent geen bovengrens en geeft hierom ook geen definitie voor het deel dat verwijderd moet kunnen worden om het ontwerp als voldoende robuust te beoordelen.

Na overleg met bouw- en woningtoezicht gemeente Rotterdam en het ontwerpteam is door het ontwerpteam besloten dat het te verwijderen wanddeel een breedte heeft van twee meter waar de wanden aan de gevel grenzen of één meter in overige wandelen. Het deel van één meter dient willekeurig in de wanden geplaatst te kunnen worden. Een ander is geïllustreerd in figuur 2: fictief te verwijderen wanddeel c3.

Er is aan de gevelzijden gekozen voor een breedte van twee meter aan de gevel om de volgende reden. Als er een wandstrook met breedte van één meter, binnen een afstand van twee meter naast de wandrand geplaatst wordt, is het waarschijnlijk dat het resterende wandstrook aan de wandrand, onvoldoende stabiel is

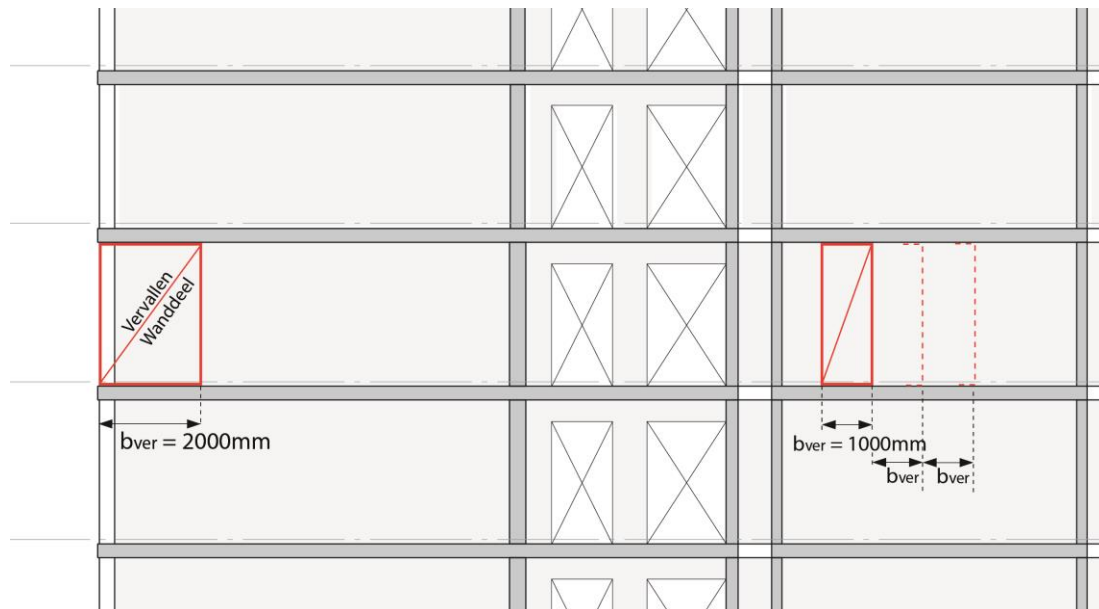
om de berekende spanning op te nemen.

#### 4.2.2 Voorzieningen om voortschrijden instorting te voorkomen:

In het ontwerp van de Coolsingel toren hebben de wanden twee functies, verticaal dragen en stabiliseren van het gehele gebouw en het opnemen van de opgelegde gebruiksbelasting. Als het gemarkeerde wanddeel vervalt, zal het aandeel van dit wanddeel in de gehele krachtwerking overgenomen worden door andere constructiedelen. Hiertoe zijn er aanvullende voorzieningen nodig. Deze drie soorten voorzieningen zijn:

- Aanvullende trekbanden in wanden
- Aanvullende wapening t.b.v. trekbanden en schijfwerking in vloeren
- Aanvullende buigtrekwapening in vloeren

Een en ander nader toegelicht in volgende §4.2.3, §4.2.4 en §4.2.5.



figuur 2: fictief te verwijderen wanddeel c3

#### 4.2.3 Trekbanden in wanden:

Als een gemarkeerd wanddeel wegvalt onder de voorwaarde dat er voldoende wandbreedte over blijft om de belasting binnen de zelfde wand af te voeren naar de fundering, zal de richting van de belasting afdracht in deze wand veranderen. Met andere woorden wordt de belasting met het omleiden van de drukdiagonaal om het vervallen wanddeel heen geleid.

Om met het omleiden van de drukdiagonaal het evenwicht te herstellen moeten aanvullende trekbanden in de wand en/of vloer worden aangebracht. Er zijn meerdere variaties van omleiden mogelijk, twee er van zijn geïllustreerd in figuur 3.

De vloeren boven het vervallen wanddeel moeten opgehangen worden aan hoger gelegen wanden. Hiervoor wordt voldoende ophangwapening aangebracht over de gehele wandbreedte, zodat ook het verwijderde wanddeel over de hele breedte verslept kan worden. Deze wapening dient zo aangebracht te worden zodat deze zich volledig verankert in de vloeren.

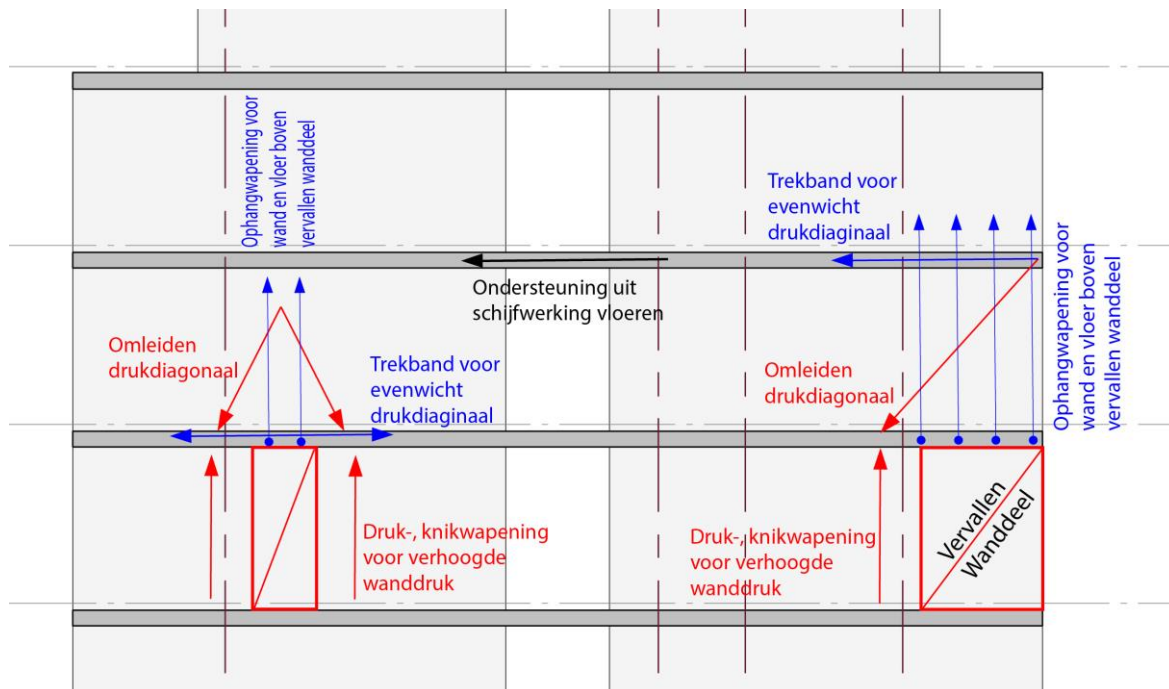
In de resterende wanddelen dient voldoende druk-, knikwapening aangebracht te worden om het verslepen



van het gat over volledige breedte mogelijk te maken. Indien de resterende breedte naast het gat niet breed genoeg is om de drukkracht uit de omgeleide diagonaal op te nemen, dient de vervallen wandbreedte, breder aangenomen te worden dan de eerder aangegeven één of twee meter.

De fundering en palen moeten de (verplaatste) reacties uit de omgeleide drukdiagonaal op kunnen nemen en het resultante inwendige moment ten gevolge van lokaal bezwijken, dient opgenomen te kunnen worden.

Ten gevolge van de aard van het gebouw (Coolsingel-, Weenatoren en Coolsingel- en Weenablok) en de aanwezige stabiliteitswanden is het evident dat lokaal bezwijken op funderingsniveau en stabiliteitsniveau geen hogere resultaten zal geven voor de paalreacties en de momenten in de wanden.



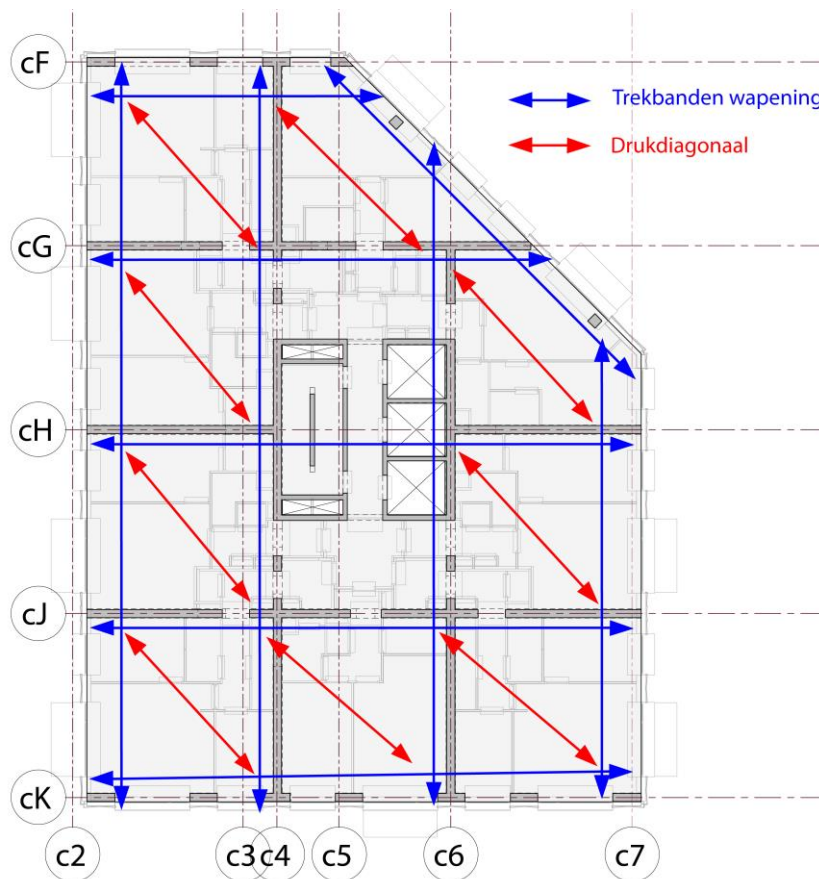
figuur 3 Trekbandvoorzieningen voor tweede draagweg

#### 4.2.4 Trekbanden en schijfwerking in vloeren

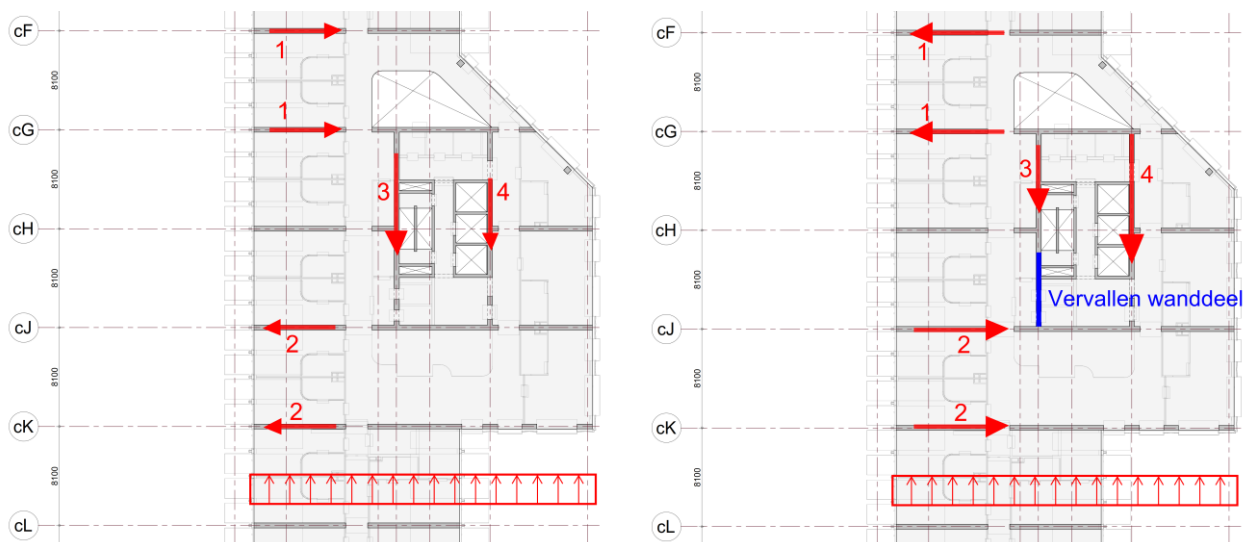
Als er na het aanbrengen van een vervallen wanddeel een excentrische oplegging ontstaat, moet de resterende wand worden gestabiliseerd door middel van schijfwerking in de vloeren. Hierbij zullen alle andere wanden mede stabiliserend werken. Met andere woorden zullen de omgeleide drukdiagonalen via schijfwerking evenwicht maken met de krachtswerking in naastliggende, resterende wanden. In figuur 4 zijn de aan te brengen trekbanden en bijbehorend drukdiagonalen in de vloer schematisch weergegeven.

Een tweede functie van de trekbanden in de vloeren is herverdelen van horizontale (afschuif) belasting in de wanden. Als de wanden door een vervallen wanddeel de berekende dwarskracht niet verder of in mindere mate kunnen brengen naar de fundering, zal de belasting van de overige wanden verhogen. Dit effect is mogelijk significant merkbaar in de stabiliserende wanden op de cijferassen, onder de 10-de verdiepingsvloer.

In figuur 5 is geïllustreerd dat kracht 3 wordt verlaagd door een vervallen wanddeel. Door het verlagen van kracht 3, wordt kracht 4 verhoogd om zo het evenwicht te herstellen. De resultante van kracht 3 en 4 krijgt een andere excentriciteit heeft ten opzichte van de externe belasting, hierdoor veranderen krachten 1 en 2 van richting. Dit verandert krachtswerking met betrekking tot schijfwerking in vloervlak. De trekbanden in de vloer dienen voldoende capaciteit te bezitten om een herverdeling van dwarskracht (afschuiving) door een vervallen wanddeel mogelijk te maken.



figuur 4: Trekbandwapening voor schijfwerking, tweede draagweg



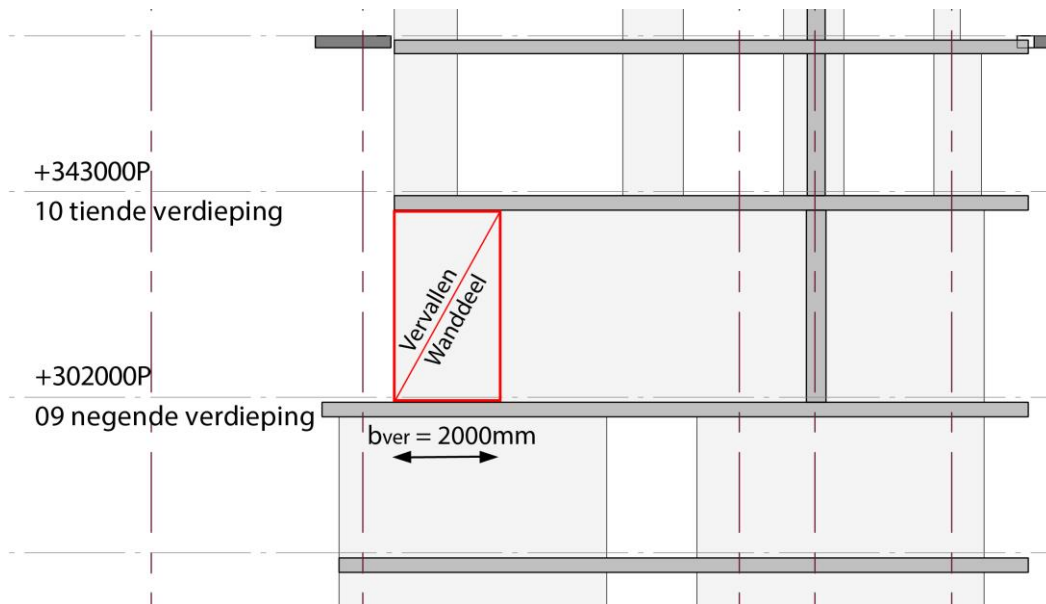
figuur 5: Herverdeling dwarskracht in wanden

**4.2.5 Aanvullende buigtrekwapening in vloeren:**

In onderstaande twee paragrafen twee analyses voor het bepalen van de benodigde buigtrekwapening ten behoeve van tweede draagweg. In §4.2.5.1 een analyse ten behoeve van een vervallen wanddeel op as cF, en in §4.2.5.2 een analyse voor indien de gevel kolommen komen te vervallen.

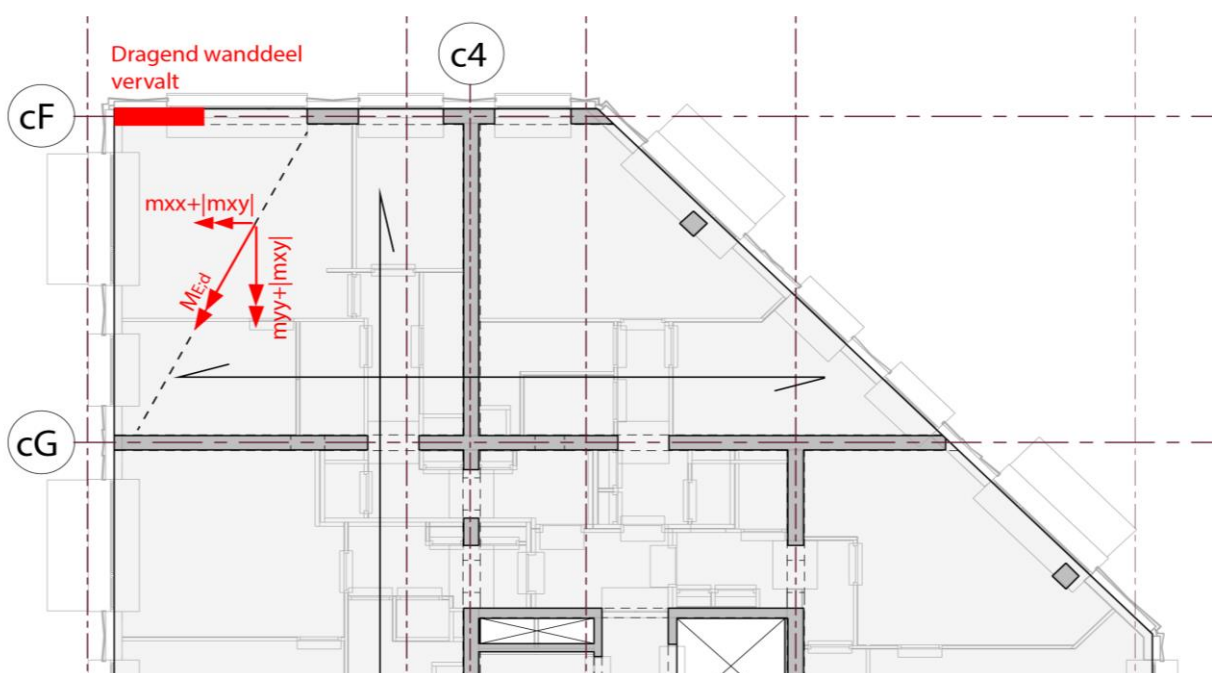
4.2.5.1 Analyses ten behoeve van vervallen wanddeel op as cF:

Ter illustratie van de functie van buigtrekwapening in vloeren voor een tweede draagweg, is er in figuur 6 een vervallen wanddeel aangebracht met breedte gelijk aan 2 meter, zie §4.2.1. Door dit vervallen deel verliezen de hoger gelegen penanten hun draagkracht. De belasting in deze penanten kan niet door het omleiden van directe drukdiagonalen alsnog evenwicht maken met lager gelegen constructie.

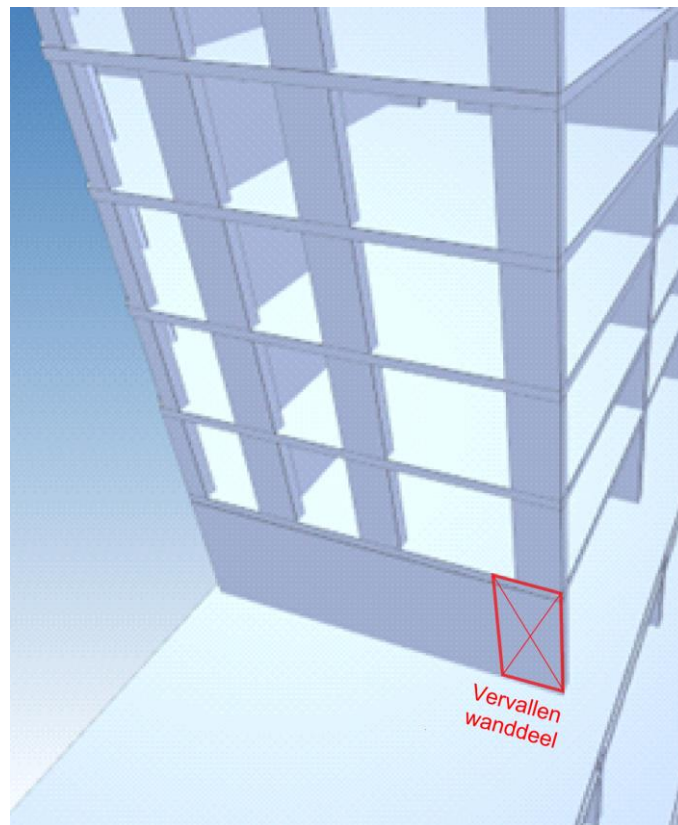


figuur 6: Fragment wand Cf

De belasting op de vloeren en het gewicht van de resterende constructie, moet na het vervallen van het wanddeel in gevel op as cF, via buiging en dwarskracht in de vloeren worden overbracht naar de resterende wand op as cF en wanden op as cG en c4 zie figuur 7.



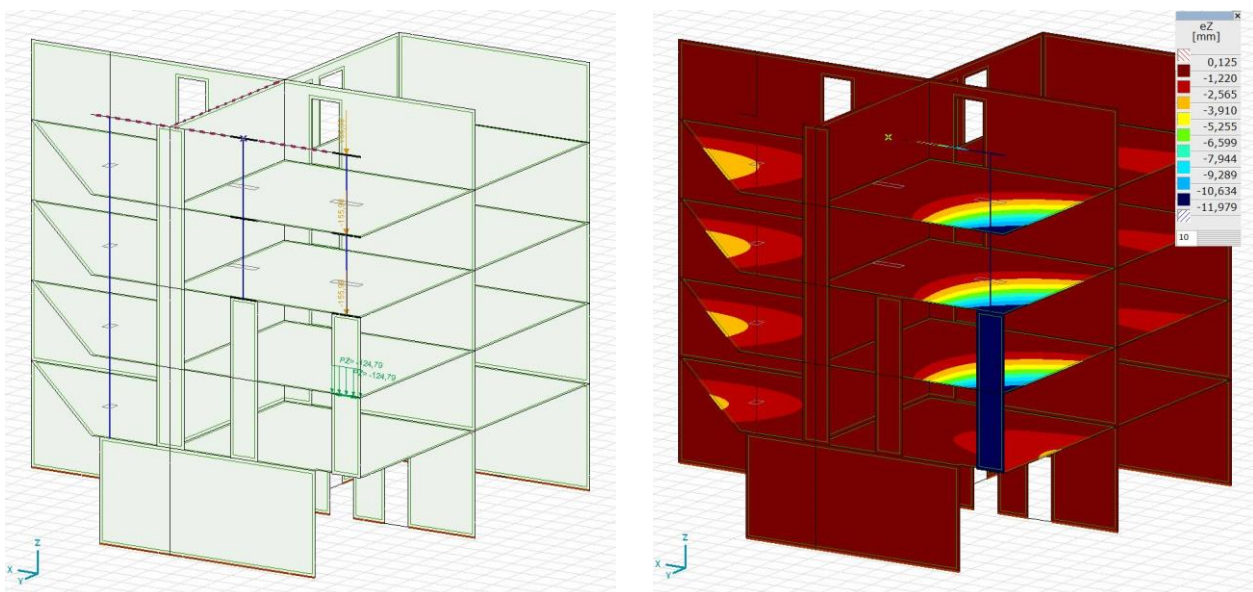
figuur 7: Buigende momenten in vloer door deels bezwijken wand op as cF



figuur 8: wandhoek in beschouwing

In figuur 9 is een eindig elementen model gepresenteerd waarmee een eerste analyse is berekend van de bijbehorende momenten om xx- en yy-as indien de aangegeven wand zijn draagkracht verliest. Dit elementen model is een fragment van de in figuur 8 weergegeven gebouwhoek.

In de hoofdstuk 6 beschreven tekeningen is aangegeven op welke delen van deze constructie, onderstaande analyses uitgevoerd worden.



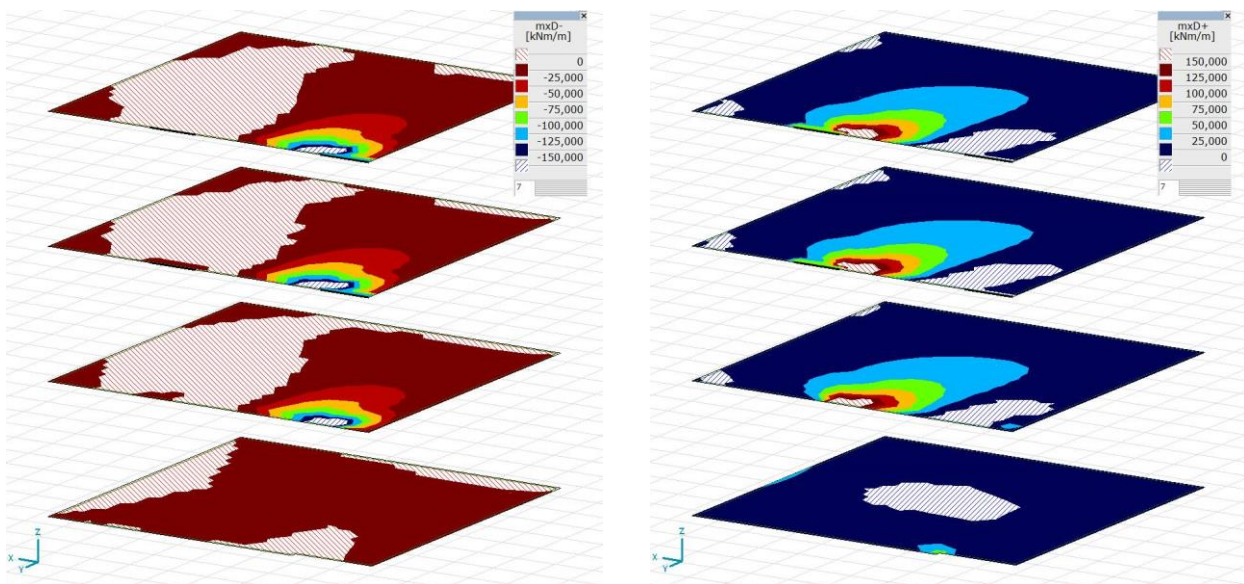
figuur 9: EEM model voor berekenen buigende momenten, inclusief berekende vervorming.

In figuur 10 en figuur 11 staan de berekende momenten om xx-as en yy-as gepresenteerd. Deze momenten zijn berekend met een gemiddelde waarde à  $M_{E;d} = 60 \text{ kNm/m}$ .

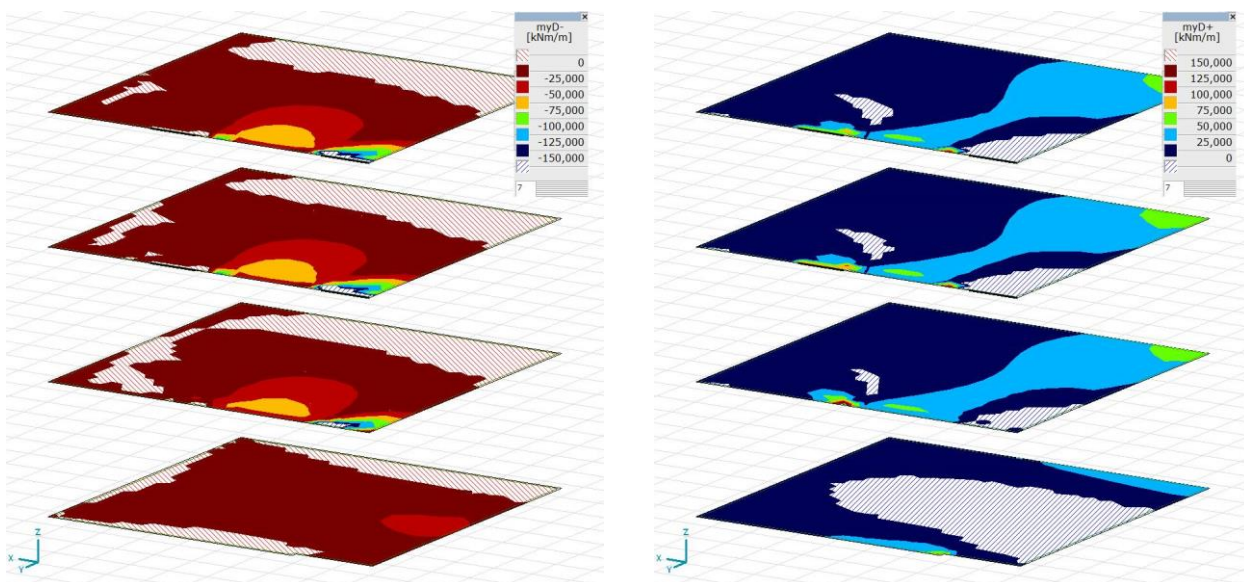
De bijbehorende benodigde wapeningsdoorsnede is grofweg:

$$A_{s;ben} = M_{E;d} / (d \times f_s) = 60 \times 10^6 / (280 \times 0,85 \times 500) = 504 \text{ mm}^2, \text{ met } (d=0,85xh).$$

De wapening is toepasbaar in rond 10 en rond 12 staven. Met andere woorden is het mogelijk een tweede draagweg te realiseren door het toepassen van aanvullende buigtrekwapening in de vloeren.



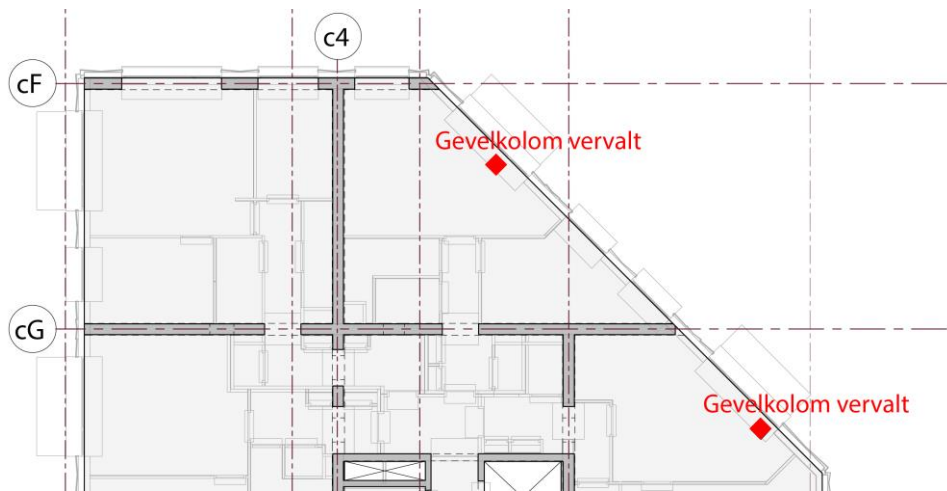
figuur 10: Buigende momenten in vloer door deels bezwijken wand op as cF



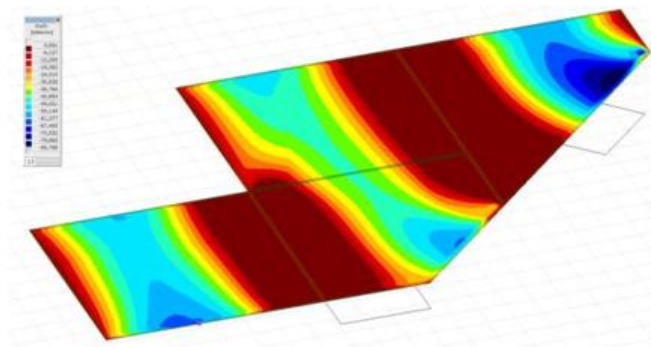
figuur 11: Buigende momenten in vloer door deels bezwijken wand op as cF

#### 4.2.5.2 Analyse vervallen gevelkolommen:

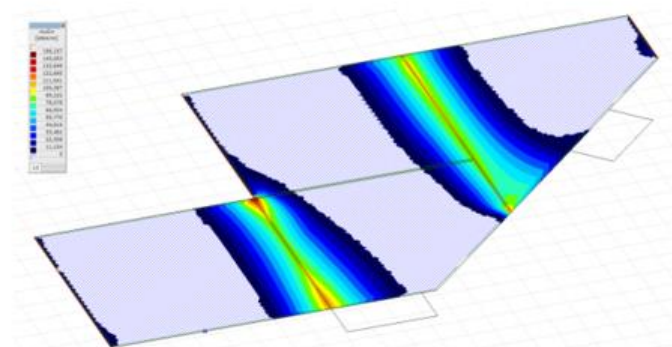
Op analoge wijze als in §4.2.5.2 is berekend wat de effecten op de buigende momenten in de vloer zijn indien de gevelkolommen als aangegeven in figuur 12 komen te vervallen.



figuur 12: Vervallen gevelkolommen



Veldmomenten bij vervallen gevelkolom door calamiteit



Steunpuntmomenten bij vervallen gevelkolom door calamiteit

figuur 13: resultaten analyse vervallen gevelkolommen

De resultaten in figuur 13 tonen dat er in de veld- en steunpuntmomenten een geringe verhoging (bij benadering 25 kN) gevonden wordt in de bijzondere belastingcombinatie, te opzichte van een UGT combinatie. Deze verhoging geeft plaatselijke toeslagwapening ten behoeve van robuustheid.

#### 4.2.6 Maatgevende wanddelen:

In de in hoofdstuk 6 aangegeven wandaanzichten zijn alle unieke wanddelen waarvan een robuustheidscontrole wordt uitgevoerd met rood omkaderd. Zie §4.1.2 voor de definitie van een robuustheidscontrole. De aangebrachte voorzieningen zullen gecontroleerd worden op dat deze voortschrijdende instorting kunnen

voorkomen als één van de unieke constructiewanddelen komen te vervallen ten gevolge van een bijzondere belasting met 'niet-gedefinieerde oorzaak".

Overige wanddelen worden niet beschouwd, voorzieningen om robuustheid van het ontwerp te garanderen, zullen worden afgeleid en toegepast op basis van de berekeningsresultaten van de met rood omkaderde wanddelen.

#### **4.3 Wandspanning en aanvullende wapening:**

Met eindige-elementen analyses is de orde grootte berekend van de verhoogde wandspanningen door aanvullende belastingen ten gevolge vervallen wanddelen. De effecten van deze verhoging zijn meegenomen in het ontwerp als beschreven in uitgangspunten document DO-C001.

Ten gevolge van de aanvullende trekbanden als beschreven in §4.1 en §4.2 is geanalyseerd dat het geheel een wapeningstoeslag geeft à 7,0 kg/m<sup>2</sup> over het gehele vloeroppervlak. Deze hoeveelheid wordt meegenomen in de begroting van het project.

In vervolgberekeningen zullen alle gemarkeerde unieke wanddelen geanalyseerd worden op wegvallen en de consequenties hiervan op wapening in vloeren en wanden. Er zal niet gekozen worden om voor iedere unieke situatie een uniek model te bouwen, maar op analytische wijze de wandspanning te verhogen en de vloerwapening te bepalen.

#### **5 Eindige elementen analyses:**

De torens zijn in dit stadium al in een EEM model geanalyseerd. De aanvullend benodigde trekbanden en aanvullende buigtrekwapening wordt naast door de analytische methode in paragraaf 4.3 ook geverifieerd door op maatgevende plaatsen in het EEM model, de vervallen wandsparring aan te brengen om te toetsen of de analytische methode voldoende betrouwbaar is.

#### **6 Wandaanzichten te verwijderen kolommen penanten en wanddelen:**

In onderstaande tekeningen een overzicht van de kolommen, penanten en wanddelen waarover een robuustheidscontrole over worden uitgevoerd, zie ook §4.1.2 en §4.2.6:

- DO-CT3010
- DO-CT3020
- DO-CT3030
- DO-CT3040
- DO-CT3050