



Betononderzoek van stuwen in de Maas

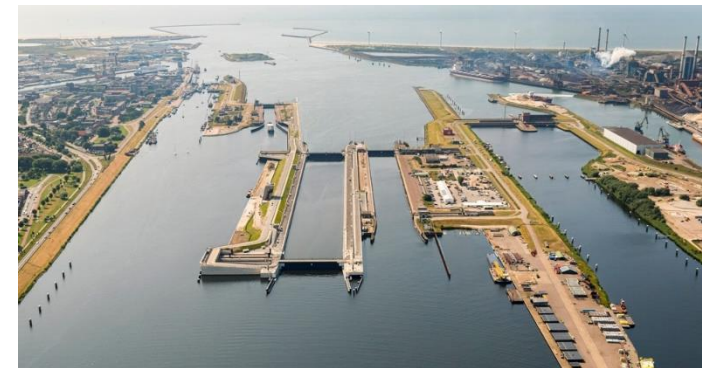
Marija Nedeljković

Rijkswaterstaat, GPO-TeNK



In het kort

- Civiele techniek (MSc, Servië) en materiaalkunde (PhD, Nederland)
- 10 jaar materiaalkarakterisering (TU DELFT, TATA STEEL, TNO)
- Grote projecten advies Tunnels en Natte Kunstwerken RWS
- Betonlevensduur, niet-destructief onderzoek van betonconstructies, sloop en recycling





Inhoud

- i. Stuwen in de Maas
- ii. Doel onderzoek
- iii. Onderzoeksmethoden
- iv. Resultaten
- v. Conclusies



Stuwen in de Maas

Case study: Sambeek

Stuwen in de Maas



Stuw Sambeek

- Sterke gelijkenis met stuw Linne, Roermond en Belfeld
- 2 Stoney openingen - afvoerregulering, 1 Poirée - scheepvaartopening
- Maatgevende belastingen:
 - maximaal verval,
 - stoot varend schip,
 - stoot schip/bak/drijfvuil 'op drift'.



Bovenstrooms aanzicht bij de scheepvaartopening

Stuw Sambeek
(Poirée/Stoney)



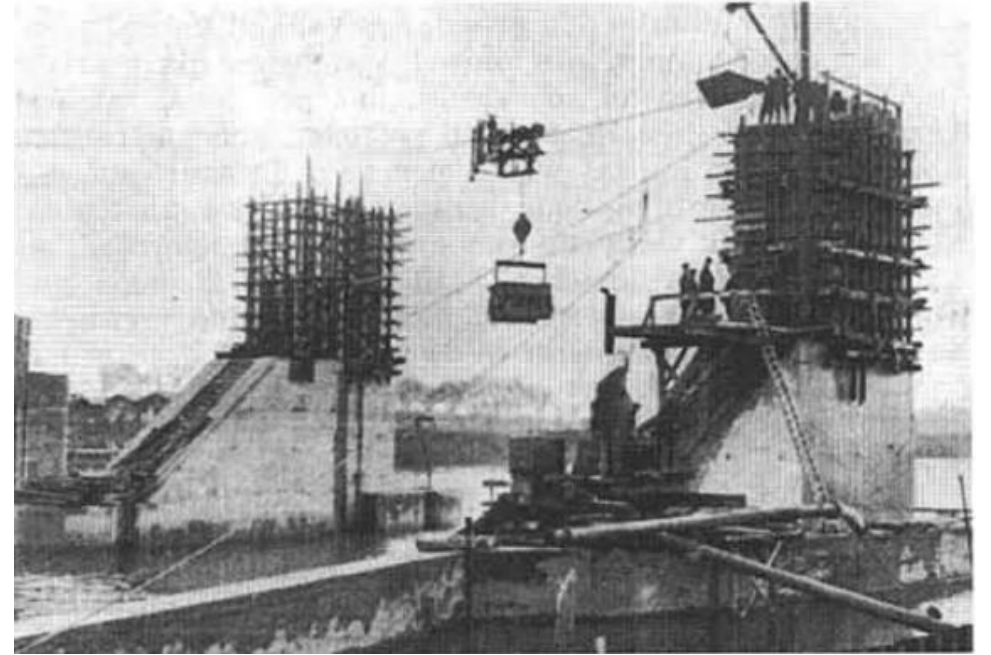
stuwbrug

jukken

onder en boven
schuiven

Bouwperiode 1921

- Storten: Twee betonmolens 1 m³ ($\approx 12\,000\text{ m}^3$)
- Tijd van storten: Dag en nacht storten - temperatuur wisseling
- Bekisting: IJzeren bekistingsschotten
- Toeslagmateriaal: uit de directe omgeving gewonnen (bouwput)
- Cement type: Portland cement was geheel uit België afkomstig, conform GBV 1918
- Uitdaging: beton verdichting



De bouw van de betonnen pijlers van de stuw bij Belfeld



Aanbrengen wapening woelbak, de stuw bij Sambeek

Huidige staat

- Uit visuele inspectie
- Huidige en toekomstige belasting en klimaat scenario's ten opzichte van 100 jaar geleden



Stuw Borgharen 2024



Doel/redenen onderzoek beton- en wapeningskwaliteit

Doel/redenen onderzoek Rijkswaterstaat

- Beoordeling Constructieve Veiligheid (CV)
 - Constructie dossier tbv Asset Management compleet maken
- Berekening Einde Technische Levensduur (ETL)
- Beoordeling mogelijkheden voor hergebruik te slopen beton



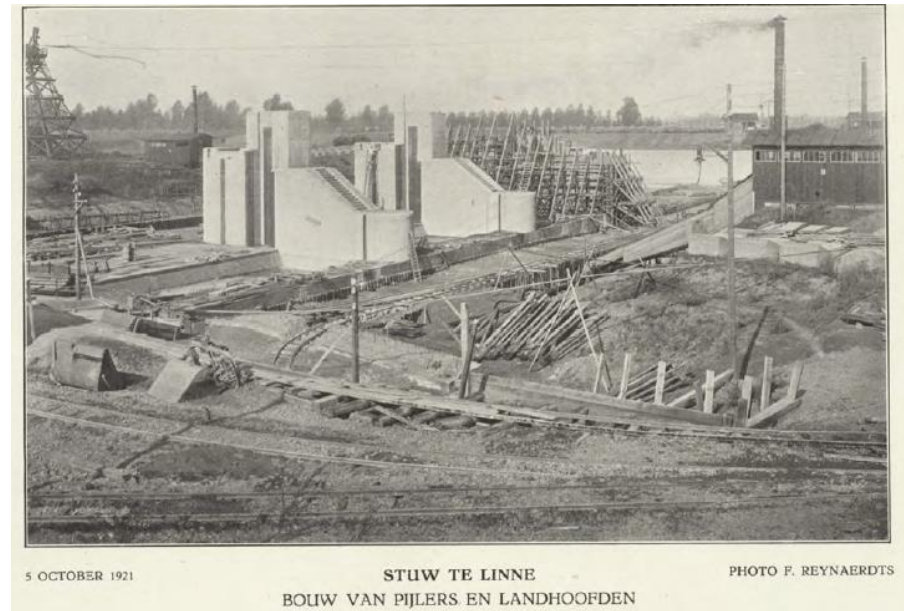
Materiaalonderzoek

100 jaar oude beton

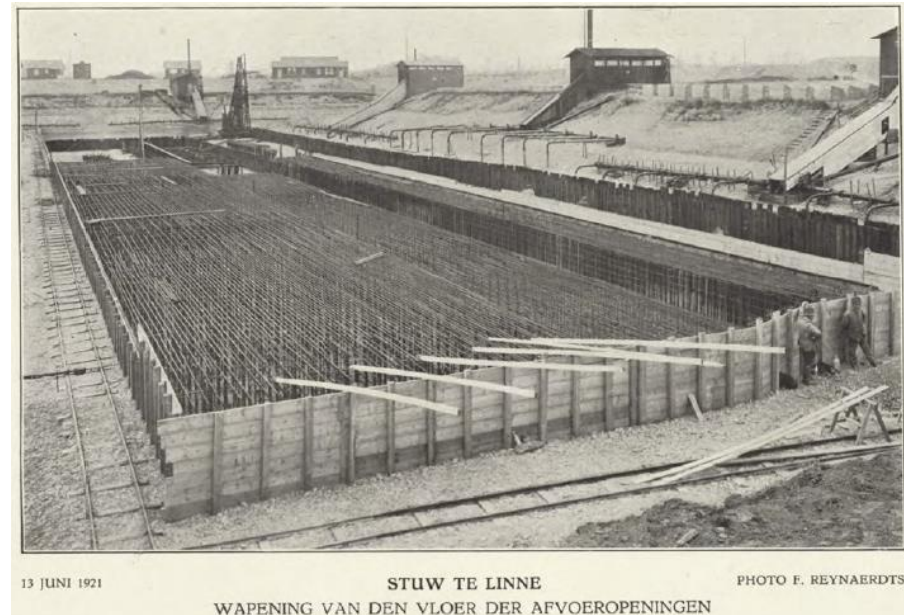
- Betontype en kwaliteit
- Stortnaden, doorgaande scheuren
- Holtes, grindnesten
- ASR, vertraagd etringiet vorming?
- Coatings/opstortlagen

Wapening

- Aanwezigheid van wapening (pijlers, vloer)
- Staaltipe en kwaliteit
- Verankering, lengte (on)voldoende
- Corrosie



Stuwpijlers ongewapend (stamp)beton



Stuwwloer gewapend beton (gladstaal)

Onderzoeksvragen

- i. Spreiding van belasting gaat uit van homogene monoliete constructie.
Betonkwaliteit is niet consistent. Hoe lokaliseren en meten we defecten zoals stornaden en grindnesten?
- ii. Is er een **meerwaarde** van **niet-destructief onderzoek** en welke testen zijn geschikt voor boven- en onder waterlijn beton?
- iii. Neemt **de mate van scheurvorming** toe in relatie tot de eerdere onderzoeken? Wat is de staat van het kern-beton?
- iv. Is de **wapening**, al dan niet aanwezig, na 100 jaar intact of (deels) aangetast door **corrosie**?





Onderzoeksaanpak en -methoden

Stuw Sambeek



Droogzetten stuw Sambeek

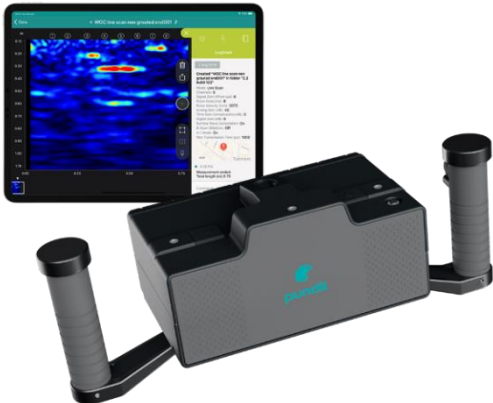
middenpijler

landhoofdpijler

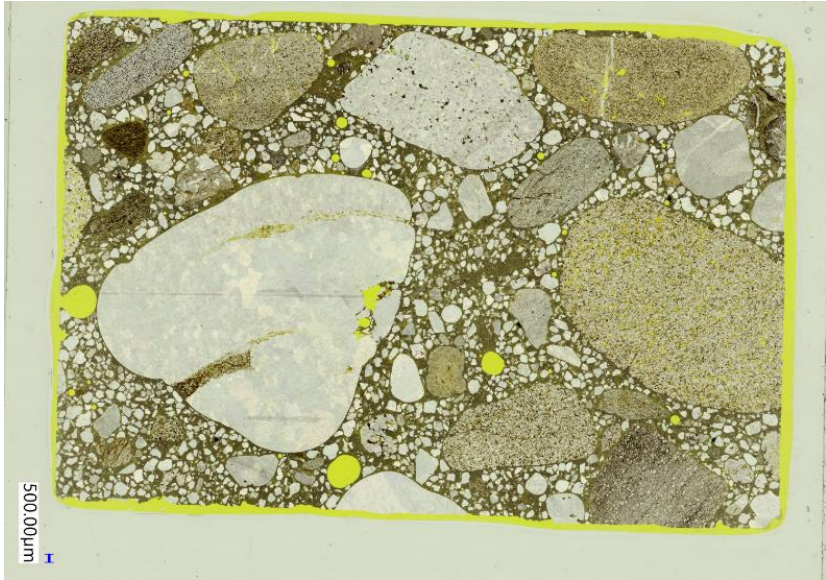
stuwvloer



	Methode/Standaard	Meetapparatuur	Beoordeling
Niet-destructief onderzoek	Visuele inspectie		Betonoppervlakken
	Ground Penetrating Radar	Proceq GP8000 (diepte 150 cm) Proceq GP8100 (diepte 80 cm) Proceq GP8800 (diepte 65 cm)	Detectie en detaillering van wapening
	Ultrasonic pulse velocity	Proceq Pundit 200	Meting van de scheurdiepte
	Ultrasonic pulse echo	Proceq PD8050	Detectie van holtes, delaminatie
	Impact echo	Proceq PI8000	Gelokaliseerde defectdetectie
	Probes/Electrodes	Proceq Resipod	Elektrische weerstandstest
	Half-cell potential	Proceq Profometer 8500	Betonstaal corrosie-activiteit
	Terugslaghamer (Schmidt Hammer)	Proceq Silver Schmidt OS8200	Betonhardheid
	Energy Dispersive XRF	Bruker S1 TITAN 800 hXRF	Betonsamenstelling



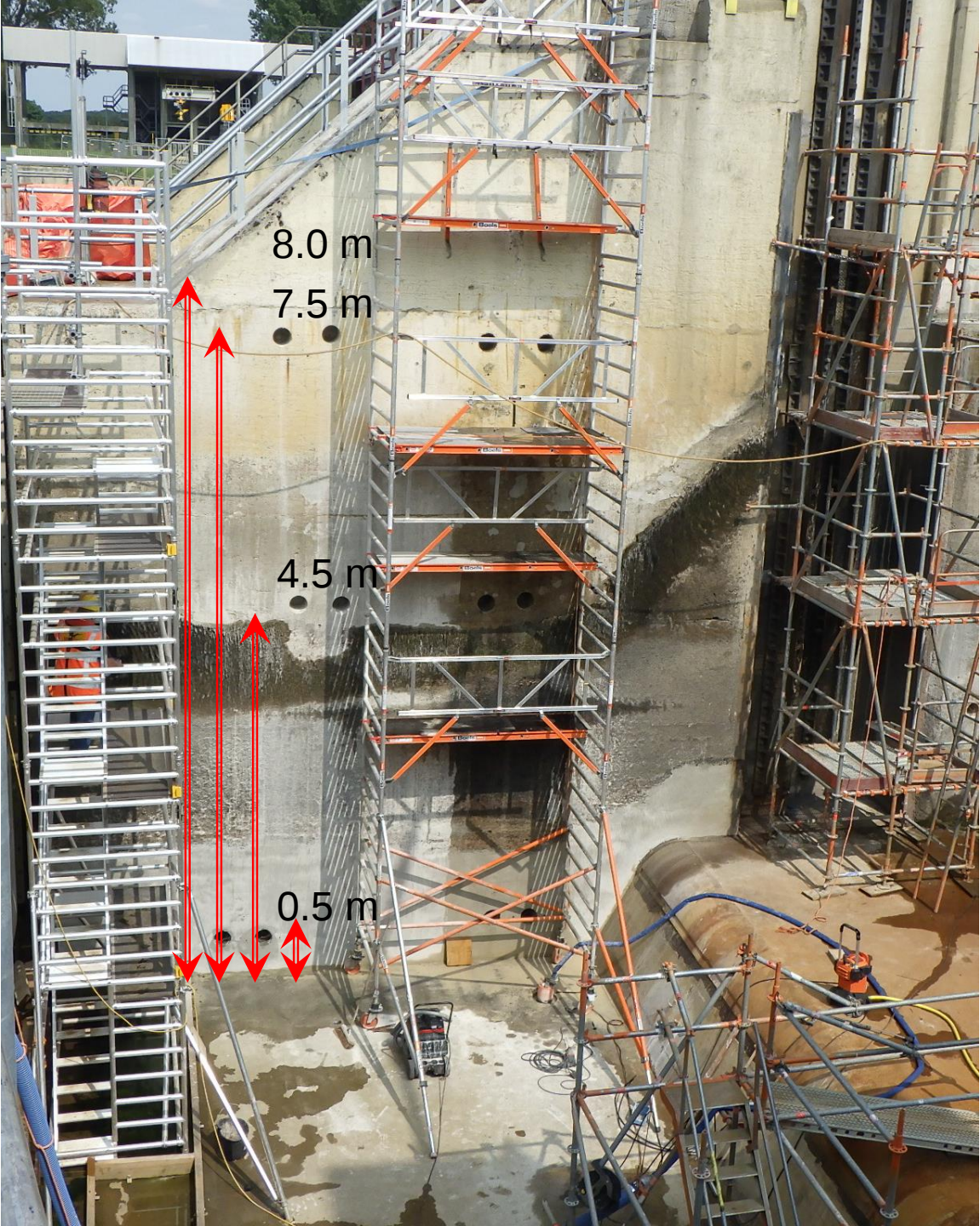
	Methode/Standaard	Meetapparatuur	Beoordeling
Destructief onderzoek	NEN-EN 12504-1	Kernboorapparatuur	Kernen – Boren en onderzoeken
	NEN-EN 12390-3	Druksterkte machine	Druksterkte testen
	NEN-EN 12390-6	Druksterkte machine	Splijtsterkte testen
	NEN-EN 12390-7	Weegschaal	Dichtheidsmeting
	Petrografisch onderzoek	Optische microscoop	Betonsamenstelling, betonaantasting



Beschrijving boorplan

	locatie	aantal	Ø (mm)	lengte (mm)	Beoordeling
Vloer en drempel	verdeeld over drooggelegd vloerveld	3	200	350	visuele beoordeling druksterkte
		3	200	350	visuele beoordeling splijttreksterkte 1 slijpplaatje

	locatie	aantal	Ø (mm)	lengte (mm)	Beoordeling
Elke pijlerzijde	Pijlerzijde (0.5 m)	1	200	1500	visueel: homogeniteit gelaagdheid per laag sterkte
	Net boven vloer, altijd nat (0.5 m)	3	200	350	visuele beoordeling druksterkte
		3	200	350	visuele beoordeling buigtreksterkte 1 slijpplaatje
	Wisselend nat/droog, ter hoogte van waterlijn (4.5 m)	3	200	350	visuele beoordeling druksterkte
		3	200	350	visuele beoordeling buigtreksterkte
	Droog, ruim boven waterlijn (7.5 m)	3	200	350	visuele beoordeling druksterkte
		3	200	350	visuele beoordeling buigtreksterkte 1 slijpplaatje
	Vanaf het pijlerplateau (8.0 m)	1	100	1500	visueel: homogeniteit gelaagdheid, per laag sterkte
Totaal		42*			*Let op: ter plaatse uitgevoerd





Resultaten beton- en wapeningskwaliteit Stuw Sambeek

Wapeningsdetectie in de pijlers (meetdiepte 65-150 cm)

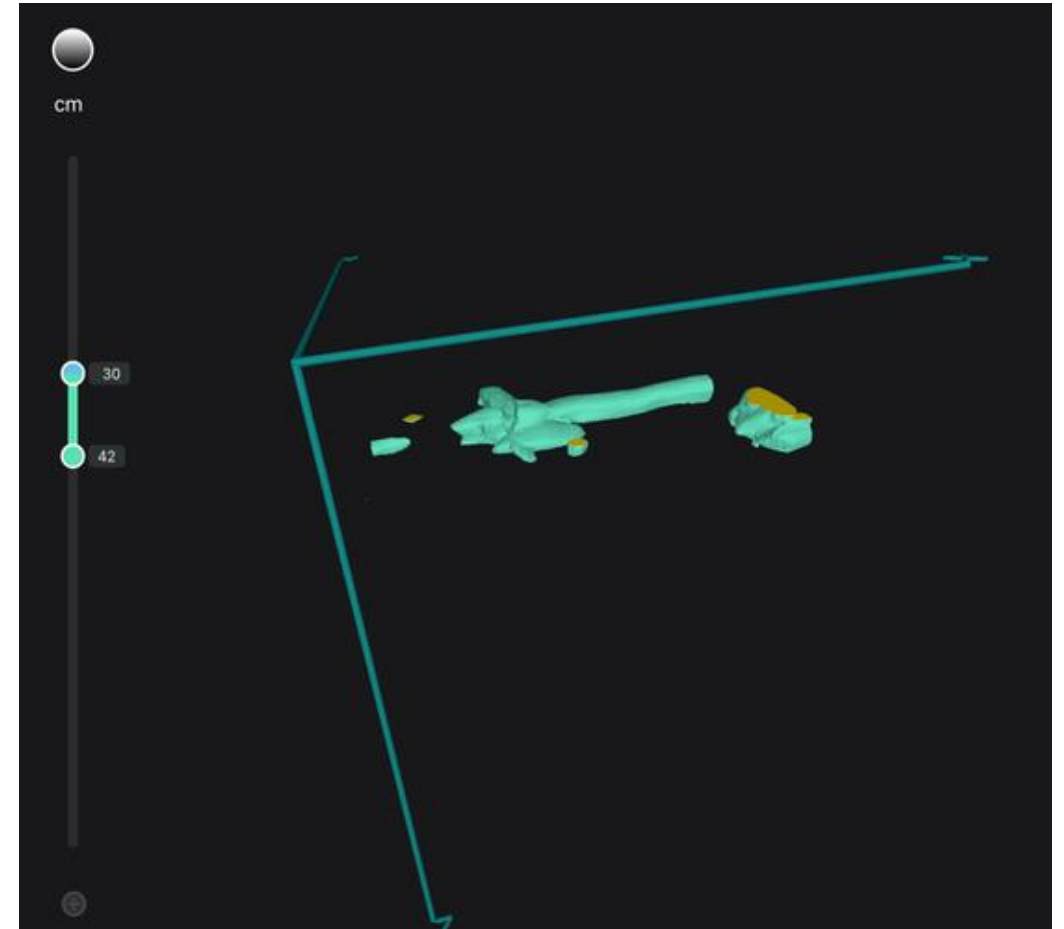
Areascan
pijlerzijde



Areascan
pijlerbovenzijde

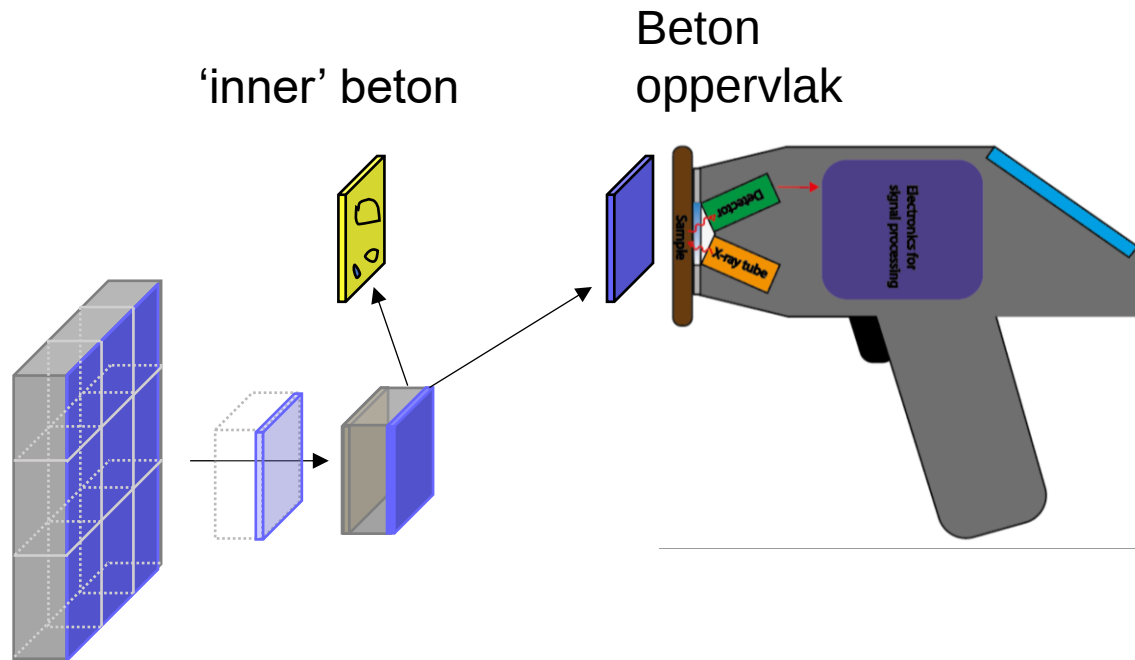


Resultaat: geen wapening maar
grote vrijstaande metalen buis



handheld XRF principe

Door de **chemische samenstelling van het betonoppervlak** (eerste huidlaag) te testen, wordt het type cement bepaald.



In het laboratorium

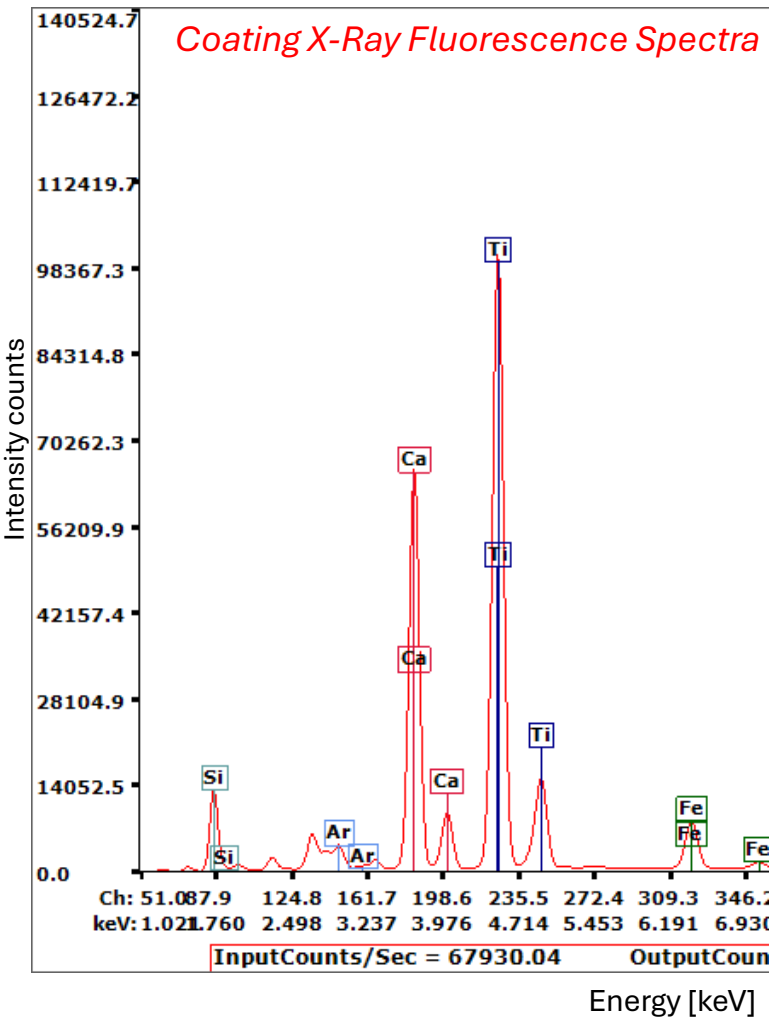


In situ



Ref: Nedeljković et al. (2023) Materials and Structures, 56(3), 54.

handheld XRF metingen van het beton oppervlak

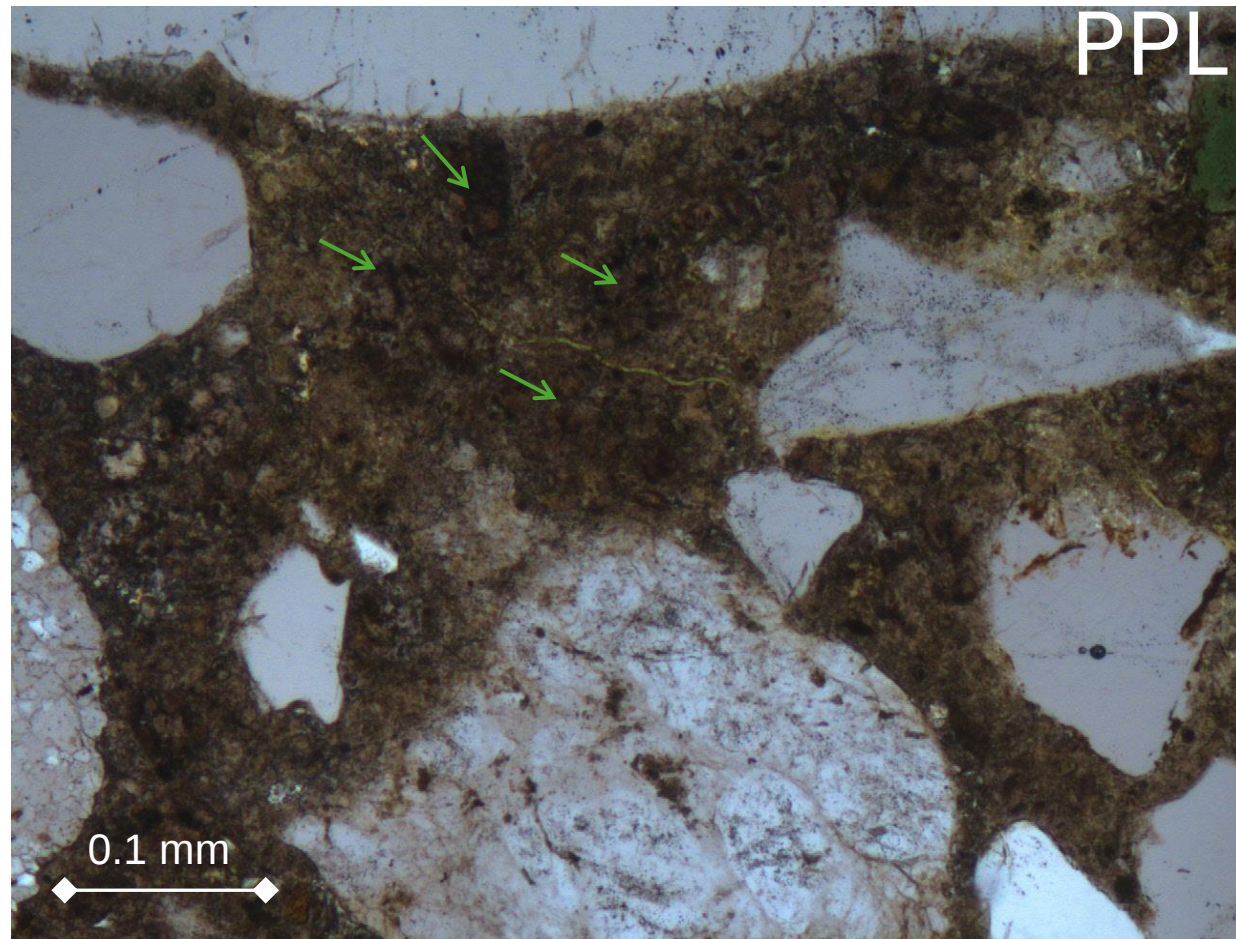


Natte kunstwerken

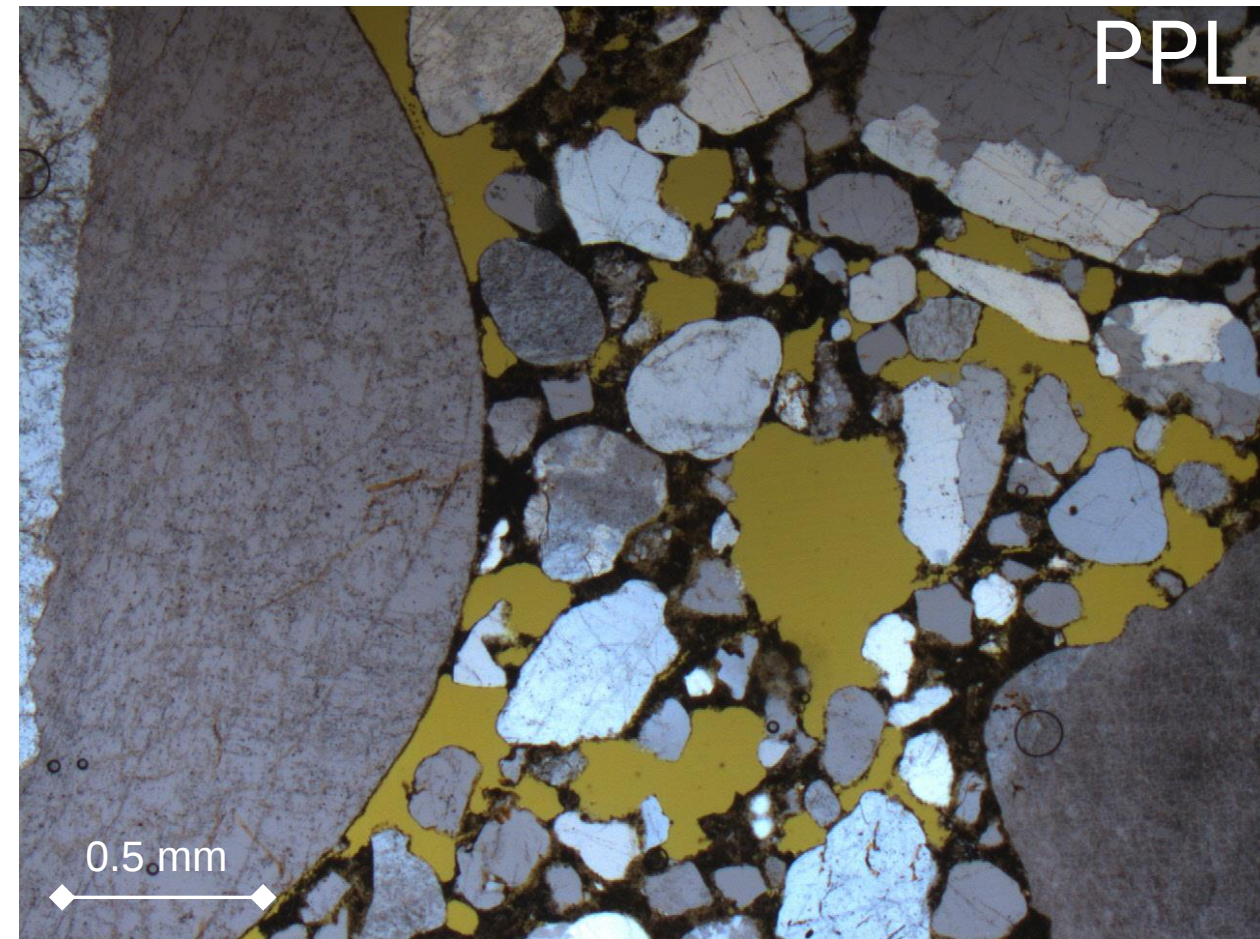


	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	MnO	Fe ₂ O ₃	Total
Uitbloei	< LOD	< LOD	1.36	0.23	< LOD	< LOD	98.26	0.07	0.02	< LOD	99.94
Coating	8.37	4.33	45.28	0.78	1.39	0.35	14.23	23.63	0.03	1.62	100.00
Betonhuid	1.28	4.56	18.07	0.57	0.41	0.25	71.23	0.23	0.07	3.32	100.00
Grind	3.36	1.95	89.35	0.20	0.85	0.33	2.85	0.23	0.07	0.81	100.00

Petrografisch onderzoek ter verificatie van hXRF



Slijpplaatje stuwvloer, restanten van ongehydrateerde cementkorrels (C_2S en C_3S) in cementpasta



Slijpplaatje middenpijer, toeslagmateriaal kwarts, geen ASR

Betonkwaliteit resultaten

Kernen (korrelgradering tot 70 mm)

Onder waterlijn

Boven waterlijn



13 AUG 2024



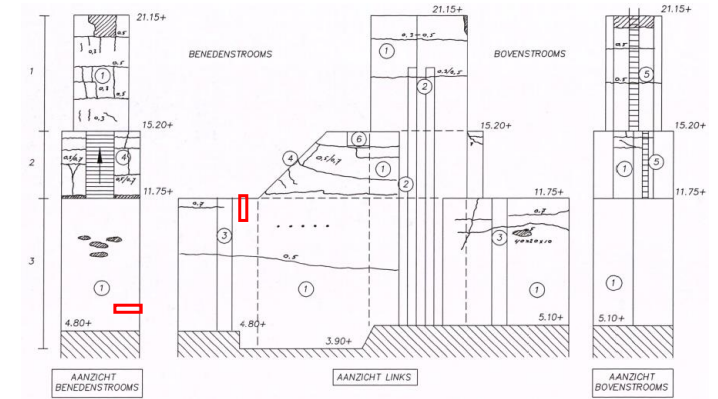
Stuwwloer

Drempelwand

Pijlerzijde 0.5 m

Heftorens

Lange kernen



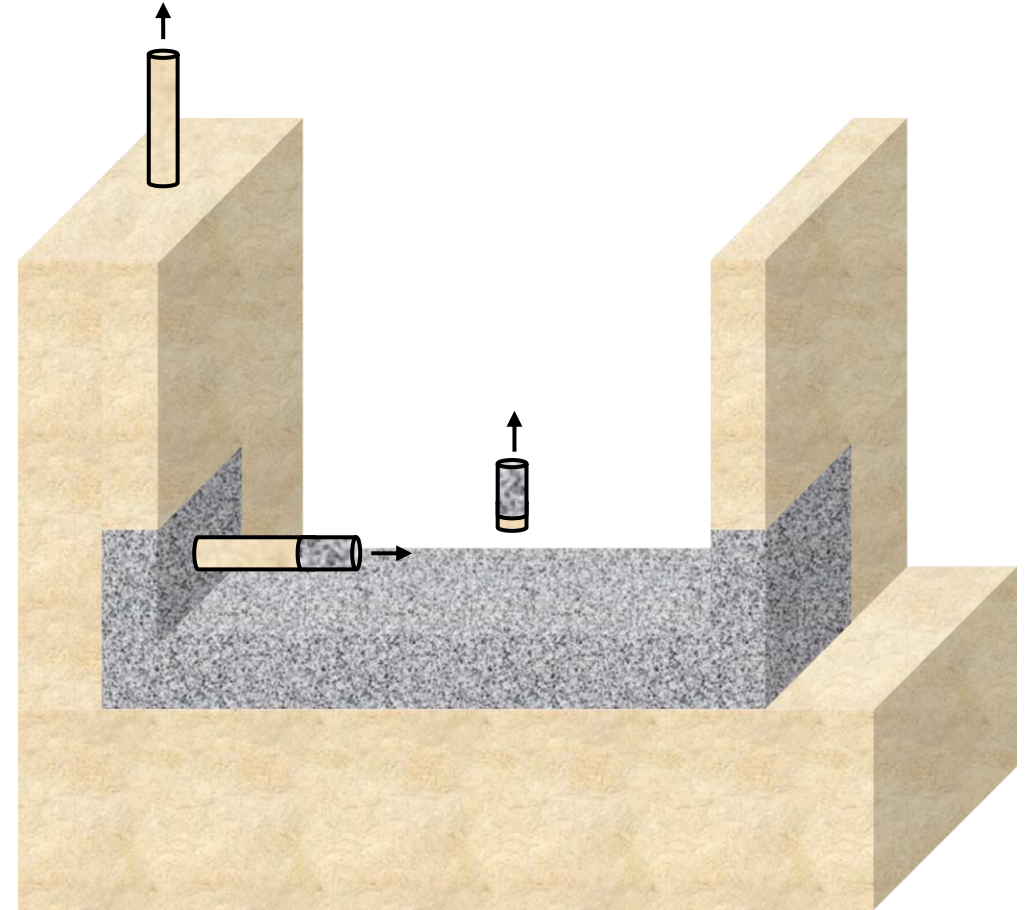
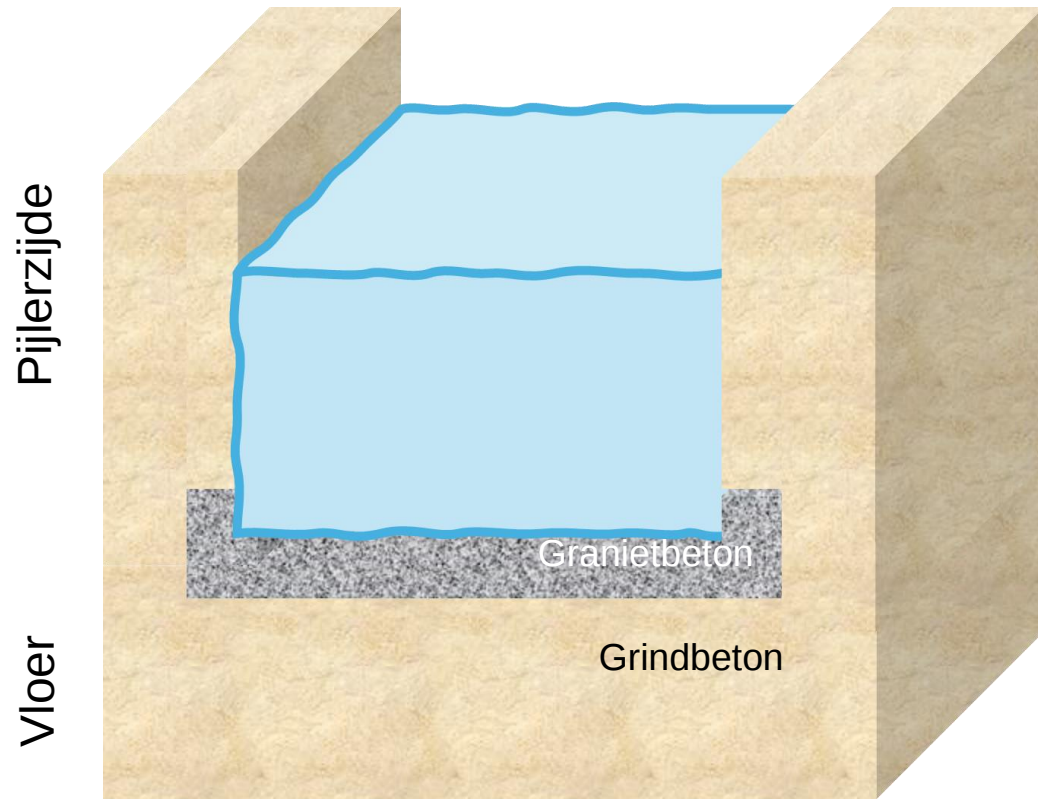
a) ==



b) ||

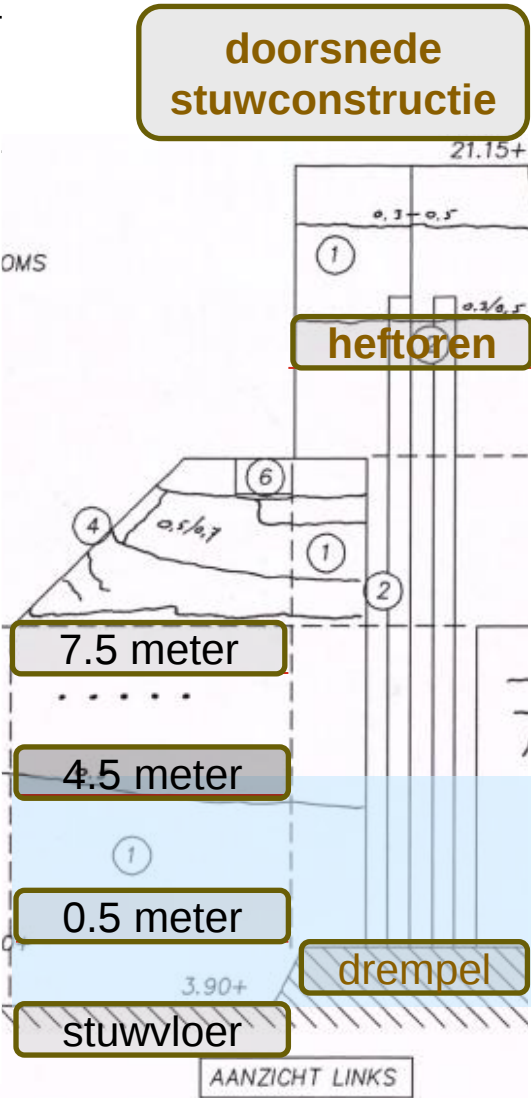


Beton samenstelling



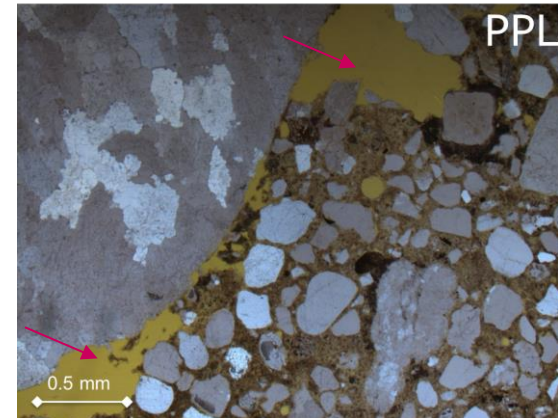
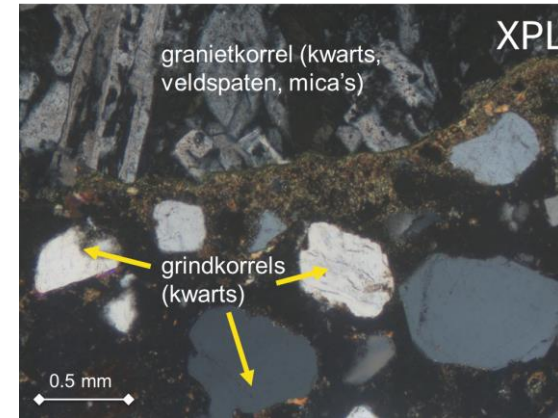
Kernen onderzoeken

Constructiononderdeel		Dichtheid [kg/m³]	Druksterkte [MPa]	Splijttreksterkte [MPa]
Boven waterlijn				
Heftorens (archief 1998)		2344 ± 32	29 ± 5	3.0 ± 0.5
Onder waterlijn				
Stuwwloer		2367 ± 36	54.6 ± 5	4.3 ± 0.3
Drempel		2383 ± 40	61.7 ± 15	-
Op een hoogte van de stuwvloer				
Pijlerzijde Landhoofd	0.5 m	2375 ± 7	46.4 ± 4	3.2 ± 0.4
	4.5 m	2372 ± 20	41.3 ± 3	2.9 ± 0.7
	7.5 m	2295 ± 19	35.0 ± 3	2.1 ± 0.7
Pijlerzijde Midden	0.5 m	2398 ± 13	59.5 ± 1	4.1 ± 0.1
	4.5 m	2353 ± 38	38.15 ± 11	2.8 ± 0.1
	7.5 m	2373 ± 25	42 ± 3	3.4 ± 1.1



Invloed op sterkteresultaten

- Toeslagmateriaal type
- Luchtholtes meestal groter dan 1 mm in diameter, onregelmatig van vorm en verdeling
- Grindnesten (lengte 25 cm)
- Richting van het boren





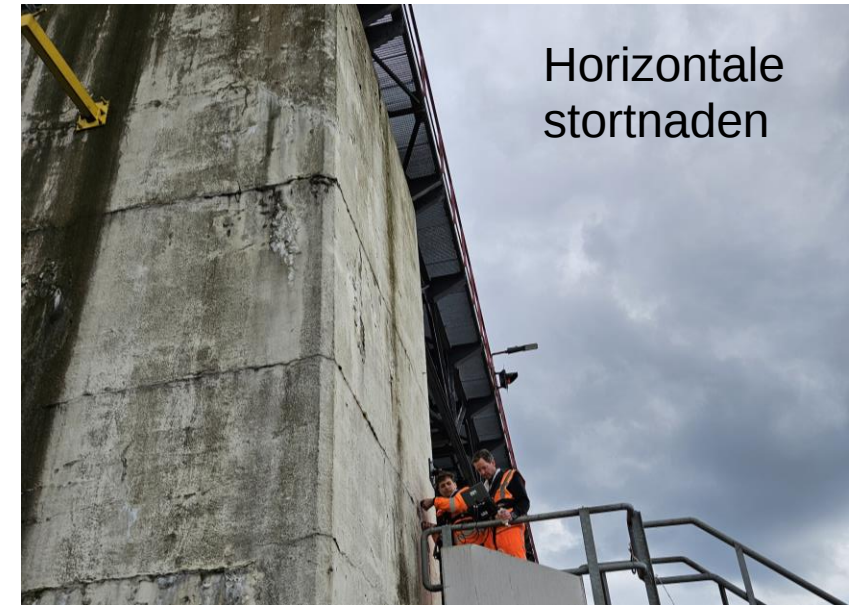
Hoogste prioriteit, oorzaak en kwaliteit van stortnaden

“Spreiding van belasting door de constructie zal/kan heel anders verlopen doordat het geen homogene monoliete constructie betreft.”

Niet-destructief en destructief onderzoek

Type stortnaden

- Horizontale stortnaden (heftorens, pijlers, stuwvloer)
- Verticale stortnaden (pijlers)



Horizontale
stortnaden

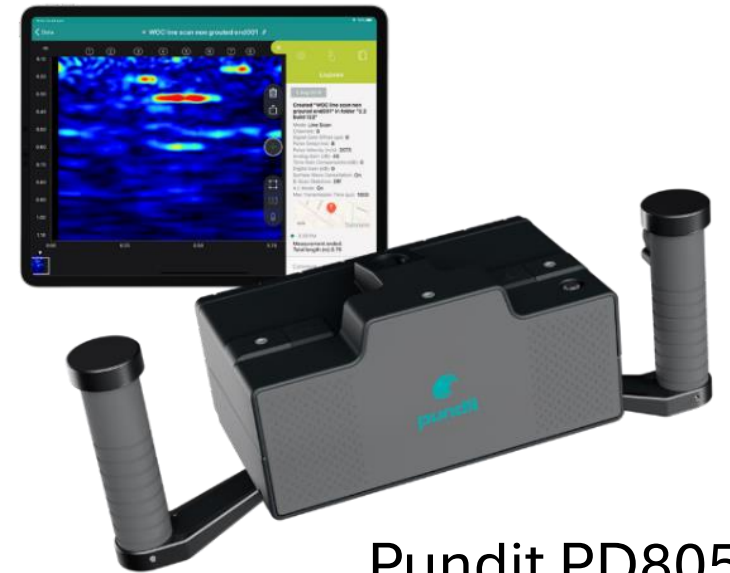
Verticale
stortnaden

De verticale stortnaad is "ontworpen" en heeft waarschijnlijk nog steeds een hoge hechting. Horizontaal is een gevolg van de methode van uitvoeren.



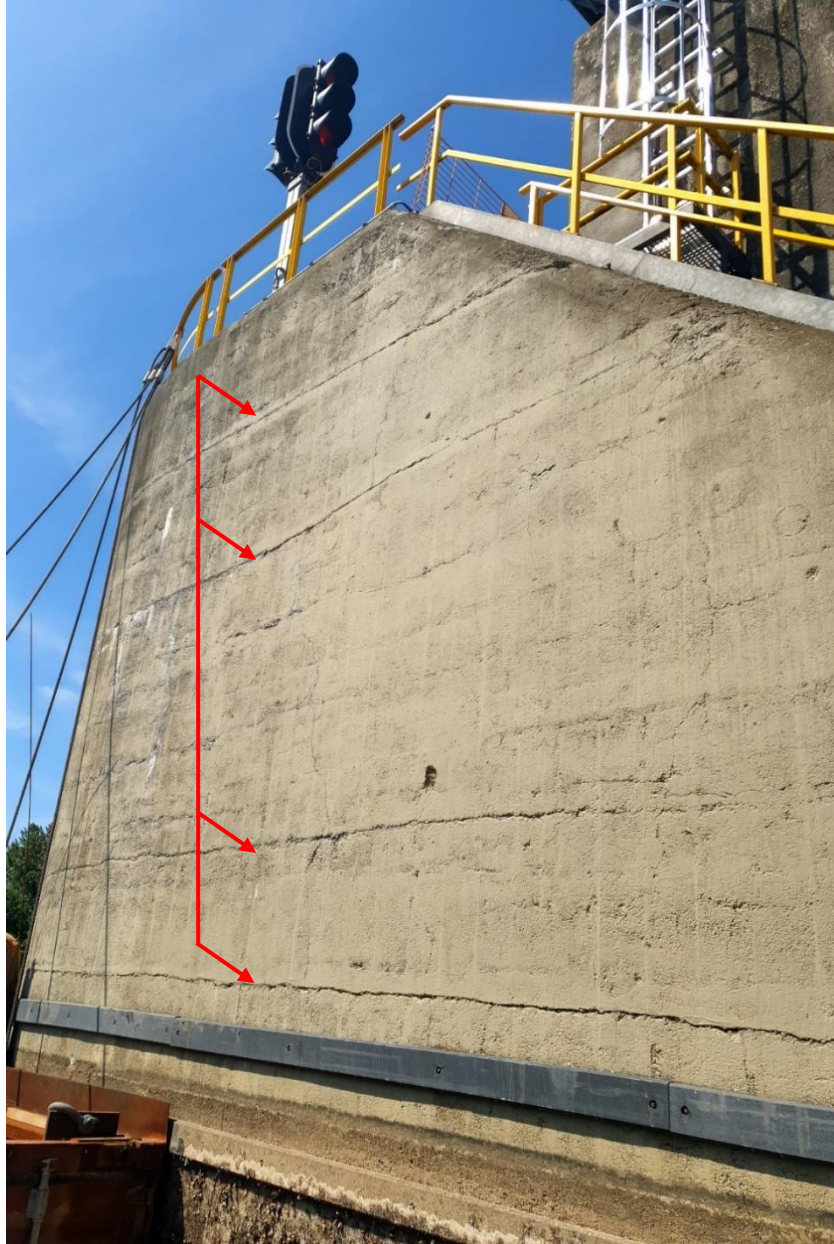
Opsporen van stortnaden

- Visueel opname
- Omvangrijk kalkuitbloei patroon
- Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)
- Proceq PD8050 - Ultrasonic Pulse Echo (UPE)
- Lange kernen boren



Pundit PD8050

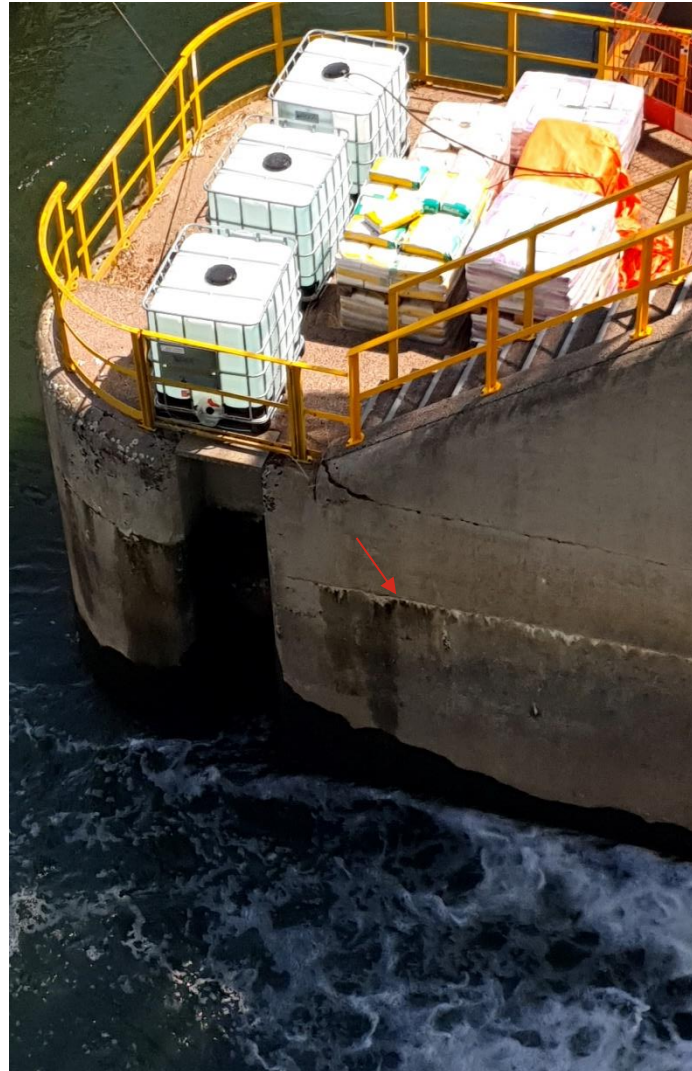
Visueel



Kalkuitbloei



Stortnaden
(Stuw Roermond)



Waterhoudende scheuren
(Stuw Roermond)



Stortnaad
(Stuw Sambeek)

Waterhoudende scheuren

Rechterpijlerzijde



Middenpijler



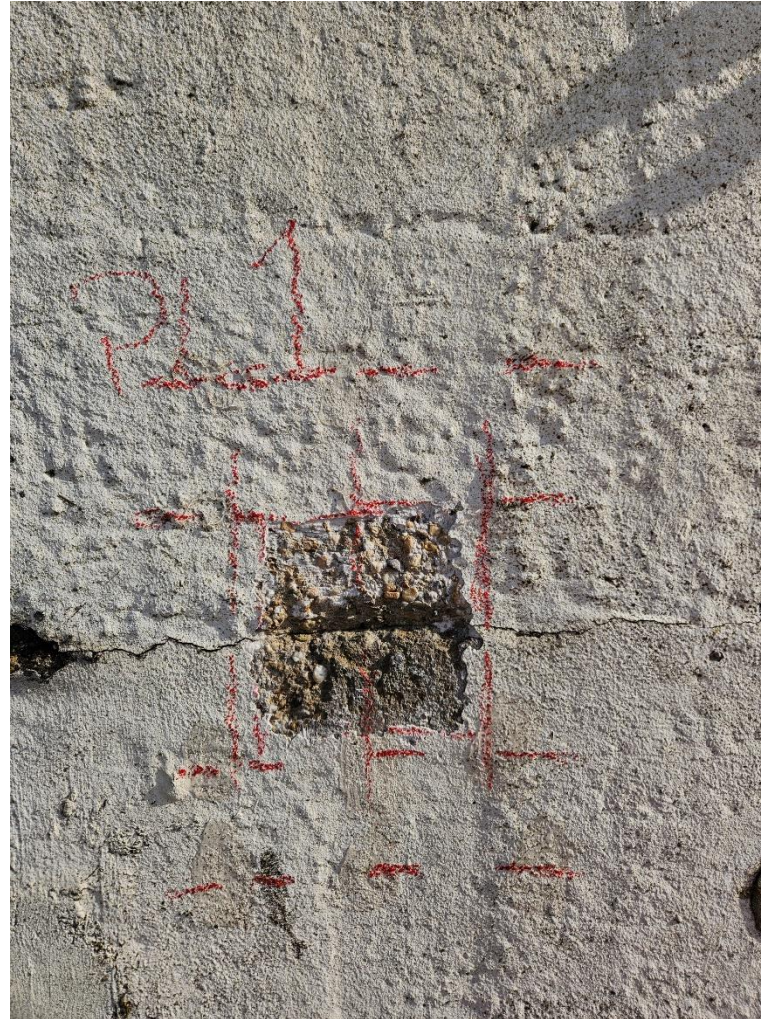
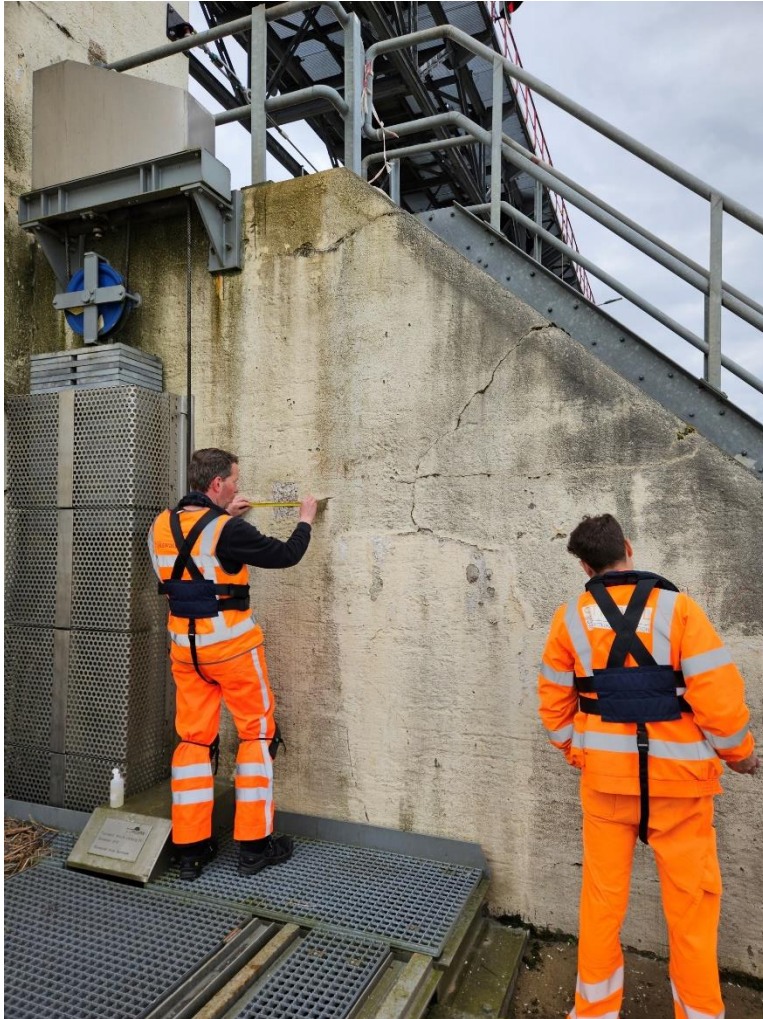
Linkerpijlerzijde



UPV metingen

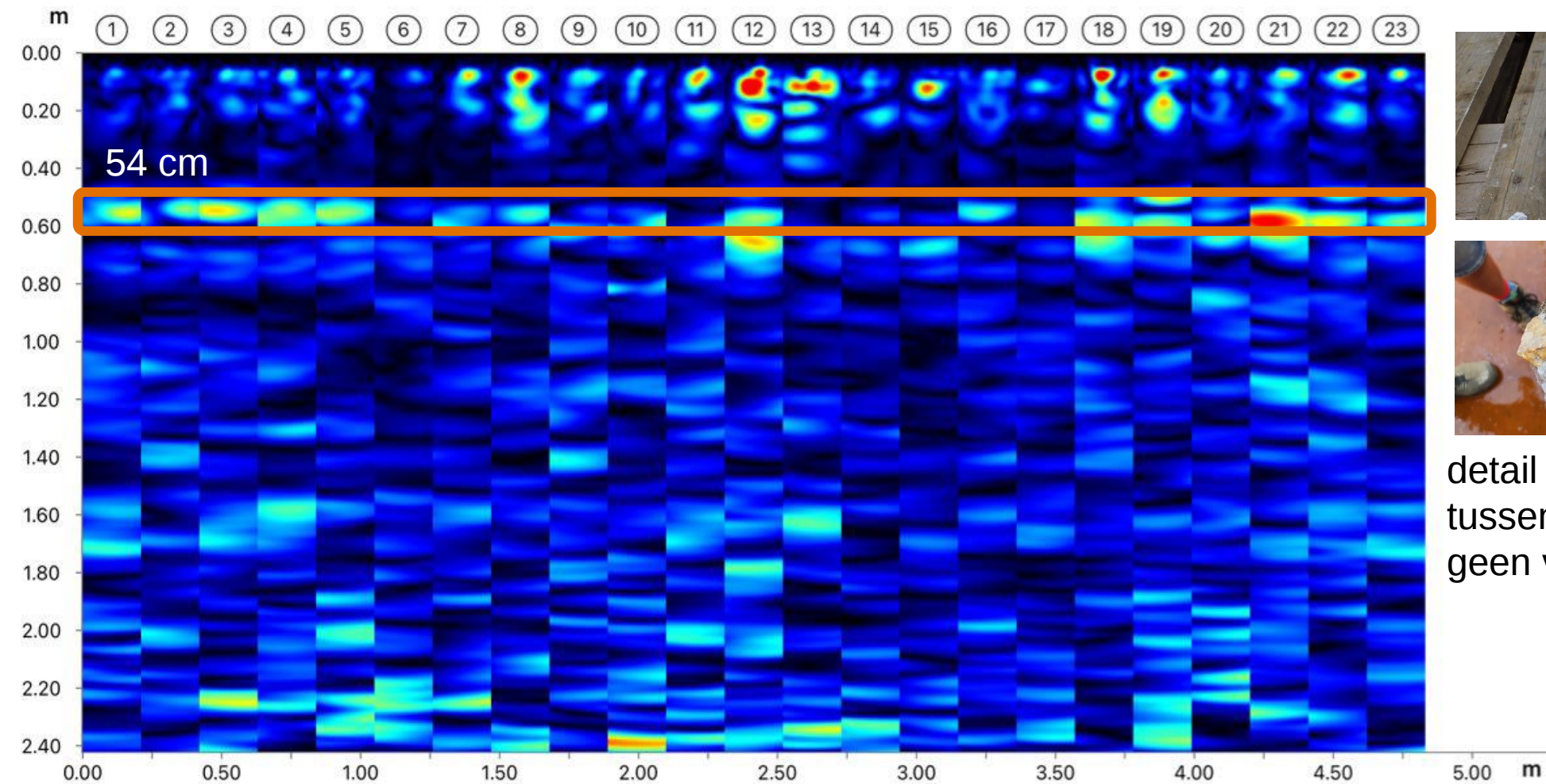
Interpretatie is gebaseerd op perfecte horizontale oriëntatie van scheuren.

> 10 cm diep
scheuren



Proceq Pundit 200 - UPV

Delaminatie in de stuwvloer (UPE)



Horizontale reflectie (mogelijk door de stortnaad en slechte hechting tussen de lagen)
op 54 cm diepte met Ultrasoon PD8050 voor de stuwvloer.



detail scheur
tussen laag 2 en 3:
geen verse breuk



Delaminatie in de pijlers (kernboring)

Horizontale kernboring → goede hechting tussen graniet en grindbeton

a)

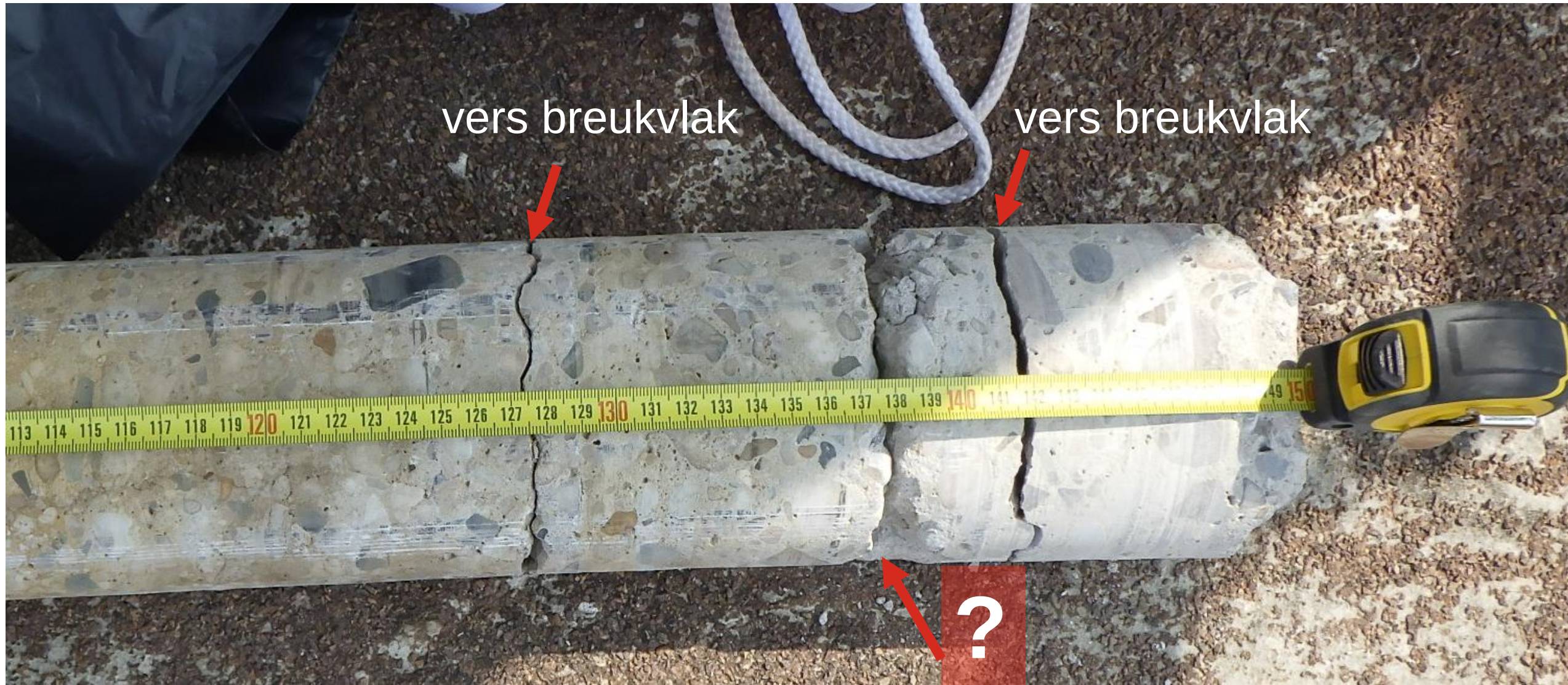


vers breukvlak

b) Verticale kernboring → vanaf het pijlerplateau



Verticale kernboring





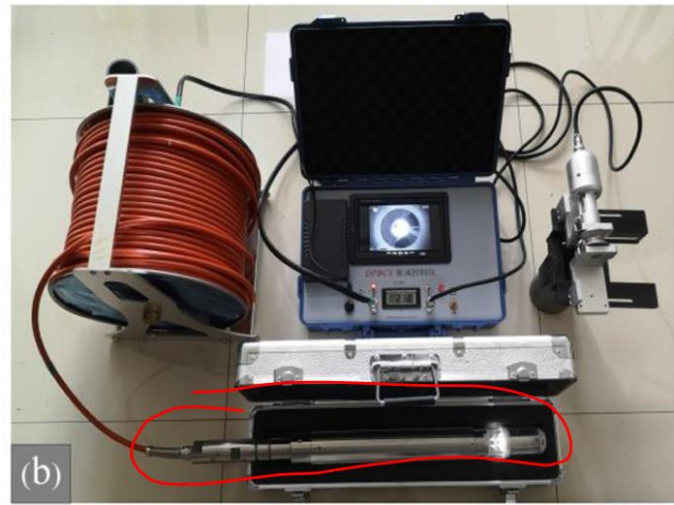
Observatie van de oppervlakken van individuele kernen (vanaf het pijlerplateau (8.0 m)), bijna alle oppervlakken van individuele kernen waren gevuld met witte poeders

Kop middenpijler benedenstrooms met zichtbare stornaden en diverse horizontale scheuren

In de toekomst

Testen die in de toekomst kunnen worden opgenomen voor beoordeling van de kwaliteit van de stortnaden:

- i. UPE vanaf het pijlerplateau omlaag
- ii. digitale camerascreening van het boorgat waar de lange kern wordt geboord (van het oppervlak naar de diepterichting),
- iii. directe trekproeven op de interface, tussen 2 stortlagen



- ii. Boorgat camera system voor 3D-beeld van de boorgatwand en stortnaden plaatsbepaling (ref: Wang et al. 2023 J. Build. Eng. 78)

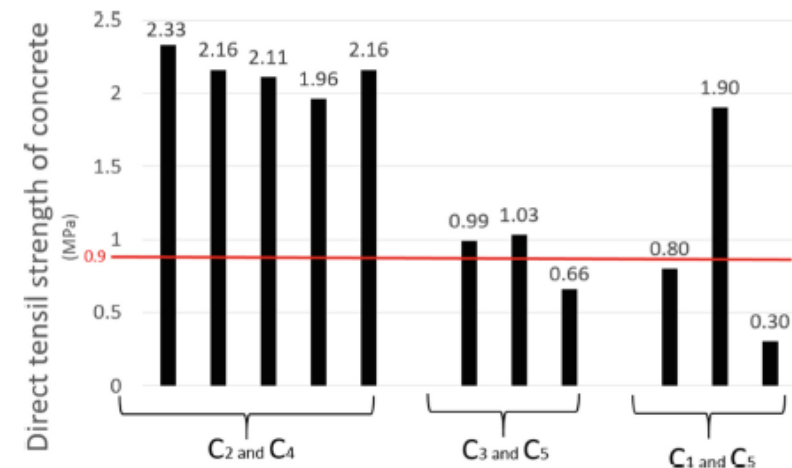


Fig. 8. Results of direct tensile tests at the interface of two materials conducted on arch segments

- iii. directe treksterkte van beton (ref: Nilimaa et al. 2023 *CivilEng*, 4(1))



Conclusies

Stuw Sambeek



- **Betontype** is grind en graniet Portland cement beton. Dit beton heeft geen ASR / etringiet vorming. Het vervangen van coatings is nodig.
- De pijlers zijn ongewapend, terwijl de stuwvloer gladstaal wapening bevat.
- Het opsporen van **stortnaden** is van groot belang in relatie tot onacceptabel aanvaarrisico tegen de oude pijler (Stoney-Poirée) en drempelconstructie daaromheen, **onderzoeksmethoden** >> combinatie van NDT's (UPE, UPV) en DT (lange kernen)
- De horizontale afschuiving is het belangrijkste mechanisme dat onderzocht moet worden voor stuw Sambeek.



marija.nedeljkovic@rws.nl



Bedankt voor jullie aandacht.
Vragen?