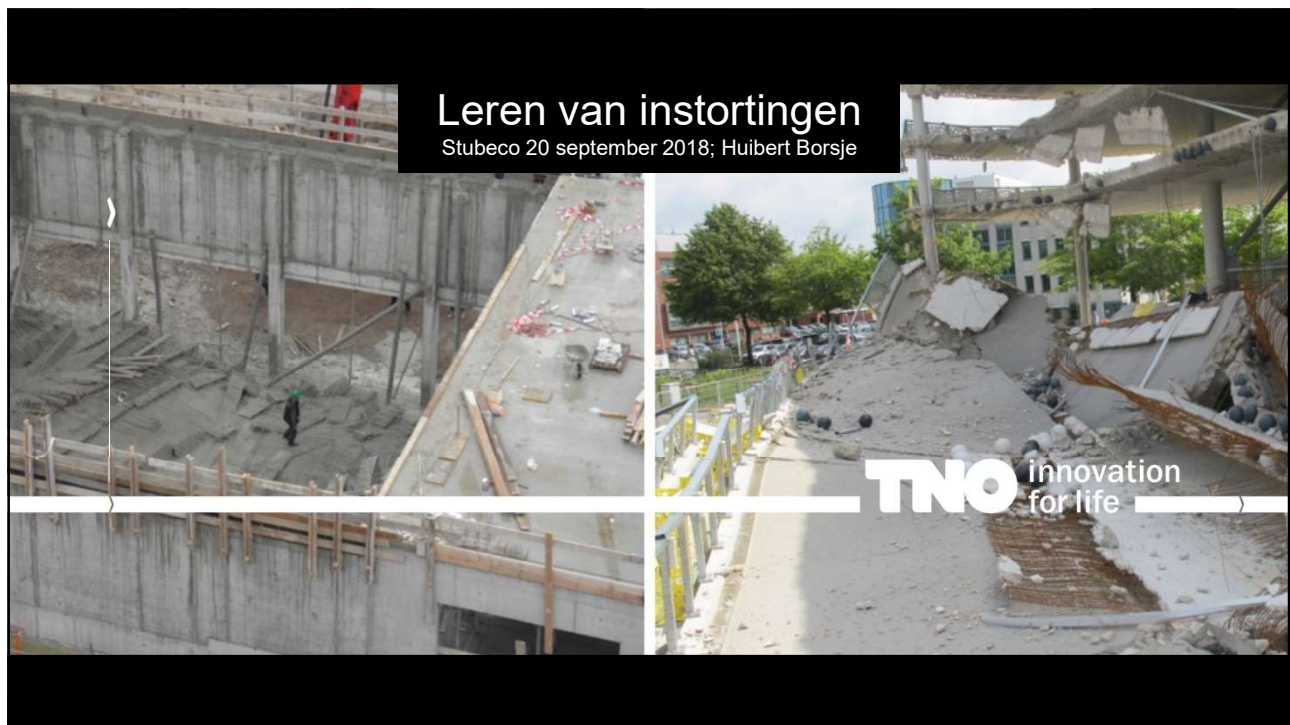
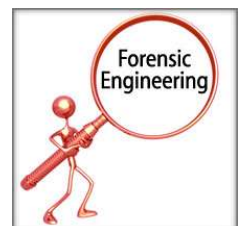




FORENSIC ENGINEERING

- › *"We don't just pay-up, rebuild, and walk away – we delve, we learn, and we improve"*

Robert T. Ratay (vz IABSE wg 8)

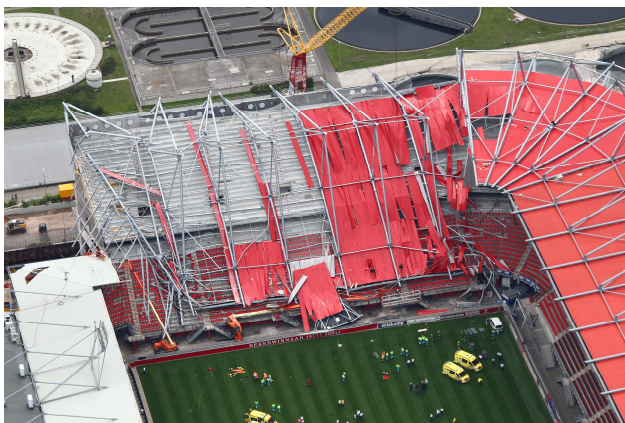


GEDEELTELIJKE INSTORTINGEN TIJDENS BOUWFASE



3

GEDEELTELIJKE INSTORTINGEN TIJDENS BOUWFASE



4

FORENSIC ENGINEERING = SCHADEONDERZOEK ??

› Schadeonderzoek:

Vanuit eigen referentiekader wordt gekeken naar wat de oorzaak kan zijn

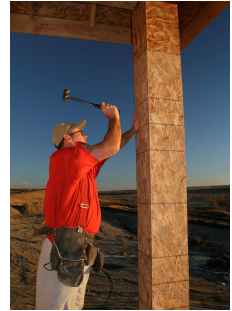
“To the man who only has a hammer in his toolkit,
every problem looks like a nail.”

› Forensic Engineering:

Is het proces in andere richting doorlopen

Via het verklaren van observaties ga je naar mogelijke oorzaken

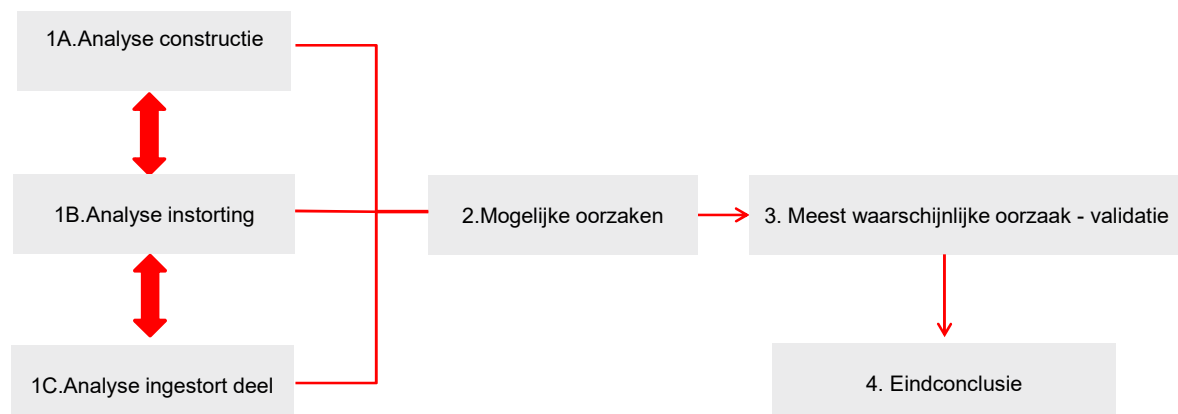
→ dus begin bij de schade



5

20 september 2018

FORENSIC ENGINEERING



6

20 september 2018

MOGELIJKE OORZAKEN

- › Opstellen van overzicht van mogelijke oorzaken
- › **Don't jump to conclusions - voorkom tunnelvisie**
- › Analyseer elke oorzaak op basis van onderzoeksresultaten:
 - Verificatie:** bevestigt mogelijke oorzaak
 - Falsificatie:** elimineert mogelijke oorzaak



7

20 september 2018

MOGELIJKE OORZAKEN

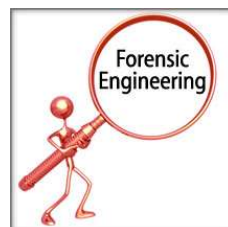
- › Probeer eerst zoveel mogelijk oorzaken te falsificeren
 - › Falsificatie is eenvoudiger dan verificatie
 - › “Alle zwanen zijn wit”
 - › Sherlock Holmes: “Eliminate all other factors and the one which remains must be the truth”

8

20 september 2018

FORENSIC ENGINEERING

- › 14 december 2012: Instorting dak van Internationale School Eindhoven
- › 27 mei 2017: Gedeeltelijke instorting parkeergarage Eindhoven Airport



9

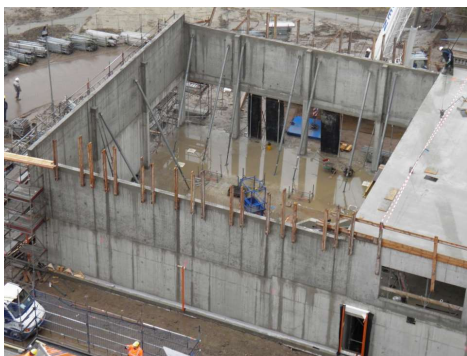
INTERNATIONALE SCHOOL EINDHOVEN



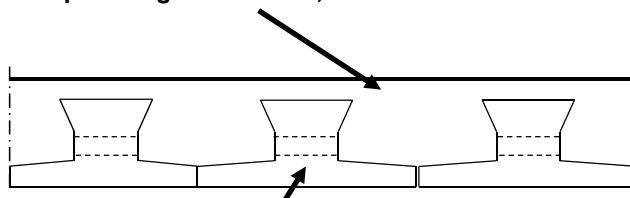
10

20 september 2018

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE



Ter plaatse gestort beton; totale vloerdikte 550 mm

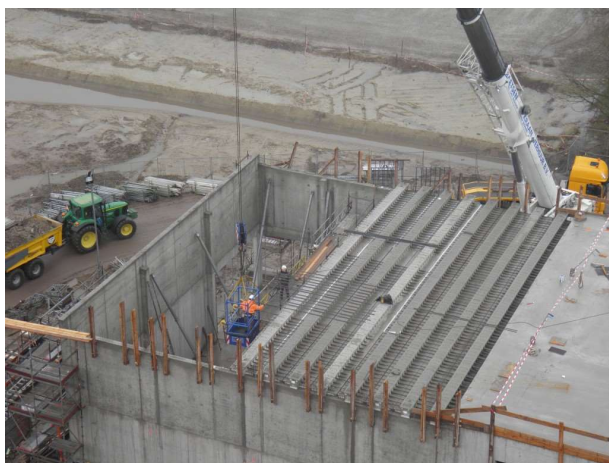


Geprefabriceerde Lambda-flex liggers

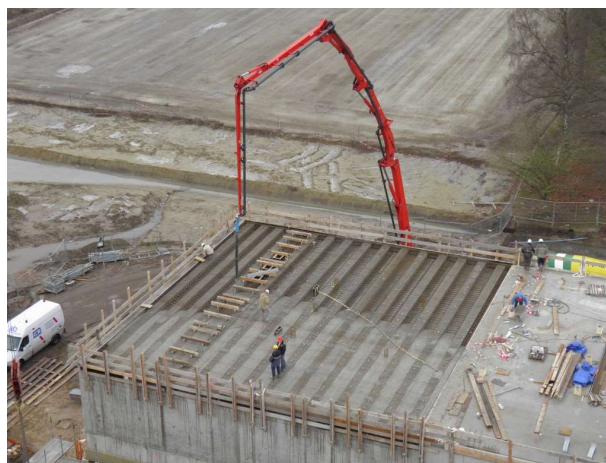
11

20 september 2018

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE



Leggen van de Lambda-flex liggers



Storten beton; als eerste tussen de liggers

12

20 september 2018

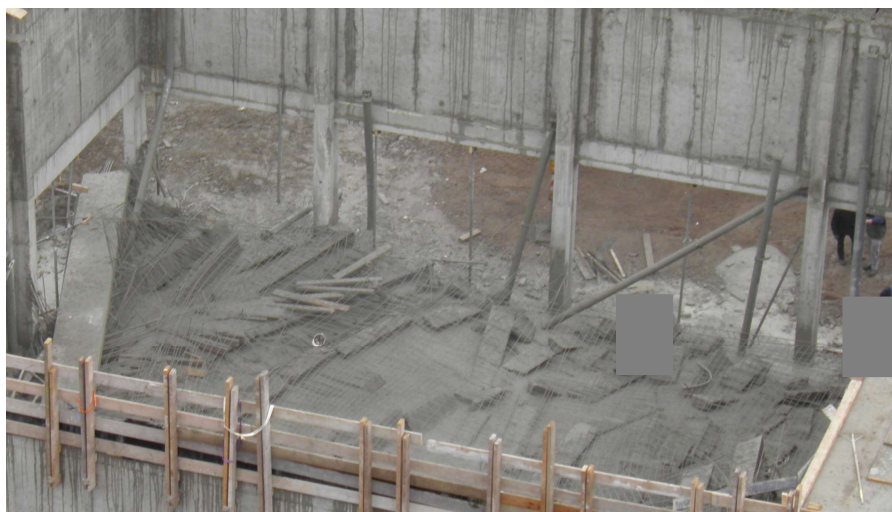
ANALYSE VAN DE INSTORTING

- › Verklaring van getuigen:
 - › Getuigen hoorden vloer kraken (krakend ijs)
 - › Instorting startte ongeveer halverwege de overspanning
- › Geen opnamen beveiligingscamera's

13

20 september 2018

OVERZICHT VAN HET INGESTORTE DEEL



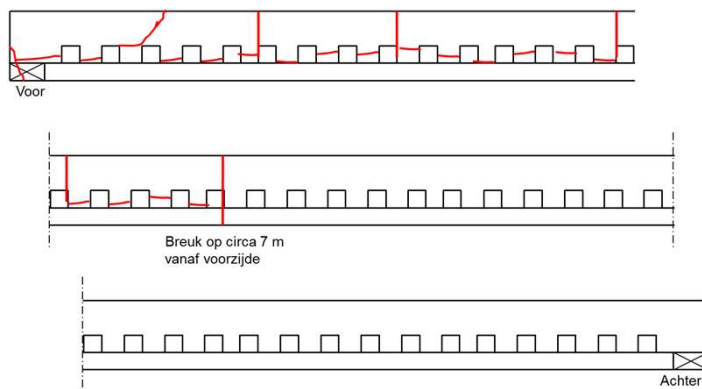
14

20 september 2018

OVERZICHT VAN HET INGESTORTE DEEL



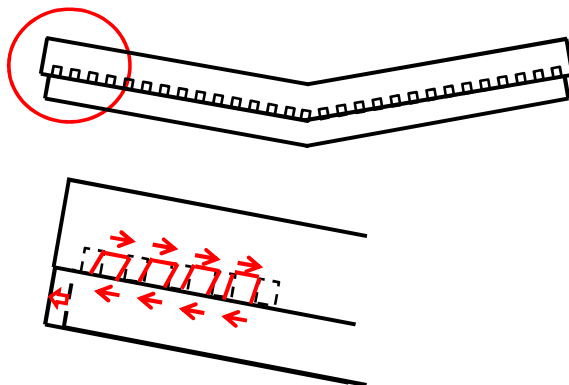
Lijf gescheiden van onderflens



20 september 2018

CONCLUSIE OP BASIS VAN WAARNEMINGEN

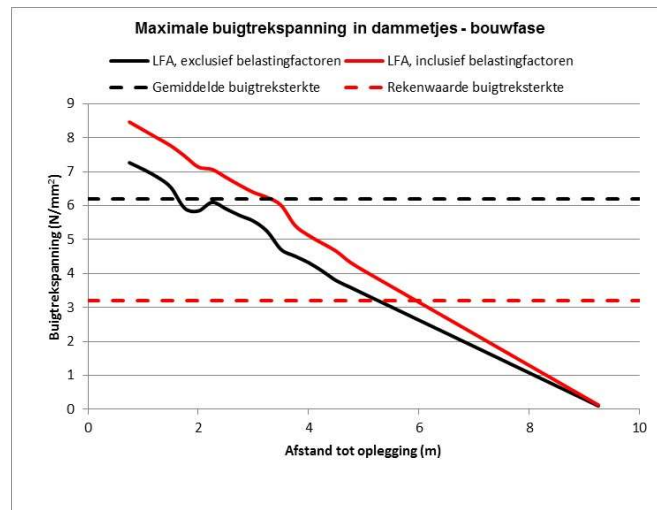
- › Bezwijken is gestart in ligger 3, 4 of 5 als gevolg van het bezwijken van de verbinding van het lijf aan de onderflens



16

20 september 2018

CONSTRUCTIEVE ANALYSE AANSLUITING LIJF-FLENS



17

20 september 2018

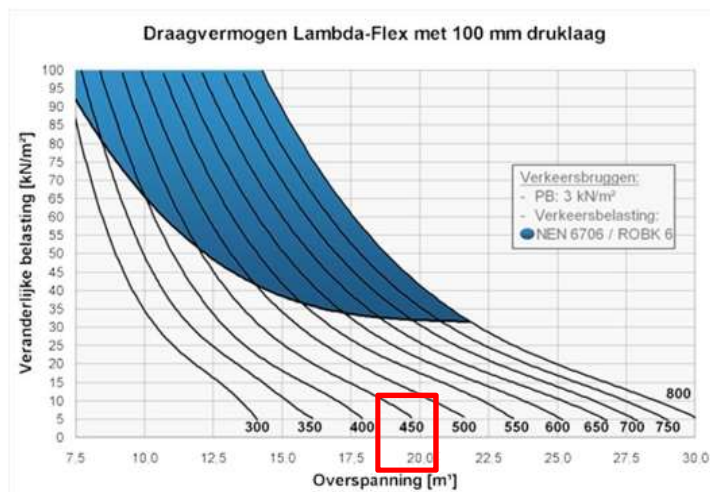
EINDCONCLUSIE INTERNATIONALE SCHOOL

- › De geprefabriceerde betonnen Lamba-flex liggers zijn in de bouwfase niet in staat geweest om de belasting ten gevolge van het ter plaatse gestorte beton op te nemen
- › De sterkte van de aansluiting van het lijf aan de flens van de Lambda-flex liggers was in de bouwfase onvoldoende voor de dan optredende belasting
- › De aansluiting van de lijven aan de flenzen van de Lambda-flex liggers voldeed in de bouwfase niet aan het vereiste veiligheidsniveau volgens de normenserie NEN 6700

18

20 september 2018

ONDERLIGGENDE OORZAAK ISE

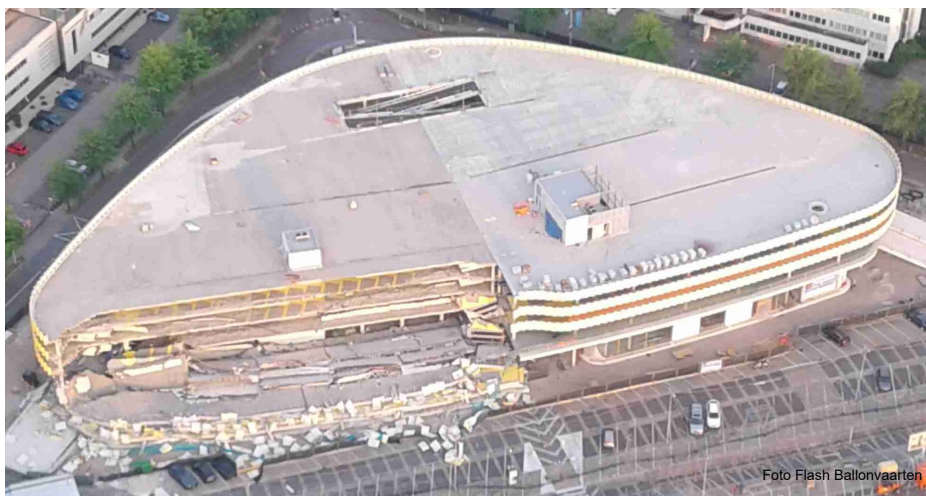


- › Ontworpen voor infrastructuur, maar nu toegepast in utiliteitsbouw
- › Overspanning 19 m; veranderlijke belasting (VB) 1 kN/m²
- › Bij relatief hoge VB was belasting in bouwfase (ter plaatse gestort beton) niet maatgevend, maar bij deze relatief lage VB WEL

19

20 september 2018

PARKEERGARAGE EINDHOVEN AIRPORT



20

20 september 2018

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE



Bollenplaatvloeren

Kolommen

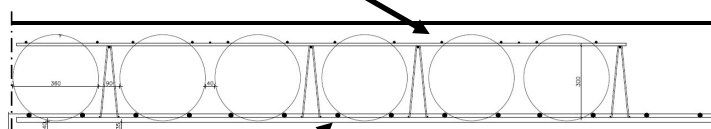
21

20 september 2018

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE - BOLLENPLAATVLOER



Ter plaatse gestort beton; totale vloerdikte 450 mm



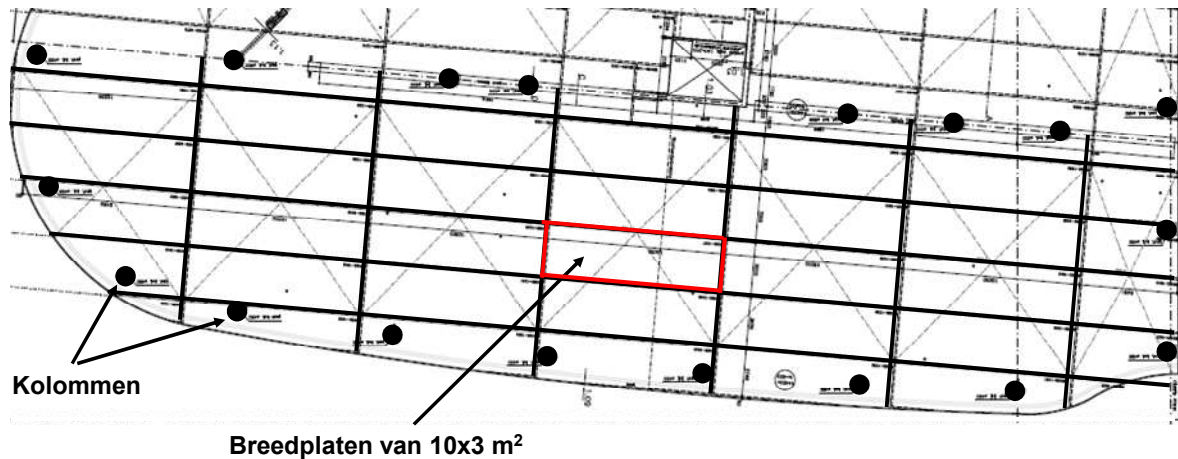
Geprefabriceerde breedplaat van zelfverdichtend beton met daarin kunststof bollen

22

20 september 2018

OPBOUW VAN DE CONSTRUCTIE - BOLLENPLAATVLOER

Dilatatie



23

20 september 2018

ANALYSE VAN DE INSTORTING

- › Verklaring van vier getuigen - unaniem:
 - › Instorting vond plaats van boven naar beneden
- › Opnamen beveiligingscamera's:
 - › Gebouw slechts gedeeltelijk zichtbaar
 - › Bevestiging van verklaring getuigen
- › Vloeren draaien omlaag om buitenste kolomrij

24

20 september 2018

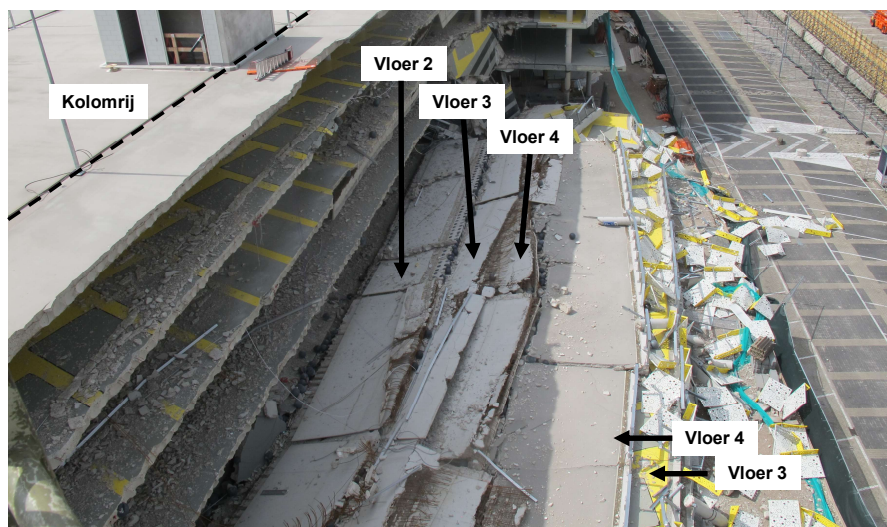
ANALYSE VAN DE INSTORTING



25

20 september 2018

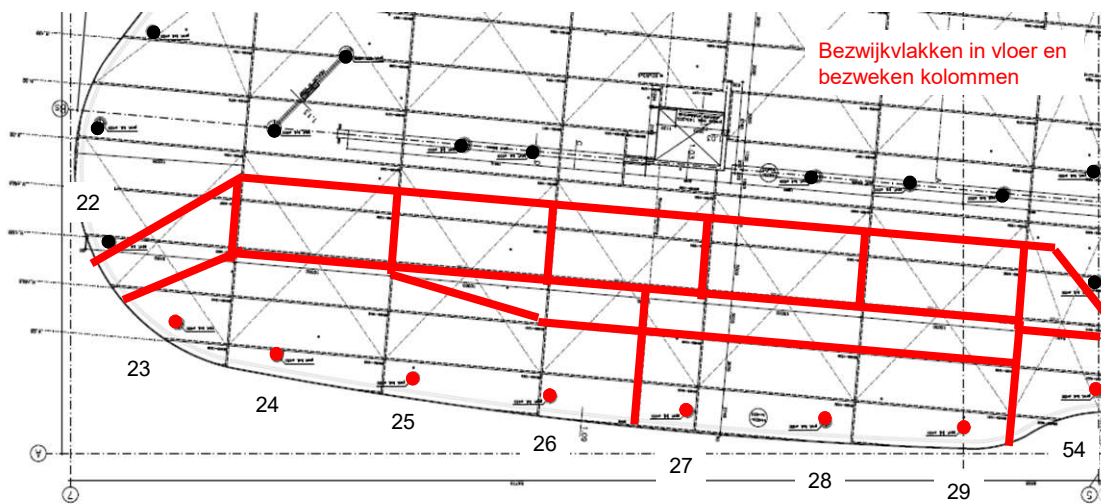
OVERZICHT VAN HET INGESTORTE DEEL



26

20 september 2018

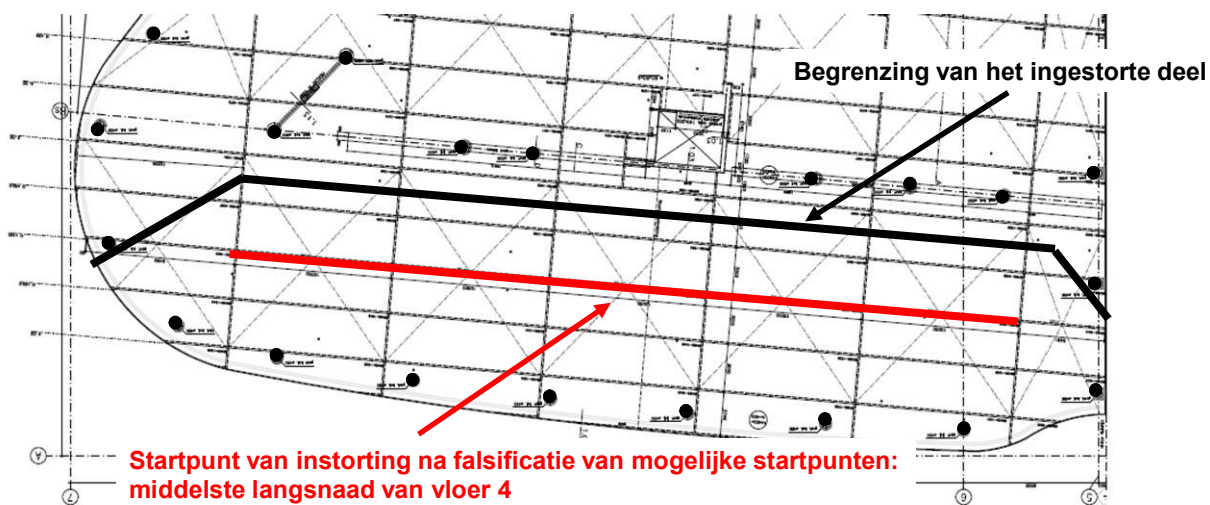
ANALYSE VAN HET INGESTORTE DEEL



27

20 september 2018

WIJZE VAN INSTORTEN - FALSIFICATIE

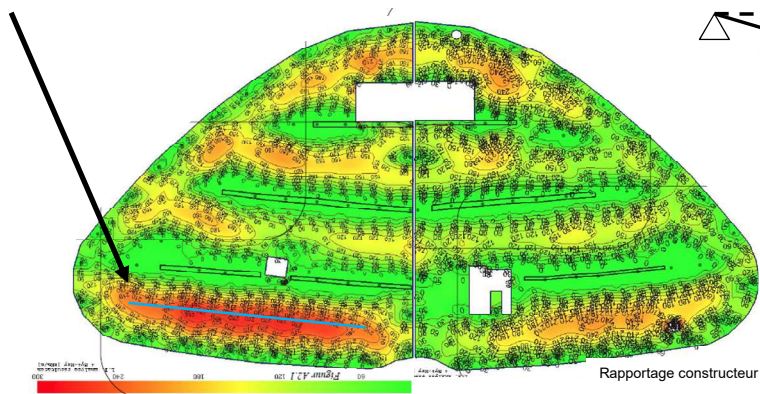


28

20 september 2018

CONCLUSIE OP BASIS VAN WAARNEMINGEN

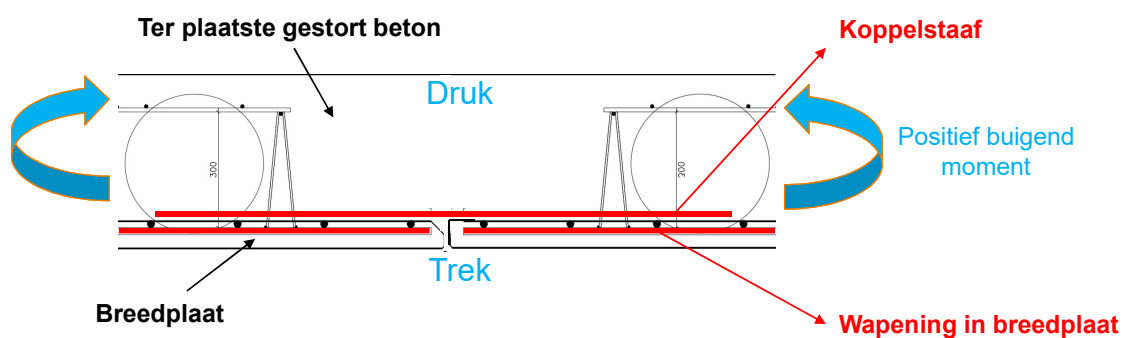
- › Instorting is gestart in middelste langснаad van vloer 4
- › Dit is zone in vloer 4 met het grootste positieve buigend moment



29

20 september 2018

CONSTRUCTIEVE ANALYSE MIDDELSTE LANGSNAAD



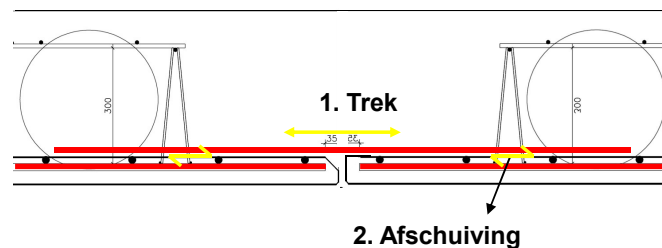
30

20 september 2018

CONSTRUCTIEVE ANALYSE MIDDELSTE LANGSNAAD

› Krachtsoverdracht van de ene breedplaat naar de andere:

1. Verankeringslengte van koppelstaven ("Trek")
 - Koppelstaven moeten voldoende overlap hebben met wapening in breedplaten
2. Krachtsoverdracht vanuit wapening in breedplaat naar koppelstaven ("Afschuiving")
 - Aansluiting van breedplaat aan ter plaatse gestort beton moet voldoende sterk zijn



31

20 september 2018

RESULTAAT VAN DE CONSTRUCTIEVE ANALYSE

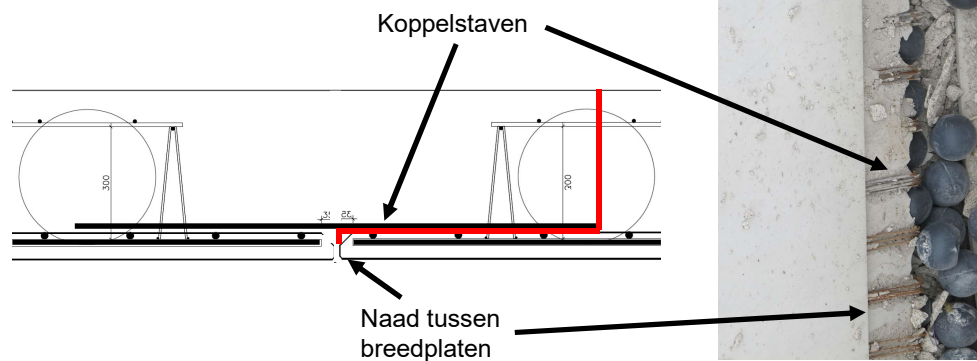
- › Van de twee genoemde mechanismen was de sterkte van het aansluitvlak (2) maatgevend
- › De sterkte van het aansluitvlak voldeed niet aan de geldende normen (NEN-EN 1992-1-1 en aanvulling hierop voor bollenplaatvloeren via CUR Aanbeveling 86)
- › Beoordeling situatie ten tijde van de instorting (exclusief veiligheidsfactoren):
 - › Het falen van het aansluitvlak onder aanwezige belasting (permanent en temperatuur) was zeer goed mogelijk

32

20 september 2018

START VAN DE INSTORTING IN MIDDELSTE LANGSNAAD

- › Aansluitvlak ter plaatse gestort beton aan niet-opgeruwd, zelfverdichtend beton van breedplaat was niet in staat om optredende belasting op te nemen → breedplaat scheurt los
- › Aan einde koppelstaven gaat scheur verticaal omhoog → vloer bezwijkt



33

20 september 2018

EINDCONCLUSIE EINDHOVEN AIRPORT

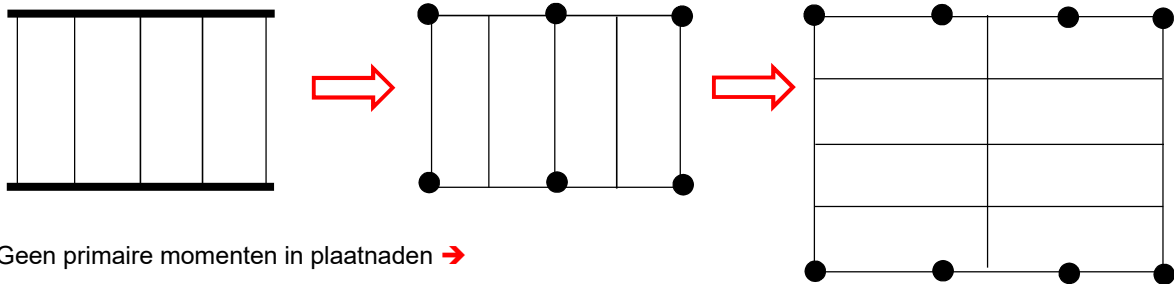
- › De oorzaak is vrijwel zeker het niet kunnen overbrengen van de trekkracht in de wapening van de ene breedplaat naar de andere breedplaat
- › Vrijwel zeker is de capaciteit van het aansluitvlak tussen het ter plaatse gestort beton en de breedplaat onvoldoende geweest
- › Er zijn geen aanwijzingen voor andere technische oorzaken welke tot de gedeeltelijke instorting van de constructie hebben geleid
- › De trigger voor de instorting is vrijwel zeker de opwarming van de bovenzijde van de vloer van de 4^e verdieping door zoninstraling

34

20 september 2018

ONDERLIGGENDE OORZAAK EA

- › Breedplaten oorspronkelijk aan twee zijden lijnvormig ondersteund
- › Toepassing is in de loop van de tijd verruimd



Geen primaire momenten in plaatnaden →

Primaire buigende momenten in plaatnaden nemen sterk toe

35

20 september 2018

ONDERLIGGENDE OORZAAK EA

- › Breedplaten oorspronkelijk vervaardigd van traditioneel grindbeton dat werd opgeruwd
- › Nu zelfverdichtend beton dat niet was opgeruwd
- › Afschuifsterkte aanhechtvlak ter plaatse gestort beton aan breedplaat sterk afgenomen
 - door achterwege blijven nabewerking
 - door afwijkend aanhechtgedrag zelf verdichten beton aan t.p.g. beton
- › Capaciteit van plaatnaden bij geringe positieve buigende momenten en opgeruwd traditioneel beton niet maatgevend
- › Bij hoge positieve buigende momenten en niet-opgeruwd zelfverdichtend beton is capaciteit WEL maatgevend

36

20 september 2018

OVEREENKOMSTEN BEIDE INSTORTINGEN

- › Het maatgevende detail voldeed niet aan de in de voorschriften gedefinieerde eisen
- › Het maatgevende detail was niet als zodanig onderkend en beoordeeld door de constructeurs
- › De toepassing lag “buiten” het oorspronkelijk bedachte toepassingsgebied
- › Consequenties van de (stapsgewijs) doorgevoerde wijzigingen zijn niet ingezien
- › Het maatgevende detail was oorspronkelijk niet maatgevend, maar is door wijzigingen WEL maatgevend geworden

› **BEDANKT VOOR UW AANDACHT**

Voor meer inspiratie:
TIME.TNO.NL