



Adviesbureau ir. J.G. Hageman B.V.

Onderzoek naar oorzaak bezwijken parkeergarage MPB1 Eindhoven Airport

Stufib



4 oktober 2017
Patrice de Vos

Advisering op het gebied van constructies voor gebouwen en civiele werken

Opdracht



In opdracht van BAM Bouw en Techniek is een onafhankelijk onderzoek uitgevoerd naar de oorzaak van het gedeeltelijk bezwijken van een deel van de betonconstructie van de in aanbouw zijnde parkeergarage MPB1 bij Eindhoven Airport



Inhoud presentatie



- Verzamelen en analyseren relevante informatie
 - *Ontwerpdocumenten constructie*
 - *Informatie vanuit de uitvoering*
 - *Timelapse beelden uitvoering*
 - *Getuigenverklaringen*
 - *Beelden beveiligingscamera's (Eindhoven Airport / KMAR)*
 - *Dronebeelden*
 - *Informatie uit observaties (vanuit hangbak) : wijze waarop de restanten van de constructie en de resterende constructie is aangetroffen*
 - *Scans en foto's gemaakt met robotwagen*
- Locatie start bezwijken
- Onderzochte mechanismen (pons / dwarskracht / moment)
- Experimenteel onderzoek – Structures Laboratory TU/e
- Analyse en conclusies

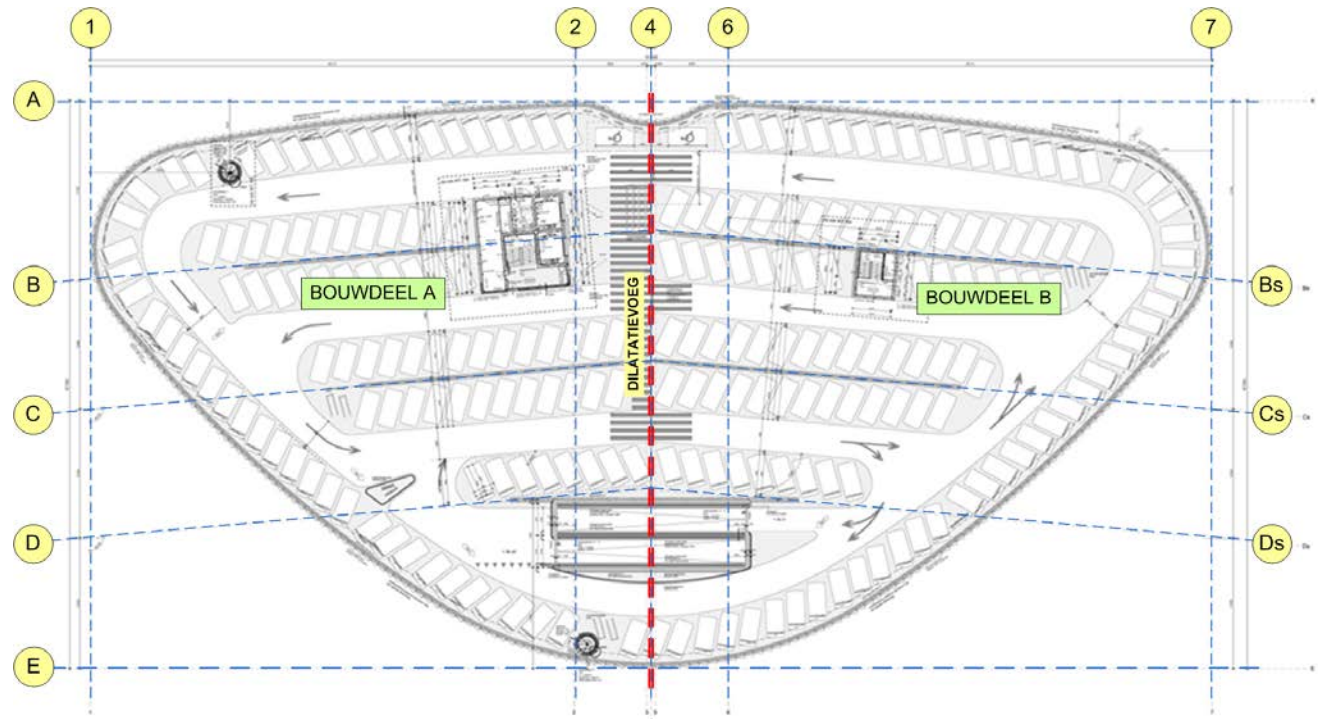


Verzamelen beschikbare informatie

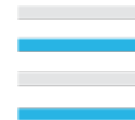


Ontwerpdocumenten constructie:

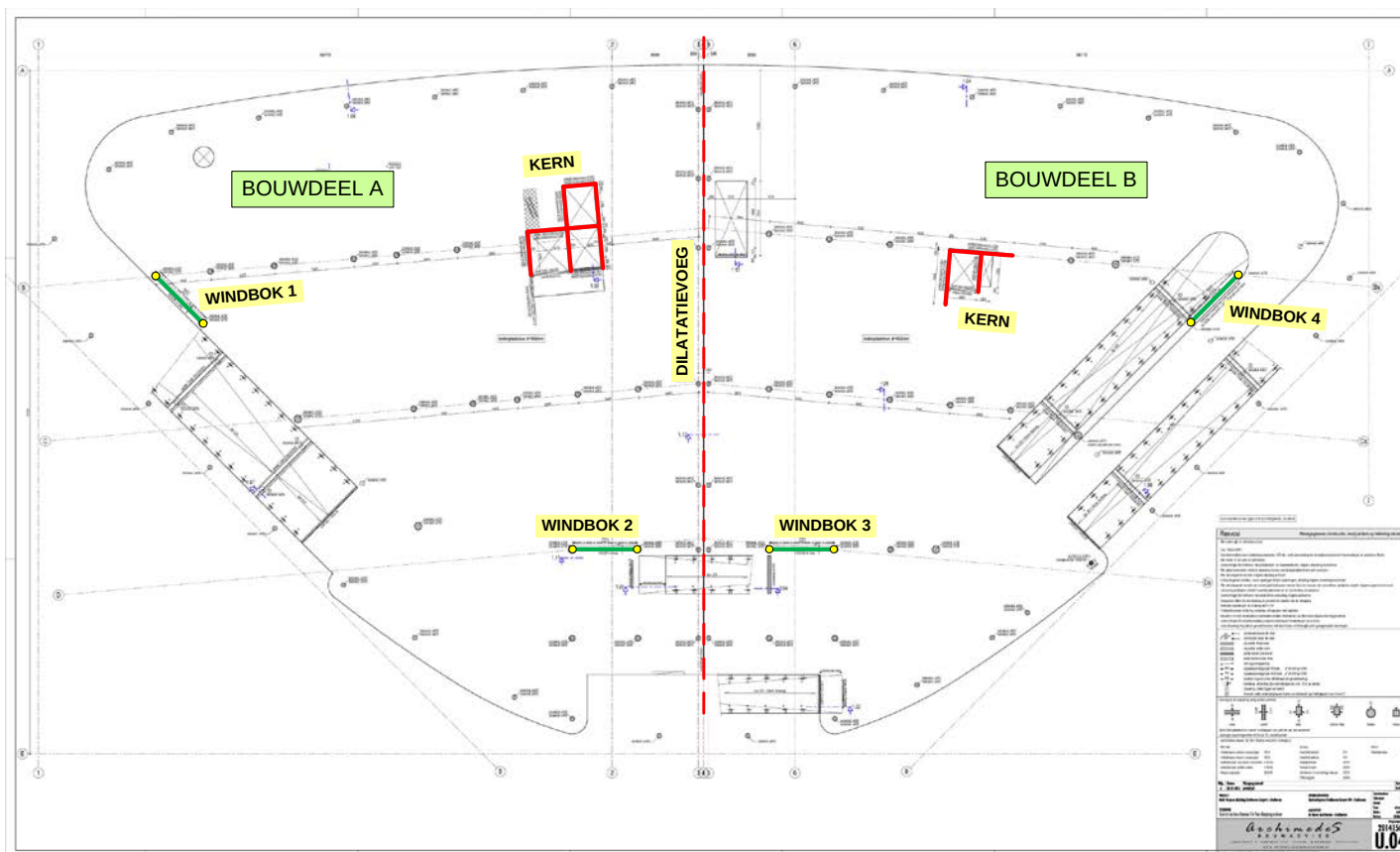
- *Hoofdconstructeur*
- *Leverancier en constructeur van de vloerconstructie*



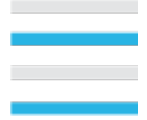
Ontwerpdocumenten constructie



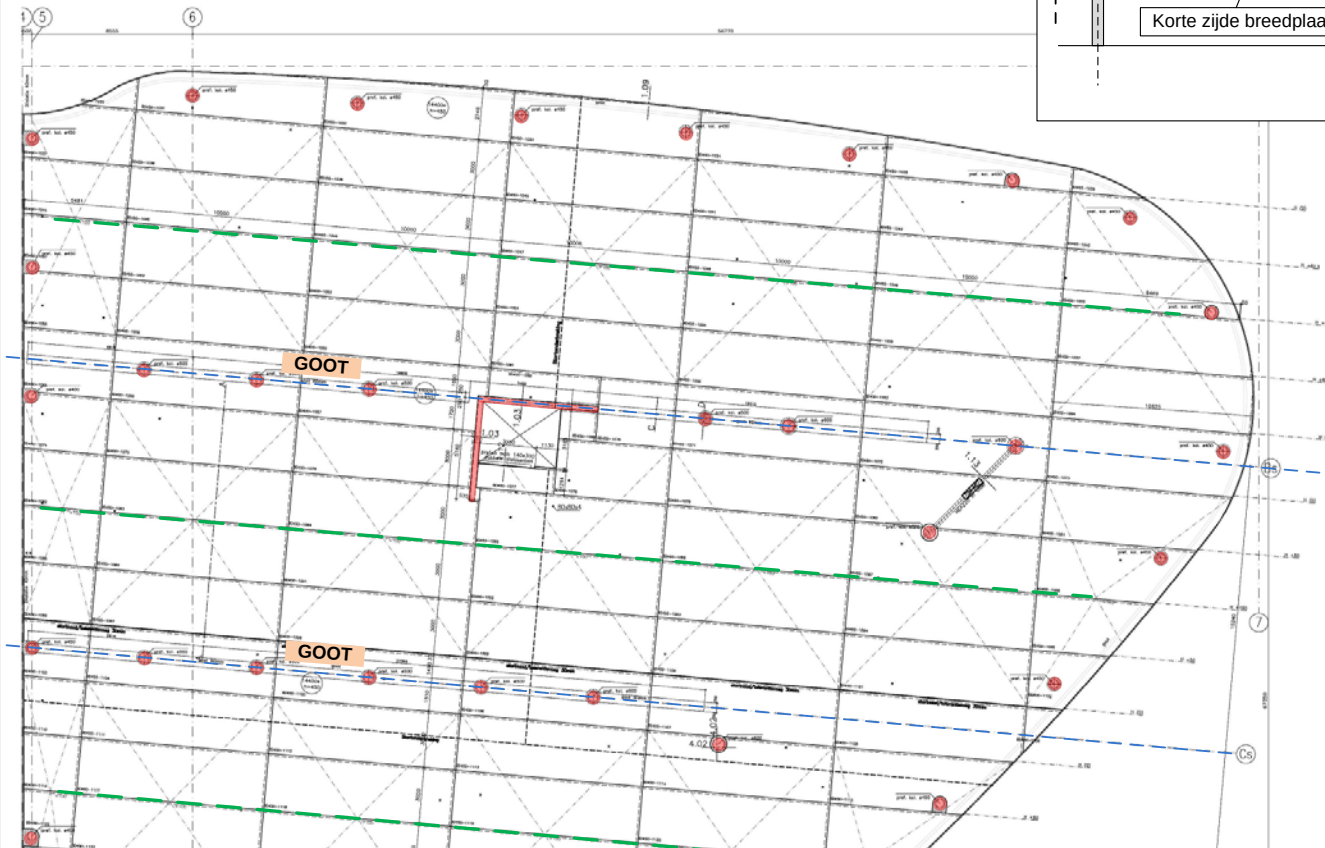
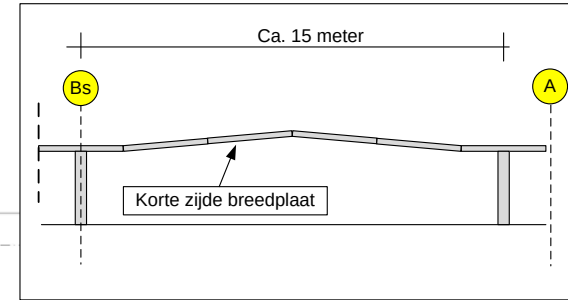
Principe draagconstructie:



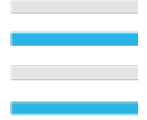
Ontwerpdocumenten constructie



Legplan breedplaten:

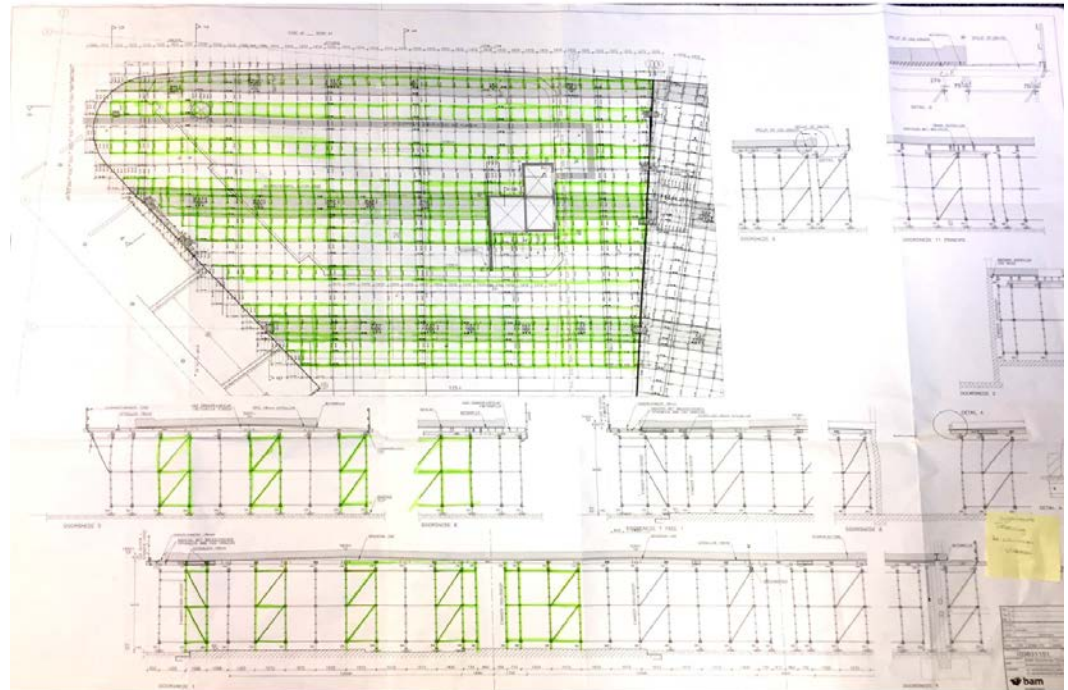


Informatie vanuit de uitvoering

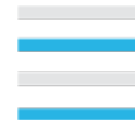


Informatie uitvoering:

- Foto's / verslagen / dagplanningen uitvoering
- Stortdata / leveringsbonnen / rijpheidsmetingen
- 'Schrikken' vloerdelen / verwijderen stempels
- Etc.

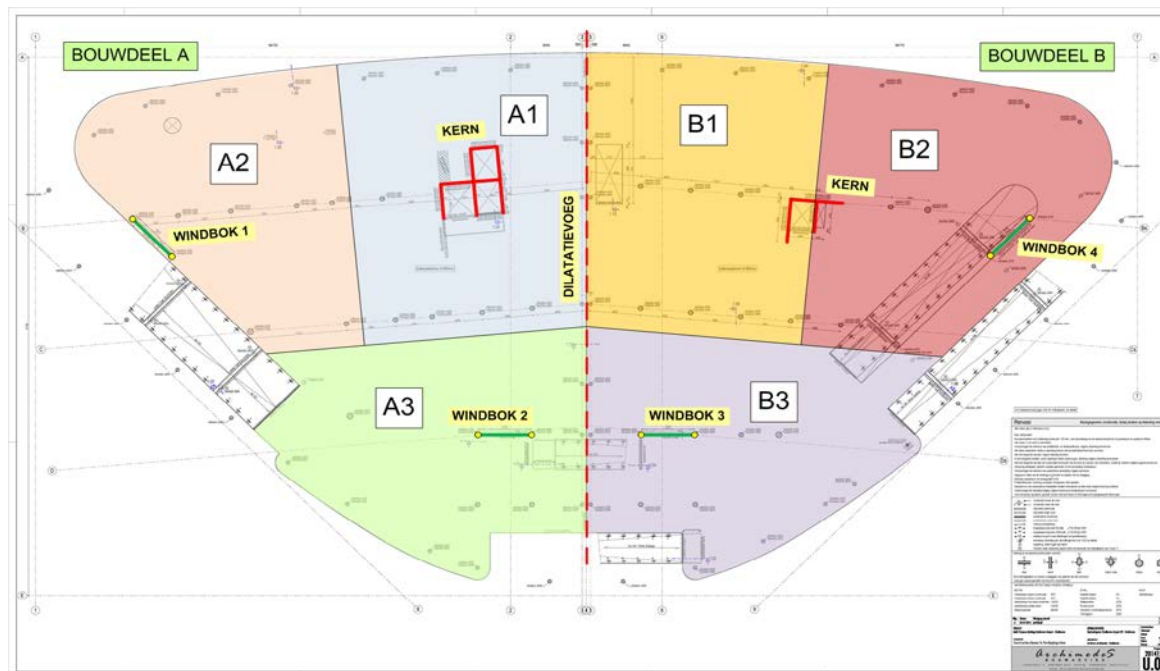


Informatie vanuit de uitvoering



tabel 1 Uitvoeringsfasen 4^e verdiepingvloer bouwdeel B

	B1 / 4e	B2 / 4e	B3 / 4e
Stortdatum (Mebin)	30-1-2017	1-2-2017	31-1-2017
Betonmengsel (Mebin)	S49-T1 (50% CEM I)	S49-T1 (50% CEM I)	S49-T1 (50% CEM I)
18 N/mm ² (rijpheidmeting) ²	4-2-2017 (13:10 uur)	6-2-2017 (20:20 uur)	5-2-2017 (22:40 uur)
Schrikken stempels (dagplanning)	6-2-2017	8-2-2017	7-2-2017



[illegible]

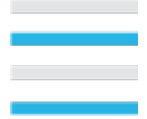


Informatie vanuit de uitvoering

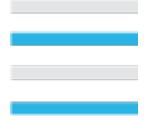
- Vloeren laten 'schrikken' als het beton een gemiddelde kubusdruksterkte heeft van 18 N/mm^2 ;
- Schrikken/verwijderen stempels bij 34 N/mm^2 gemiddelde kubusdruksterkte;
- Ontwikkeling druksterkte beton is gemonitord via rijpheidsmetingen;
- Op basis van de ijklijn, is geconcludeerd dat de aanwezige gemiddelde waarde van de kubusdruksterkte bij de 4^e verdiepingsvloer op het moment van 'schrikken' gelijk is geweest aan 21 N/mm^2 .



Foto's uitvoering



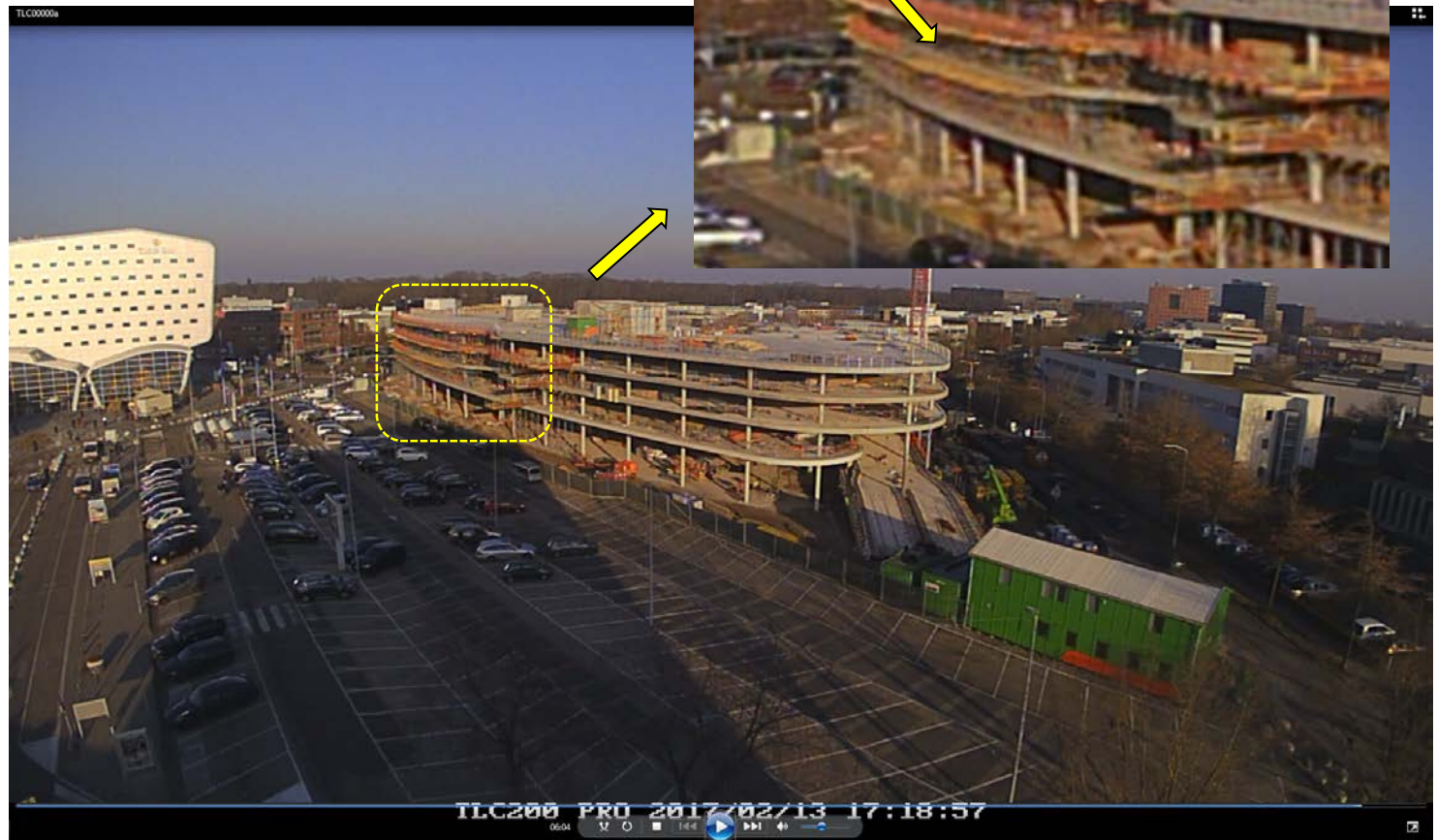
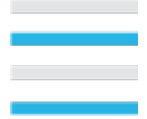
Foto's uitvoering



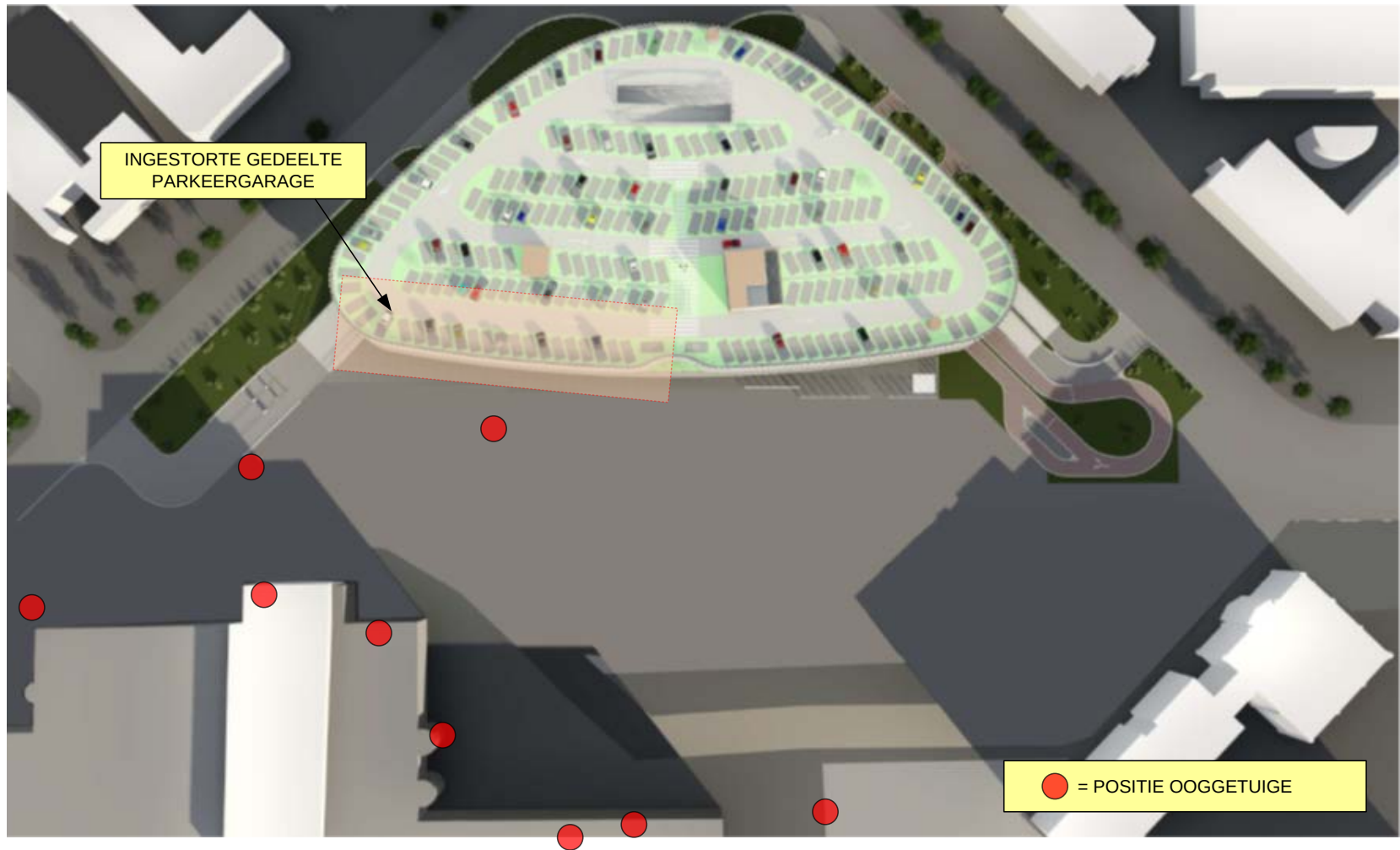
Foto's uitvoering



Timelapse beelden



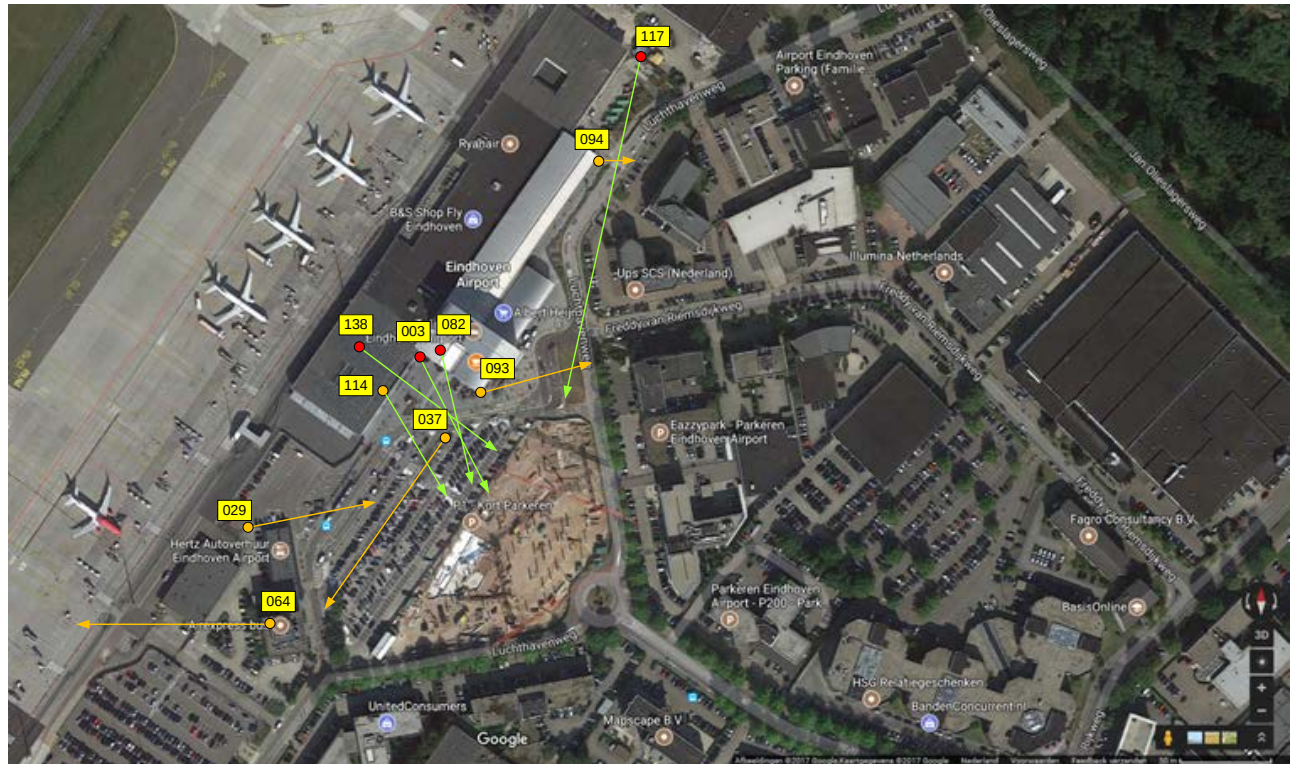
Getuigenverklaringen



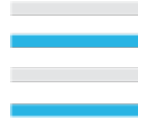
Beelden beveiligingscamera's

Beelden beschikbaar van beveiligingscamera's:

- *Eindhoven Airport*
- *Koninklijke Marechaussee (KMAR)*



Beelden beveiligingscamera's



Projectie relevante camera's op bouwdeel B



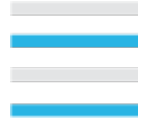
Beelden beveiligingscamera's



Beelden Eindhoven Airport (117):



Beelden beveiligingscamera's



Beelden KMAR (114):



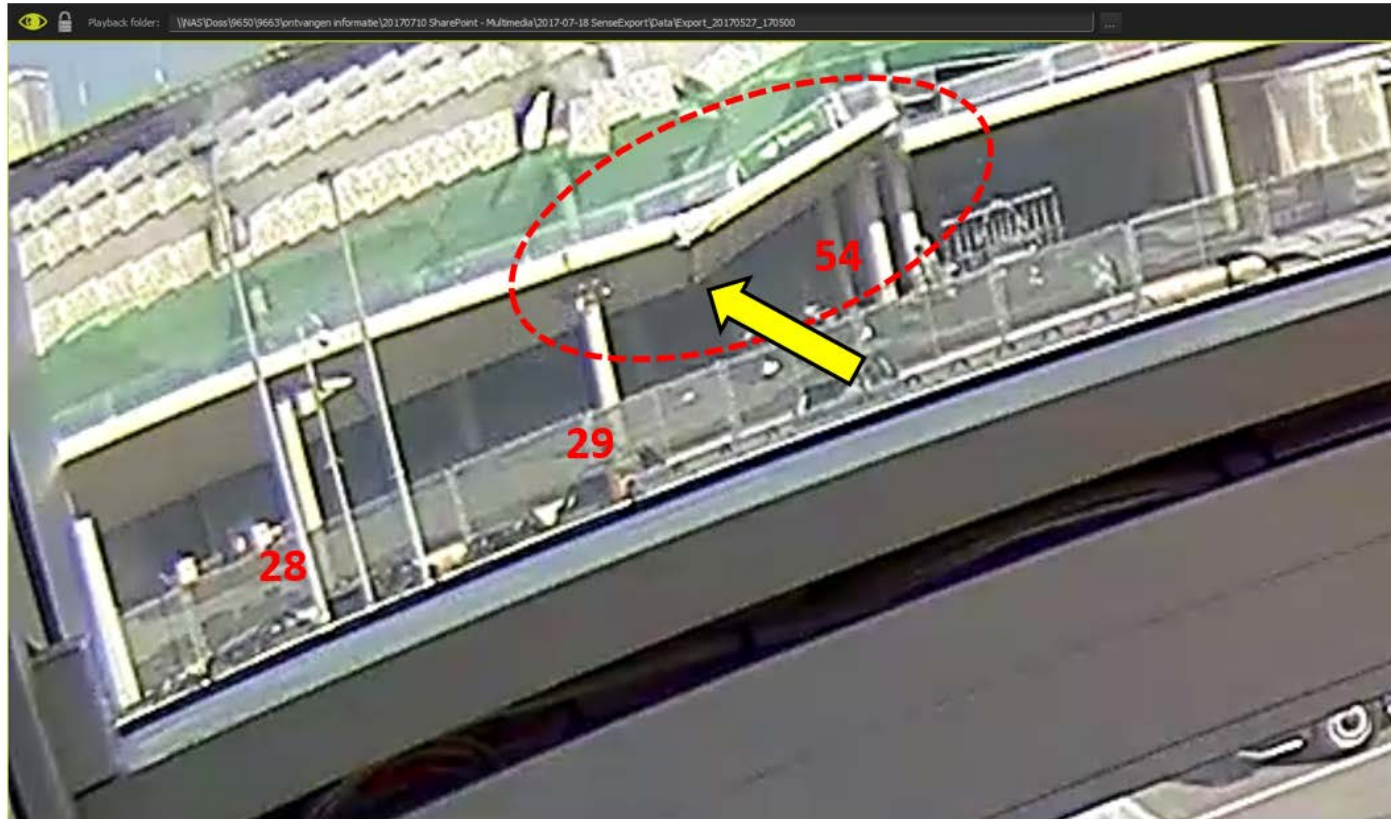
[19:00 uur 45,738 sec]



Beelden beveiligingscamera's



Beelden KMAR (114):



[19:00 uur 48,017 sec]



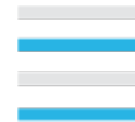
Beelden beveiligingscamera (KMAR 114)



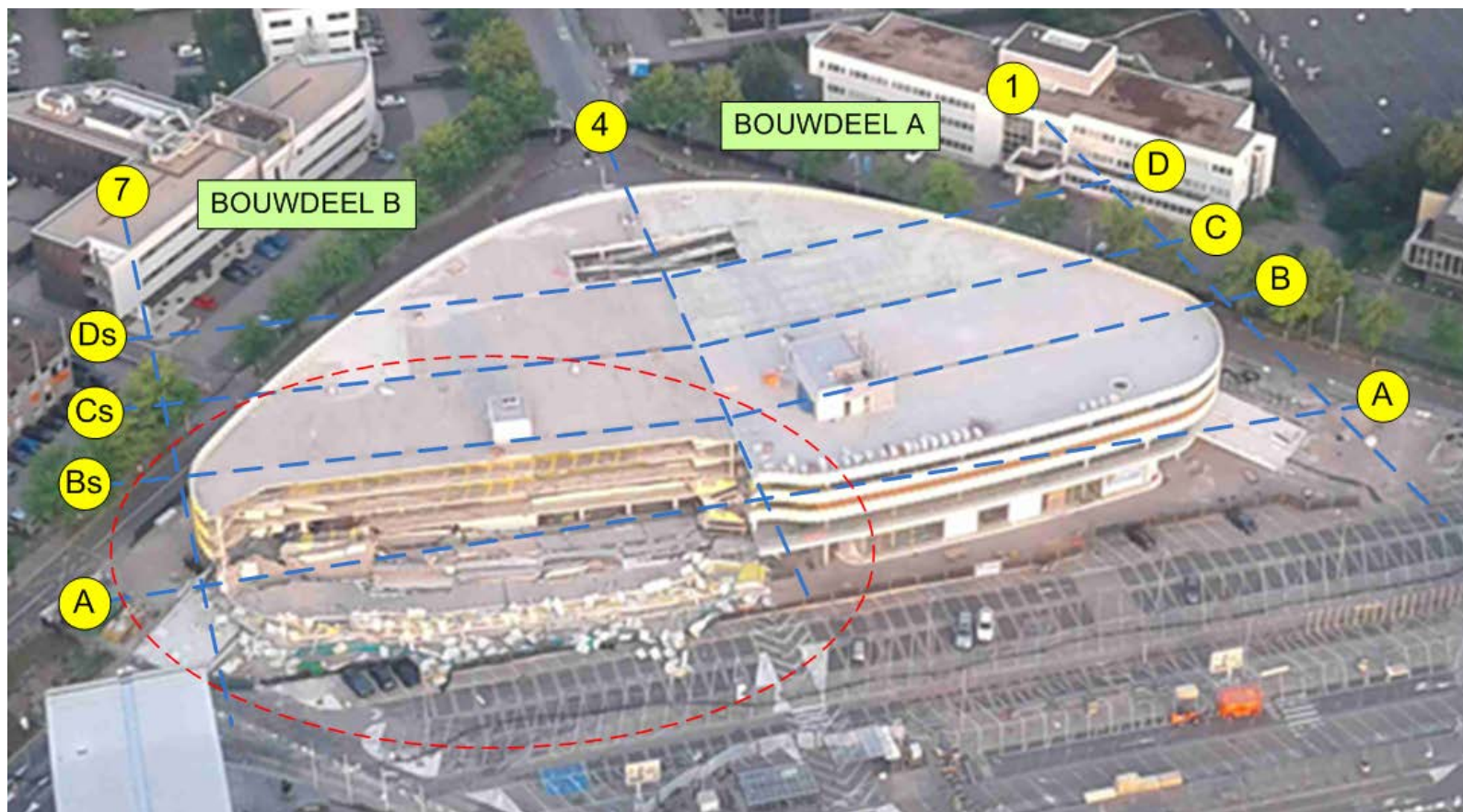
Beelden beveiligingscamera (KMAR 114)



Gegevens uit observaties

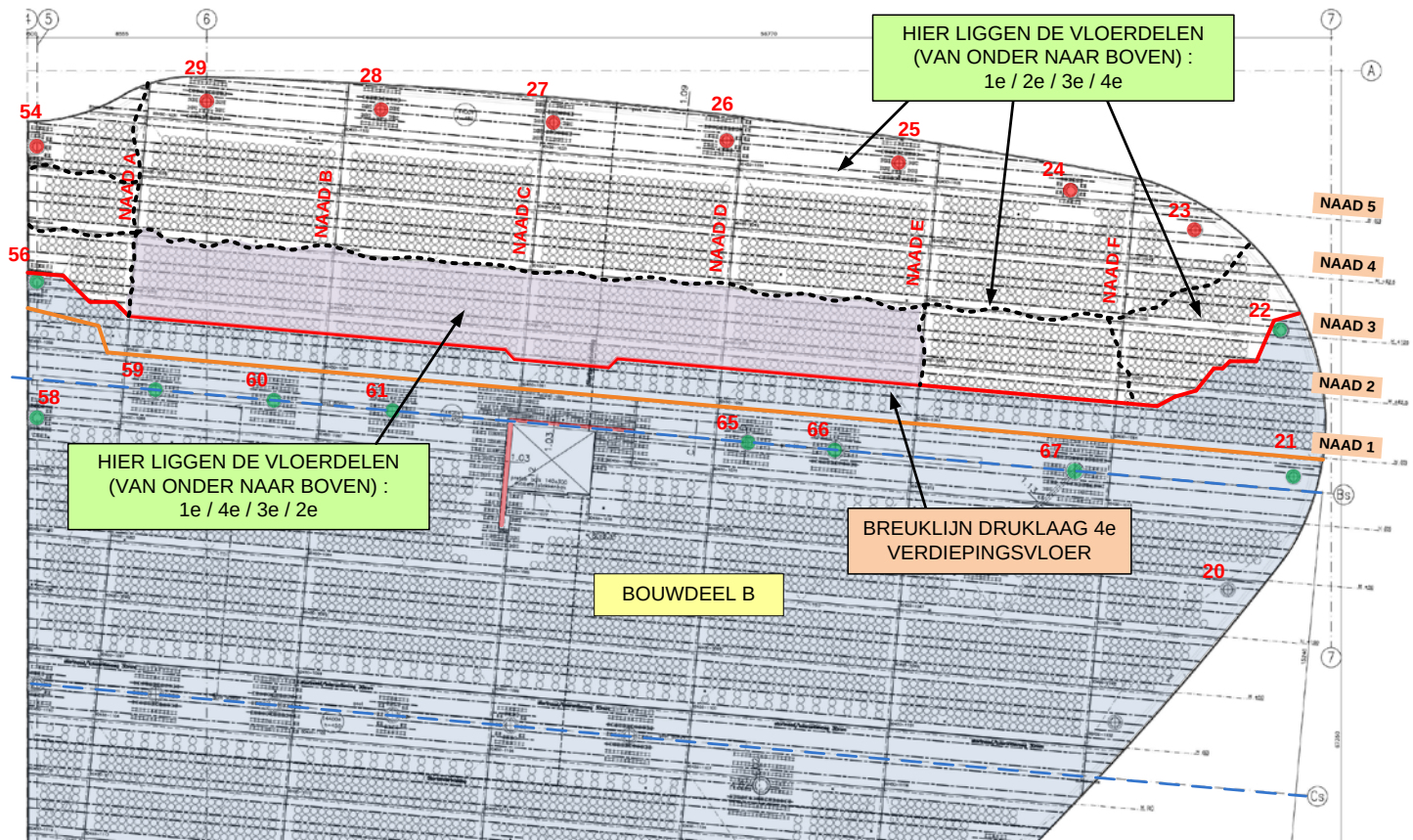


Omvang van de schade

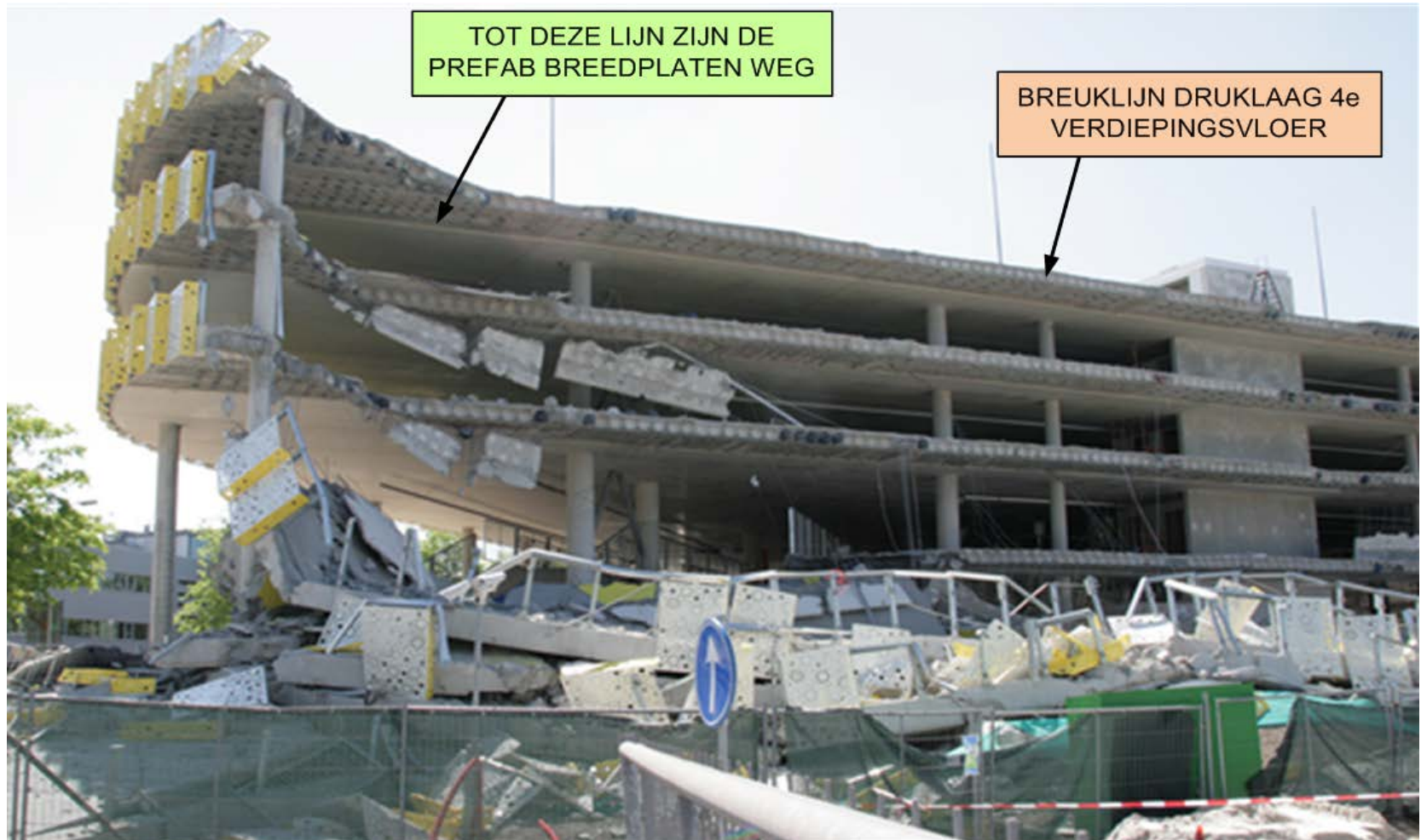
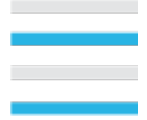


Gedeeltelijk bezwijken

Omvang van de schade: 4e verdiepingvloer



Schadebeeld: gedrag breedplaten



Schadebeeld: breuklijn



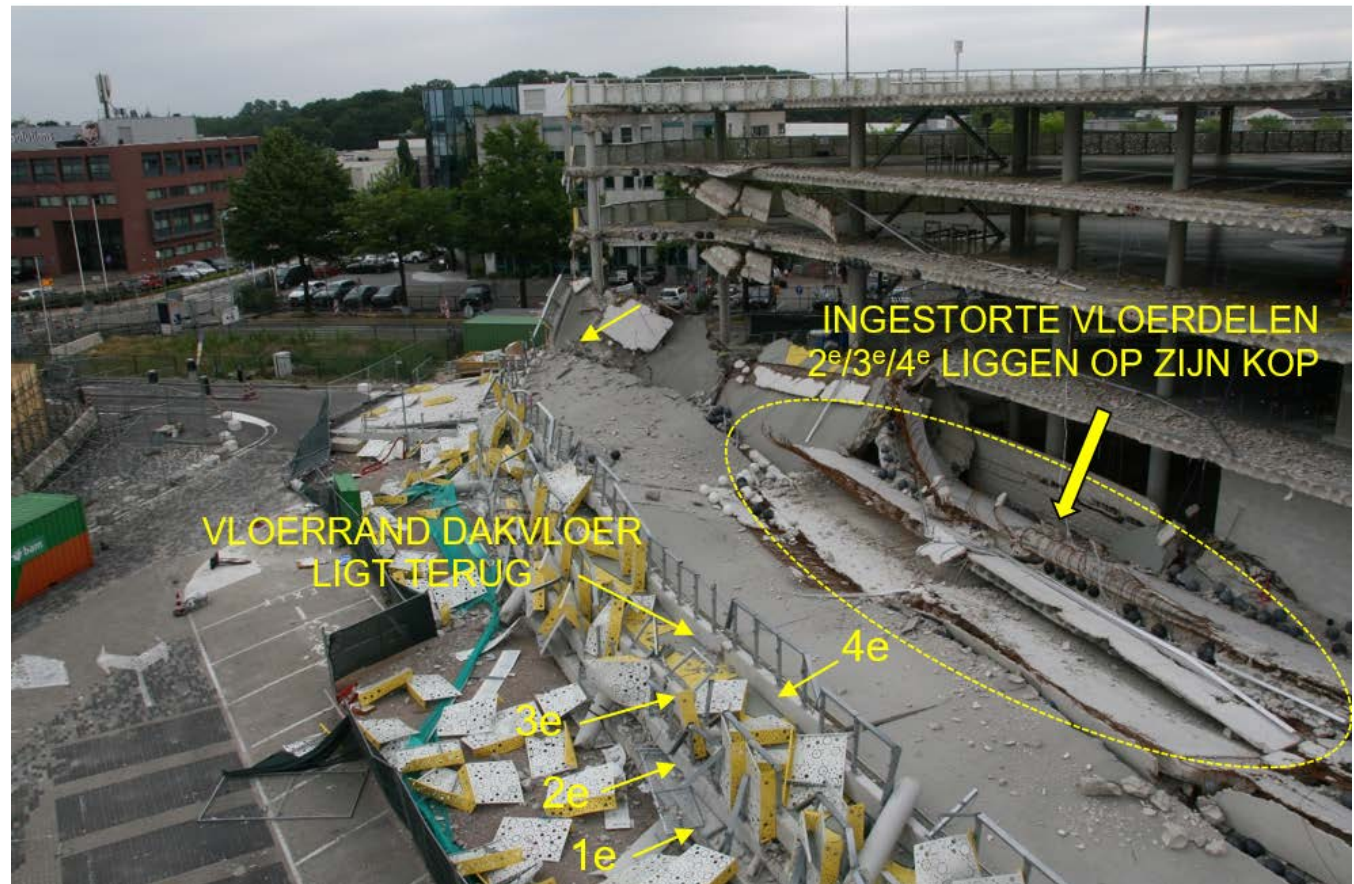
Schadebeeld: onderzijde verdiepingsvloeren



Schadebeeld: posities vloerdelen



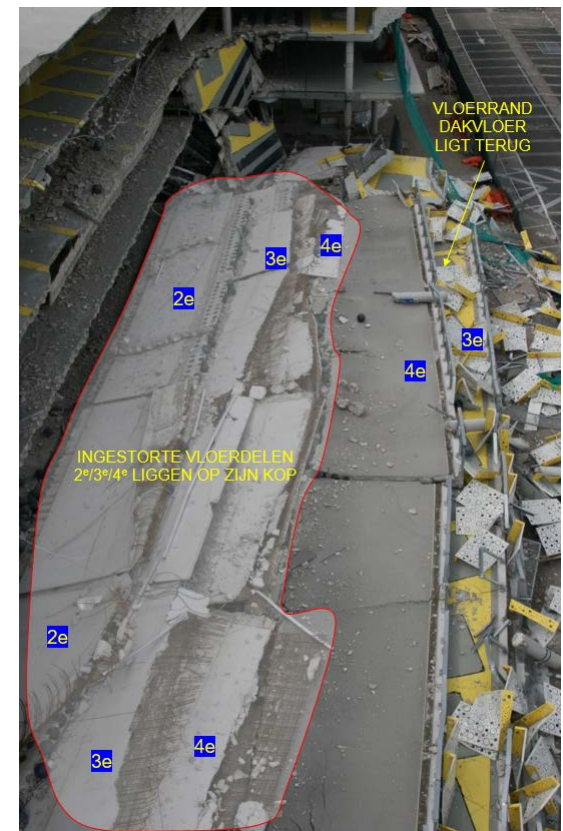
- Een aantal vloerdelen ligt 'op zijn kop'



Schadebeeld: posities vloerdelen



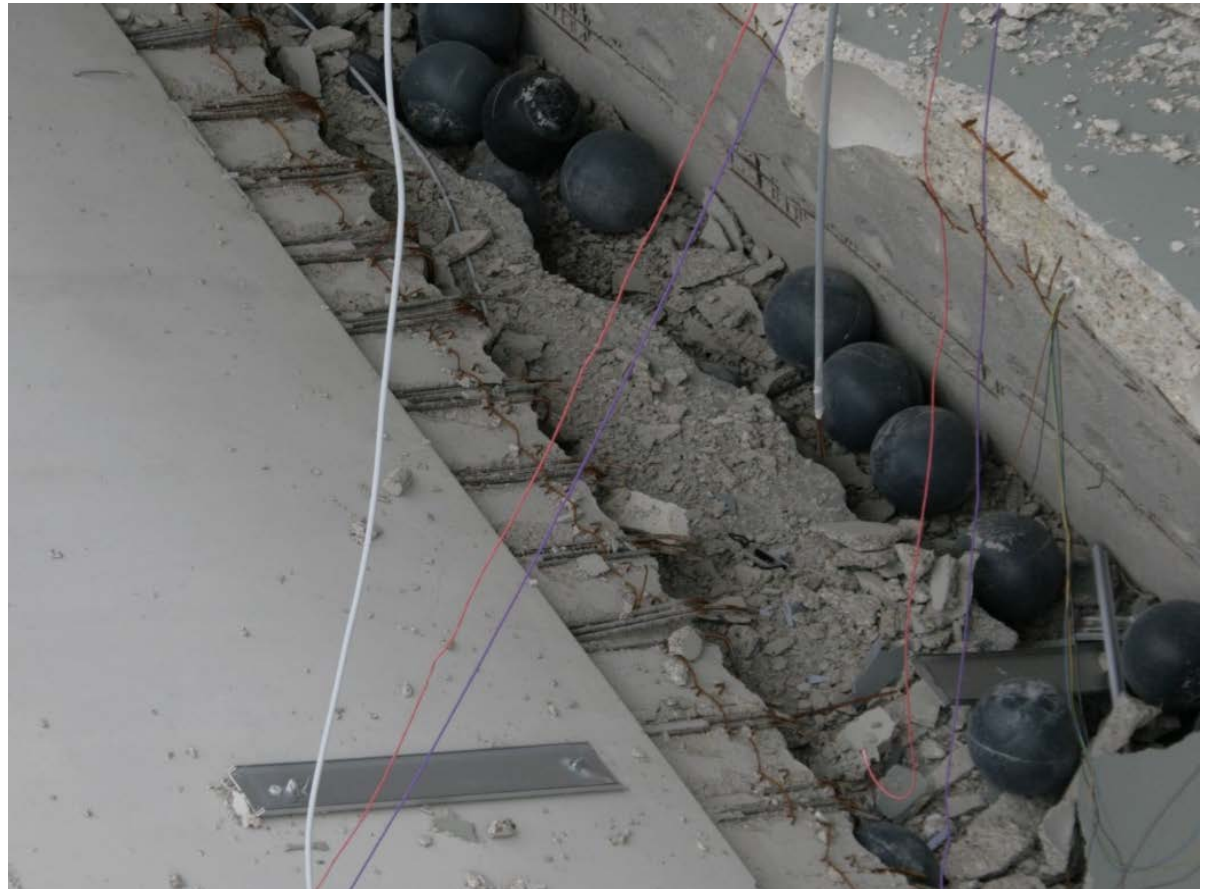
- Een aantal vloerdelen ligt 'op zijn kop'
- Geen aanwijzing voor ponsgedrag nabij 'gevelkolommen'



Schadebeeld: aansluitvlak



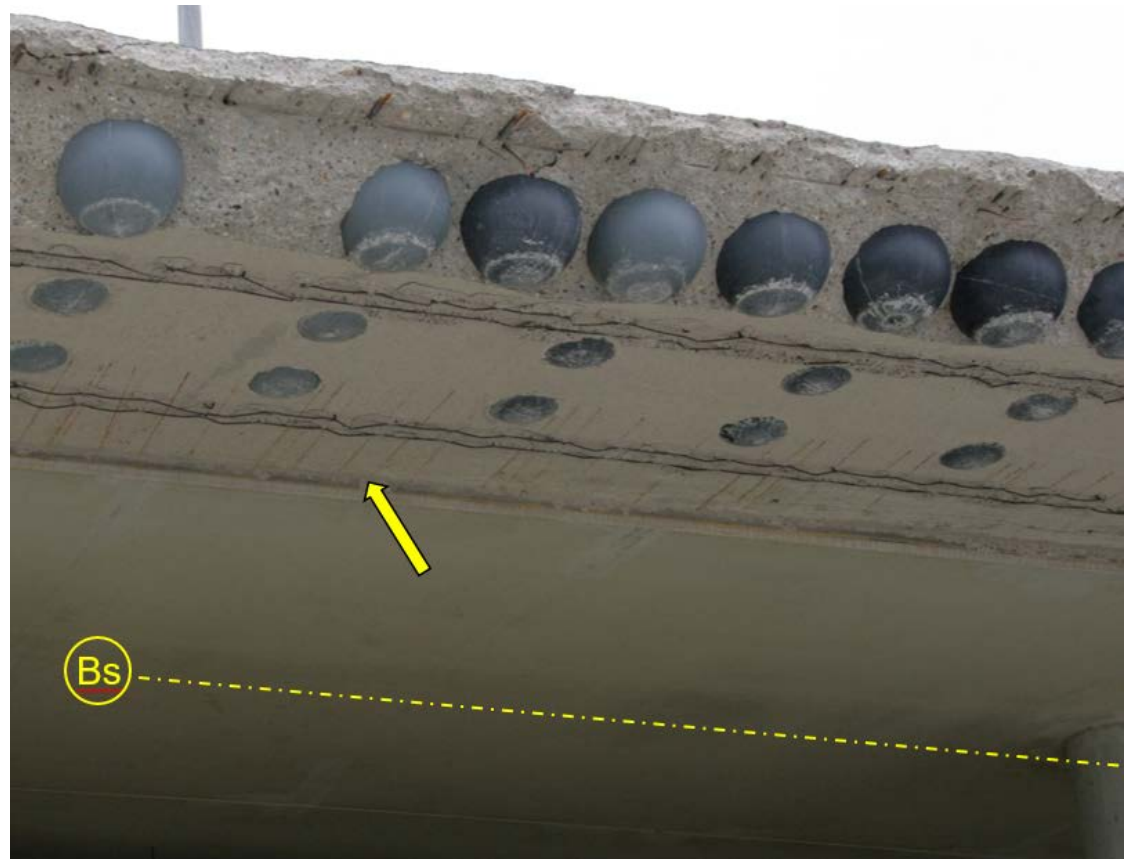
Breuklijn in de vloer – onderzijde vloer met uitstekende koppelwapening en de druklaag



Schadebeeld: aansluitvlak



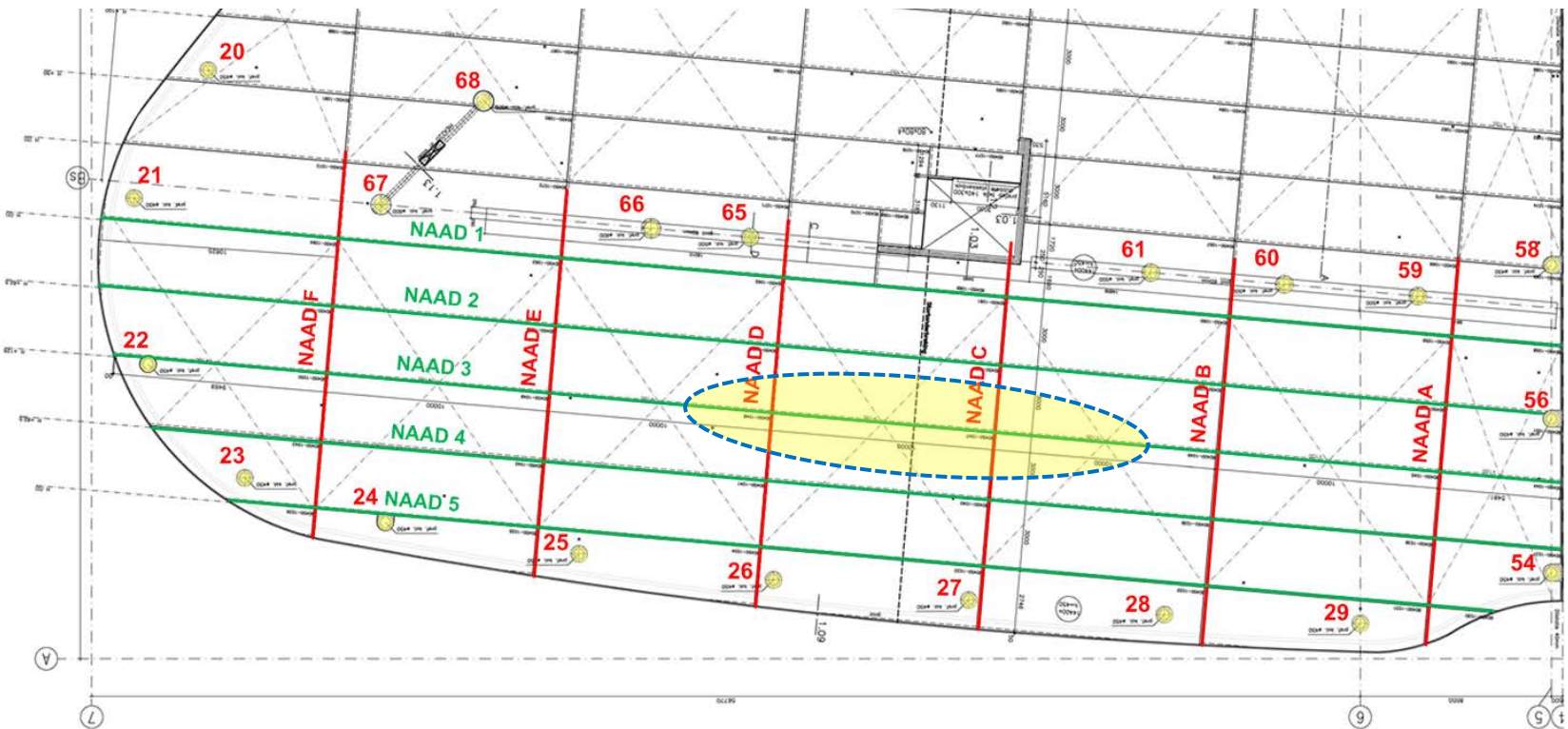
Koppelwapening in de druklaag is duidelijk zichtbaar



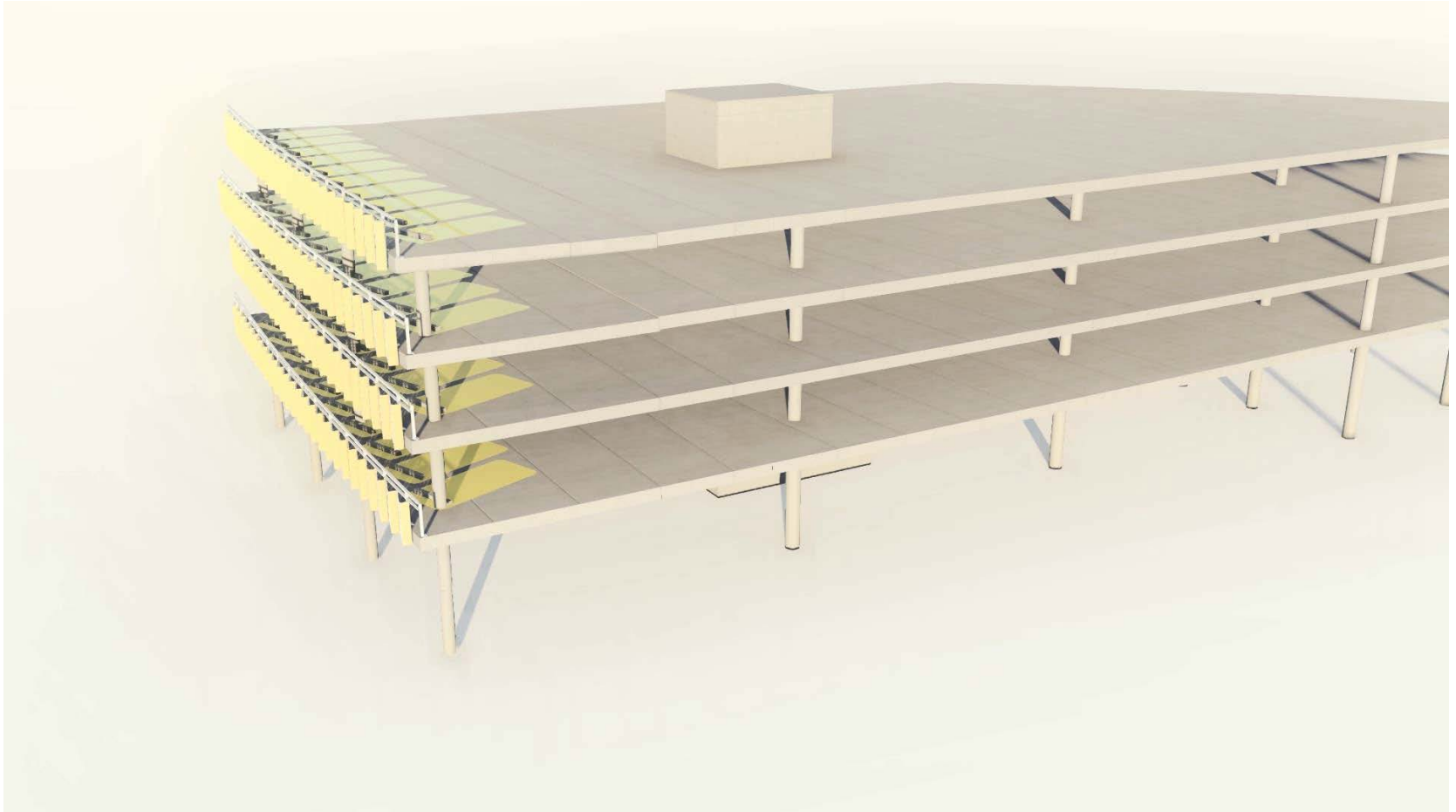
Locatie start bezwijken / instorting



*De instorting is begonnen bij naad 3 van de dakvloer
waarschijnlijk tussen naad C en naad D*



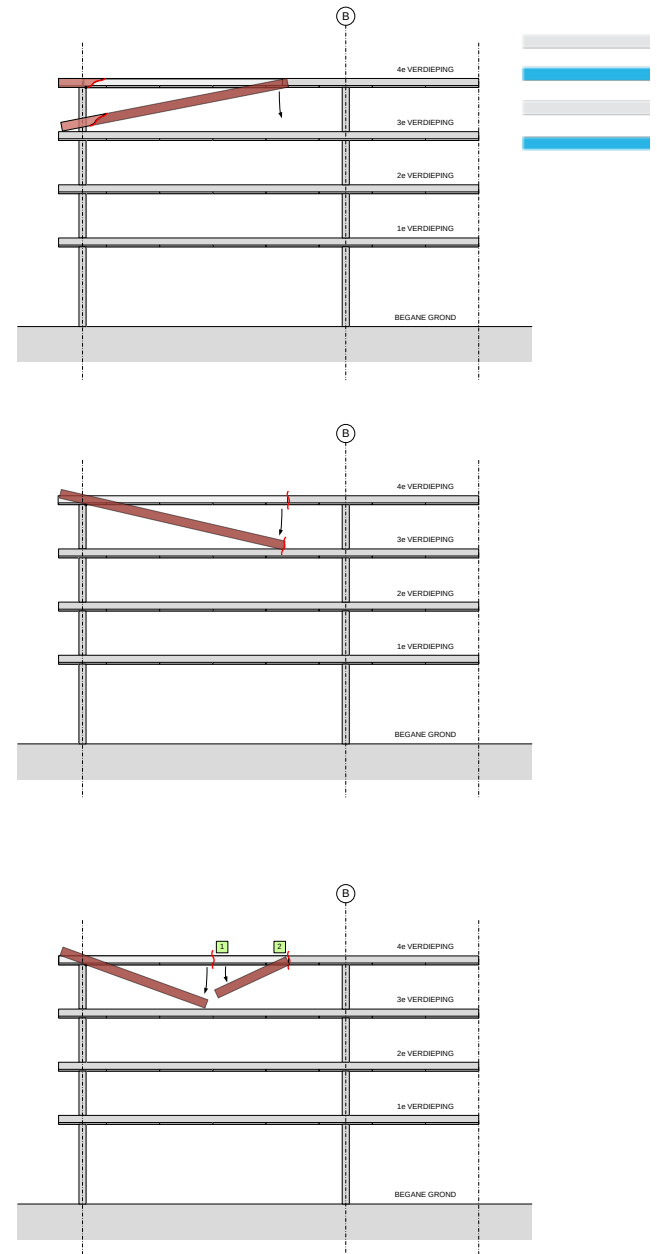
Animatie



Onderzochte mechanismen

Voor de dakvloer zijn 3 bezwijkmechanismen onderzocht:

- Pons
volgens het onderzoek niet bepalend voor het bezwijken
- Dwarskracht
volgens het onderzoek niet bepalend voor het bezwijken
- Moment
bepalend voor bezwijken





Bij de beschouwing van pons is gekeken naar:

- *de invloed van de aangenomen scharnierende aansluiting tussen de kolommen en de vloer;*
- *de invloed van de benadering van de excentriciteitsfactor b ;*
- *de wijze van detailleren van de ponswapening*

Uit de waarnemingen m.b.t. de bezwaken vloerdelen en de beelden van de beveiligingscamera blijkt onomstotelijk dat pons niet is opgetreden.

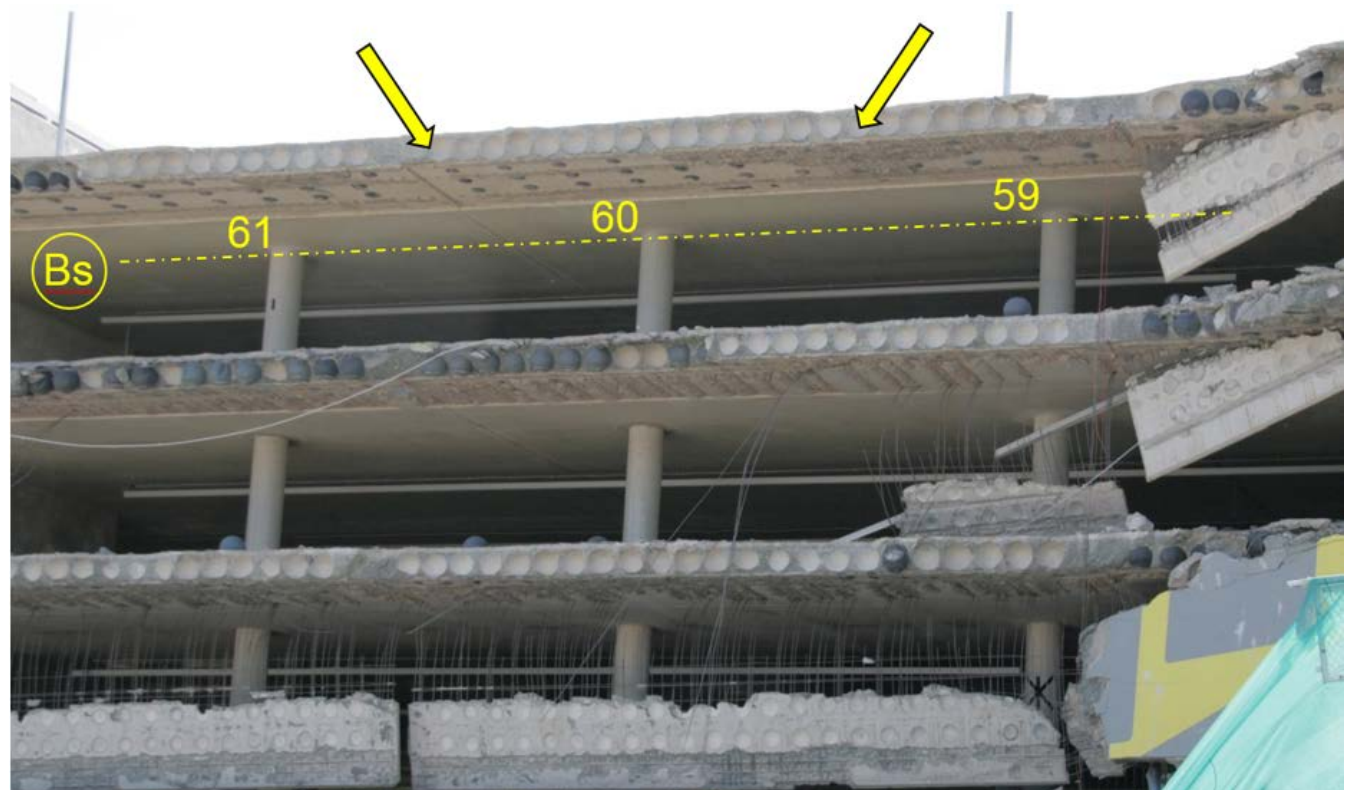


- Samenvattend wordt geconcludeerd dat het overschrijden van de ponsweerstand niet de oorzaak van het bezwijken van een deel van de 4^e verdiepingsvloer van bouwdeel B is geweest.
- Wel is vastgesteld dat de rekenwaarde van de ponsweerstand bij een aantal kolommen van de vervaardigde constructie onvoldoende is om de effecten van de rekenwaarde van de belastingen te kunnen weerstaan.
- Omdat ook de momentweerstand van de kolommen echter beperkt is, zal deze overschrijding bij het uitvoeren van een berekening volgens de niet-lineaire elasticiteitstheorie kleiner zijn.

Dwarskracht



- De huidige breuklijn – de laatste met het maximale aantal bollen – is kritisch ten aanzien van de dwarskrachtcapaciteit



Dwarskracht



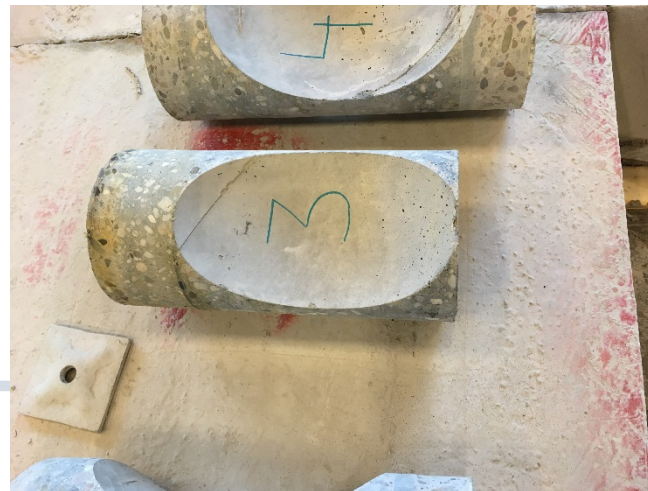
- Door het 'schrikken' bij een lage druksterkte is de dwarskracht in de snede meer kritisch dan in de definitieve ontwerpsituatie;
- In een beschouwing waarbij de volledige permanente belasting door de dakvloer wordt afgedragen na het schrikken voldoet de vloer niet op basis van de gangbare rekenregels voor dwarskrachtweerstand;
- Deze regels gaan echter uit van een combinatie dwarskracht – moment (flexural shear crack) terwijl in de beschouwde snede het moment nagenoeg gelijk is aan 0;



Dwarskracht



- Een toets op hoofdtrekspanningen in de ongescheurde toestand leert dat in de doorsnede met de maximale dwarskracht een kleine scheur kan ontstaan;
- Wel kan daarna, vanwege de toenemende effectieve breedte van de doorsnede, een evenwichtstoestand worden gevonden;
- Er zijn op verzoek van Opzeeland 4 boorkernen geboord in het gebied met maximale dwarskrachten.



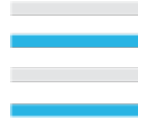
Dwarskracht



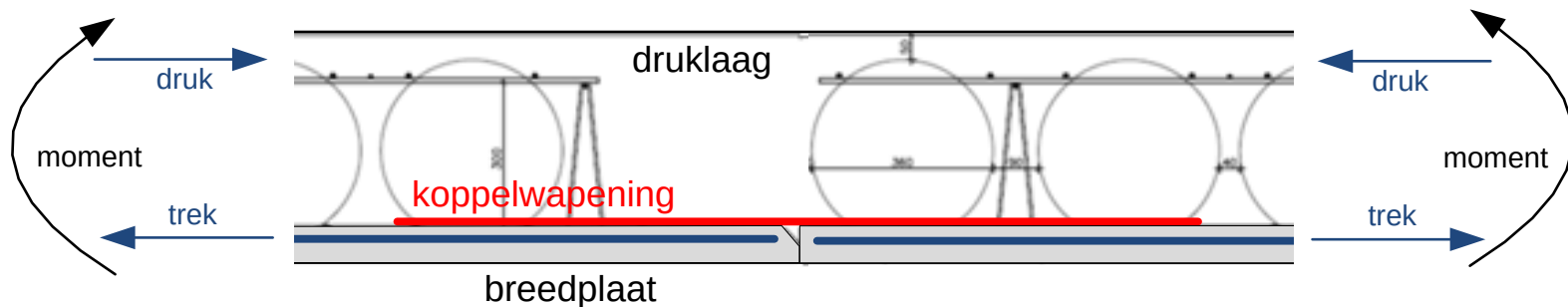
- Samenvattend kan worden geconcludeerd dat uit een berekening met de betondruksterkte op het moment van 'schrikken' als uitgangspunt, blijkt dat de dwarskracht door de permanente belasting van de dakvloerconstructie, met belastingsfactor 1,0, in de betreffende doorsnede door het beton kan worden opgenomen.
- Dwarskrachtbezwijken is niet de oorzaak geweest van de instorting.



Momentweerstand



Principe detail van de vloer bij een naad in de breedplaat:

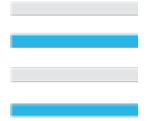


Momentweerstand ter plaatse van de naad kan worden bepaald door:

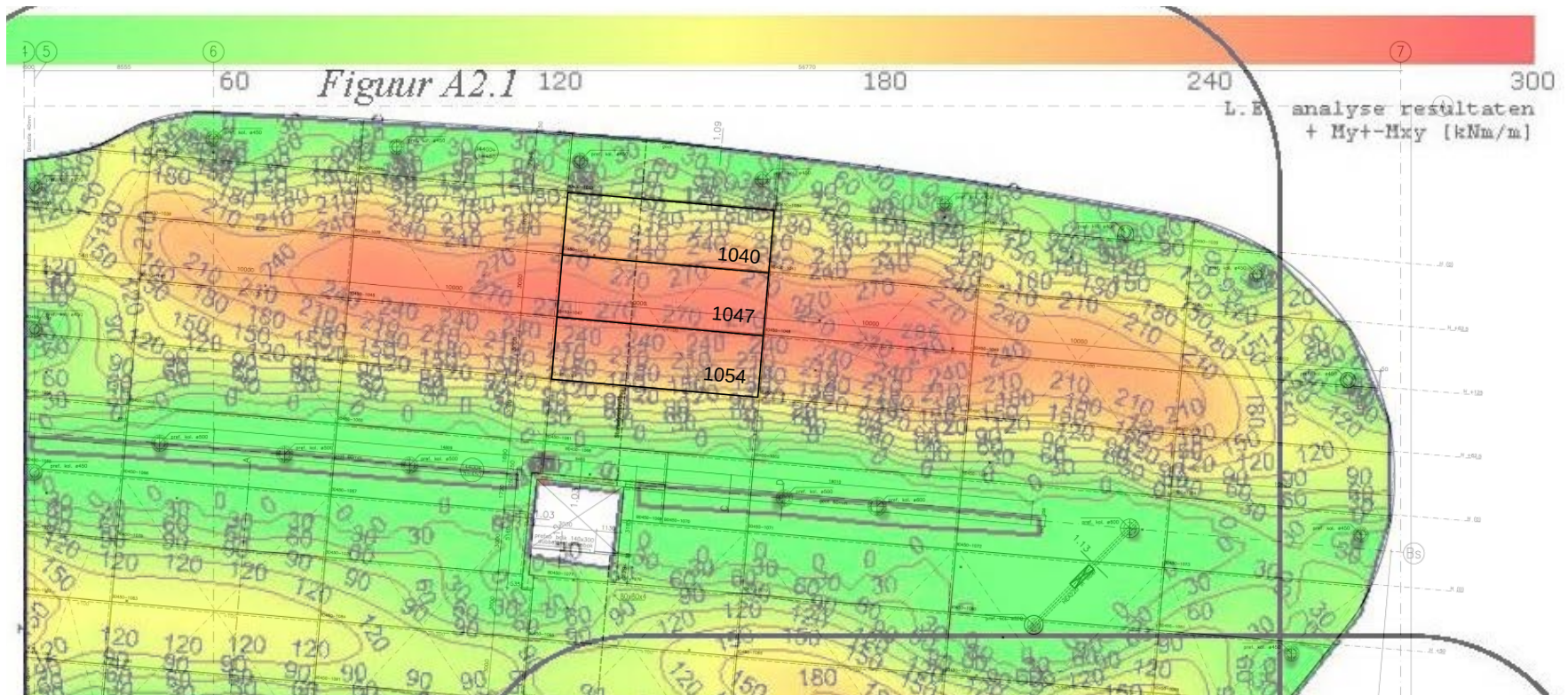
- *de treksterkte van de koppelwapening (ontwerp uitgangspunt);*
- *verankeringscapaciteit van (gebundelde) koppelwapening die direct op de breedplaat is geplaatst;*
- *afschuifsterkte aansluitvlak tussen breedplaat en druklaag.*



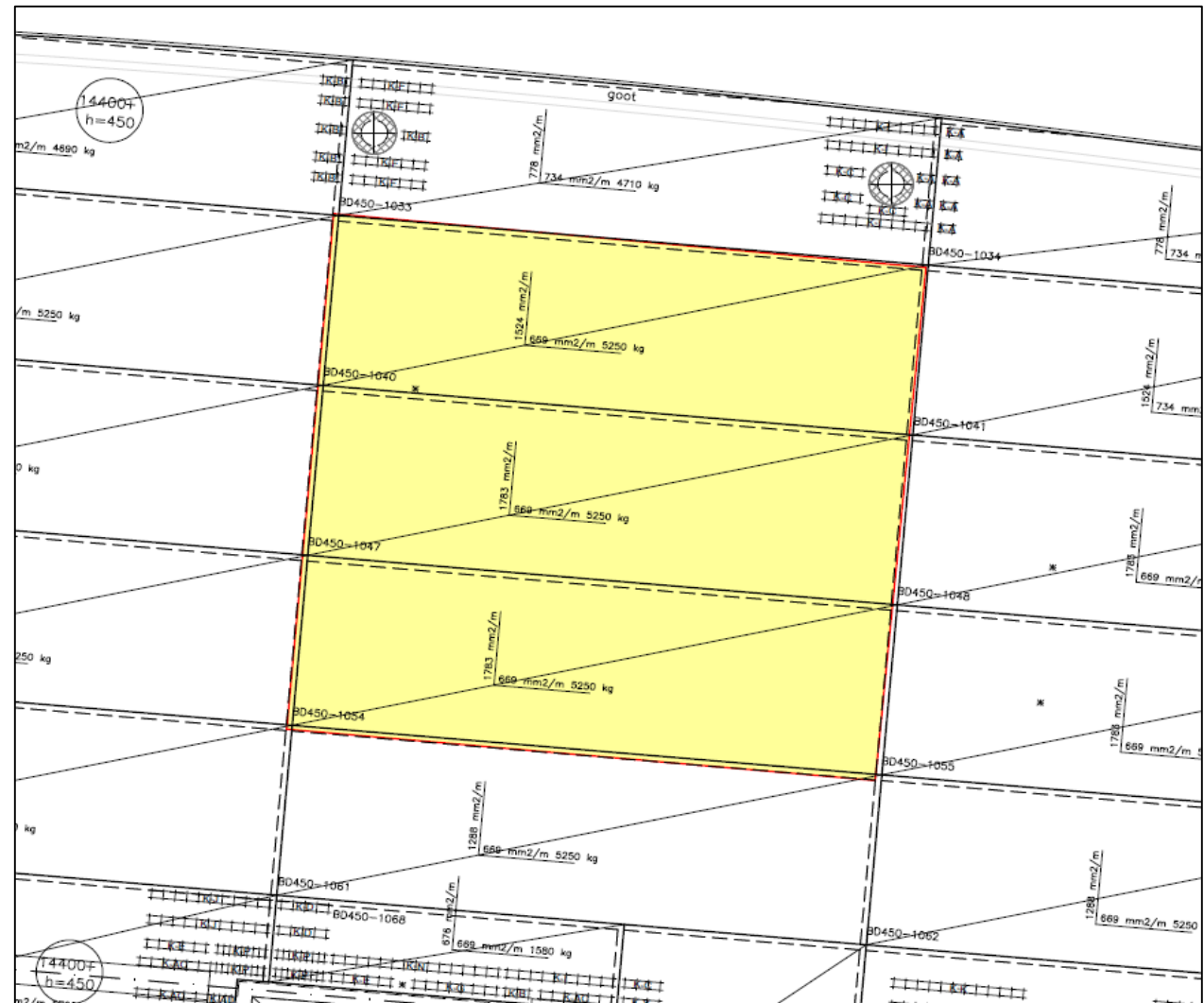
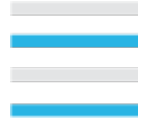
Experimenteel Onderzoek



Kritische locatie in de dakvloer (deel B)



Experimenteel Onderzoek



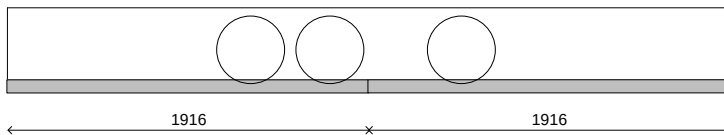
Experimenteel Onderzoek



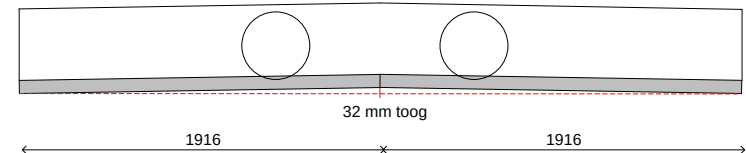
Variaties in detail

De volgende variaties komen voor:

- voeg 1040 – 1047
 - o vlak
 - o $3\varnothing 16 + 1\varnothing 10$
 - o eerste bol direct naast voeg
- voeg 1047 – 1054
 - o geknikt
 - o $4\varnothing 16$
 - o eerste bol op 450 mm



V(lak)



K(nik)



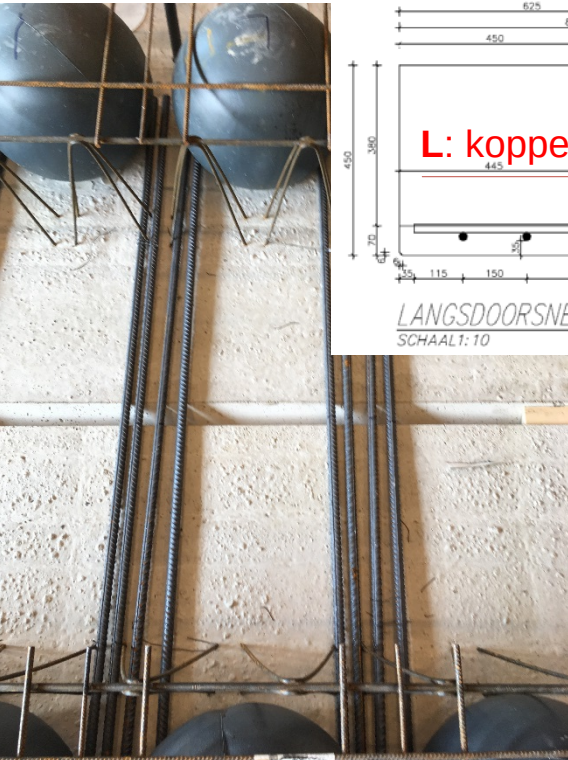
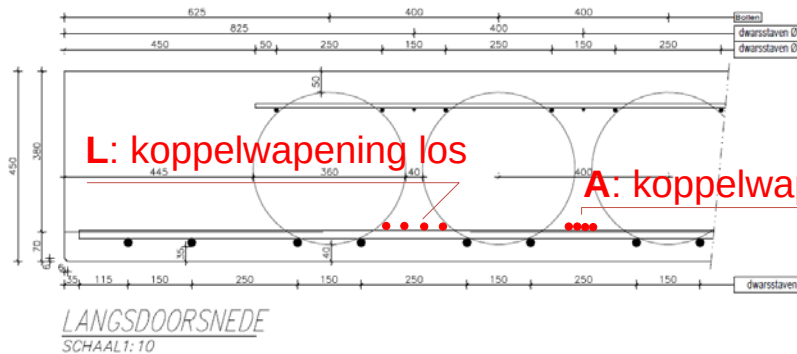
Experimenteel Onderzoek



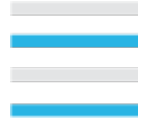
Variaties in detail

- druksterkte beton **18** N/mm²
- koppelwapening **L**os
- druksterkte beton **34,5** N/mm²
- koppelwapening **A**ansluitend

BUBBLEDECK450

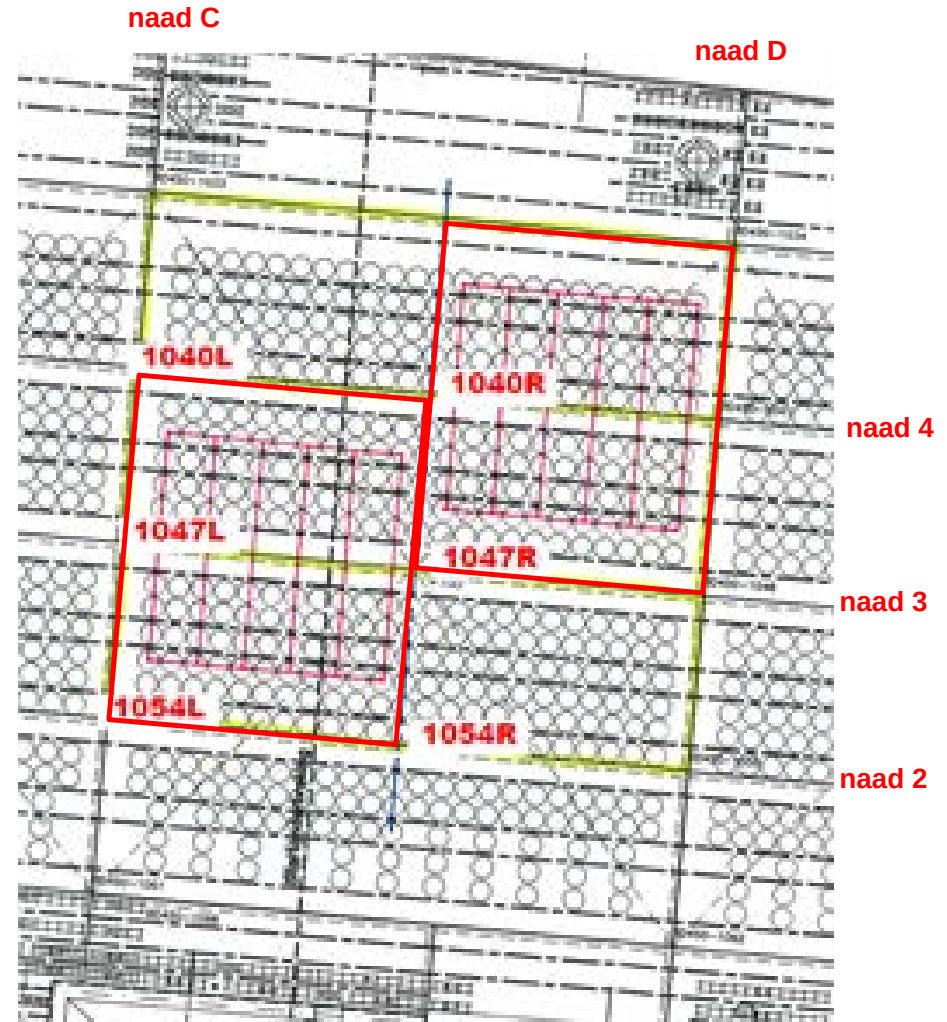


Experimenteel Onderzoek



Experimenteel onderzoek

Structures Laboratory
Eindhoven **TU/e**



Experimenteel Onderzoek



Vervaardiging proefstukken

Breedplaten met bollen

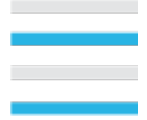
- Op 7 juli zijn de breedplaten 1040, 1047 en 1054 nogmaals bij MBS in Vianen geproduceerd.
- Vervolgens zijn de breedplaten ($3 \times 10 \text{ m}^2$) op 12 juli vervoerd naar een andere locatie in Vianen.
- Daarna zijn de platen door de BAM in twee delen gezaagd ($3 \times 5 \text{ m}^2$) en vervoerd naar het Structures Laboratory Eindhoven van de TU/e.

noot:

Bij het hijsen van de platen in Vianen is beperkte schade ontstaan.



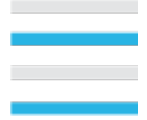
Experimenteel Onderzoek



Experimenteel Onderzoek



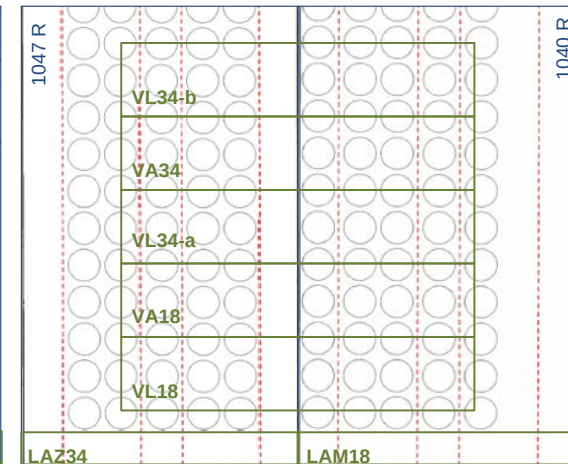
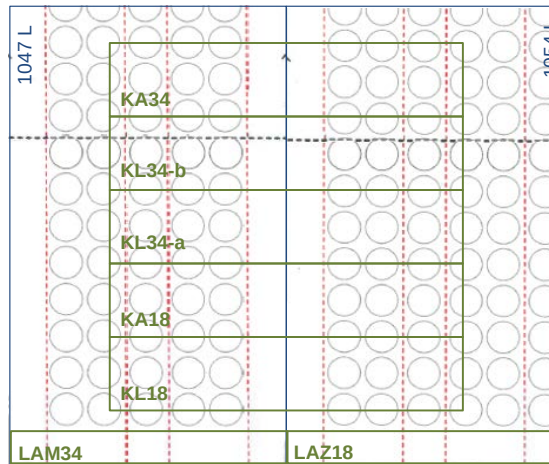
Experimenteel Onderzoek



Experimenteel Onderzoek



Aanbrengen druklaag
Structures Laboratory
Eindhoven
26/7 en 28/7



Experimenteel Onderzoek



Experimenteel Onderzoek



Proefstuk na het zagen

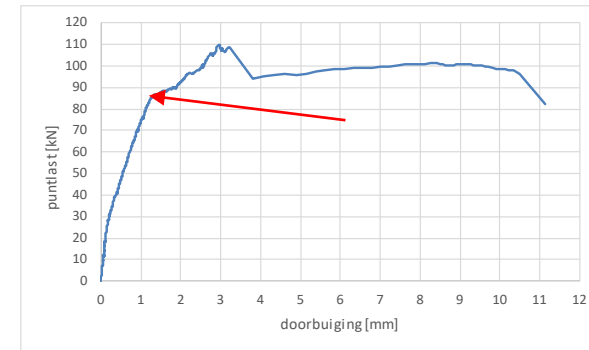
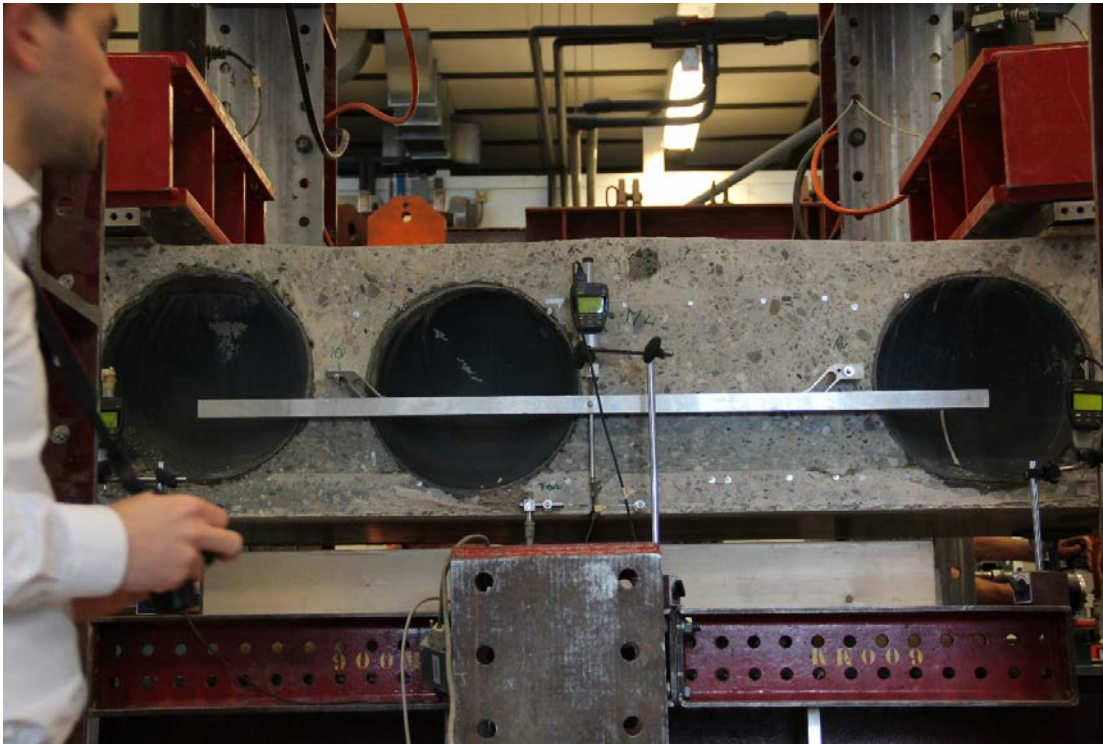


 = bollen verwijderen

Experimenteel Onderzoek



Gedrag VL18

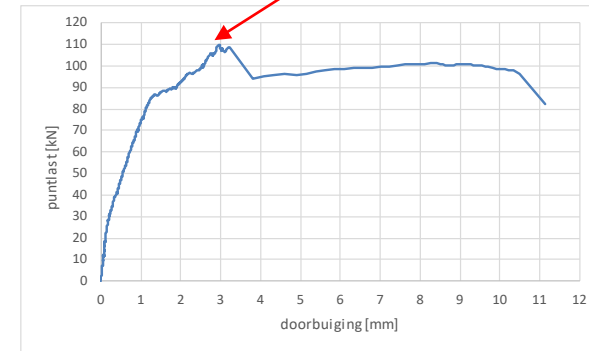


Eerste niet-lineaire gedrag in de vorm van scheurvorming tussen rechter breedplaat en de druklaag bij een puntlast van 88,1 kN ieder (1436 s)



Experimenteel Onderzoek

Gedrag VL18

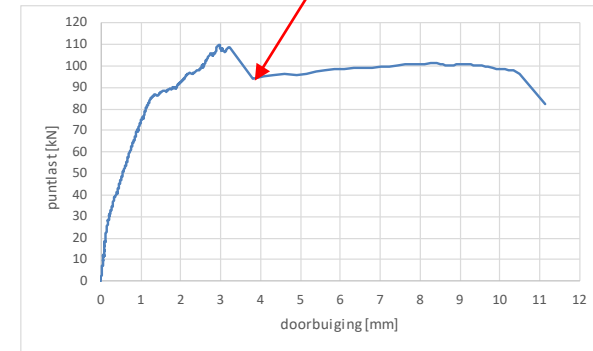


Situatie juist voor de maximale belasting van 109,9 kN, scheurvorming is iets verder doorgezet maar de scheurwijdte is nog beperkt (1808 s)



Experimenteel Onderzoek

Gedrag VL18

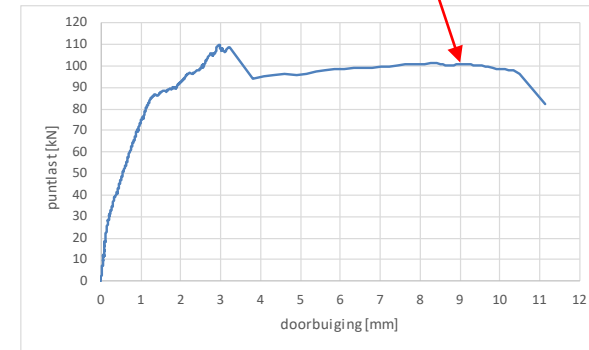


Belasting is teruggevallen tot 95,7 kN en de scheur is verder ontwikkeld (1867 s)



Experimenteel Onderzoek

Gedrag VL18



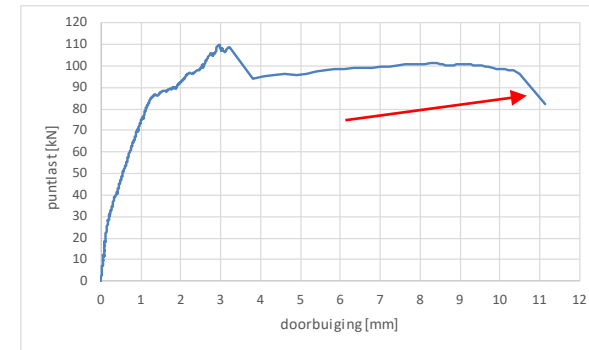
De belasting is toegenomen tot 101 kN op het moment dat de tralieligger uit de rechter breedplaat wordt getrokken (1882 s)



Experimenteel Onderzoek



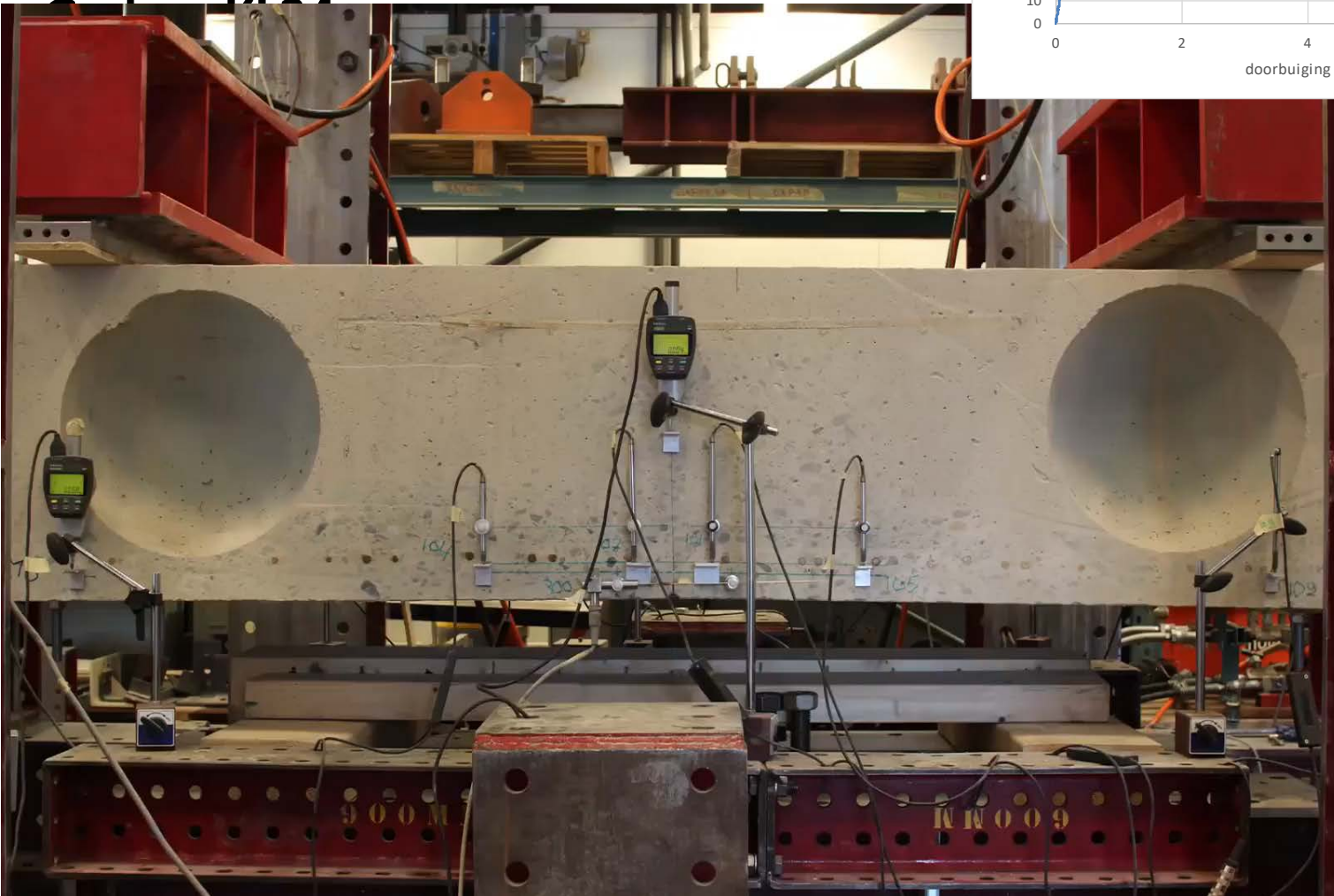
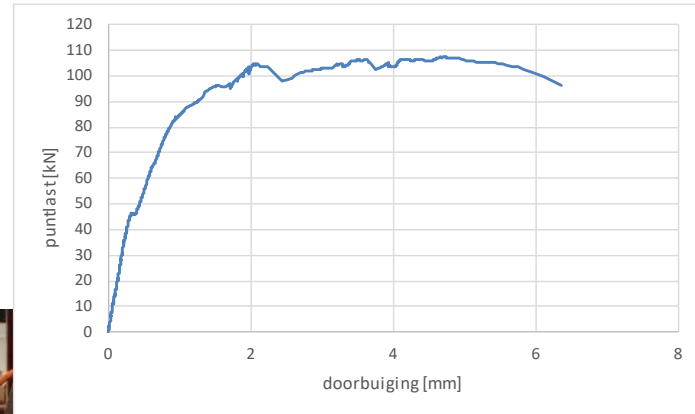
Gedrag VL18



Het proefstuk is bezweken, de belasting is teruggevallen (1922 s)



Experimenteel Onderzoek



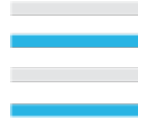
Experimenteel Onderzoek



Experimenteel Onderzoek



Experimenteel Onderzoek

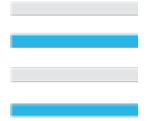


Resultaten:

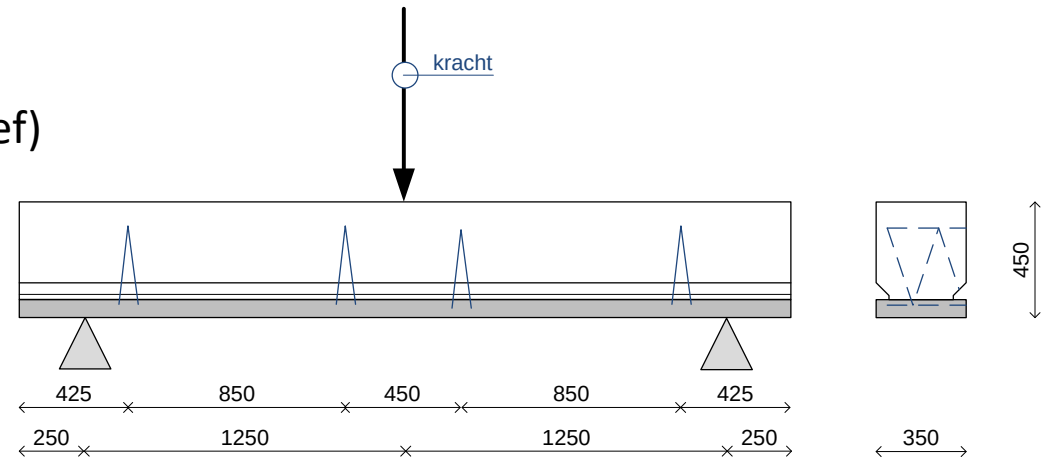
code	datum	beton	maximale last	schade
VL18	1/8/17	22,7 N/mm ²	110 kN	-
VA18	2/8/17	24,6 N/mm ²	118 kN	r
KL18	2/8/17	22,6 N/mm ²	110 kN	-
KA18	3/8/17	24,7 N/mm ²	113 kN	r
KL34a	11/8/17	33,3 N/mm ²	107 kN	r
VL34a	28/8/17	36,3 N/mm ²	120 kN	r
KL34b	30/8/17	37,8 N/mm ²	94 kN	m



Experimenteel Onderzoek



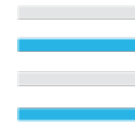
Langsafschuifproeven (3p-buigproef)



Proefstukken met één breedplaat



Experimenteel Onderzoek

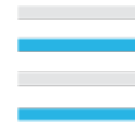


Langsafschuifproeven - Resultaten

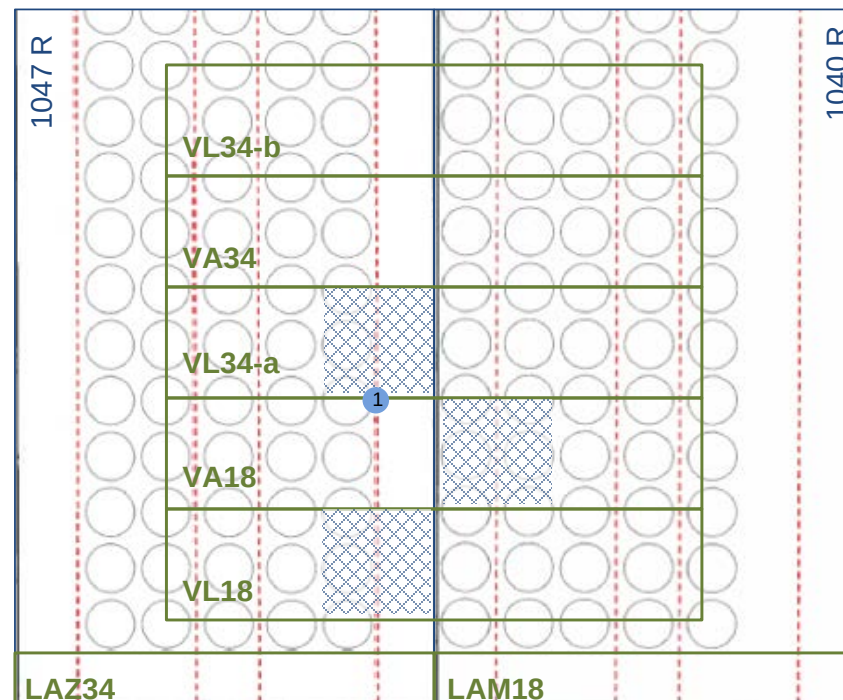
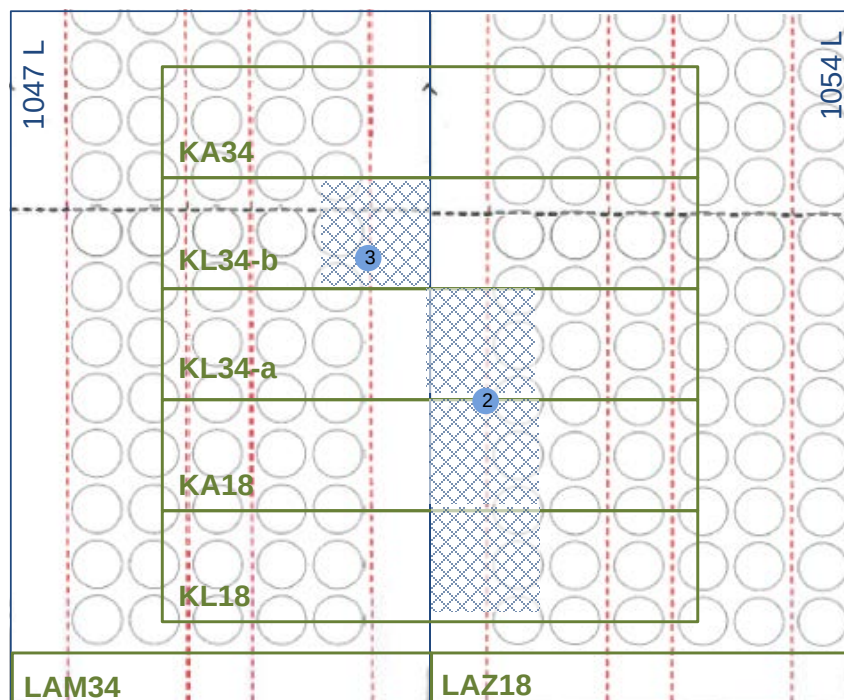
proefstuk	datum	$f_{cm,cube}$ [N/mm ²]	maximale last [kN]	maximaal moment [kNm]	maximale dwarskracht [kN]	breedplaat	ruwheid
LAM18	1/8/17	22,7	71,3	46,5	40,4	1040	2,0 mm
LAM34	21/8/17	37,5	103,5	67,6	56,6	1047	5,5 mm



Experimenteel Onderzoek

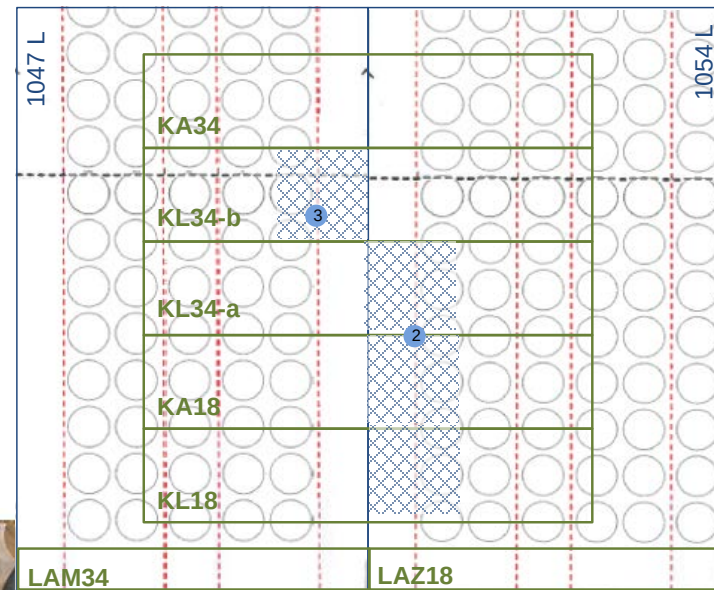


Bezwijkvlakken en locatie schade



Experimenteel Onderzoek

Bezwijkvlakken bepaald door
de ruwheid van de breedplaten



figuur A-10 Proefstuk KL18
1054 boven / 1047 onder



figuur A-11 Proefstuk KA18
1054 boven / 1047 onder



Experimenteel Onderzoek



Conclusies:

- Bezwijken vindt bij alle proefstukken op een zelfde wijze plaats, de capaciteit van het aansluitvlak is maatgevend;
- De maximale last van de proefstukken varieert tussen 94 kN en 120 kN;
- Het lijkt alsof de variaties zoals
 - o aanwezigheid van de knik bij naad 3 (1047-1054)
 - o hoeveelheid en detaillering van de koppelwapening
 - o druksterkte van het betongeen significante invloed hebben op de grootte van de bezwijklast;



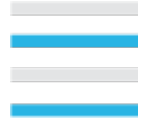
Experimenteel Onderzoek



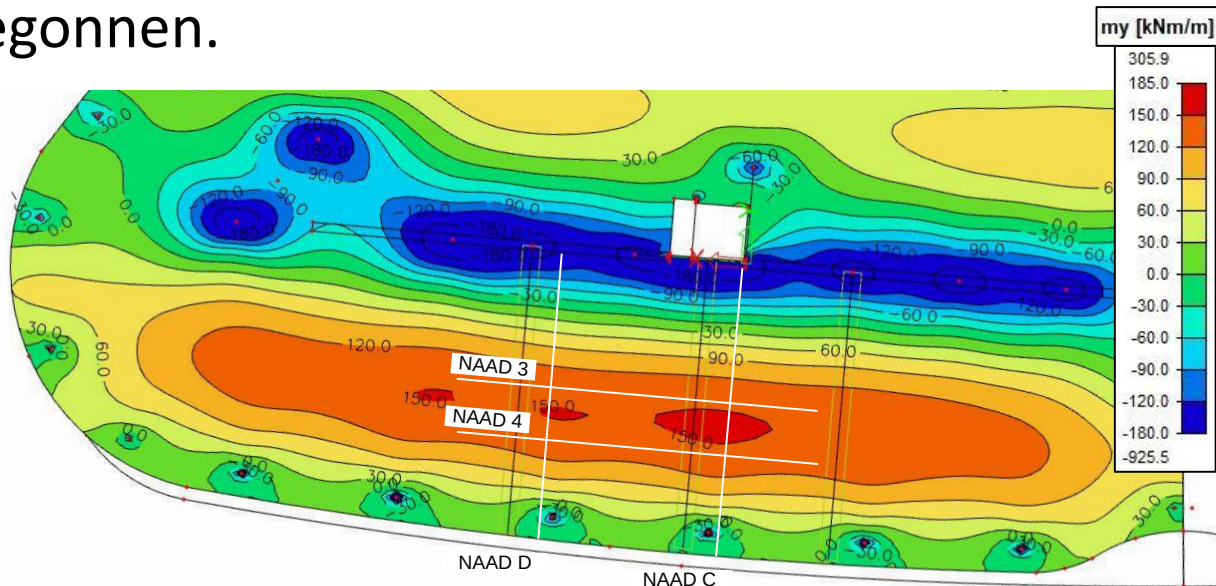
- Het bezwijken is enigszins ductiel;
 - *er is sprake van een toename van de vervorming bij een ongeveer gelijkblijvende weerstand*
- De aanwezige momentweerstand van 125 kNm/m is slechts 1/3 van de bij naad 3 verwachte momentweerstand;
- Als het resultaat van proef KL34b buiten beschouwing wordt gelaten, varieert de grootte van de gemiddelde schuifspanning v tussen de 0,45 en 0,49 N/mm².



Analyse naar de oorzaak

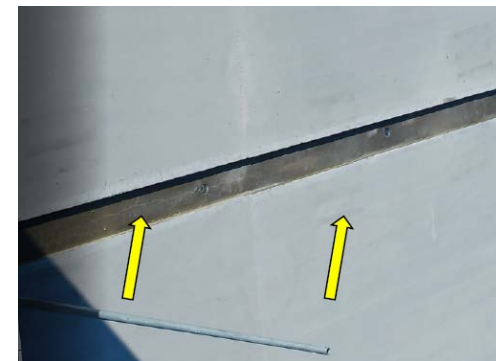
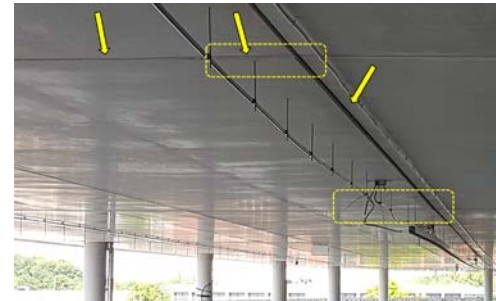


- In de dakvloer treden ten gevolge van het gewicht van de constructie momenten op die van een gelijke orde van grootte zijn als de weerstand van de constructie bij naad 3.
- De locatie met het gebrek aan momentweerstand valt samen met de plaats waar de instorting zeer waarschijnlijk is begonnen.



Analyse naar de oorzaak

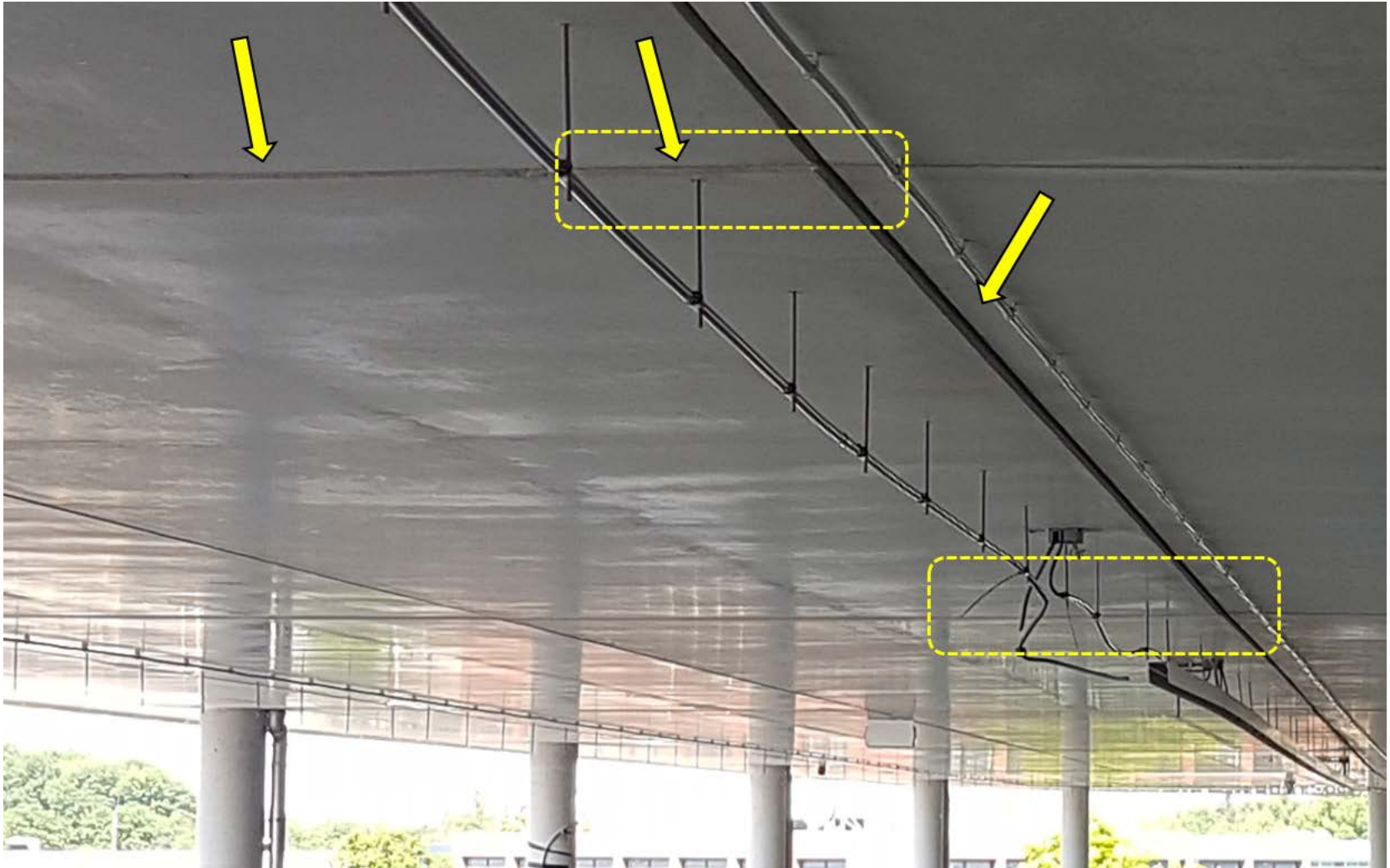
- Bij deze momenten zal in de constructie schade ontstaan en treedt herverdeling van de inwendige krachten op.
- Dat dit is gebeurd, blijkt uit:
 - doorbuiging / plassen op het dak;
 - wijde voeg ter plaatse van naad 3 onder dakvloer;
 - scheurvorming in dakvloer (en andere vloeren) boven de middenkolommen.



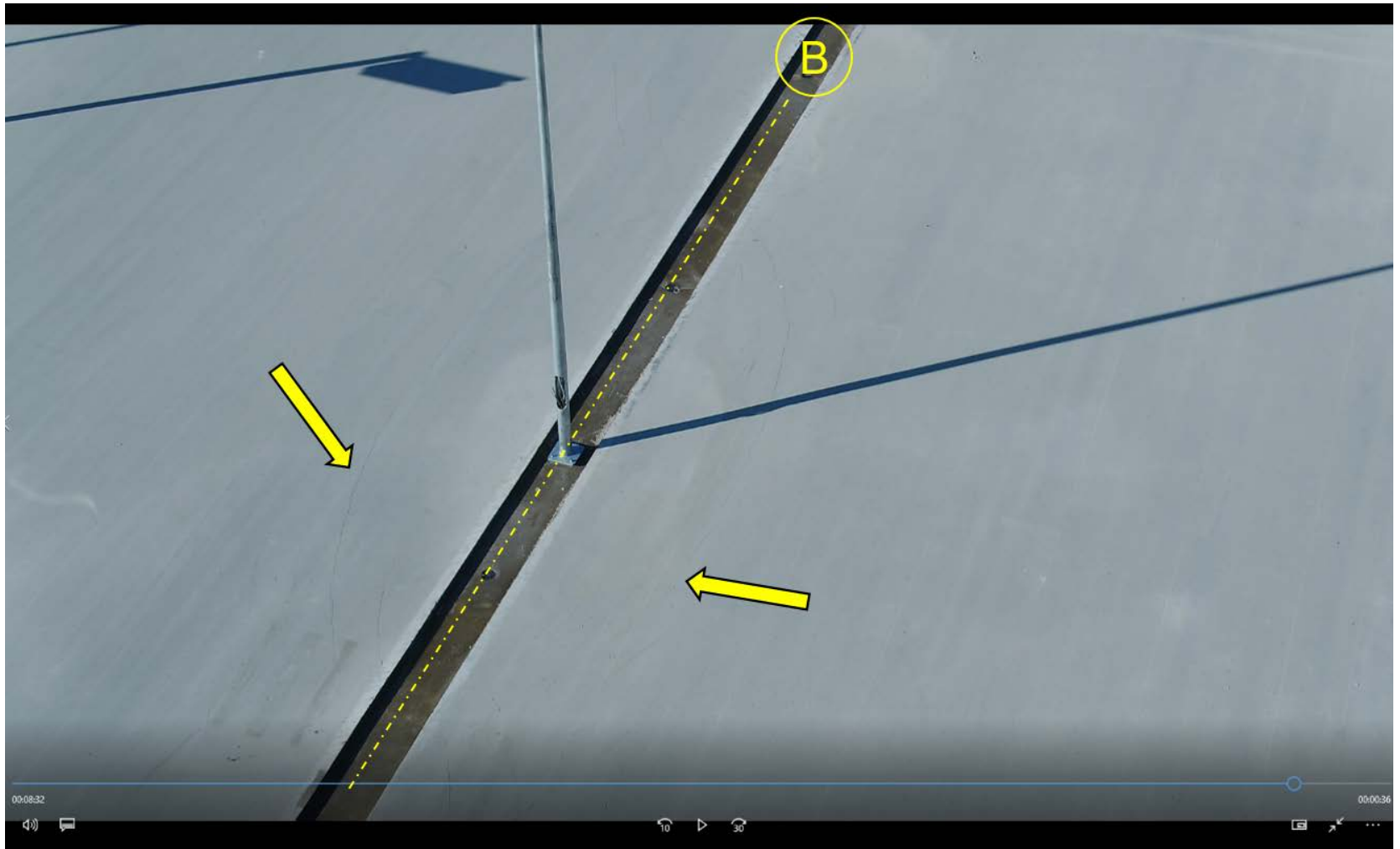
Analyse naar de oorzaak



Analyse naar de oorzaak



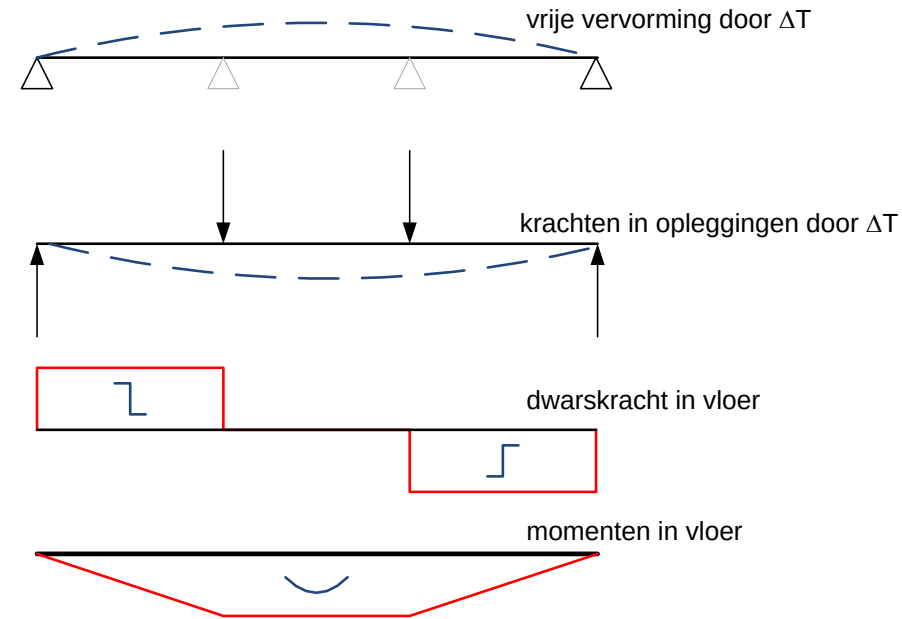
Analyse naar de oorzaak



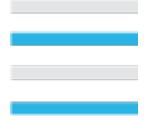
Analyse naar de oorzaak



- Op 27 mei 2017 was het mooi weer met veel zonneschijn. Hierdoor werd de dakvloer aan de bovenzijde warm (gradiënt) en zou hij willen opbollen;
- Dit werd door de verbinding met de kolommen verhinderd, zodat extra momenten in de dakvloer ontstonden;
- Het mooie weer was de omstandigheid waarbij het gebrek aan momentweerstand tot uiting kwam en de dak vloer is bezweken.



Einde



Bedankt voor uw aandacht!

