Kennisprogramma Natte Kunstwerken
Kennisplan 2021

Vervangings- en renovatieopgave
natte kunstwerken in Nederland

Kennisbijdrage:

Einde levensduur damwanden

Betrouwbaarheid bestaande verankeringen van damwanden (workshopverslag)

Auteurs
Henri Havinga (Deltares)
Renger van de Kamp (Rijkswaterstaat)
Diego Allaix (TNO)

kenmerk : KpNK-2021-KV1.2-damwand-b001
versie : 1.0
datum publicatie : 15 november 2022

Voorwoord

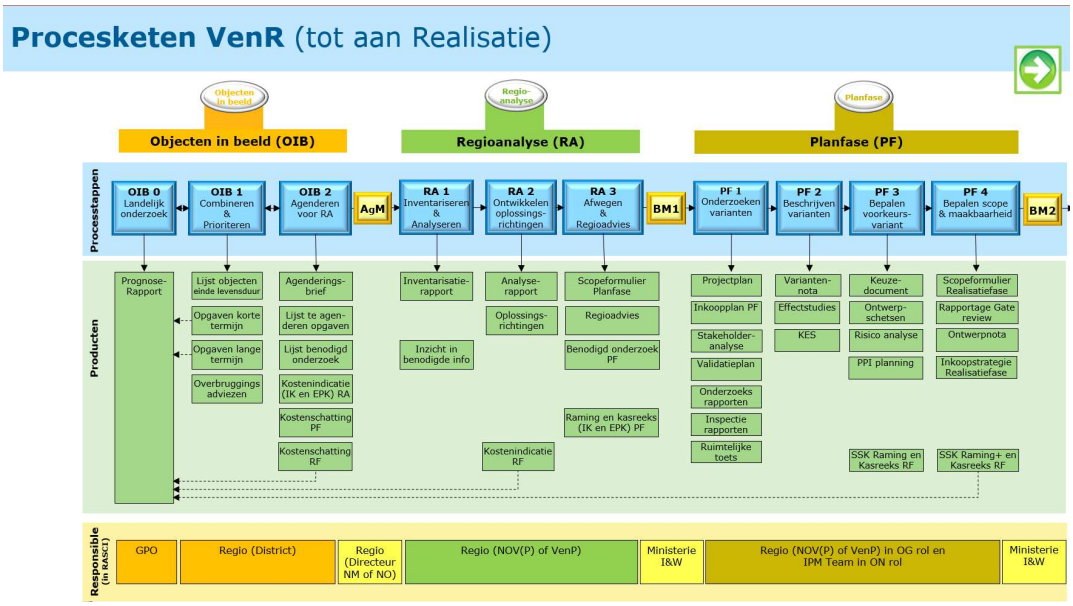
Kennisprogramma Natte Kunstwerken

Sluizen, stuwen, gemalen en stormvloedkeringen zijn belangrijke assets waarvoor beheerders zoals Rijkswaterstaat en de waterschappen verantwoordelijk zijn. Veel van deze natte kunstwerken in de waterinfrastructuur bereiken de komende decennia het einde van hun (technische en/of functionele) levensduur. Zij kunnen daardoor hun functies naar verwachting niet meer adequaat blijven uitoefenen. Dit zal ten koste gaan van de mate waarin de waterinfrastructuur voldoet aan betrouwbaarheidseisen. In het kader van goed assetmanagement staan we dan ook voor de enorme opgave om deze kunstwerken te vervangen of te renoveren. Welke kennis hebben we nodig om dat efficiënt, kostenbesparend en toekomst-bestendig aan te pakken?

In het Kennisprogramma Natte Kunstwerken (KpNK) ontwikkelen en bundelen Deltares, MARIN, TNO en Rijkswaterstaat deze kennis op basis van de Samenwerkingsovereenkomst Natte Kunstwerken.

Werkwijze vervangings- en renovatieproces

De laatste jaren richten we ons niet meer uitsluitend op een-op-een vervanging van kunstwerken. We zoeken steeds meer naar mogelijkheden om hun levensduur te verlengen en (noodzakelijke) ingrepen te koppelen aan gebieds- en netwerkontwikkelingen en aan functionele ontwikkelingen. Rijkswaterstaat heeft als assetmanager een vernieuwde werkwijze voor dit vervangings- en renovatie-proces (VenR) opgesteld om een uniform en systematisch proces te hebben waarmee een VenR-maatregel transparant onderbouwd kan worden (zie Figuur 1).



Figuur 1: Procesketen VenR binnen Rijkswaterstaat

Deze procesketen vormt de basis waar de kennisontwikkeling van het kennisprogramma aan bijdraagt.

Twee-stappen-benadering en drie kernvragen

De kennis die we ontwikkelen binnen het Kennisprogramma Natte Kunstwerken draagt bij aan de stapsgewijze-benadering binnen deze Procesketen VenR:

- stap 1 (*Objecten in Beeld*): richt zicht op (het einde van) de technische levensduur van een kunstwerk en het agenderen van de VenR-opgave in het *Prognoserapport*;
- stap 2 (*Regioanalyse*): brengt vooral de relatie in kaart tussen het kunstwerk en de netwerken waar het (samen met andere kunstwerken) deel van uitmaakt. In het resulterende *Regioadvies* gaat het ook over (het einde van) de functionele levensduur.

Inhoudelijk vindt het onderzoek plaats aan de hand drie *kernvragen*:

1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee, zowel technisch als functioneel?
2. Welke alternatieven heb ik, behalve een-op-een vervanging?
3. Hoe weeg ik de alternatieven tegen elkaar af?

Programmaplan, jaarlijkse kennisplannen en samenwerking

Het programmaplan omvat de achtergronden en ambities voor de gehele looptijd van het Kennisprogramma Natte Kunstwerken. Jaarlijks worden deze ambities uitgewerkt in een kennisplan en een bijbehorend financieringsplan. Andere partijen zoals waterschappen, adviesbureaus en andere (commerciële) organisaties, nodigen we uitdrukkelijk uit om deel te nemen aan het gezamenlijk uitvoeren van een kennisplan, bijvoorbeeld met kennisbijdragen in voor hen relevante onderzoeksprojecten, met praktijkervaringen of financiële bijdragen.

Resultaten delen

Bijdragen en onderzoeksresultaten uit ons Kennisprogramma Natte Kunstwerken delen we met de hele sector via onze website (www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl) en op andere manieren.

Hieronder vindt u een KpNK-kennisbijdrage binnen werkpakket '*Einde levensduur damwanden*' uit het kennisplan 2021. Het omvat eerst de samenvatting van het verkennende onderzoek naar de conditie-bepaling van (moeilijk bereikbare) verankeringen bij damwandconstructies: *'Betrouwbaarheid bestaande verankering van damwanden (workshopverslag)'* Deze activiteit is namens het Kennisprogramma Natte Kunstwerken geleid door Deltares. Na de samenvatting vindt u het volledige onderzoeksverslag in de vorm van een workshopverslag en de bijbehorende presentaties.

Meer informatie

- Het Kennisprogramma Natte Kunstwerken is de uitwerking van de onderzoekslijn 'Toekomstbestendige Natte Kunstwerken' binnen het Nationaal Kennisplatform voor Water en Klimaat (NKWK). Zie www.waterenklimaat.nl

- Voor meer informatie over het programma Kennisprogramma Natte Kunstwerken, zie www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl.

- Voor vragen over het Kennisprogramma Natte Kunstwerken en het kennisplan 2021 kunt u terecht bij Martine Brinkhuis, email martine.brinkhuis@rws.nl

- Voor vragen over de voorliggende kennisbijdrage kunt u terecht bij de auteurs:

Henri Havinga - henri.havinga@deltares.nl

Hans Brinkman - hans.brinkman@deltares.nl

Renger van de Kamp - renger.vandekamp@rws.nl

Samenvatting

Einde levensduur damwanden

Betrouwbaarheid bestaande verankeringen van damwanden (workshopverslag)

Aanleiding en probleemstelling

Een groot deel van de damwandconstructies in Nederland is verankerd. Het verkennen van de actuele conditie en prestatie (trekcapaciteit) van bestaande verankeringen, en daarmee van de (rest)levensduur en betrouwbaarheid van damwandconstructies, is bij Rijkswaterstaat zeer actueel. Het kan zowel gaan om lichte verankeringen (zoals de klapankers bij het Amsterdam-Rijnkanaal) als om zware verankeringen (zoals de verankeringen bij de Prinses Irenesluis in Wijk bij Duurstede).

Er bestaan echter significante (kennis)onzekerheden over de actuele conditie en prestatie van bestaande verankeringen. Zo ontbreekt bijvoorbeeld informatie over de as built situatie, zijn er geen meetdata bekend van degradatie en is de oorzaak van geconstateerde brosse breuken niet altijd duidelijk. Complicerende factor daarbij is dat verankeringen zich onder de grond bevinden en conditiebepaling zeer lastig is. Daardoor is het moeilijk de technische (rest)levensduur van bestaande verankeringen te bepalen. Omdat verankeringen essentieel zijn voor het goed functioneren van de constructie, en het dus belangrijk is die conditie en (rest)levensduur wél te kunnen bepalen, is deze kennisonzekerheid een probleem voor het assetmanagement bij projecten en op areaalniveau.

Onderzoeksvragen (WAT)

Om meer duidelijkheid te verkrijgen over de omvang van het daadwerkelijke probleem van de kennis-onzekerheid voor het assetmanagement hebben we het volgende onderzocht:

1. Hoe goed kunnen de actuele conditie, prestatie en de hiermee samenhangende technische (rest)levensduur van verankeringen van waterbouwkundige constructies worden bepaald?
2. Wat is de omvang van de kennisonzekerheid over de daarbij relevante aspecten?

Onderzoeksaanpak en -methode (HOE)

Om deze vragen te beantwoorden hebben we in oktober 2022 een workshop gehouden met beheerders, vertegenwoordigers van ingenieurs- en inspectiebureaus en van kennisinstellingen. Doel van de workshop was het creëren van draagvlak om met de onderzoeksvragen aan de slag te gaan. Met de circa 30 aanwezigen hebben we aan de hand van presentaties en discussies ervaringen met elkaar gedeeld en beschikbare informatie geïnventariseerd over:

- falende verankeringen (bekende schadegevallen);
- de op dit moment gebruikte inspectie- en meettechnieken voor de bepaling van de conditie van verankeringen;

- uitdagingen (witte vlekken) binnen de huidige aanpak voor de beoordeling van de conditie, prestatie en restlevensduur van verankeringen.

Onderzoeksresultaten

Om het gewenst resultaat te bereiken – namelijk het vaststellen van de invulling van vervolgonderzoek (i.e. een stappenplan tot verbetering, met wie, wat en hoe?) – werden er tijdens deze workshop presentaties gegeven door assetmanagers en/of experts van Rijkswaterstaat, Gemeente Rotterdam en Havenbedrijf Rotterdam, ingenieurs- en adviesbureau Nebest, TNO en Deltares:

- Deltares gaf aan welke fysieke aspecten bij verankeringen het einde van de levensduur bepalen (toename belasting, afname sterkte en toename vervorming), welke informatie er nodig is om einde levensduur van constructies te kunnen beoordelen en hoe de daarvoor benodigde berekeningen daarbij zo scherp mogelijk gedaan kunnen worden.

- Rijkswaterstaat deelde enkele recente ervaringen met bestaande verankeringen bij waterbouwkundige constructies. Onder andere over de brosse breuken bij de verankeringen in de Prinses Irenesluis en het versneld vervangen van verankeringen bij de Hollandse IJsselkering.

- Gemeente Rotterdam toonde praktijkvoorbeelden van de Brittanniëhaven en Calandkanaal waar problemen waren met horizontale verplaatsingen van ankerschotten.

- Nebest liet voorbeelden zien van en aandachtspunten bij twee vaak gebruikte inspectiemethoden bij verankeringen: visuele inspectie via het vrijgraven van een deel van de damwandconstructie (ingrijpend) en visuele inspectie aan de waterzijde (oppervlakkig). Hun boodschap was dat er eigenlijk een gebrek is aan minder ingrijpende, betere inspectiemethoden.

- TNO presenteerde vernieuwingen in de inspectie van corrosie bij stalen constructieonderdelen via ultrasone meetechnieken en de toepassingsmogelijkheden daarvan. Waar tot nu toe alleen een bewerkelijke methode via puntmetingen voorhanden was, is nu ook een snelle methode voor het contactloos scannen van grote oppervlakten in ontwikkeling. Deze kan mogelijk in de toekomst ook voor het meten aan krachten in verankeringen worden ingezet.

- Havenbedrijf Rotterdam liet zien hoe en in welke mate de betrouwbaarheid van verankeringen nauwkeuriger voorspeld kan worden op basis van de resultaten van testmetingen. Het bedrijf deed ook een aantal suggesties voor het verbeteren van deze betrouwbaarheidsvoorspellingen.

In de workshop bleek dat er weinig tot geen schades aan verankeringen bekend zijn, waardoor er nog geen noodzaak is gevoeld om deze bij (jaarlijkse) inspecties te controleren. Er werd geconstateerd dat er vaak belangrijke areaaldata (i.e. informatie over de as-built situatie en over de actuele toestand van verankeringen) ontbreekt. Daardoor kunnen de huidige conditie, prestatie en resulterende (rest)-levensduur van verankeringen niet of niet goed worden beoordeeld.

Vooruitblik

De volgende acties werden gezien als vervolgstappen om in de toekomst het beoordelen van de technische (rest)levensduur van verankeringen beter te kunnen doen:

- Beheerders en ingenieursbureaus staan ervoor open om inspectieresultaten te delen, zodat die gebundeld kunnen worden in een overzicht.
- Er is behoefte aan een uniform format voor het testen en inspecteren van verankering.
- Praktijkhandleiding voor een geavanceerde rekenkundige beoordeling (inclusief het updaten van de betrouwbaarheid op basis van data) is wenselijk.

Uit de workshop kwam verder een groot aantal suggesties voor het verkleinen van verschillende kennisonzekerheden bij verankeringen naar voren. Deze zijn opgenomen in het volledige verslag van de workshop. Ook de uitnodiging en presentaties zijn daarbij opgenomen.

Verslag Workshop Betrouwbaarheid bestaande verankeringen van damwanden 11 oktober 2022, Deltares, Delft

Algemeen

Goede opkomst, vertegenwoordigers van RWS, TNO, Deltares, HbR, gem.Rotterdam, provincie Fryslân, Zuid-Holland en Zeeland, gemeente Amsterdam, ingenieurs- en inspectiebureaus.

Presentaties en programma

Opening	Joost Breedeveld (Deltares)	Algemene toelichting kennisprogramma en V&R
Verankering en einde levensduur	Henri Havinga (Deltares)	Overzicht van onderwerpen die belangrijk zijn bepaling einde levensduur.
Ervaringen	Renger van de Kamp (RWS) Karan Tikai (RWS) Rodriaan Spruit (gem.werken Rotterdam)	Inspectietechnieken en schades Renovatie damwanden Hollandsche IJsselkering Ervaringen ankerschermen. Monitoringresultaten 2 kademuren in Rotterdam.
Inspectiemethodes	Mark Lodema (Nebest)	Overzicht van aangetroffen schades en bijzonderheden in afgelopen 15 jaar vanuit heel NL
Nieuwe inspectietechnieken	Arno Volker (TNO)	Nieuwe meettechnieken voor damwanden o.b.v. hoogfrequent geluid (ipv ultrasoon)
Reliability updating o.b.v. ankerproeven	Alfred Roubos (HbR)	Kun je ankerproeven gebruiken voor “zwakke plekken” en reverse “engineering”? Temperatuur- en seizoenseffecten Noodzaak voor een uniform format voor registratie ankerproeven
Inventarisatie schadegevallen	Joost Breedeveld (Deltares), interactief met alle aanwezigen	Zie verslag verderop
Vervolgstappen	Alle aanwezigen	Zie verslag verderop
Afsluiting	Samenvatting vervolgstappen	

Resultaten interactie “inventarisatie schadegevallen”

- Algemeen beeld: Provincies houden ieder jaar een schouw; hierbij wordt niet gecontroleerd of ankers nog functioneren, als er schades/vervormingen zijn komt dit wel naar voren. Er zijn weinig/geen schades aan ankers bekend. Nebest vindt dat je beter 1 maal per 5 jaar goed kan inspecteren
- Een richtlijn voor het vastleggen van de inspecties zou nuttig zijn
- Provincie Zuid-Holland: meer dan 200 km damwand. Weinig problemen met verankering, wel sterke voorkeur voor groutankers (ipv plaatankers of klapankers).
- Provincie Zeeland: beperkt areaal bij enkele sluizen en loswallen, geen schades aan verankering bekend.
- Provincie Fryslan: uitgebreid areaal, veel klapankers en plaatankers.
- Gem. Amsterdam: meer dan 600 km (groot deel binnenstedelijke kademuren), enkel geval bekend van schade aan damwandverankering.
- Ingenieursbureaus: weinig schades bekend.

- Het komt vaak voor dat essentiële gegevens van de constructie ontbreken.

Resultaten interactie vervolgstappen
Tijdens de workshop konden de aanwezigen (geschreven) input leveren voor vier onderwerpen. Onderstaand een verslag van de geleverde input.

1. Maatgevende einde levensduur beoordelingssituaties van verankeringen: Nieuwe inzichten en methoden

Aspecten
- Veiligheidsfilosofie (NEN8707, NPR Bestaande constructies, ruimtelijke variatie corrosie)
- "Nieuwe faalmechanismen (sinds jaren '60): Kranz, belasting door zakkende grond
- Rekenmodellen

Suggesties en ideeën van deelnemers
- Oppassen dat we bij nieuwe ankers niet teveel marge "opeten" (bijv. lengte-effect, onnauwkeurige uitvoering).
- Streef naar uniform beheer van archief- en beproevingsdata.
- Herbeproeven van bestaande ankers (hoe op goede manier gebruiken voor berekening?)
- Onderzoek naar fundamenteel gedrag van de constructie (mobilisatie groutanker-capaciteit, verborgen veiligheid grond-constructie interactie).
- Bij ankerschotten / ankerschermen voldoende aandacht aan SLS geven (ongunstig vervormingsgedrag).

2. Handelingsperspectief voor einde levensduur: onvoldoende info => nader onderzoek

Aspecten
- As-built informatie ontbreekt
- Actuele toestand (degradatie / corrosie, bodemniveau, slibdiktes) onduidelijk

Suggesties en ideeën van deelnemers
- Areaalgegevens op orde is een utopie.
- Het is goed mogelijk om met magnetosonderingen de lengte en positie van ankers na te meten (veel sonderingen in een rij haaks op de damwand).
- Soms kan de ankerkracht ook worden bepaald met een eigenfrequentie-analyse.
- Overzicht maken welke ankertypen en staalkwaliteiten in welke tijd werden toegepast.
- Inspectieresultaten en gegeven gesloopte objecten verzamelen / nationale database?
- Monitoring (periodiek) is cruciaal bij restlevensduur beschouwing.
- Soms kan de sterkte van een deksloof worden meegenomen in sterkteberekeningen.
- Dummy-ankers in nieuwe constructies plaatsen voor toekomstige vragen?
- Ankers onder water bijplaatsen als versterkingsmaatregel (onderzoek van HbR).

3. Negatieve fysieke aspecten bij verankeringen die einde levensduur medebepalen

Aspecten
- Toename ankerbelasting (degradatie, erosie, zakkende grond)
- Afname sterkte anker (degradatie / schade)
- Toename vervorming ankers (terreinbelastingen, kruipgedrag, etc)

Suggesties en ideeën van deelnemers
- Maak een database met inspectieresultaten
- Wisselende belastingen a.g.v. bijv. temperatuur en grondwaterfluctuaties kunnen ook tot toename ankerkracht leiden (opspanning grond aan actieve zijde)
- Ankerschotten en ankerschermen blijken in praktijk erg gevoelig te zijn.
- Geen of onjuist onderhoud aan bij ankers met hoge staalkwaliteit is een risico.
- Verder onderzoek naar temperatuureffecten
- MIC is een risico. Is het mogelijk om hiervoor een risicobeoordeling op te stellen? Bijv. een lijst met risicofactoren, welke factoren kunnen proactief worden beïnvloed?

4. Handelingsperspectief voor einde levensduur: beoordeling eenvoudig => gedetailleerd

Aspecten
- Te eenvoudig rekenmodel gebruikt (bv. Kranz, interpretatie proeven, 3D-effecten)
- Te grote “vakindeling” voor beoordeling (onvoldoende maatwerk)
- Te strenge beoordelingscriteria (plastische sterkte, bewezen sterkte, te strenge CC-klasse)

Suggesties en ideeën van deelnemers
- Er is behoefte aan een handreiking of voorbeelden voor hoe in de praktijk geavanceerd kan worden gerekend.
- CUR / CROW handboek binnenstedelijke kademuren is toe aan een update.
- EEM-berekeningen bieden meer inzicht en mogelijkheid voor optimalisatie.
- Realtime monitoring nodig voor inzicht en bepaling prioritering.
- Bij optimalisatie o.b.v. rekpercentages in Triaxiaalproeven moet goed worden gelet op het niet gelijktijdig mobiliseren van grondweerstand in verschillende lagen.
- Bij reverse engineering goed opletten op welke normen alles is gebaseerd.

Resultaten afsluiting vervolgstappen
- Beheerders en ingenieursbureaus staan er voor open om inspectieresultaten te delen, zodat die gebundeld kunnen worden in een overzicht.
- Er is behoefte aan een uniform format voor testen en inspecties van verankering.
- Areaaldata op orde is erg belangrijk.
- Praktijkhandleiding voor geavanceerde berekeningsaspecten is wenselijk.

Kennisprogramma Natte Kunstwerken

“Met Vervanging en Renovatie van natte kunst-werken Nederland toekomstbestendig maken”

Joost Breedeveld (Deltares-lid Programmateam)

KpNK-workshop “*Betrouwbaarheid bestaande verankeringen*” – 11 oktober 2021

Vervanging en Renovatie wordt steeds belangrijker

Verouderd areaal

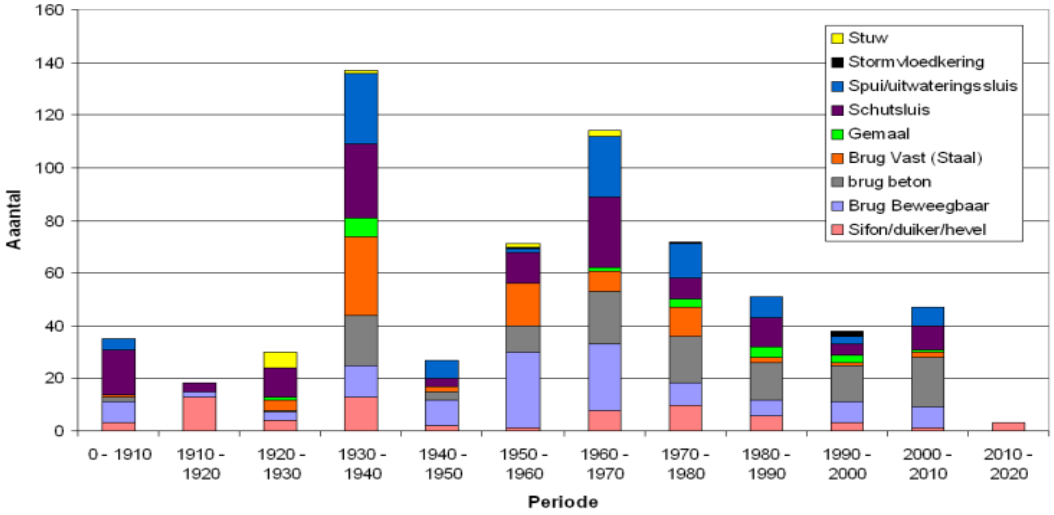
Intensief gebruik

Veilig en beschikbaar

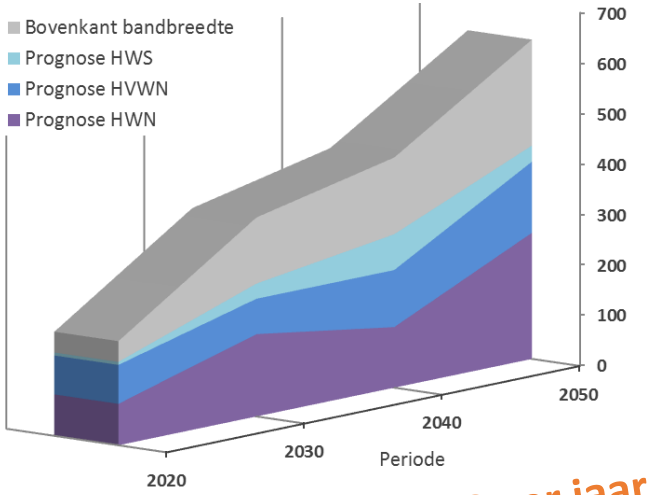
Met onderhoud alleen redden we het niet meer.

‘Einde levensduur’

(Civiele en bewegende delen van) groot aantal natte kunstwerken bereikt de komende decennia het einde van de levensduur…



Gemiddelde vervangingskosten [miljoen € / jaar]



Van 200 naar 600 miljoen € per jaar

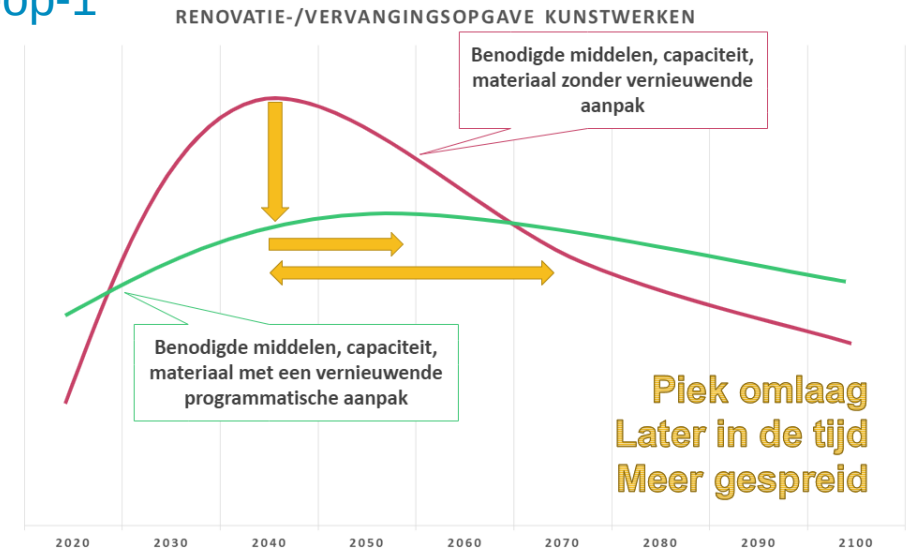
Kennisprogramma Natte Kunstwerken

www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl

Kennisontwikkeling (o.b.v. kernvragen van beheerder):

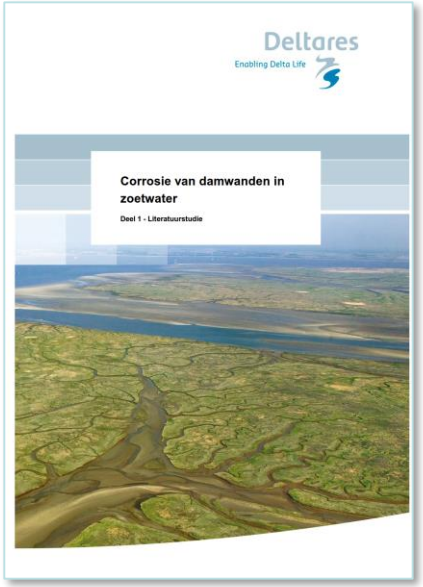
1. Hoe lang gaat mijn kunstwerk nog mee?
2. Welke alternatieven heb ik, naast 1-op-1 vervanging, bij eindelevensduur?
3. Hoe weeg ik de verschillende VenR-alternatieven af?

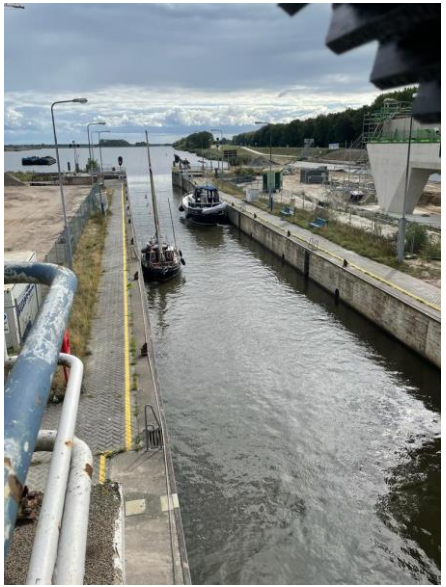
Kennisdeling en kennisdoorwerking



Voorbeelden van KpNK-werkwijze

www.nattekunstwerkenvandetoekomst.nl





…vanuit KpNK-workshop corrosie richting normering

Roggebotsluis

Kennisprogramma Natte Kunstwerken (2021-2024)

Daan Dunsbergen (RWS) daan.dunsbergen@rws.nl
Albert Barneveld (RWS) albert.barneveld@rws.nl
Ad van ‘t Zelfde (TNO) ad.vantzelfde@tno.nl
Alfons Mayer (TNO) alfons.mayer@tno.nl
Johan Dekker (MARIN) j.dekker@marin.nl
Joost Breedeveld (Deltares) joost.breedeveld@deltares.nl

Deltares

Workshop betrouwbaarheid bestaande verankeringen

Invloed betrouwbaarheid van de verankering op einde levensduur van een damwandconstructie

Henri Havinga

Hans Brinkman

11 oktober 2022

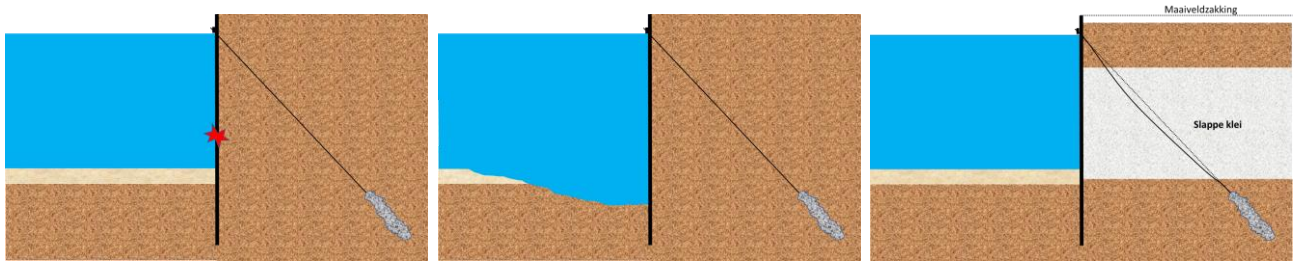
Inhoudsopgave

- Negatieve fysieke aspecten bij verankeringen die einde levensduur medebepalen
- Handelingsperspectief voor de einde levensduur beoordeling
  - Onvoldoende informatie ➔ Nader onderzoek
  - Eenvoudig ➔ Gedetailleerd
- Maatgevende einde levensduur beoordelingssituaties van verankeringen
  - Nieuwe inzichten en methoden

Negatieve fysieke aspecten bij verankeringen die einde levensduur medebepalen

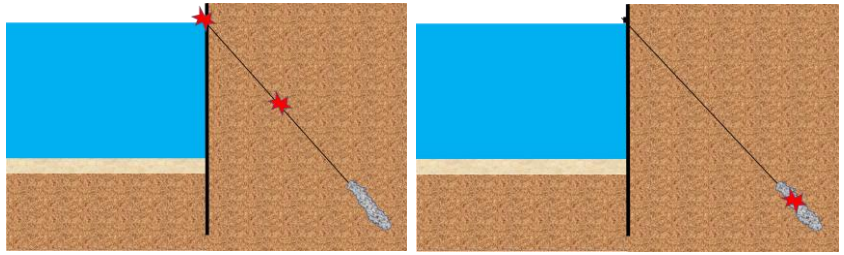
Toename ankerbelasting

- Degradatie damwand
- Cumulatieve erosie waterbodem
- Zakkende grond op ankerstangen
- Zwaarder gebruik



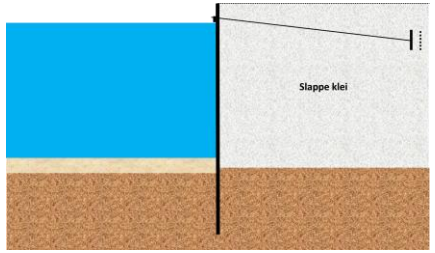
Afname ankersterkte

- Degradatie ankerstang/streng (corrosie)
- Degradatie ankerkop
- Degradatie aanhechting grout (wisselende belasting)



Toename ankervervorming

- Kruip en consolidatie
- Toename ankerbelasting



Handelingsperspectief voor de einde levensduur beoordeling: onvoldoende informatie ➔ nader onderzoek

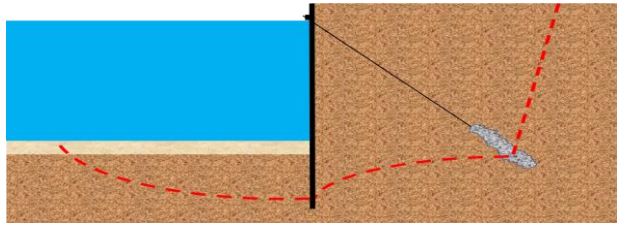
As-build onbekend

- Locatie en afmetingen
  - Ankerschot, Ankerwand, Schroefanker, Groutanker, Klapankers enz.
- Sterkte van ankers
  - Staalkwaliteit
  - Controle proeven: zijn ze uitgevoerd? tot welke kracht?
  - Geschiktheids(bezwijk)proeven: zijn ze uitgevoerd? wat was het resultaat?
- Toegepaste maatregelen
  - Corrosie bescherming?
  - Scharnierende verbinding voor zakkende grond?

Actuele toestand onbekend

- Degradatie van verankering & damwand?
- Bodemniveau en dikte sliblaag?

Handelingsperspectief voor de einde levensduur beoordeling: Eenvoudig ➔ Gedetailleerd



Onvoldoende geavanceerd rekenmodel

- Analytische Kranz ➔ EEM (Kranz is conservatief)
- Sterkte bij 2 of 5% rek bij isotroop geconsolideerde triaxiaalproeven ➔ werkelijke maximale sterkte van het grondmassief uit anisotroop geconsolideerde triaxiaalproeven
- Triaxiale grondsterkte in EEM ➔ plane strain grondsterkte

Te grote beoordelingsvakken

- Maatgevende snede grote vakken ➔ Opdelen in kleinere vakken geeft scherpere beoordeling per vak

Beoordelingscriterium

- Elastische sterkte ➔ Plastische capaciteit (bij voldoende staaldikte)
- Elastische sterkte Class 4 op basis van spanningsreductieregel ➔ Berekenen Class 4 capaciteit
- Geen plastische scharnieren ➔ Plastische scharnieren (bij voldoende staaldikte)
- Nieuwbouw ➔ Bestaande bouw
- CC3 ➔ Juiste CC-klasse veelal lager, zie NEN1990

Maatgevende einde levensduur beoordelingssituaties van verankeringen: Nieuwe inzichten en methoden

Veiligheidsfilosofie

- NEN8707
- (in ontwikkeling) NPR/NEN bestaande kadeconstructies op basis van bewezen sterkte
- Probabilistisch
- Effect van variatie corrosie op de betrouwbaarheid

Ander betrouwbaarheidsniveau vereist dan bij ontwerp

Nieuwe mechanismen

- Kranz (pas sinds jaren 60)
- Zakkende grond op ankerstangen (vroeger wel onderkend en maatregelen maar geen berekening)

Nieuwe rekenmodellen

- Verenmodel
- Eindige elementen model
- Berekeningsmethoden voor zakkende grond op ankerstangen

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Recente ervaringen bestaande ankers RWS

Renger van de Kamp / Karan Tikai

11 oktober 2022

Onderwerpen

- Terugkoppeling eerdere workshop
- Irenesluis
- Kranz-stabiliteit / ankerlengte
- Onderzoek
- Hollandsche IJsselkering (Karan Tikai)

Terugkoppeling eerdere workshop

kennisplatform CROW

Protocol gemiddelde staaldiktebepaling van 6 aangrenzende stalen damwandplanken met ultrasone metingen

Natte kunstwerken van de Toekomst

Workshop

Corrosie van bestaande stalen damwanden in zoetwater

Sluis Eefde [Rijkswaterstaat]

Voorbeeld: damwanden onder brug

DIKTEMETINGEN

TYPE: 0

Punt	Zone	Hoogte tov waterlijn	M 1 - Buik [mm]	M 2 - Lijf [mm]	M 3 - Kas [mm]	M 4 - Kas [mm]	M 5 - Lijf [mm]	M 6 - Buik [mm]	M 7 - Buik [mm]	M 8 - Lijf [mm]	M 9 - Kas [mm]	M 10 - Kas [mm]	M 11 - Lijf [mm]	M 12 - Buik [mm]	M 13 - Buik [mm]	M 14 - Lijf [mm]	M 15 - Kas [mm]	M 16 - Kas [mm]	M 17 - Lijf [mm]	M 18 - Buik [mm]
D1	Atmosferisch	Deksloof	10,2	9,8	10,3	10,0	9,4	9,6	10,0	9,5	9,9	10,2	9,9	9,9	10,3	9,8	9,8	9,5	9,5	10,4
		0,5	10,1	9,9	10,0	9,8	9,6	9,9	10,0	9,7	9,9	10,3	9,4	9,7	10,1	10,0	9,8	9,5	9,5	9,9
	Spatzone	Waterlijn	9,3	9,4	9,0	9,0	8,4	8,3	9,1	8,6	8,7	8,7	8,4	9,3	8,3	9,1	9,1	8,7	7,9	9,6
	Permanent	-0,5	9,7	9,2	8,8	8,9	8,2	8,5	8,5	8,4	8,6	8,9	8,9	9,1	9,3	8,8	8,9	8,6	8,9	8,6
		-1	9,7	8,9	8,9	9,1	8,8	9,1	9,2	8,7	8,9	9,1	8,4	8,5	9,0	8,9	9,3	8,9	8,6	9,2
		Bodem	9,2	9,3	9,3	9,2	8,6	9,2	9,2	9,4	9,3	9,7	9,4	9,4	9,5	9,3	8,9	9,1	8,9	9,2
D2	Atmosferisch	Deksloof	9,5	10,2	9,6	9,9	10,2	10,0	9,5	9,9	9,8	9,5	9,5	9,3	9,0	8,9	9,3	10,0	9,1	10,2
		0,5	9,5	10,1	10,6	10,1	10,0	10,0	9,8	9,8	10,2	10,8	10,4	9,1	9,0	9,0	9,3	10,1	9,1	10,2
	Spatzone	Waterlijn	9,6	9,0	9,2	9,4	9,1	9,1	9,8	8,8	9,0	9,8	9,1	9,6	7,9	7,9	7,8	8,3	8,8	8,5
	Permanent	-0,5	8,9	8,8	9,7	8,6	8,9	8,9	9,0	8,6	8,1	9,0	9,3	9,4	8,4	8,0	8,3	8,0	8,9	9,0
		-1	9,4	9,8	9,5	8,3	8,2	9,1	8,8	8,3	8,8	9,9	9,2	9,5	9,3	8,3	9,3	8,6	8,4	8,5
		Bodem	9,4	9,1	9,6	8,7	8,8	9,1	8,5	8,7	8,3	9,2	9,3	9,5	9,3	9,2	8,7	8,2	8,1	8,7
D3	Atmosferisch	Deksloof	9,8	9,5	10,1	9,6	9,4	9,7	9,9	9,6	10,0	9,9	9,9	10,5	9,8	9,8	10,3	9,9	9,7	10,3
		0,5	10,0	9,5	10,1	9,8	9,5	9,8	10,0	9,7	10,1	10,0	9,9	10,1	10,0	10,0	10,0	9,8	9,8	10,5
	Spatzone	Waterlijn	8,8	7,9	9,1	nm	8,5	8,2	7,9	7,8	nm	8,9	8,8	8,2	8,3	8,8	8,4	nm	8,5	8,2
	Permanent	-0,5	8,9	9,1	9,1	8,2	7,5	9,3	8,8	9,1	9,6	nm	9,3	9,1	9,1	8,9	nm	8,6	8,6	8,8
		-1	8,6	8,6	8,4	7,0	7,5	8,3	9,6	9,3	9,6	8,6	8,1	8,2	8,9	7,9	8,7	8,2	8,4	8,8
		Bodem	9,1	9,1	9,5	8,7	8,1	9,1	9,7	9,3	10,2	9,3	9,6	9,3	9,1	8,4	8,9	8,9	8,7	9,4
D4	Atmosferisch	Deksloof	9,8	9,4	9,4	10,4	10,1	10,2	9,8	9,4	9,8	9,9	9,7	9,9	9,7	9,4	9,7	9,6	9,5	10,0
		0,5	9,6	9,5	9,4	10,3	10,2	10,3	9,8	9,5	9,9	9,8	9,7	9,9	9,8	9,4	9,8	9,8	9,4	9,9
	Spatzone	Waterlijn	8,9	8,4	8,6	9,3	9,2	9,0	8,5	8,5	9,0	8,4	8,7	8,7	8,0	8,5	9,1	9,0	8,9	8,6
	Permanent	-0,5	8,8	8,1	8,0	9,1	9,0	9,2	9,1	8,8	nm	8,7	8,2	9,4	9,0	8,7	7,9	7,7	8,1	8,5
		-1	8,8	8,5	8,5	8,4	8,4	8,7	9,1	8,5	nm	8,8	8,7	9,1	8,8	9,0	9,0	8,9	8,7	9,0
		Bodem	9,3	9,1	9,0	9,9	9,4	9,1	8,8	8,5	9,1	9,8	9,5	9,0	8,9	8,7	8,7	8,8	8,5	9,1

Oude metingen								
noordzijde				kas	lijf	buik	lijf	kas
			waterlijn	9,9	9,4	9,6	8,1	8,2
			-0,5	10,5	9	9,8	8,5	8,4
			-1	10,8	9,8	10,1	9,4	9
			30 cm bb	10,7	10,1	8,5	8,8	8,6
zuidzijde				kas	lijf	buik	lijf	kas
			waterlijn	8,7	9	9,1	8,1	9,3
			-0,5	8,4	8,2	6,2	9,2	9,1
			-1	8	7,6	6,3	9	8,9
			30 cm bb	9,2	9,1		9,2	8,4

Voorbeeld: damwanden onder brug

volgens meetprotocol

lijf		gem	stdev	v.c.	n	kar
Atmosfherisch	Deksloof	9,6	0,32	3%	24	9,4
	0,5	9,7	0,34	3%	24	9,5
Spatzone	Waterlijn	8,6	0,44	5%	24	8,4
Permanent	-0,5	8,7	0,46	5%	24	8,4
	-1	8,6	0,47	6%	24	8,3
	Bodem	9,0	0,44	5%	24	8,7

buik + kas		gem	stdev	v.c.	n	kar
Atmosfherisch	Deksloof	9,9	0,32	3%	48	9,7
	0,5	9,9	0,34	3%	48	9,8
Spatzone	Waterlijn	8,8	0,52	6%	45	8,6
Permanent	-0,5	8,8	0,46	5%	45	8,6
	-1	8,9	0,49	6%	47	8,7
	Bodem	9,1	0,39	4%	48	9,0

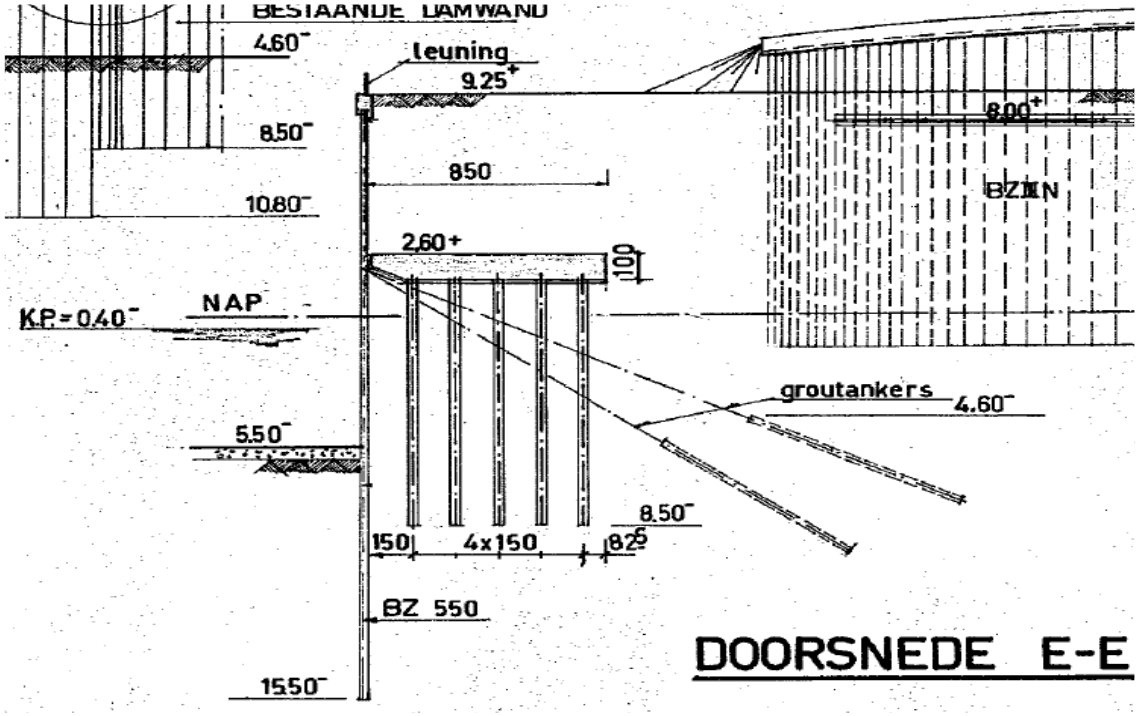
"oude" methode

lijf	gem	stdev	v.c.	n	kar
Waterlijn	8,7	0,7	8%	4	7,7
-0,5	8,7	0,5	5%	4	8,1
-1	9,0	1,0	11%	4	7,6
Bodem	9,3	0,6	6%	4	8,5

buik + kas	gem	stdev	v.c.	n	kar
Waterlijn	9,1	0,6	7%	6	8,4
-0,5	8,7	1,5	17%	6	7,0
-1	8,9	1,6	18%	6	7,0
Bodem	9,1	1,0	11%	5	7,8

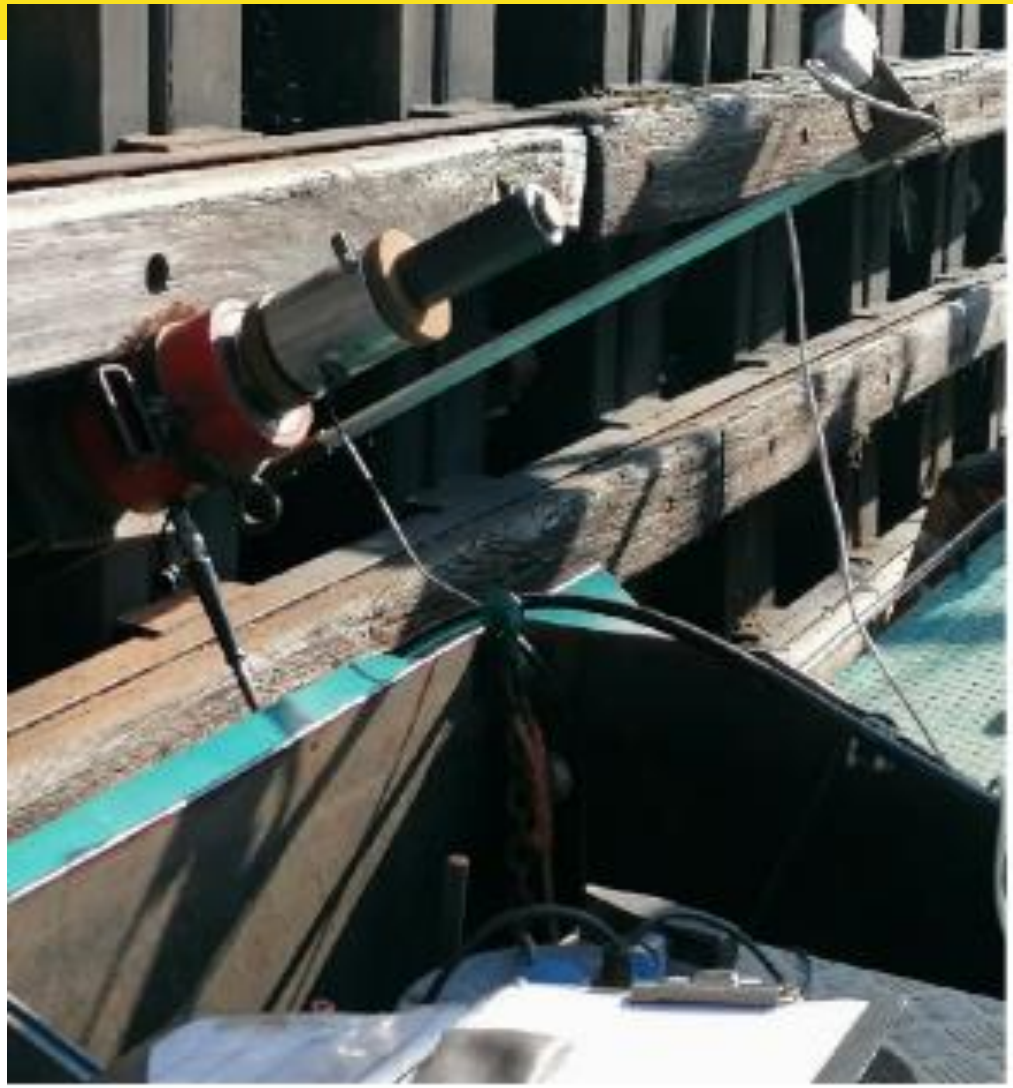
Irenesluis (herfst 2020)

- Ankerstoelen in zeer slechte conditie
- GEWI-staven (1974)



Irenesluis

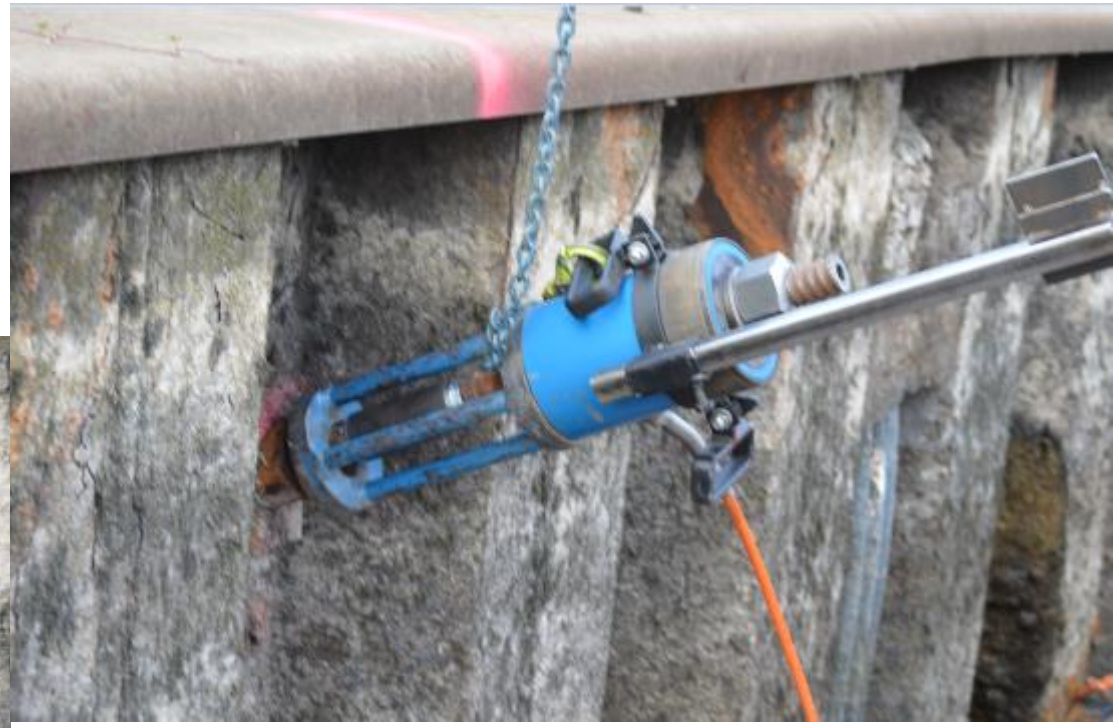
- Controleproeven
- 40-50 % Faalde, deel eruit getrokken
- Teercoating
- Vervangen door nieuwe strengankers



Figuur 4: Controle proef opstelling

Brosse breuk ankerstang

Andere locatie, vergelijkbare schade



Kranz-stabiliteit / ankerlengte

- Ankerlengte bepalen met rij magnetometersonderingen
- Gebruik EEM-berekening voor gunstiger faalkansverdeling (zie presentatie Henri Havinga)

Onderzoek ankerstangen

- Roggebotsluis (1958)

Onderzoek ankerstangen

- Twentekanaal (1984)
  - Thermisch verzinkt

Damwanden Hollandsche Ijsselkering complex

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Rijkswaterstaat
Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat

Programma

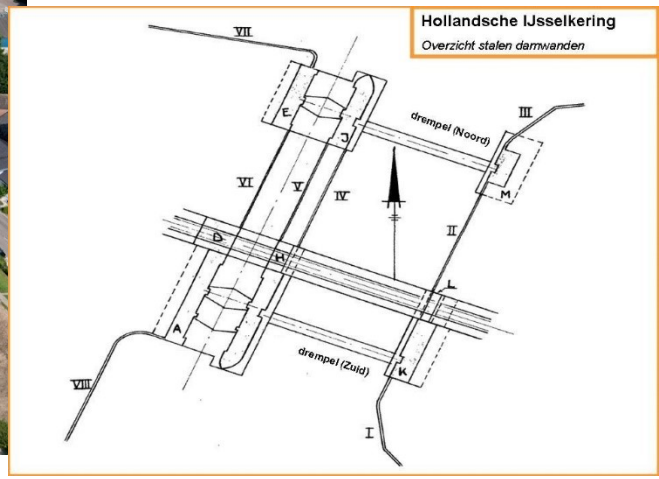
1. Introductie
2. Scope projectteam RWS
3. Damwanden HIJK
4. Aanleiding verbeterproject
5. Herberekening damwanden
6. Scope verbeterproject
7. Aandachtspunten/risico’s in uitvoering

Introductie

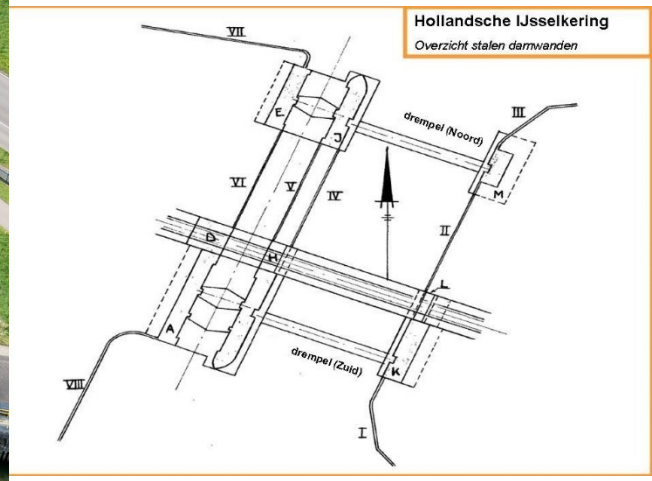
- Karan Tikai
- 30 jaar, woon in Rotterdam
- BSc Civiele techniek, MSc Offshore engineering (TU Delft)
- R&D engineer @ Allseas
- Starters program @ RWS
  - 9 maanden @ MARS Support Groep
  - 3 maanden @ Keringen II
- 5 jaar technisch adviseur @ Keringen II

Scope Keringen II

Damwanden bij de Hollandsche IJsselkering



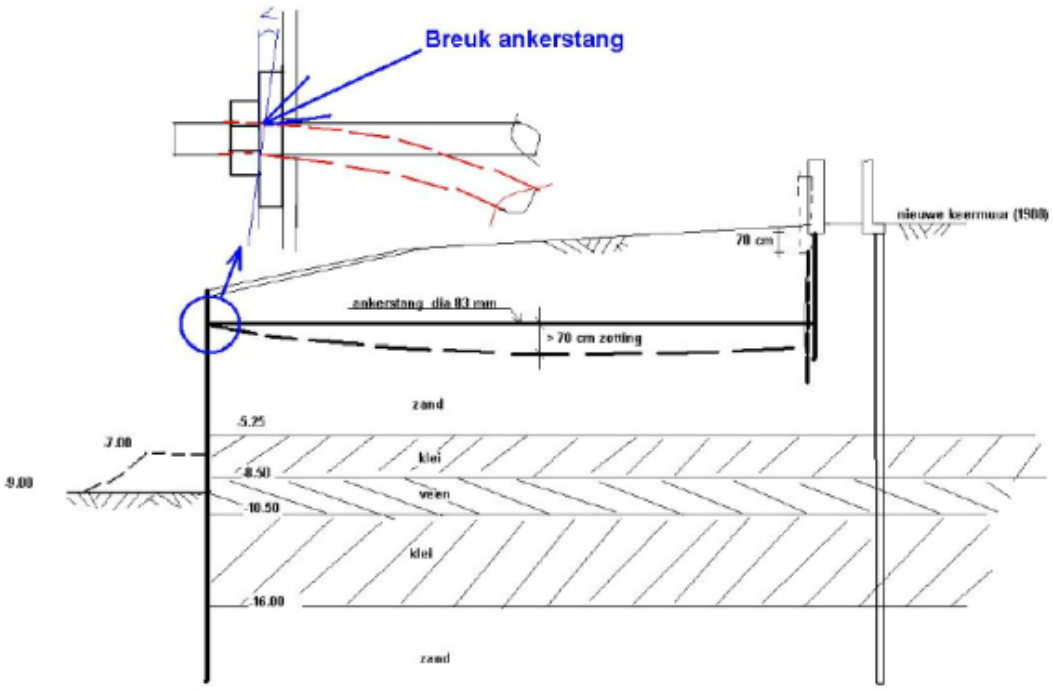
Damwanden bij de Hollandsche IJsselkering



Aanleiding voor verbeterproject damwanden

<u>2012</u>

- Tijdens werkzaamheden: 4 gebroken ankerstangen D2
- D2 voldeed niet aan normering toentertijd
    - Veiligheidseisen m.b.t. sterkte en stabiliteit
- Diepe ontgrondingskuilen getroffen voor D2
- <u>Vernieuwen</u> D2 was enige optie



Herberekening damwanden

2013

- Opdracht voor vernieuwing D2 + bodembescherming

2015-2016

- Uitvoering werkzaamheden
- Herberekening alle damwanden op het object

Controleberekingen samenvatting

Damwand No:	sterkte (BGT) UC	sterkte (UGT) UC	stabiliteit ankerscherm (BGT) UC	stabiliteit ankerscherm (UGT) UC	opmerkingen
I_b	1.32	onstabiel	5.92	onstabiel	
III	0.72	1.00	20.81	24.68	
IV (kistdam)	0.54	0.93	*nvt*	*nvt*	UC_{anker} =0.88
V (kistdam)	0.67	1.22	*nvt*	*nvt*	UC_{anker} =0.88
VI	0.39	0.57	1.44	1.83	
VII	0.32	0.36	3.40	4.28	$F_{toe;anker}$=65 kN/m'
VIII (loswal)	0.34	onstabiel	1.33	onstabiel	

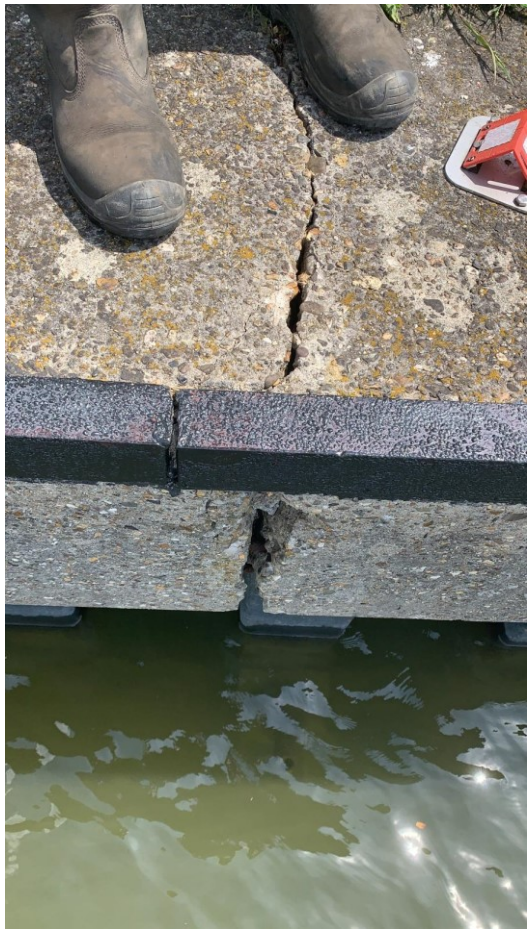
Scope verbetermaatregelen damwanden

Damwand I	- conservering staal
	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloof
Damwand III	- versterken met groutankers met gording aan waterzijde
	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloof
	- Conservering staal
Damwand IV-V	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloven
	- conservering staal
Damwand VI	- versterken met groutankers met gording aan grondzijde
	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloof
	- conservering staal
Damwand VII	- versterken met groutankers met gording aan waterzijde
	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloof
	- wrijfgording aanbrengen
	- conservering staal
Damwand VIII (loswal)	- compleet vervangen van huidige damwand.
Damwand VIII (bewoners)	- versterken met groutankers en gording.
	- betonreparatie en vervanging voegvulling deksloof
	- conservering staal

Conservering werkzaamheden

Betonreparaties

Betonreparaties



Technische eisen ankers en nieuwe damwand

Ankers en bijbehorende bestaande damwand (3, 6, 7, 8 bewoners)

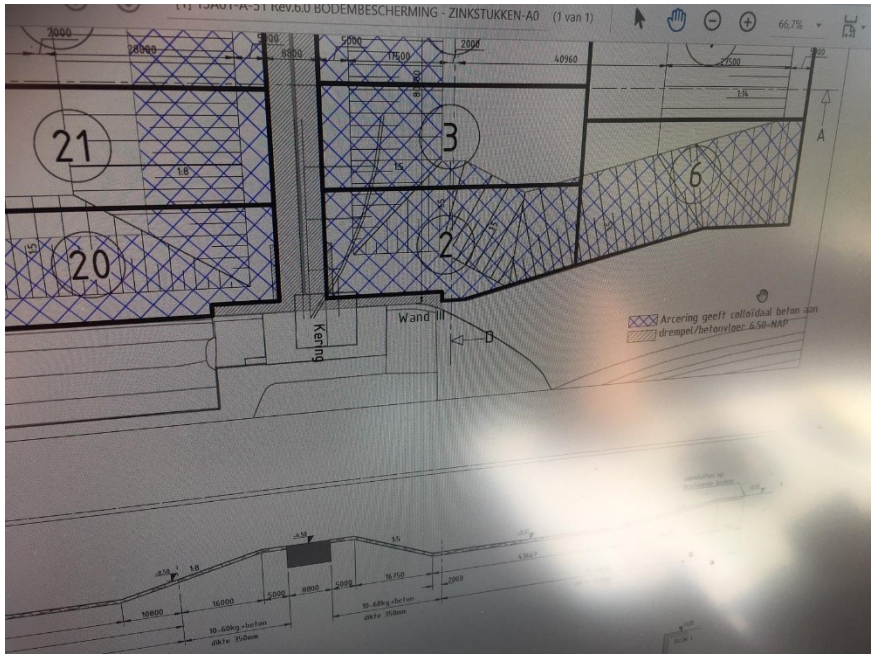
- Constructieve waarborging huidige damwanden: 20 jaar (verlengen)
- Ontwerplevensduur nieuwe verankering (incl corrosietoeslag): 50 jaar
- Bestaande verankering dient functie te behouden
- Systeem dient te voldoen aan CUR 166 en RVW 2017
- Ankerhoek: tussen 30 en 45 graden
- Uitvoering conform NEN-EN-1537
- Beproeving conform NEN-EN-ISO 22477-5
- Horizontale belastingen ankerkrachten voorgeschreven (BGT en UGT)
- Aangrijpingspunt hoogte voorgeschreven

Technische eisen ankers en nieuwe damwand

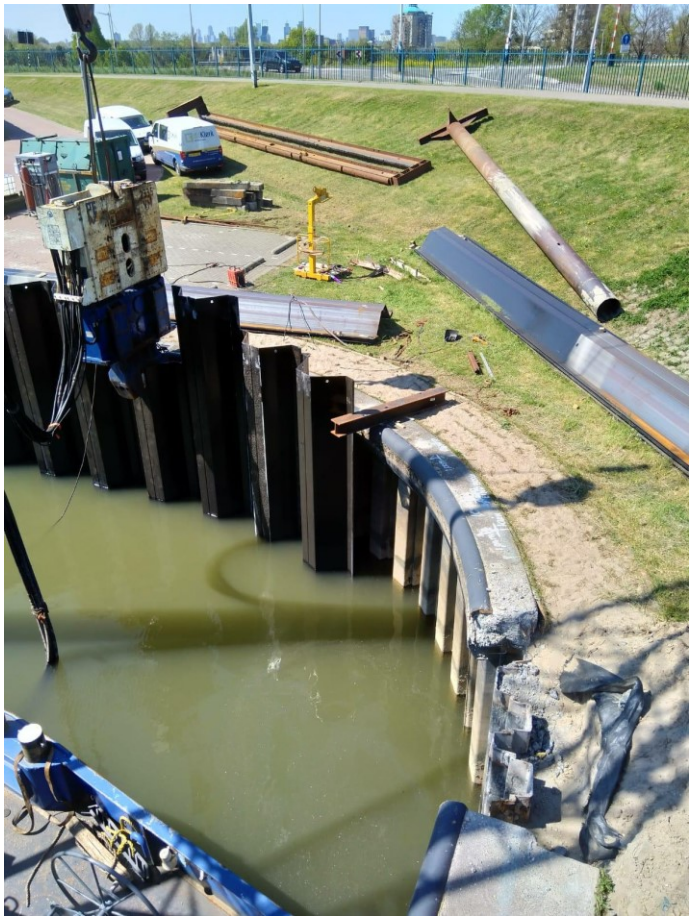
Nieuwe damwand bij loswal

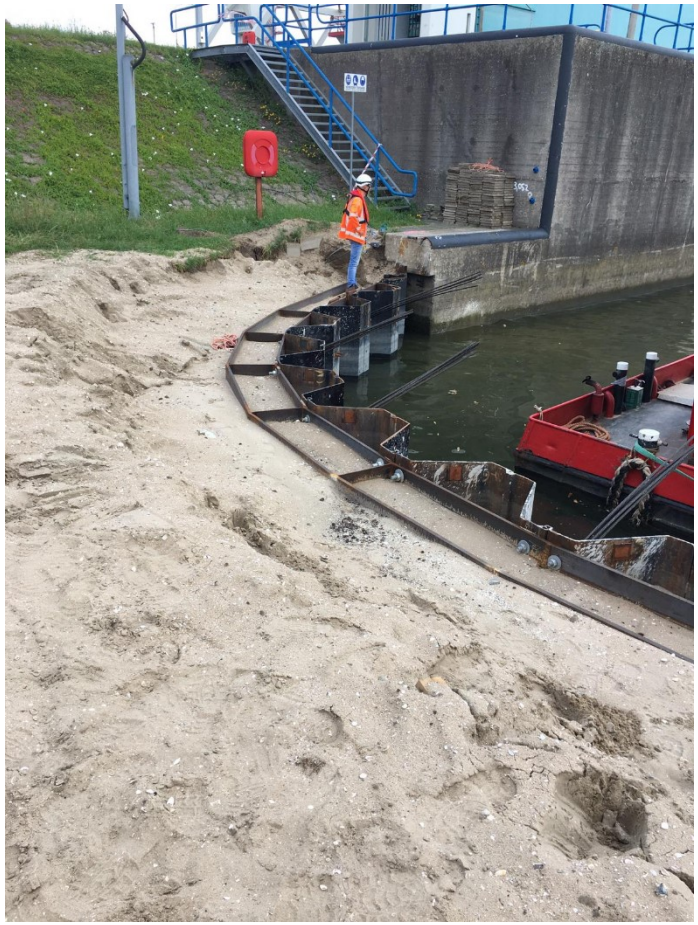
- Ontwerplevensduur nieuw systeem: 50 jaar
- Maximaal 0.5 m h.o.h van bestaande damwand plaatsen
- BGT en UGT waterstanden voorgeschreven
  - Rivierzijde: OLW: NAP-0.54m (UGT)
  - Landzijde: GWS: NAP+1.5m (UGT)
  - Rivierzijde: OLW: NAP-0.54m (UGT)
  - Landzijde: GWS: Maaiveld (UGT)
- NGD: NAP -5.0m (CUR 211E)
- Bovenbelasting: 20 kN/m2 over gehele lengte en breedte van 15 m
- Kraanbelasting: 50 ton
- In het werk gestorte betonnen deksloof

Bodembescherming vs spudpalen

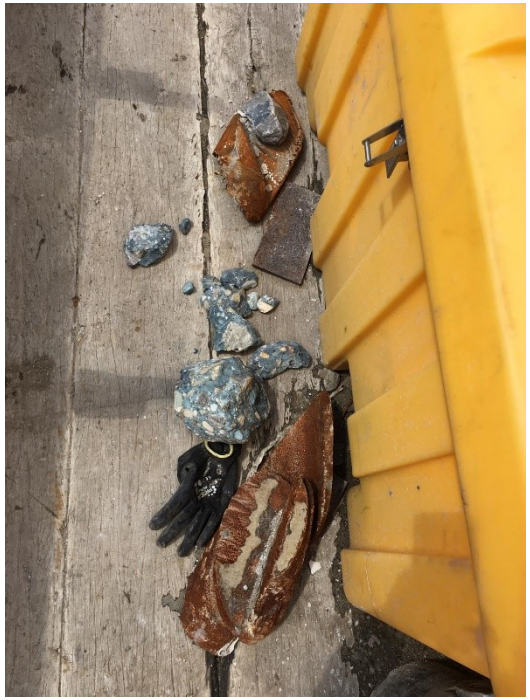


Bocht in dekzerk





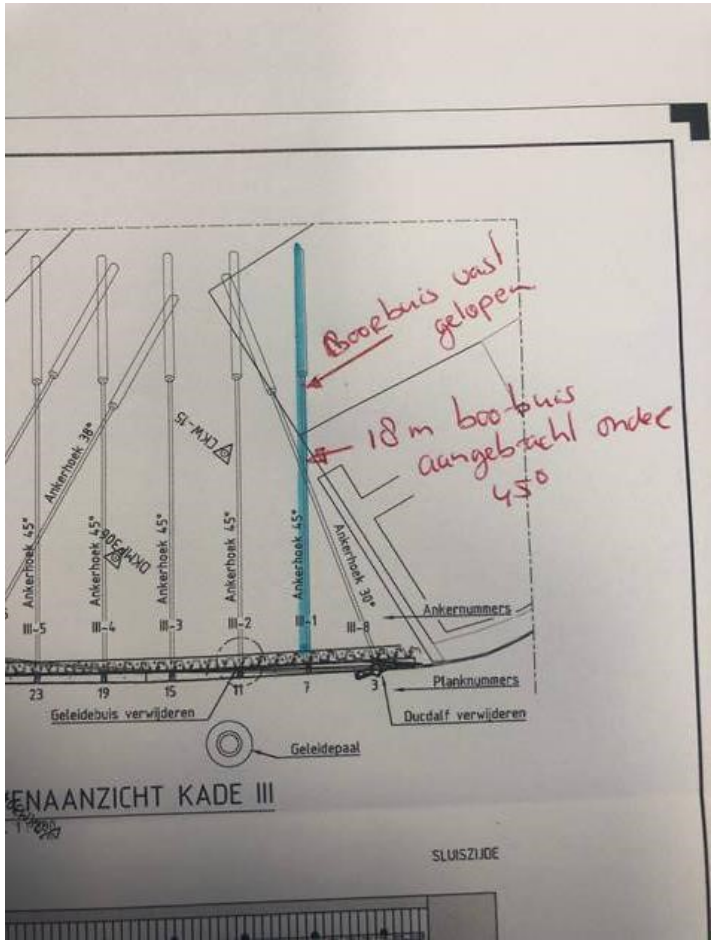
Objecten in ondergrond



Objecten in ondergrond

Objecten in ondergrond

Wijziging van de eisen



Tijdelijke damwand (die toch permanent is)

Afsluiting

Afsluiting

Afsluiting

Afsluiting

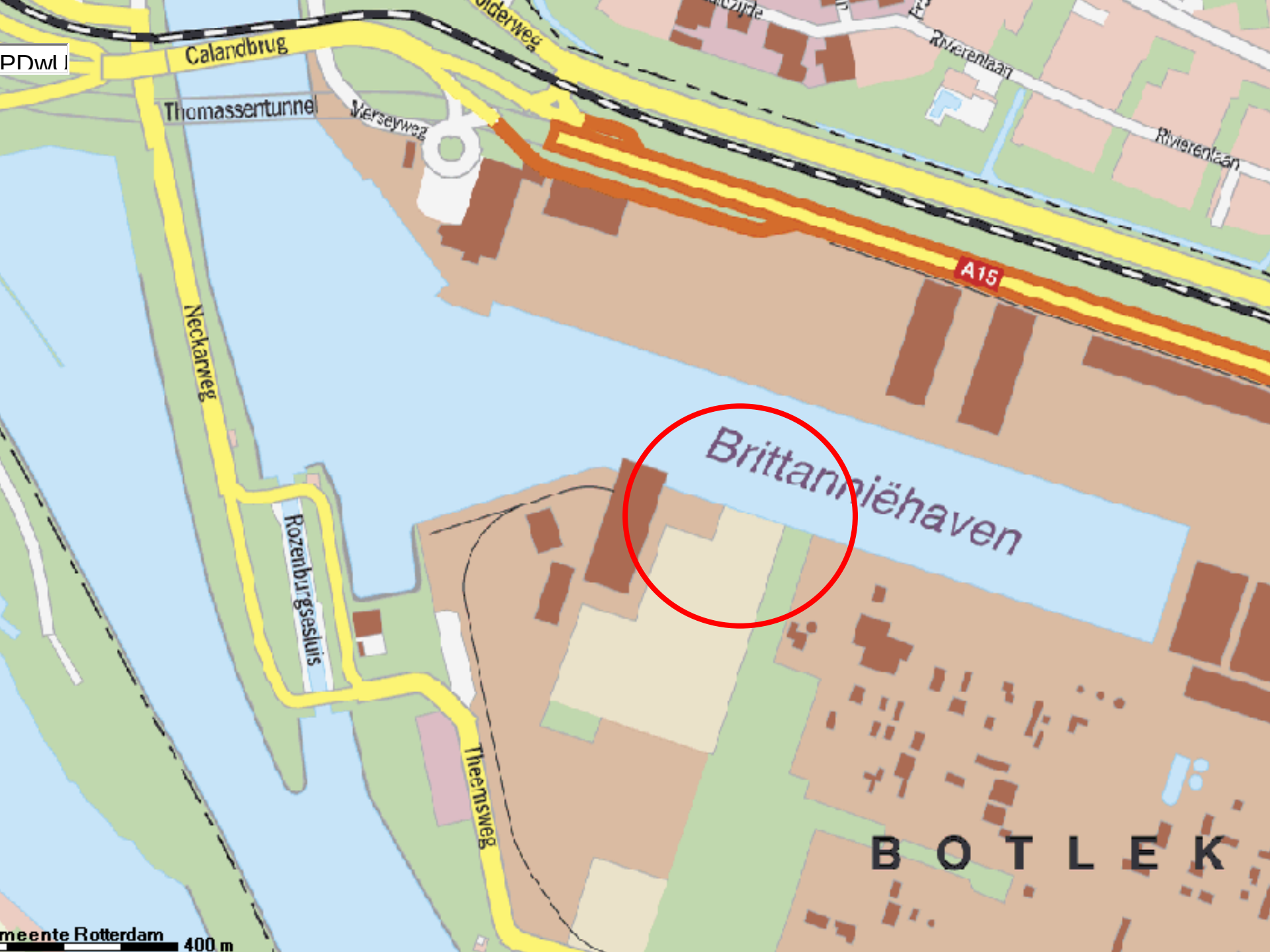
Ankerschotten en horizontale verplaatsingen

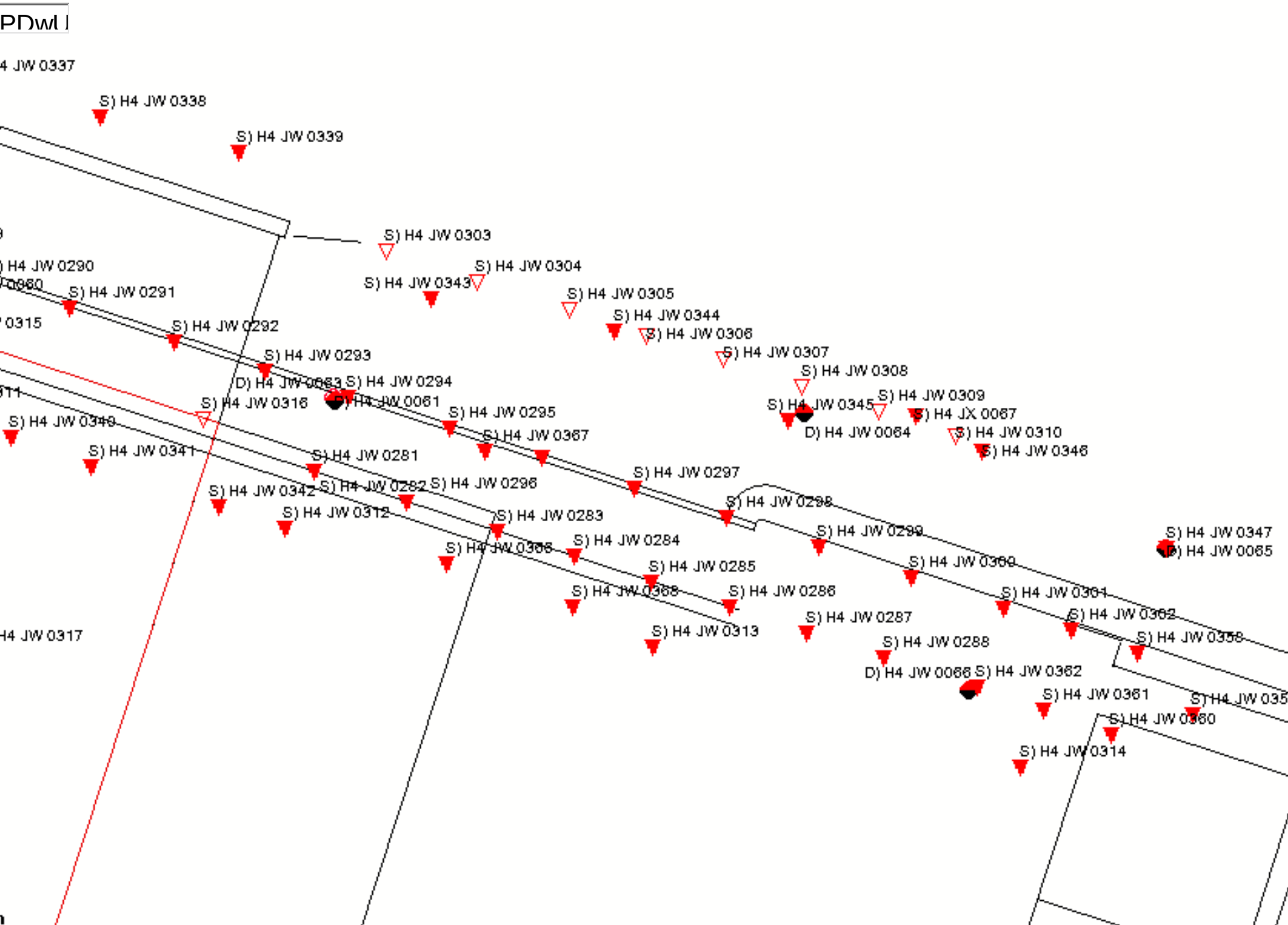
Rodriaan Spruit

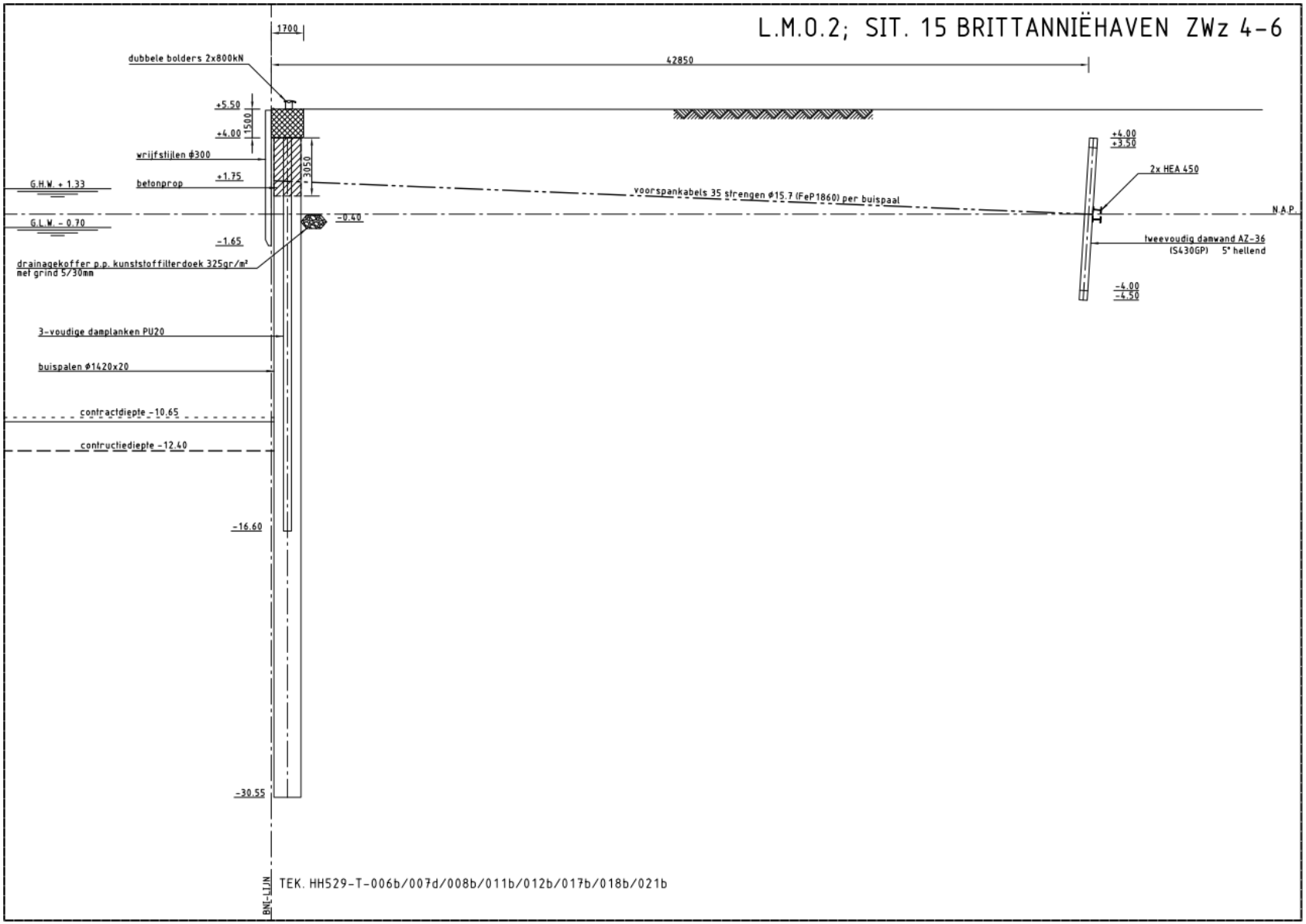
Gemeente Rotterdam

Overzicht

- **Monitoring x-y-z verplaatsingen geeft inzicht**
- **Problemen met horizontale verplaatsingen en mogelijke oplossingen**
  - Gevelco Brittaniehaven
  - EECV Calandkanaal
- **Conclusies**


Calandbrug
Thomassentunnel
Merseyweg
Rivierenlaan
Rivierenlaan
A15
Neckarweg
Brittanniëhaven
Rozenburgsesluis
Theemsweg
B O T L E K
meente Rotterdam
400 m


PDwl
4 JW 0337
S) H4 JW 0338
S) H4 JW 0339
S) H4 JW 0303
S) H4 JW 0304
S) H4 JW 0343
S) H4 JW 0305
S) H4 JW 0344
S) H4 JW 0306
S) H4 JW 0307
S) H4 JW 0308
S) H4 JW 0309
S) H4 JX 0067
S) H4 JW 0310
S) H4 JW 0346
S) H4 JW 0345
D) H4 JW 0064
) H4 JW 0290
S) H4 JW 0291
0315
S) H4 JW 0292
S) H4 JW 0293
D) H4 JW 0063
S) H4 JW 0294
D) H4 JW 0061
S) H4 JW 0316
S) H4 JW 0295
S) H4 JW 0367
S) H4 JW 0340
S) H4 JW 0341
S) H4 JW 0281
S) H4 JW 0297
S) H4 JW 0342
S) H4 JW 0282
S) H4 JW 0296
S) H4 JW 0312
S) H4 JW 0298
S) H4 JW 0283
S) H4 JW 0299
S) H4 JW 0284
S) H4 JW 0285
S) H4 JW 0286
S) H4 JW 0287
S) H4 JW 0313
S) H4 JW 0288
D) H4 JW 0066
S) H4 JW 0362
S) H4 JW 0361
S) H4 JW 0314
S) H4 JW 0347
D) H4 JW 0065
S) H4 JW 0360
S) H4 JW 0301
S) H4 JW 0302
S) H4 JW 0358
H4 JW 0317

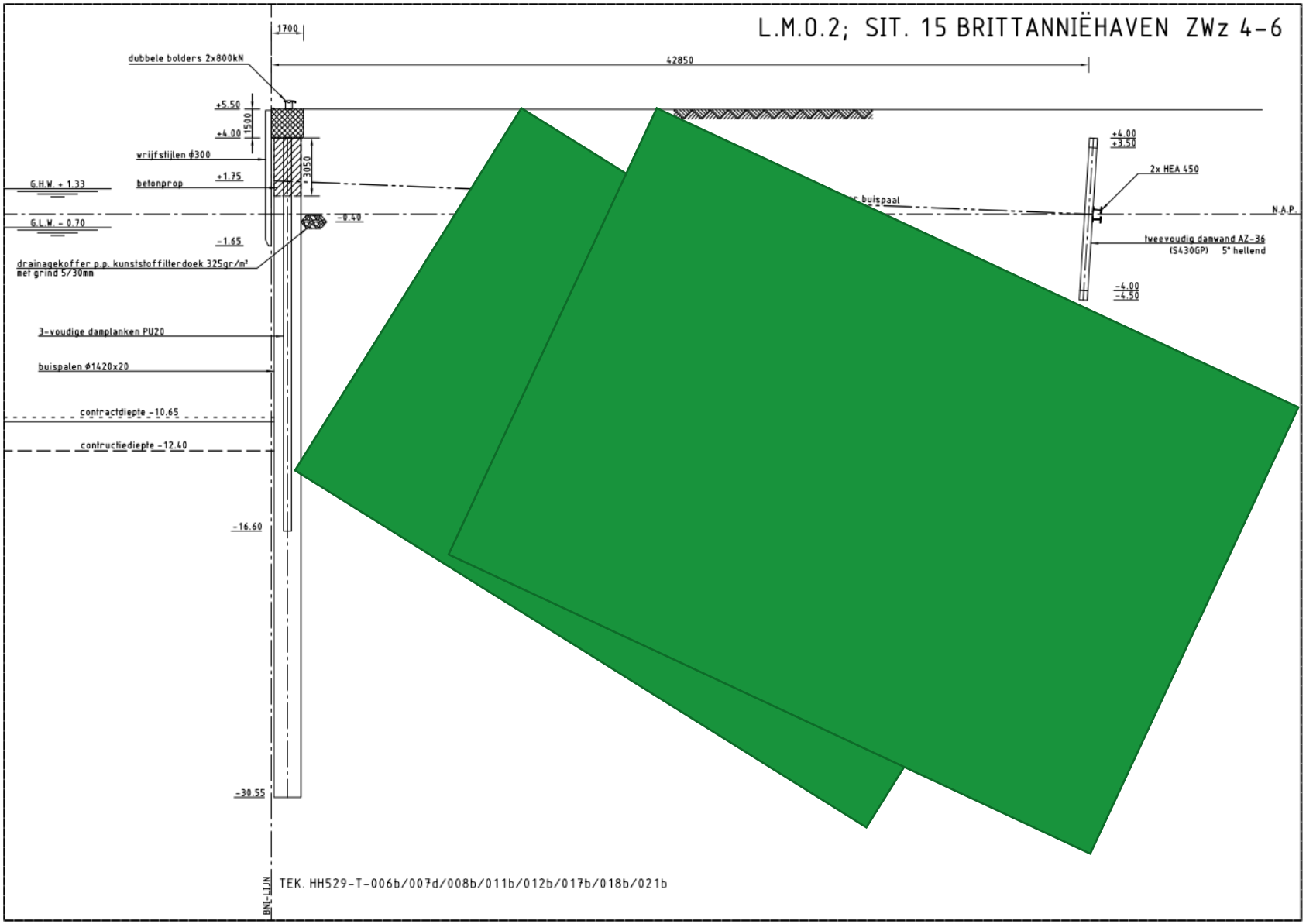


SITUATIE
BRITTANNIËHAVEN
KADE
ZUIDWESTZIJDE
DOORSNEDE
008-019

BESTEK/OPDRACHT
1-033-03

OPMERKINGEN
ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
Bouwjaar:
2003
Lengte = 76.0m

WIJZ.	DATUM
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-


L.M.O.2; SIT. 15 BRITTANNIËHAVEN ZWz 4-6
1700
42850
dubbele bolders 2x800kN
+5.50
+4.00
1500
wrijfstijlen ϕ300
+1.75
3050
betonprop
G.H.W. + 1.33
G.L.W. - 0.70
-0.40
-1.65
drainagekoffer p.p. kunststoffilterdoek 325gr/m²
met grind 5/30mm
3-voudige damplanken PU20
buispalen ϕ1420x20
contractdiepte -10.65
contructiediepte -12.40
-16.60
-30.55
+4.00
+3.50
2x HEA 450
buispaal
N.A.P.
tweevoudig damwand AZ-36
(S430GP) 5° hellend
-4.00
-4.50
BNG-LIJN
TEK. HH529-T-006b/007d/008b/011b/012b/017b/018b/021b
SITUATIE
BRITTANNIËHAVEN
KADE
ZUIDWESTZIJDE
DOORSNEDE
008-019
BESTEK/OPDRACHT
1-033-03
OPMERKINGEN
ALLE MATEN IN
MILLIMETERS TENZIJ
ANDERS AANGEGEVEN
Bouwjaar:
2003
Lengte = 76.0m
WIJZ.
DATUM

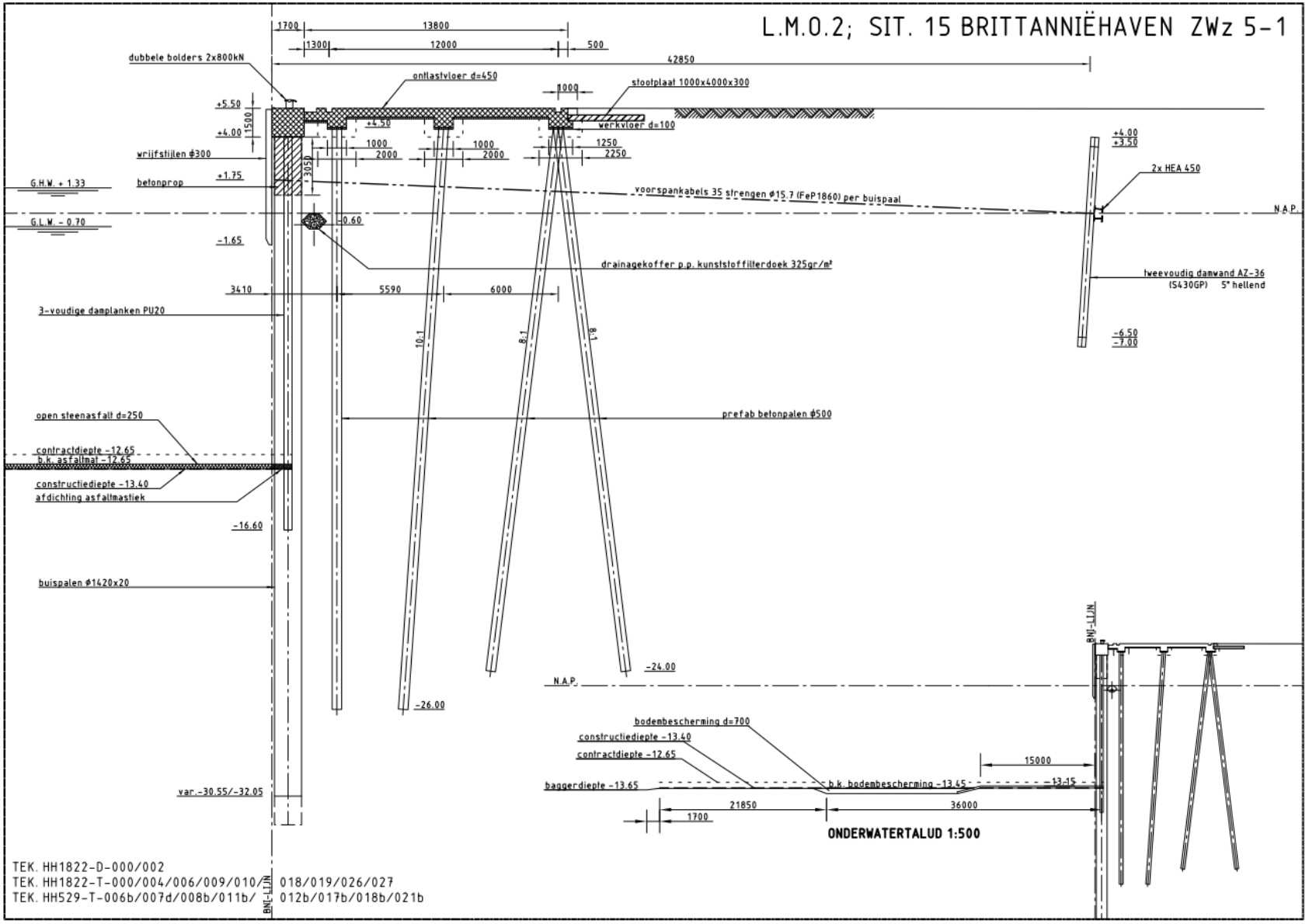
Verplaatsingen bestaande AWT kade

- **80 mm verplaatsing in 8 jaar**
- **metingen duiden op lichte afname verplaatsingssnelheid**
- **uitgebreide studie naar oorzaak**
  - geen alleenstaande oorzaak aan te wijzen
- **HbR is bezorgd over activiteiten naast kade**

GRADE:CK45N
HEAT No. B58037 59
SIZE: Φ
LENGTH: 4525
WEIGHT: 3235kg
SHANGHAI
CHENGHANG INDUSTRIAL
GRADE:
HEAT No.
SIZE:
LENGTH:
WEIGHT:
GRADE:CK45N
HEAT No.B58037 7
SIZE: Φ
LENGTH:
WEIGHT:
GRADE:
HEAT No.
SIZE:
LENGTH:
WEIGHT:
GRADE:
HEAT No.
SIZE:
LENGTH:
WEIGHT:
GRADE:CK45N
HEAT No.B58037 7
SIZE: Φ 340
LENGTH: 4670
WEIGHT: 3345kg

Uitbreiding AWT kade Gevelco

- +/- 100 m nieuwbouw richting het oosten
- verdieping haven naast bestaande kade
- toevoeging ontlastvloer naast bestaande kade

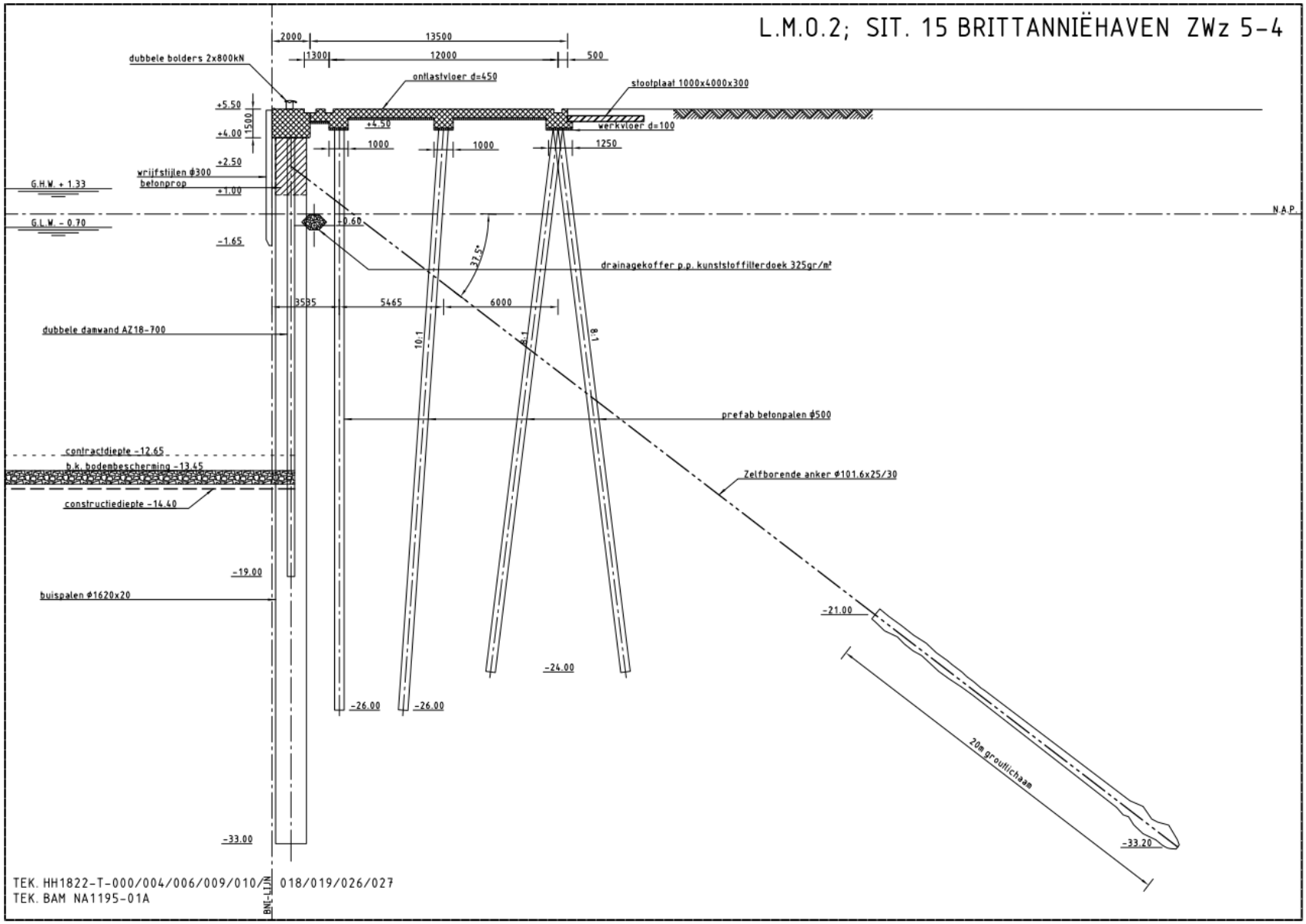


SITUATIE
BRITTANNIËHAVEN
KADE
ZUIDWESTZIJDE
DOORSNEDE
008-026

BESTEK/OPDRACHT
1-033-03

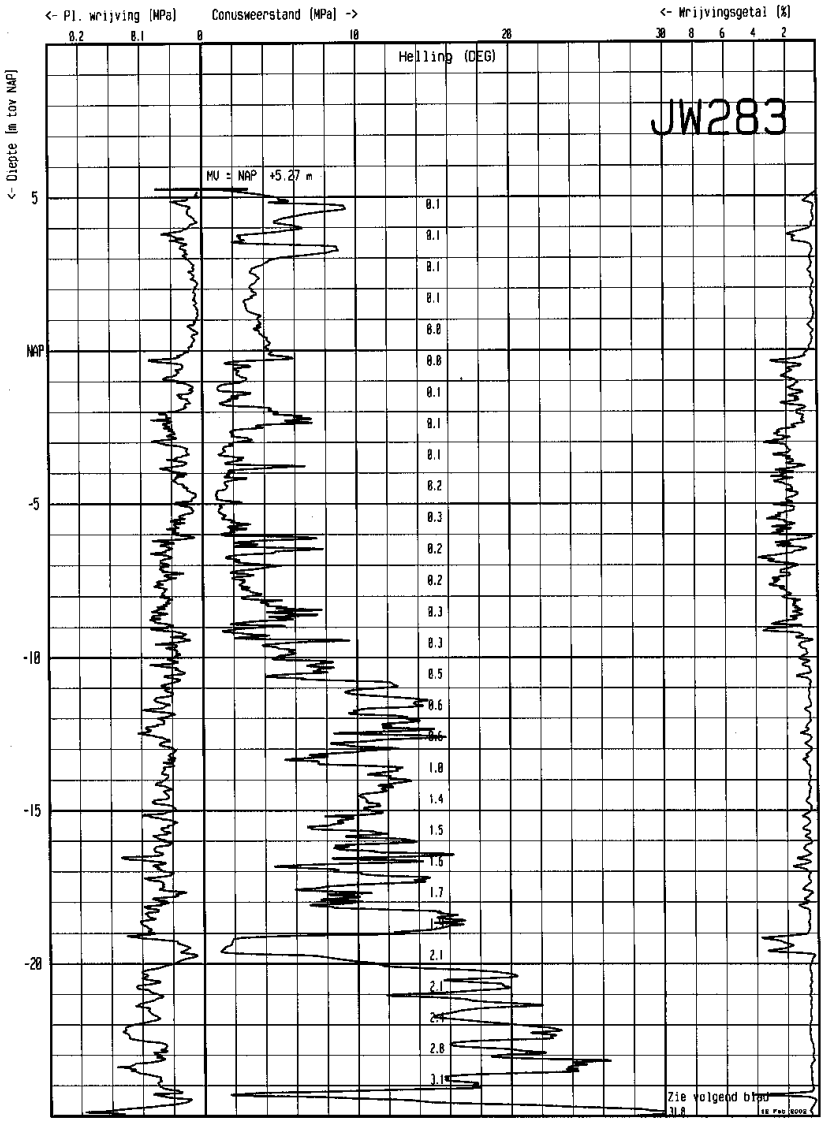
OPMERKINGEN
ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
Bouwjaar:
2003
Uitbreiding:
2008
Lengte 2.6+24.5+82,0
Totaal = 109.1m

WIJZ.	DATUM
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-


L.M.O.2; SIT. 15 BRITTANNIËHAVEN ZWz 5-4
2000
13500
1300
12000
500
dubbele bolders 2x800kN
ontlastvloer d=450
stoolplaat 1000x4000x300
+5.50
+4.50
werkvloer d=100
+4.00
1500
1000
1000
1250
+2.50
wrijfstijlen ϕ300
betonprop
G.H.W. + 1.33
+1.00
N.A.P.
G.L.W. - 0.70
+0.60
-1.65
37.5°
drainagekoffer p.p. kunststoffilterdoek 325gr/m²
3585
5465
6000
dubbele damwand AZ18-700
10:1
8:1
8:1
prefab betonpalen ϕ500
contractdiepte -12.65
b.k. bodembescherming -13.45
Zelfborende anker ϕ101.6x25/30
constructiediepte -14.40
-19.00
buispalen ϕ1620x20
-21.00
-24.00
-26.00
-26.00
20m groutlichaam
-33.00
-33.20
TEK. HH1822-T-000/004/006/009/010/ 018/019/026/027
TEK. BAM NA1195-01A
BNI-LIJN
SITUATIE
BRITTANNIËHAVEN
KADE
ZUIDWESTZIJDE
DOORSNEDE
008-029
BESTEK/OPDRACHT
1-033-03
BAM - NA1195
OPMERKINGEN
ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
Bouwjaar:
2008
Lengte 4.6+55.3
+22.1
Totaal = 82.0m
WIJZ.
DATUM

Invloed uitbreiding op bestaande kade

- heien palen ontlastvloer
- voorpoten buispalen nieuwbouw kade
- op diepte heien buispalen
- intrillen tussenplanken
- heien palen ontlastvloer nieuwbouw kade

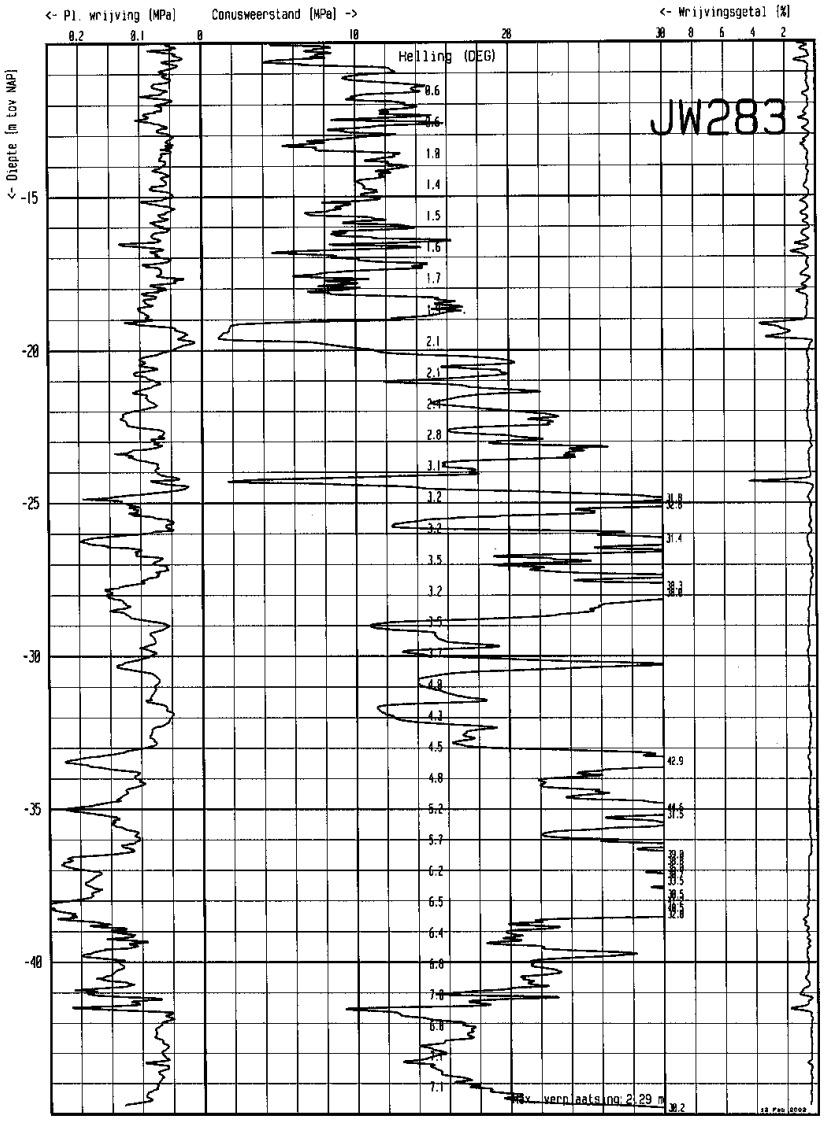


Project : brittanniehaven
Locatie : Rotterdam
Paraaf 1: 2:

Conus : Cil.elec kl-piezo
Nummer : CFPI 000719
Bereik : 50 kN
Sondering volgens NEN 5140 Klasse 2

MAP : 2002-004
DATUM : 4-2-2002

Gemeentewerken ROTTERDAM
Ingenieursbureau Geotechniek



Project : brittanniehaven
Locatie : Rotterdam
Paraaf 1: 2:

Conus : Cil.elec kl-piezo
Nummer : CFPI 000719
Bereik : 50 kN
Sondering volgens NEN 5140 Klasse 2

MAP : 2002-004
DATUM : 4-2-2002

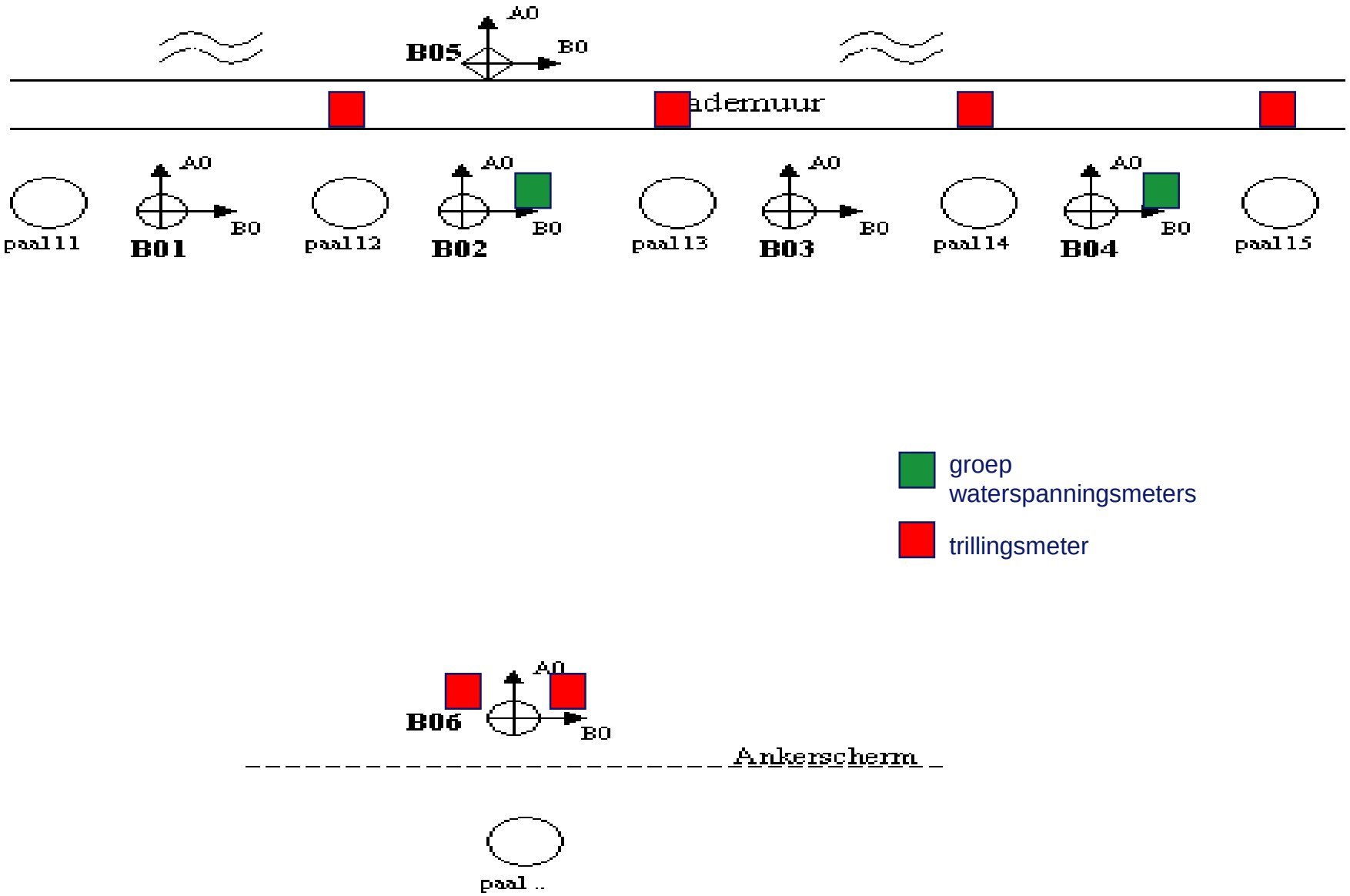
Gemeentewerken ROTTERDAM
Ingenieursbureau Geotechniek

Meetopzet

- **wat gebeurt er in de grond?**
  - wateroverspanning
  - grondverdringing (horizontale deformatie)
  - trillingen

- **metingen**
  - waterspanningen
  - hellingmeetbuizen
  - trillingsopnemers
  - x-y-z metingen (kesp)

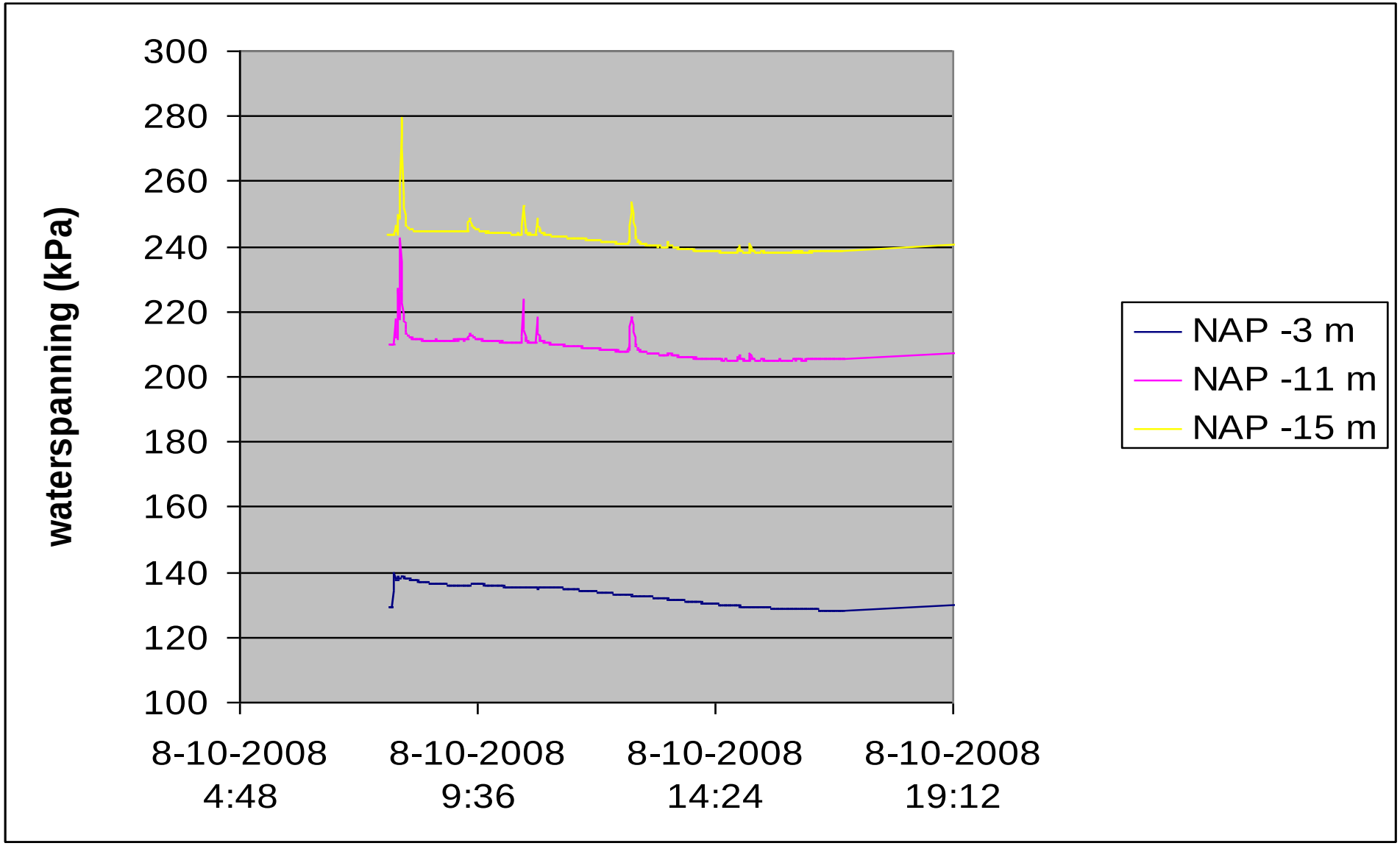
Situatieschets hellingmeetbuizen "Heiproef Gevelco" te Rotterdam:

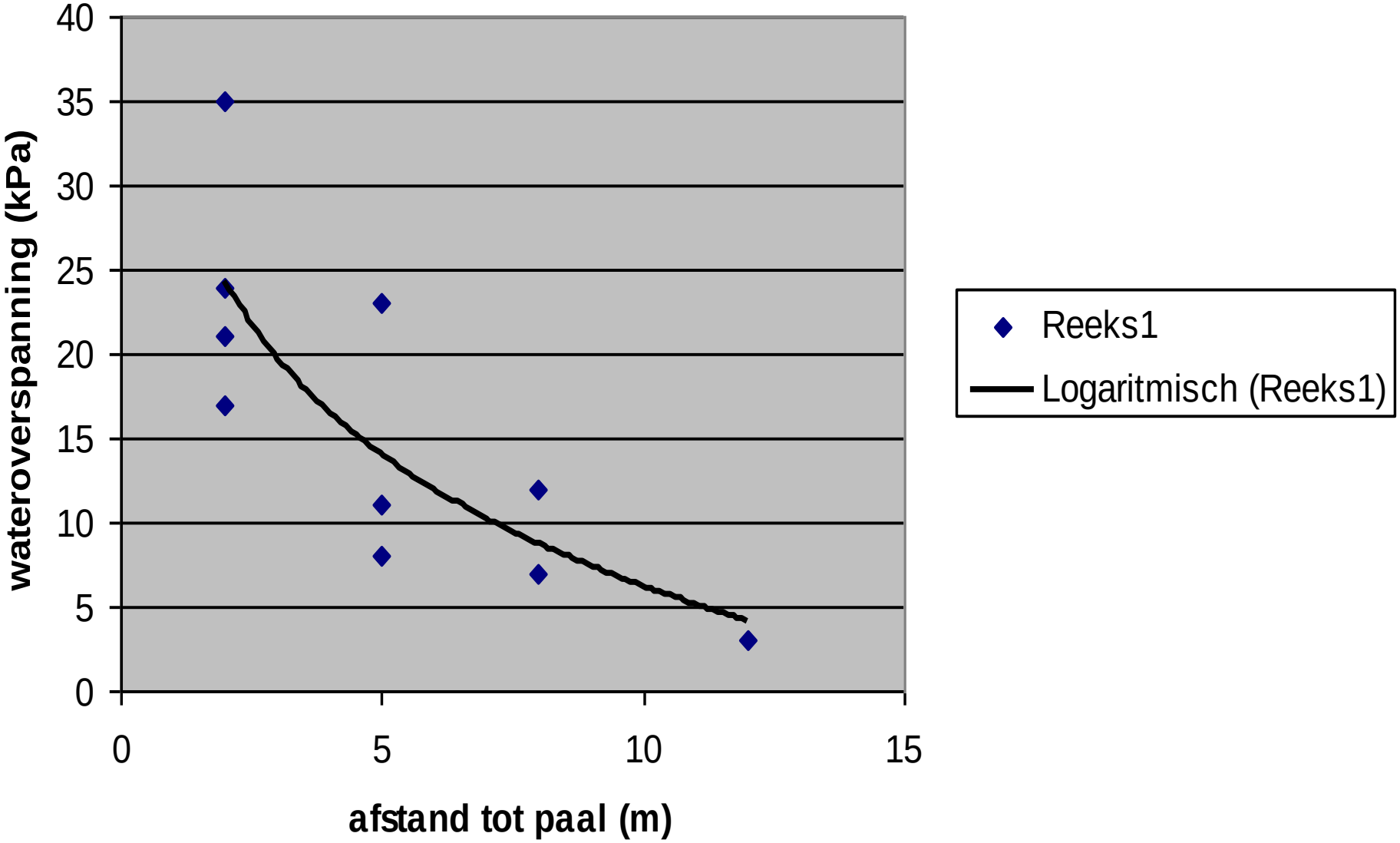


VSF

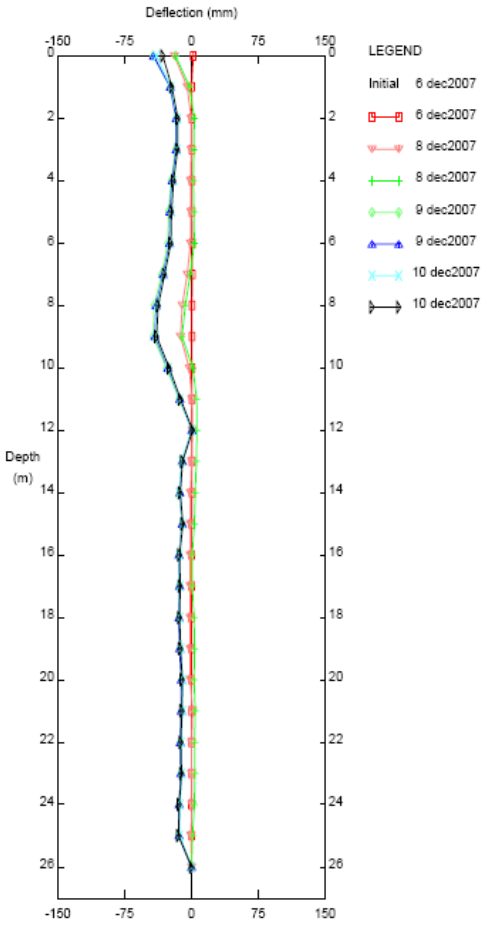
2330
VM

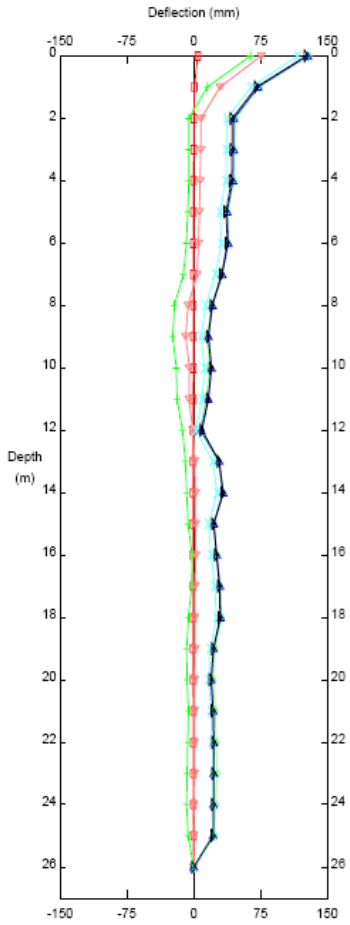
Resultaten: waterspanningen

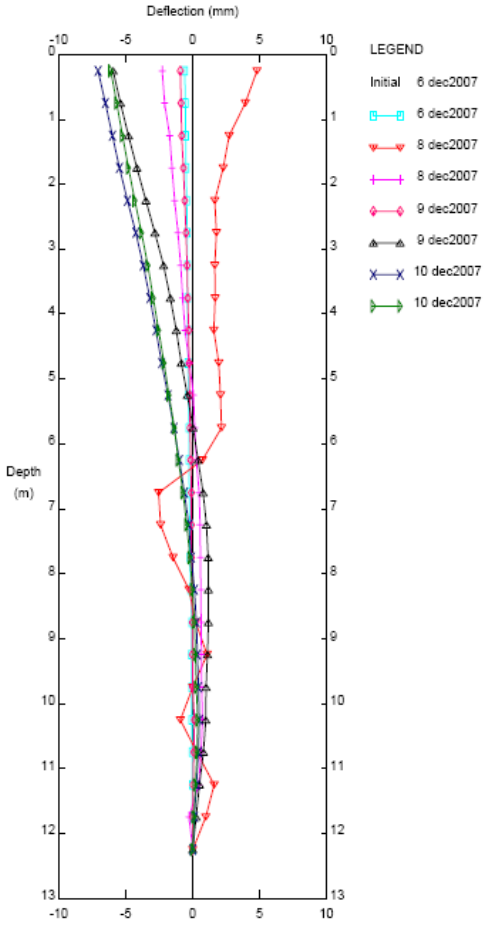


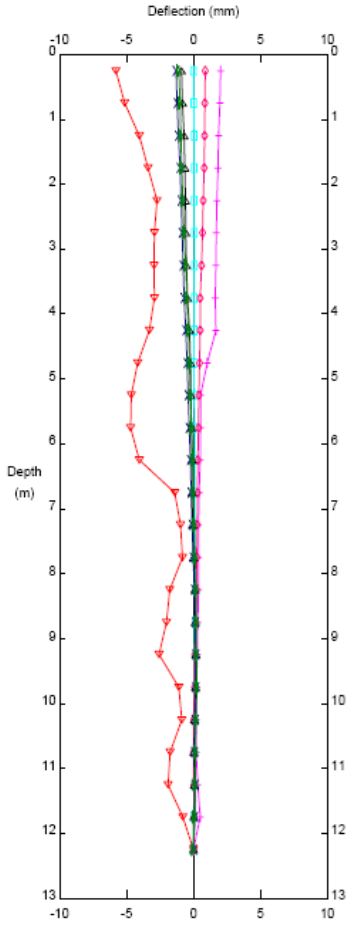

40
35
30
25
20
15
10
5
0
0
5
10
15
wateroverspanning (kPa)
afstand tot paal (m)
Reeks1
Logaritmisch (Reeks1)

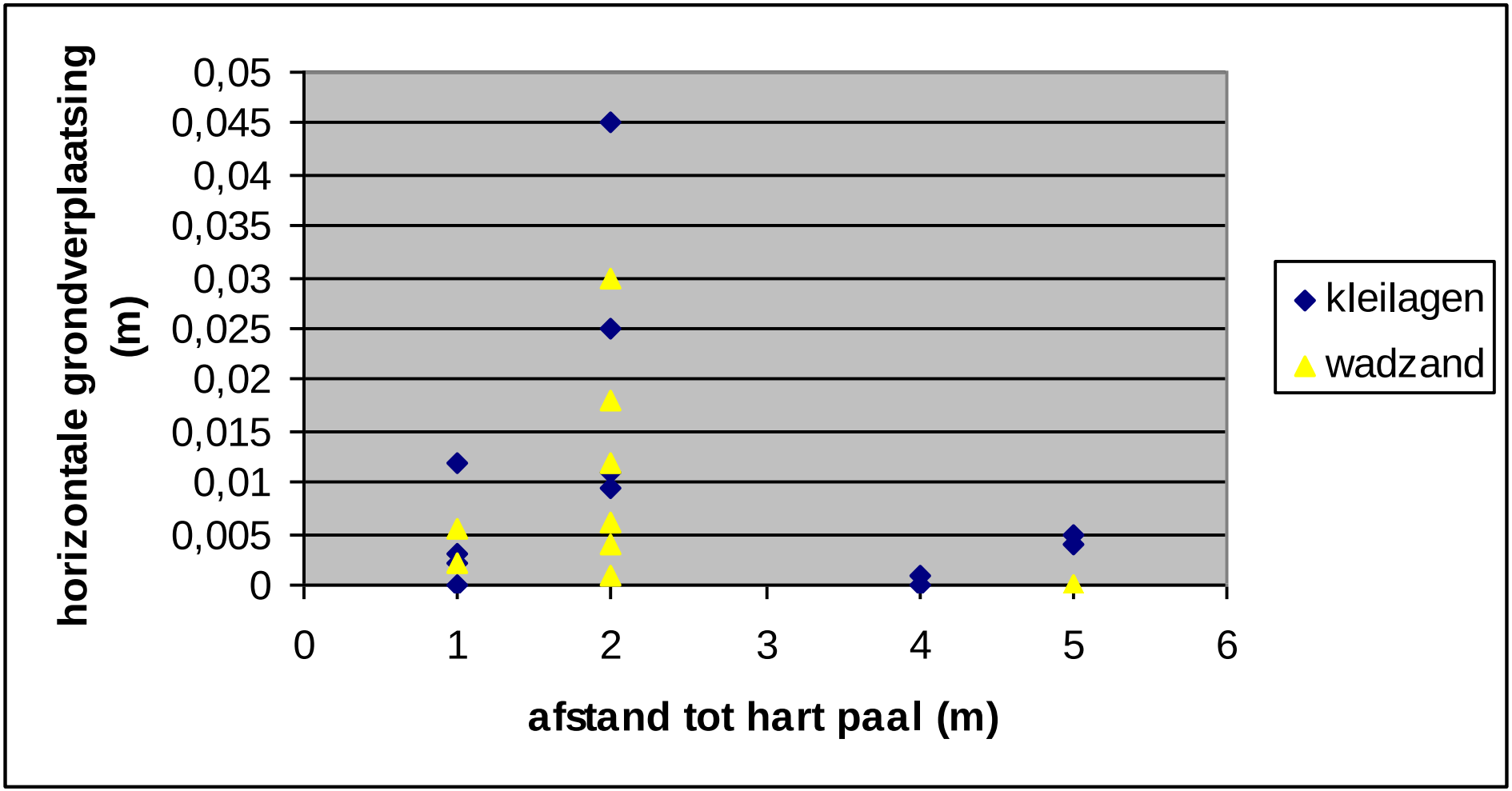
Resultaten: hellingmeetbuizen

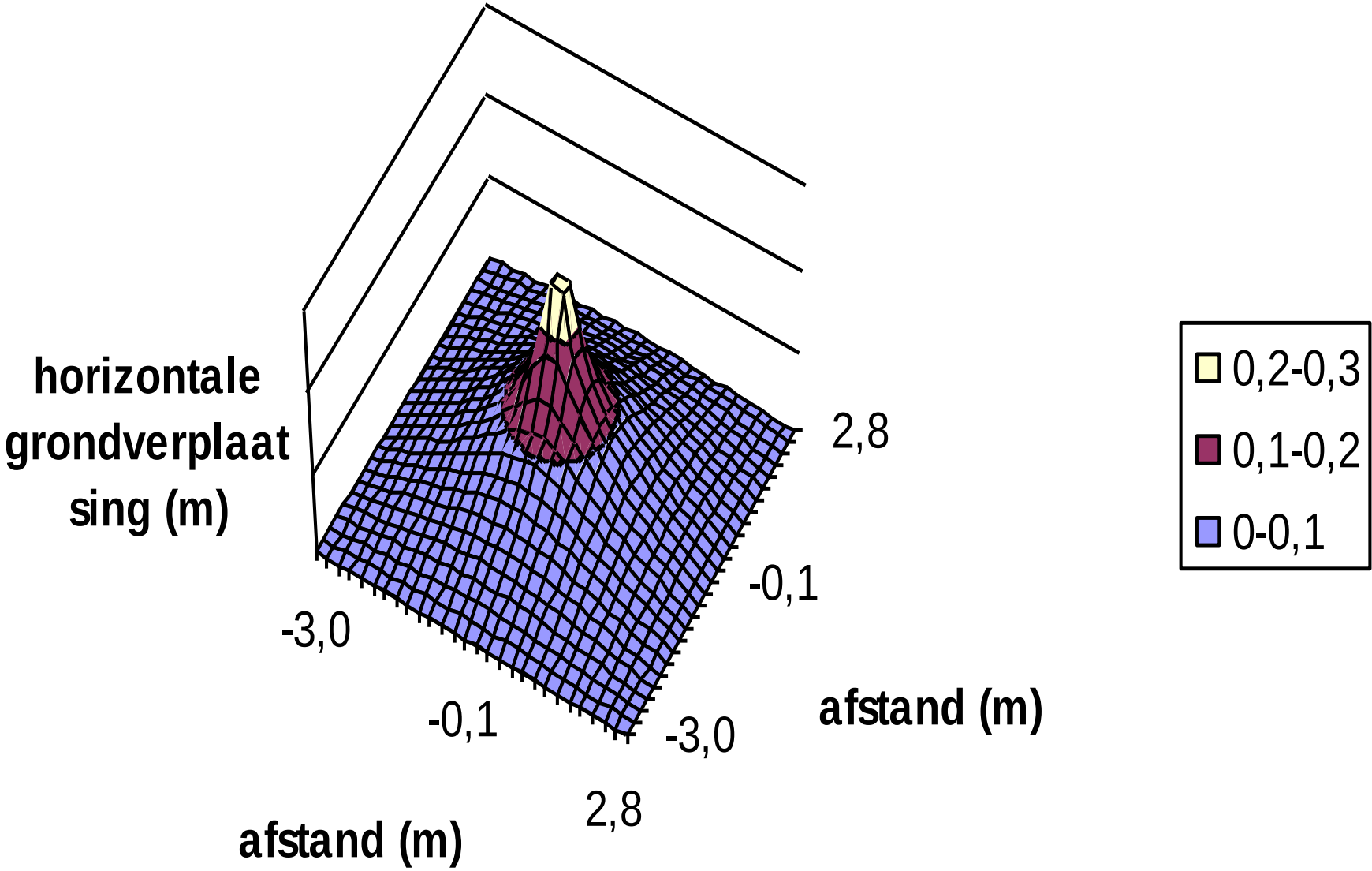


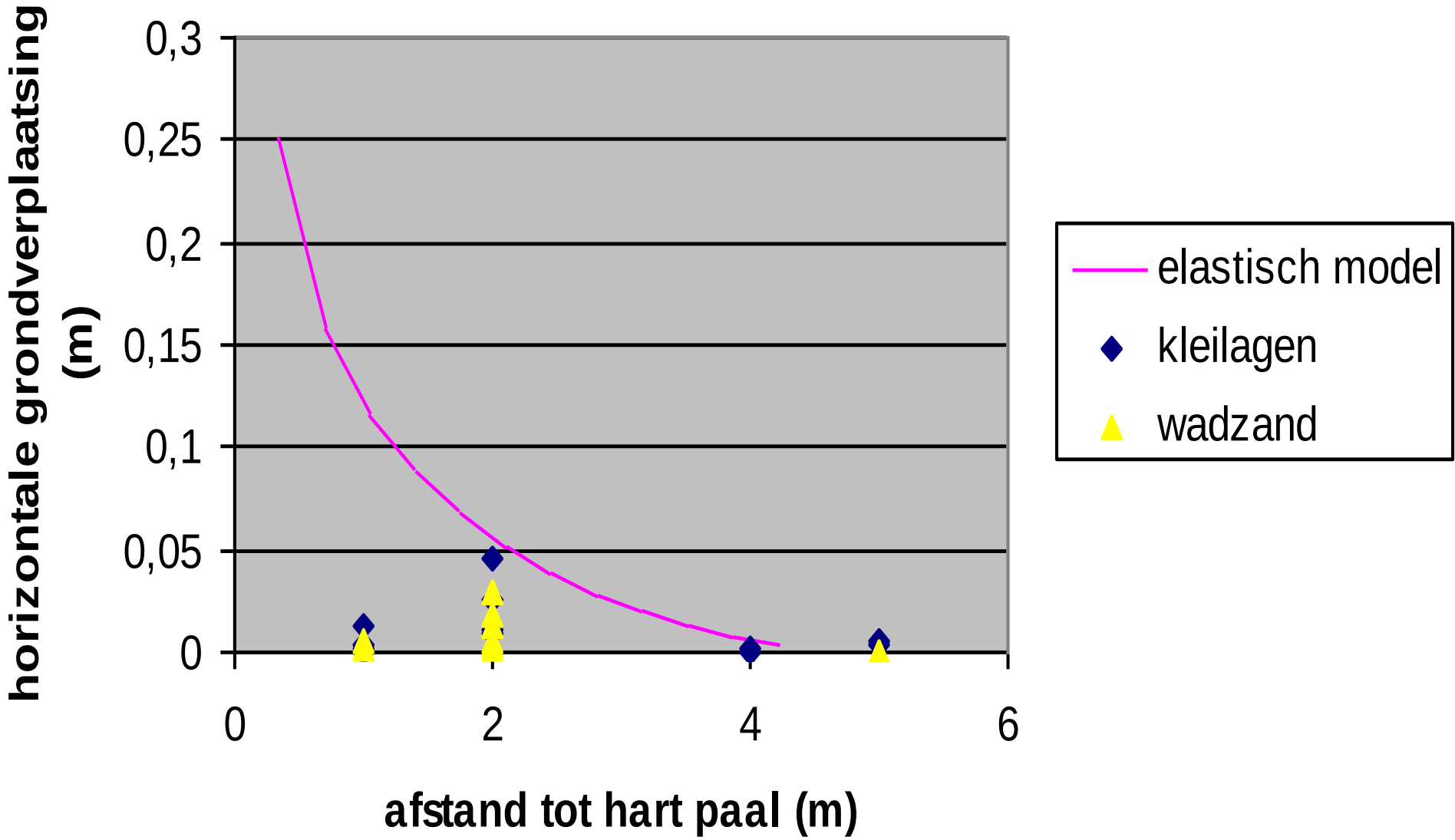







horizontale grondverplaatsing (m)
0,05
0,045
0,04
0,035
0,03
0,025
0,02
0,015
0,01
0,005
0
0
1
2
3
4
5
6
afstand tot hart paal (m)
kleilagen
wadzand


horizontale grondverplaatsing (m)
-3,0
-0,1
2,8
afstand (m)
-3,0
-0,1
2,8
afstand (m)
0,2-0,3
0,1-0,2
0-0,1


horizontale grondverplaatsing (m)
0,3
0,25
0,2
0,15
0,1
0,05
0
0
2
4
6
afstand tot hart paal (m)
elastisch model
kleilagen
wadzand

Conclusies voor het project

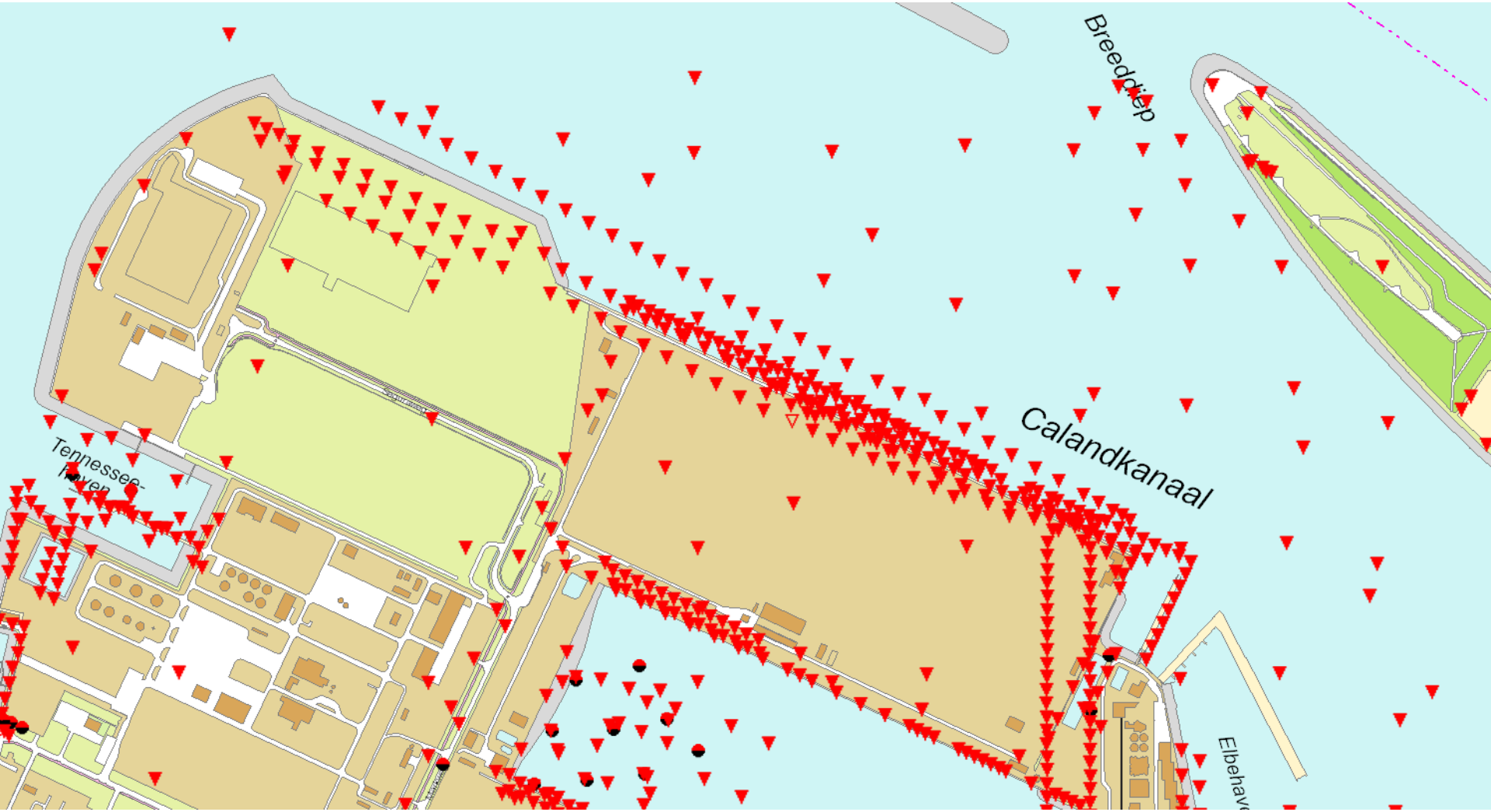
- palen kunnen veilig worden geheid zonder significante toename van de belastingen op de kademuur of verplaatsing van het ankerschot
- voorboren van de palen niet nodig

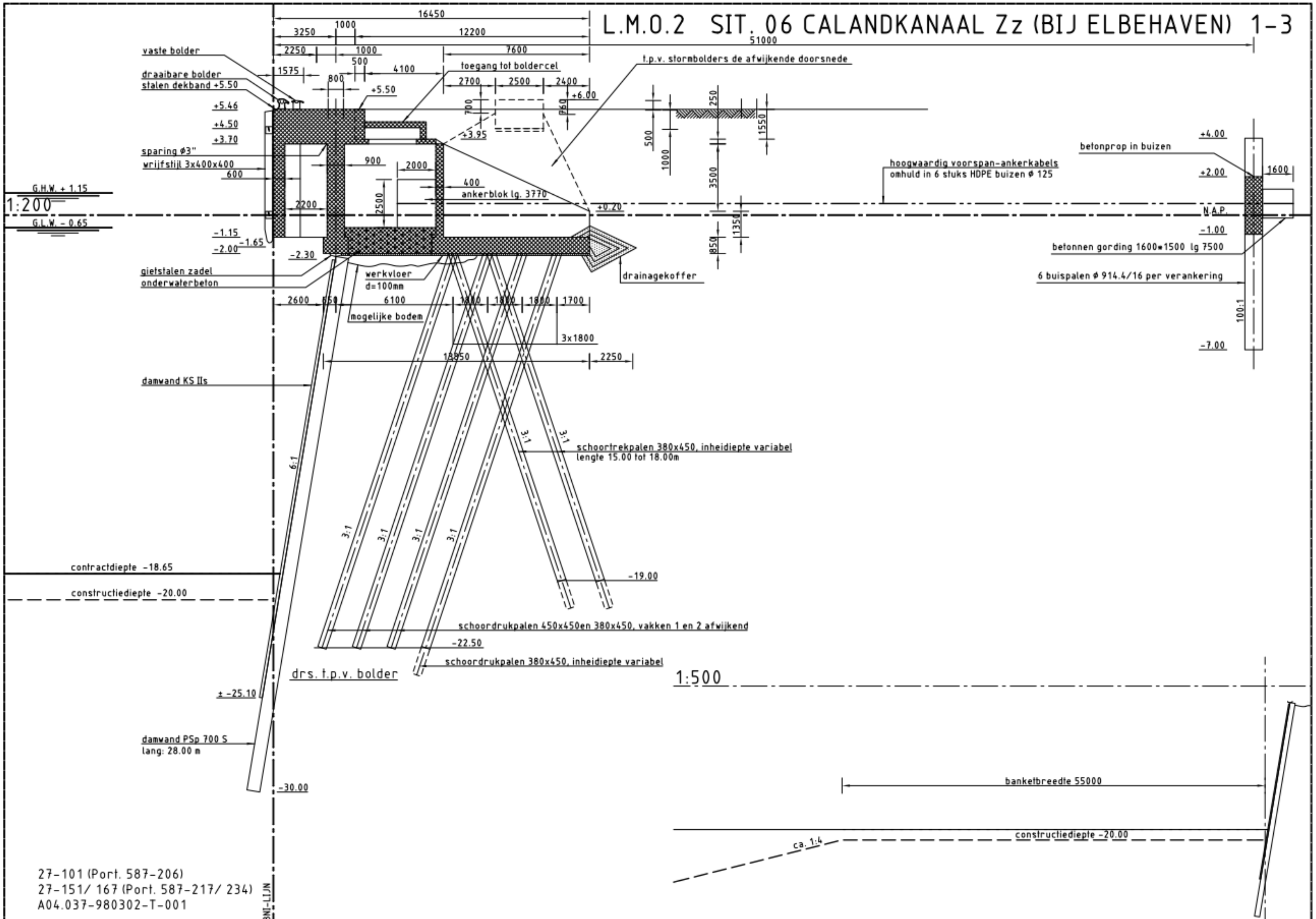
- meerdere partijen voor een meetproject is vragen om problemen

2350
VM
KOBELCO

EECV Calandkanaal

- **Ertsoverslagterminal**
  - Bouwjaar 1968
  - Constructiediepte NAP -20 m
    - Doorgaande verplaatsingen op deel van de kade


Breeddiep
Calandkanaal
Tennessee-
haven
Elbehave



SITUATIE
CALANDKANAAL WEST
KADE
EECV ZEEKADE
DOORSNEDE
222-005

BESTEK/OPDRACHT
182-68
122-69
1-060-91

OPMERKINGEN
ALLE MATEN IN MILLIMETERS TENZIJ ANDERS AANGEGEVEN
Bouwjaar:
1968
Nieuwe verankering:
2001
Lengte = 12*5.1m
Totaal = 61.2m

WIJZ.	DATUM
-	-
-	-
-	-
-	-
-	-

Conclusies

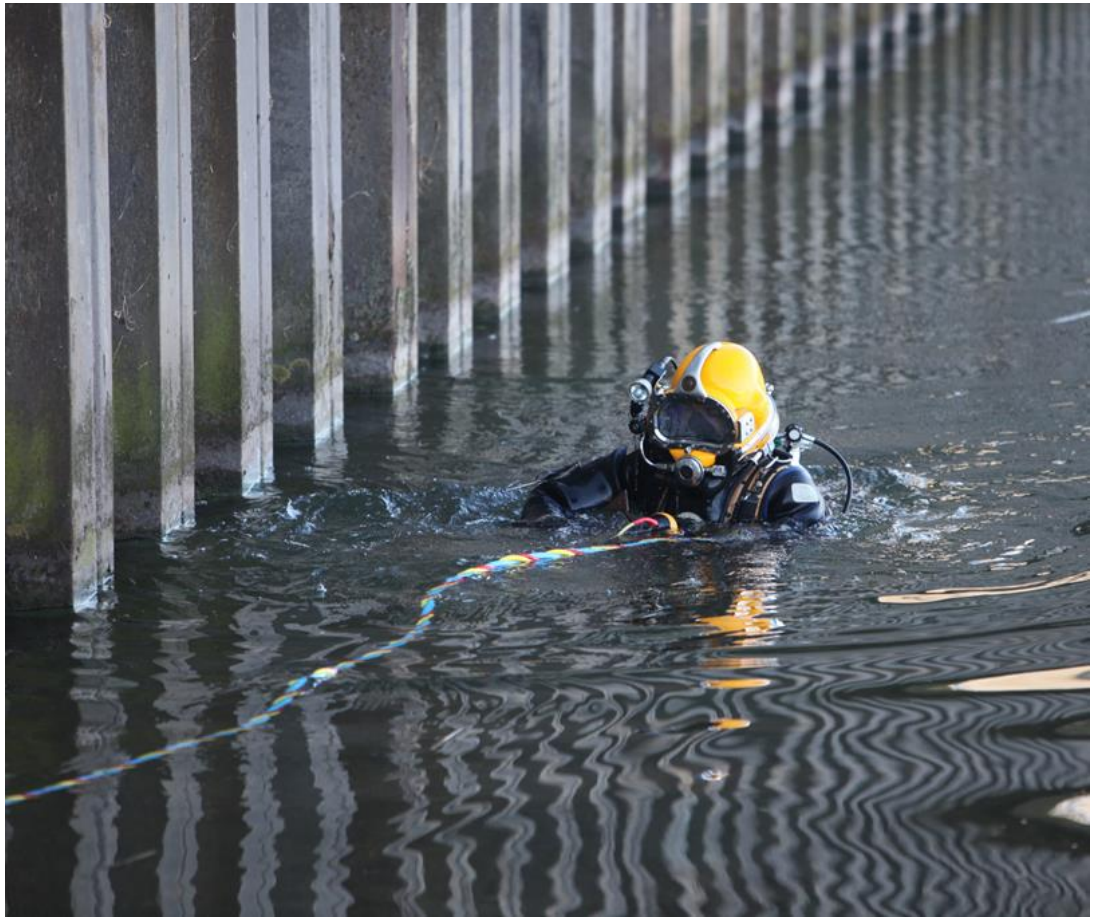
- Ankerschotten zijn gevoelig voor wisselende terreinbelastingen
- Niet te krap dimensioneren
- Eindige elementensom kan inzicht vergroten
- Indien mogelijk is diepe verankering te prefereren

Inspectiemethoden verankeringen

Mark Lodema

11 oktober 2022

Introductie

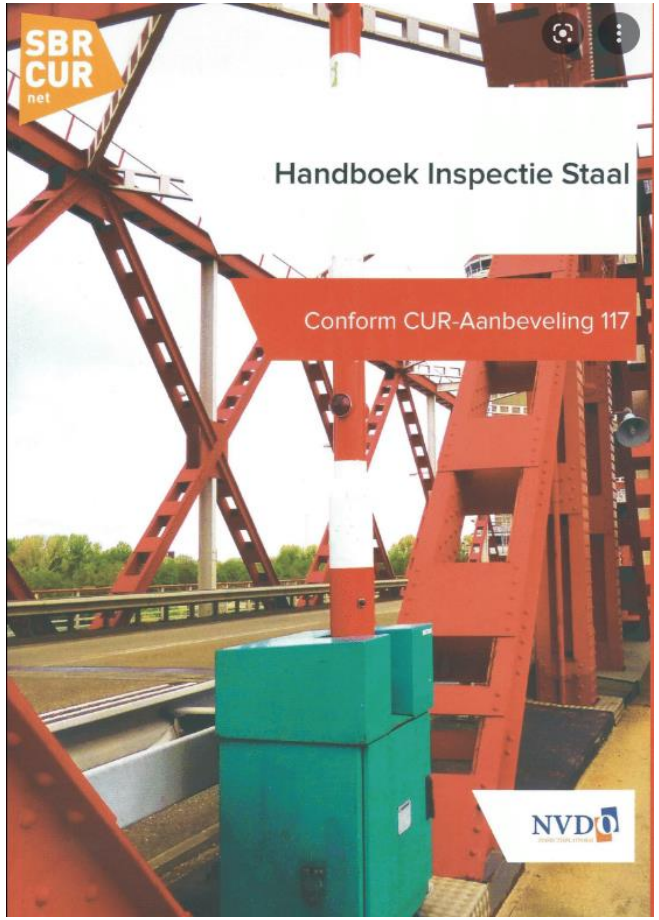


- Mark Lodema
- Nebest Adviesgroep B.V. sinds 2009
- Civiel techneut en beroepsduiker
- 20+ jaar (duik)inspecties en materiaalonderzoek

Inspectiemethoden

Handboek Inspectie Staal

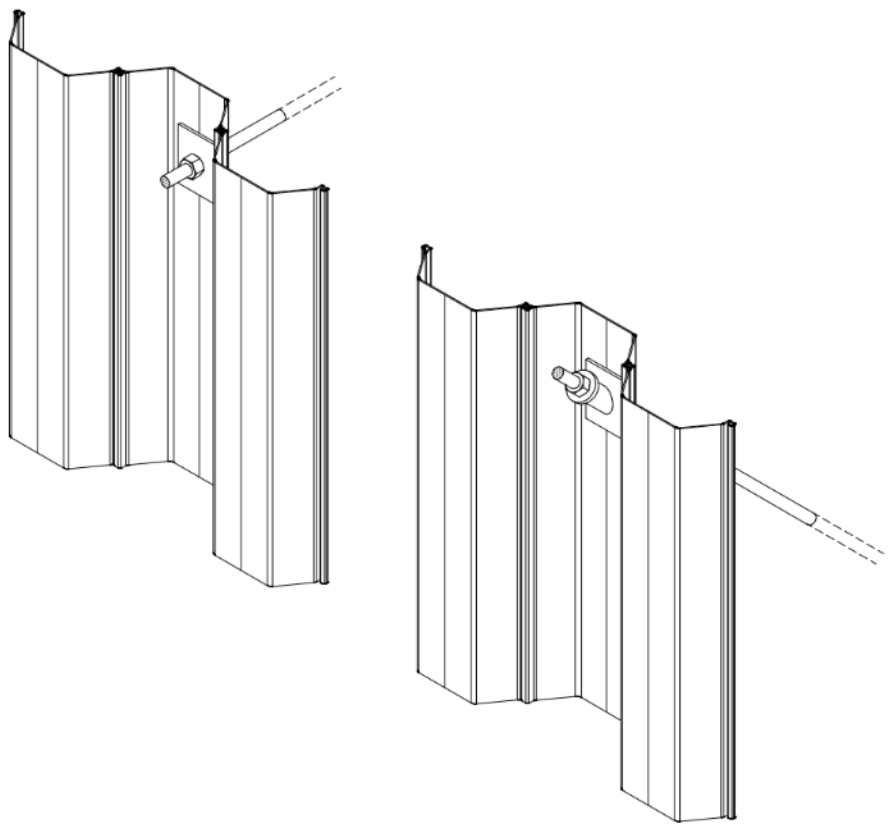
Conform CUR-Aanbeveling 117



Inspectiemethoden

Of liever…. het gebrek aan inspectiemethoden:

- Visuele inspectie
- Vrijgraven deel constructie



Inspectiemethoden

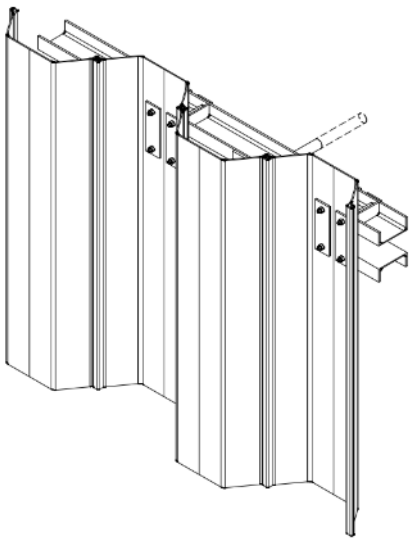
Of liever…. het gebrek aan inspectiemethoden:

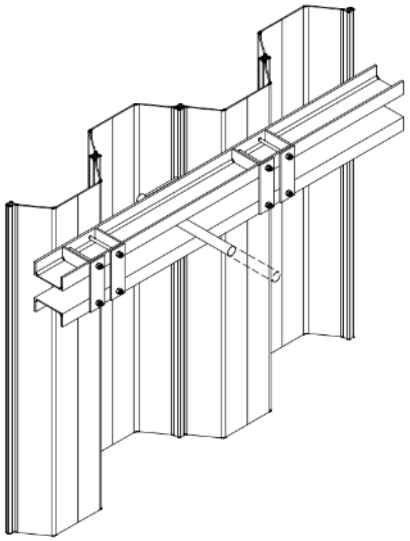
- Visuele inspectie
- Vrijgraven deel constructie

Inspectiemethoden

Of liever…. het gebrek aan inspectiemethoden:

- Visuele inspectie
- Vrijgraven deel constructie





Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Alleen in het actieve deel

Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Alleen in het actieve deel

Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Alleen in het actieve deel

Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Zo dus niet!

Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Visuele beoordeling anker

Inspectiemethoden

Vrijgraven deel van de constructie:

- Visuele beoordeling anker

Aandachtspunten

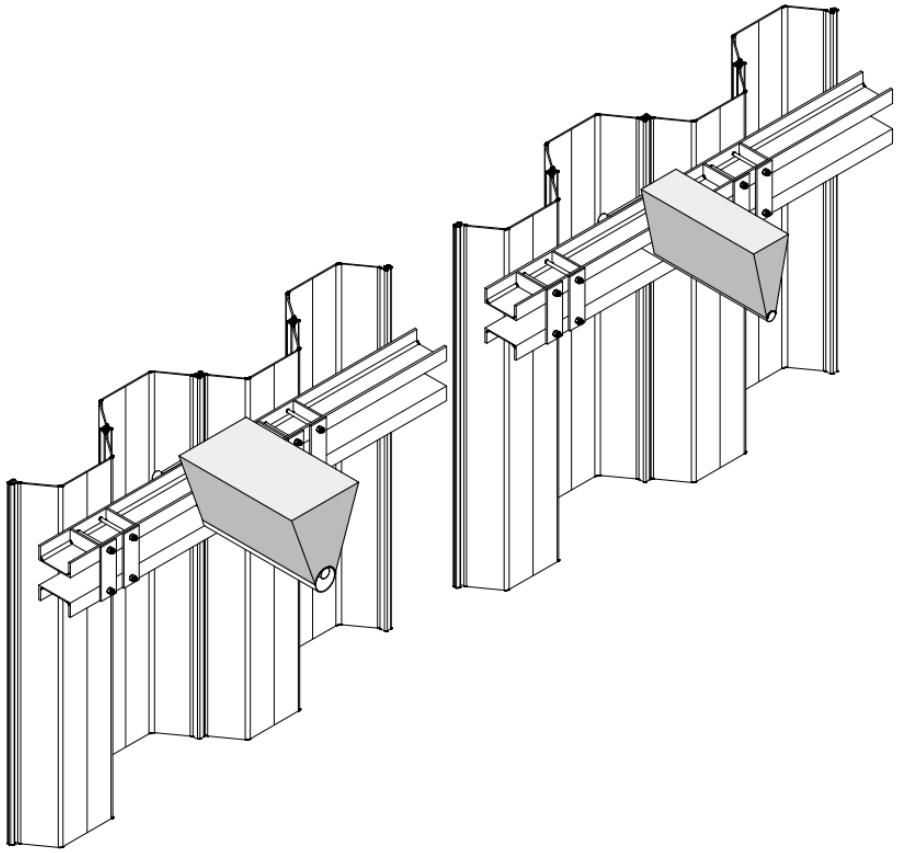
Vrijgraven deel van de constructie:

- Visuele beoordeling ontlastkist/ buis

Aandachtspunten

Vrijgraven deel van de constructie:

- Visuele beoordeling ontlastkist/ buis



Aandachtspunten

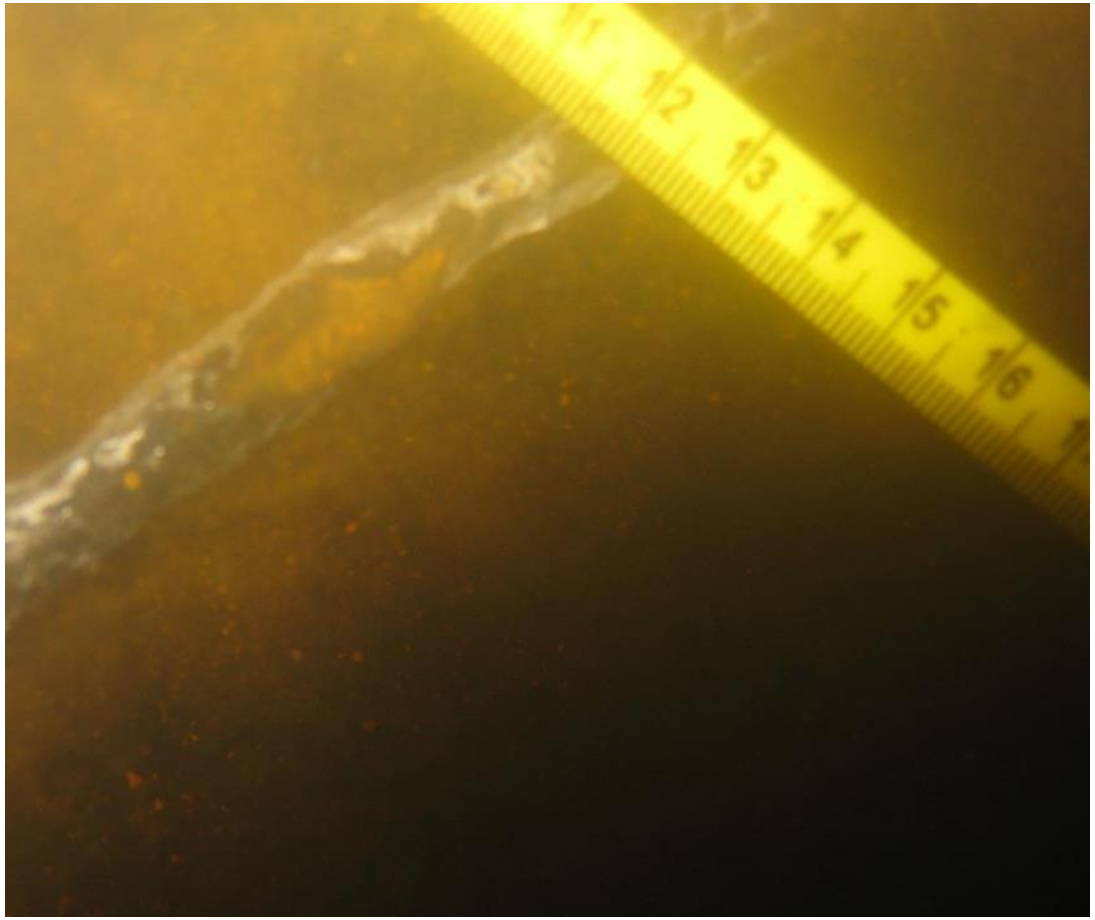
Vrijgraven deel van de constructie:

- Microbiologisch geïnduceerde corrosie

Aandachtspunten

Vrijgraven deel van de constructie:

- Microbiologisch geïnduceerde corrosie



Aandachtspunten

Vrijgraven deel van de constructie:

- Microbiologisch geïnduceerde corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Gronddichtheid

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Gronddichtheid

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Gronddichtheid

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Uniforme corrosie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Functioneren anker

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Verplaatsing/falen constructie

Aandachtspunten

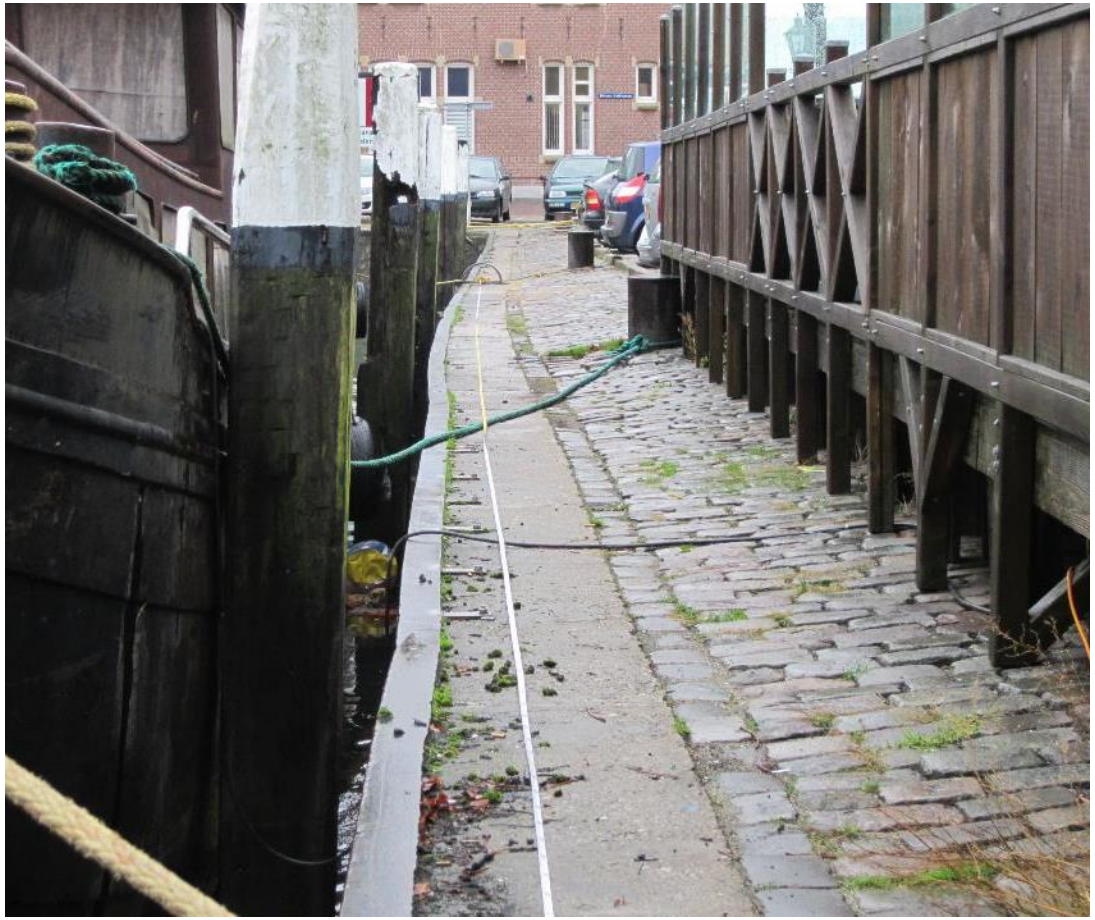
Visuele beoordeling waterzijde:

- Verplaatsing/falen constructie

Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Verplaatsing/falen constructie



Aandachtspunten

Visuele beoordeling waterzijde:

- Verplaatsing/falen constructie (brosse breuk)

Dank voor uw aandacht!

NEBEST

NOVEL ULTRASONIC INSPECTION

Dr. ir. Arno Volker (arno.volker@tno.nl)

CONTENTS

- Corrosion measurement
  - Conventional method
  - Innovative contactless measurement
- Examples of contactless MEMS array
  - Measurements in air
  - Measurements under water
  - Resolution aspects
- Alternative measurement concepts related to the integrity of sheet pile walls
  - Anchor tension
  - Depth of sheet pile below surface
- Concluding remarks

CONTEXT
CORROSION MEASUREMENT

- Steel corrosion is one of the dominant degradation mechanisms in industrial/civil structures

- Context: integrity assessment requires detailed wall map

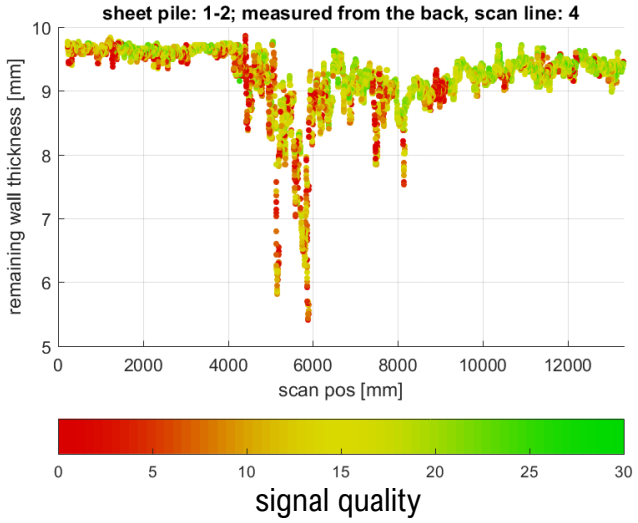
  Spot measurements give limited insight

- Challenge: Cost effective inspection approach to address large area:
  rapid (contactless) screening, only detailed inspection at suspect area

- Current (common) approach to ultrasonic wall thickness measurements:
  - Manual thickness measurements

    - labour intensive

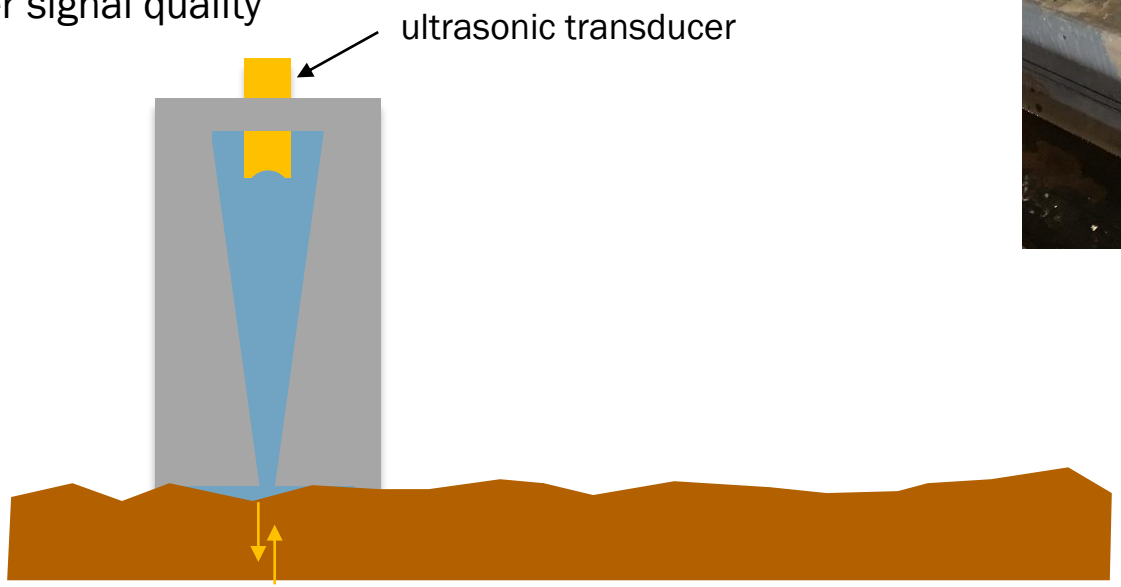
    - sensitivity to surface condition



ULTRASONIC WALL THICKNESS MEASUREMENTS
BASIC CONCEPT

- Transmit ultrasonic wave in a sample and measure travel time for one or several echoes to return
- Typical operating frequency: 5 – 10 MHz
- With known/measured velocity: calculate thickness

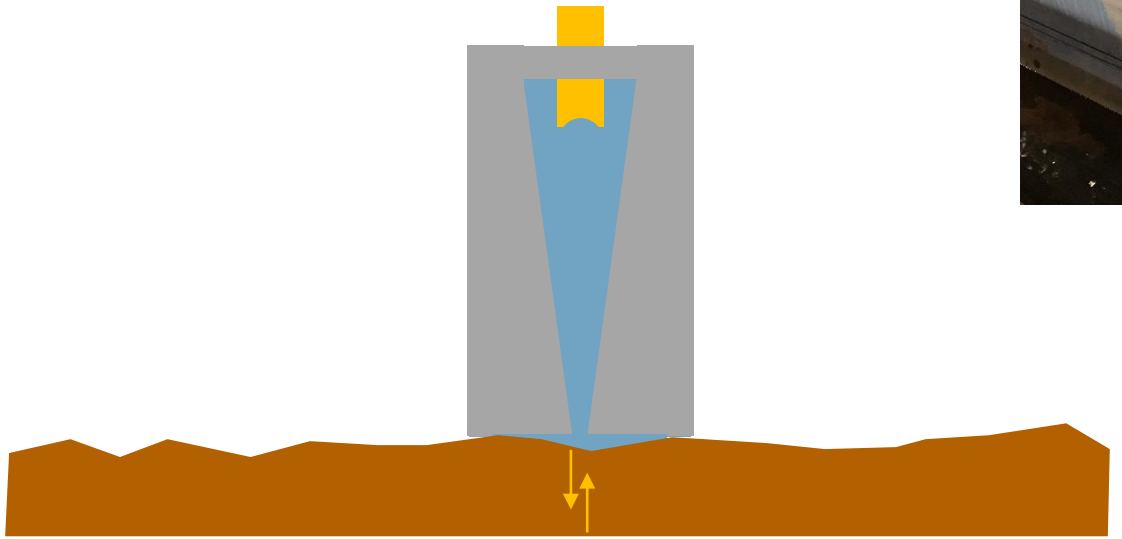
- Normally contact probes are used, but in case of poor surface condition squirter probes provide better signal quality



ULTRASONIC WALL THICKNESS MEASUREMENTS
BASIC CONCEPT

- Transmit ultrasonic wave in a sample and measure travel time for one or several echoes to return
- Typical operating frequency: 5 – 10 MHz
- With known/measured velocity: calculate thickness

- Normally contact probes are used, but in case of poor surface condition squirter probes provide better signal quality



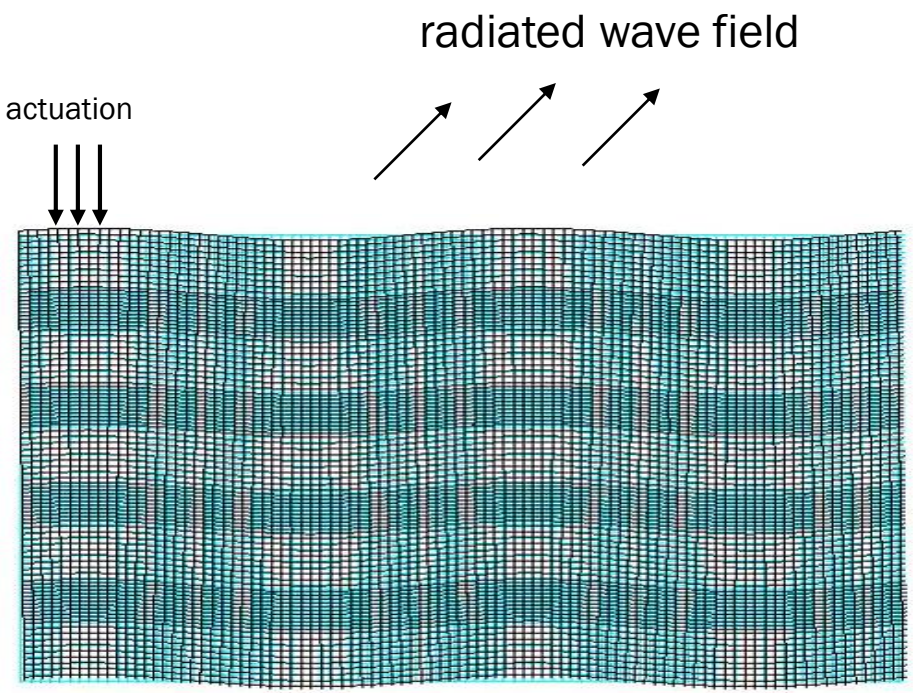
ULTRASONIC WALL THICKNESS MEASUREMENTS
BASIC CONCEPT

- Transmit ultrasonic wave in a sample and measure travel time for one or several echoes to return
- Typical operating frequency: 5 – 10 MHz
- With known/measured velocity: calculate thickness

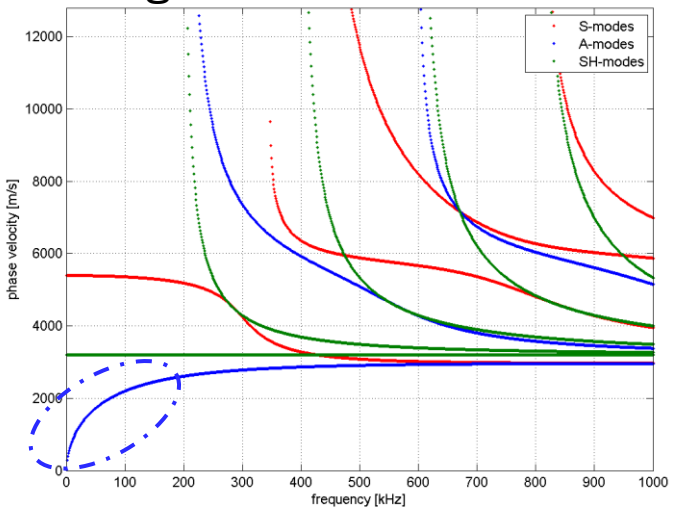
- Normally contact probes are used, but in case of poor surface condition squirter probes provide better signal quality

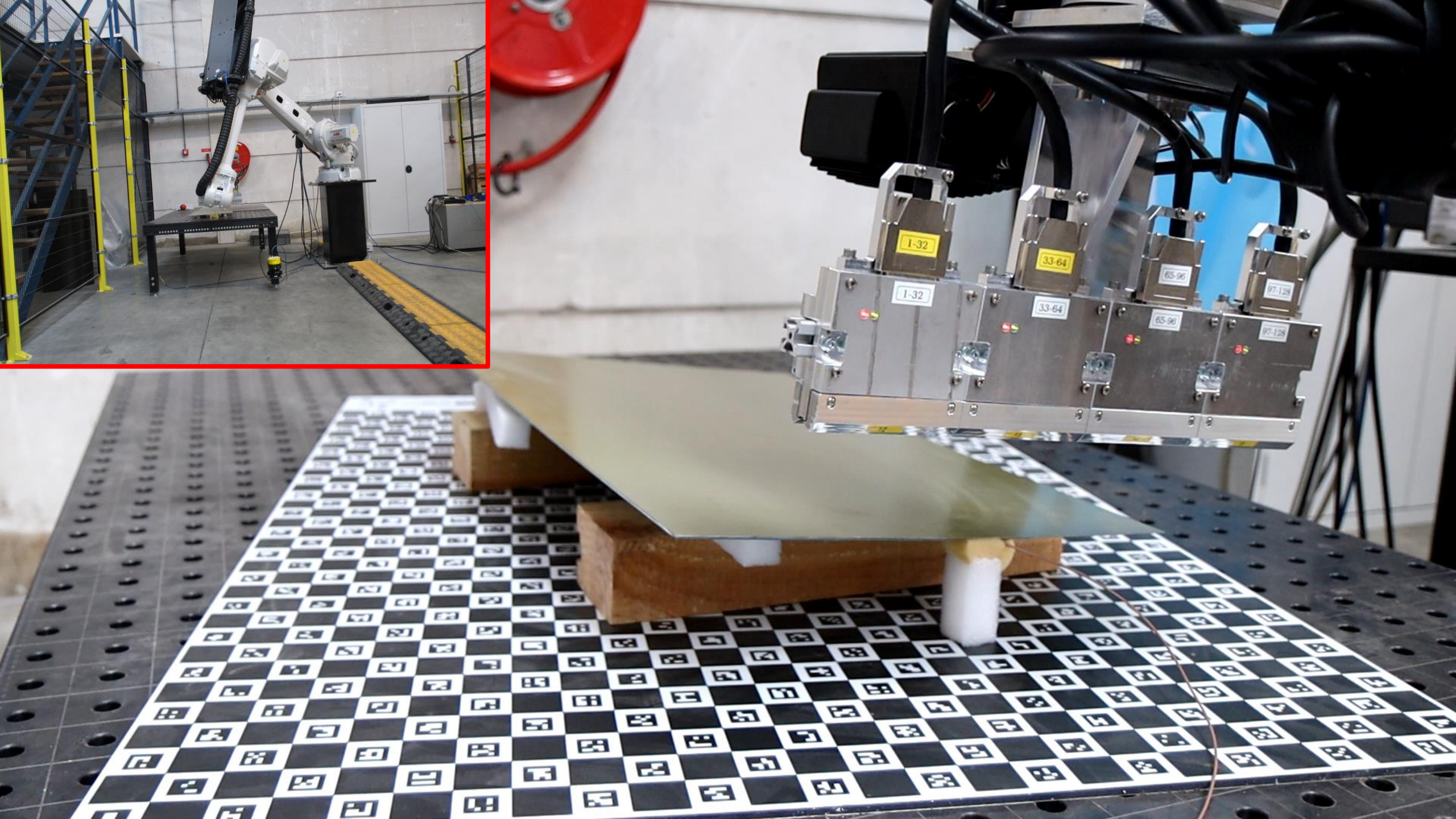
INNOVATIVE CONCEPT
FAST NON-CONTACT INSPECTION

- Approach:
  - Rapid, quantitative and non-contact inspection method using MEMS-sensor array
  - Low frequency guided waves: 40 – 250 kHz
    velocity of these waves depends on wall thickness and frequency
  - Method can be deployed in air and underwater
- Materials:
  - Composities
  - Steel

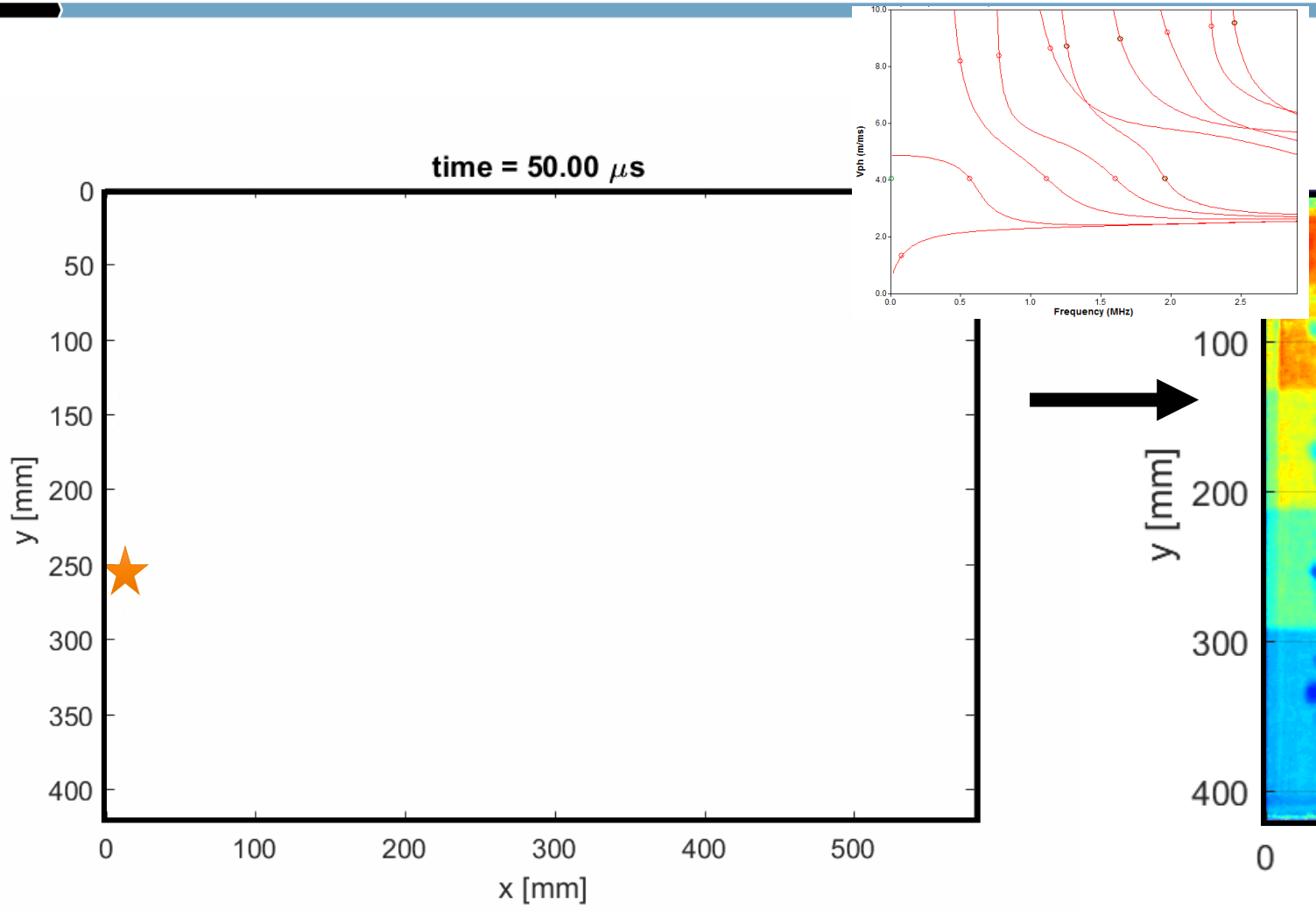


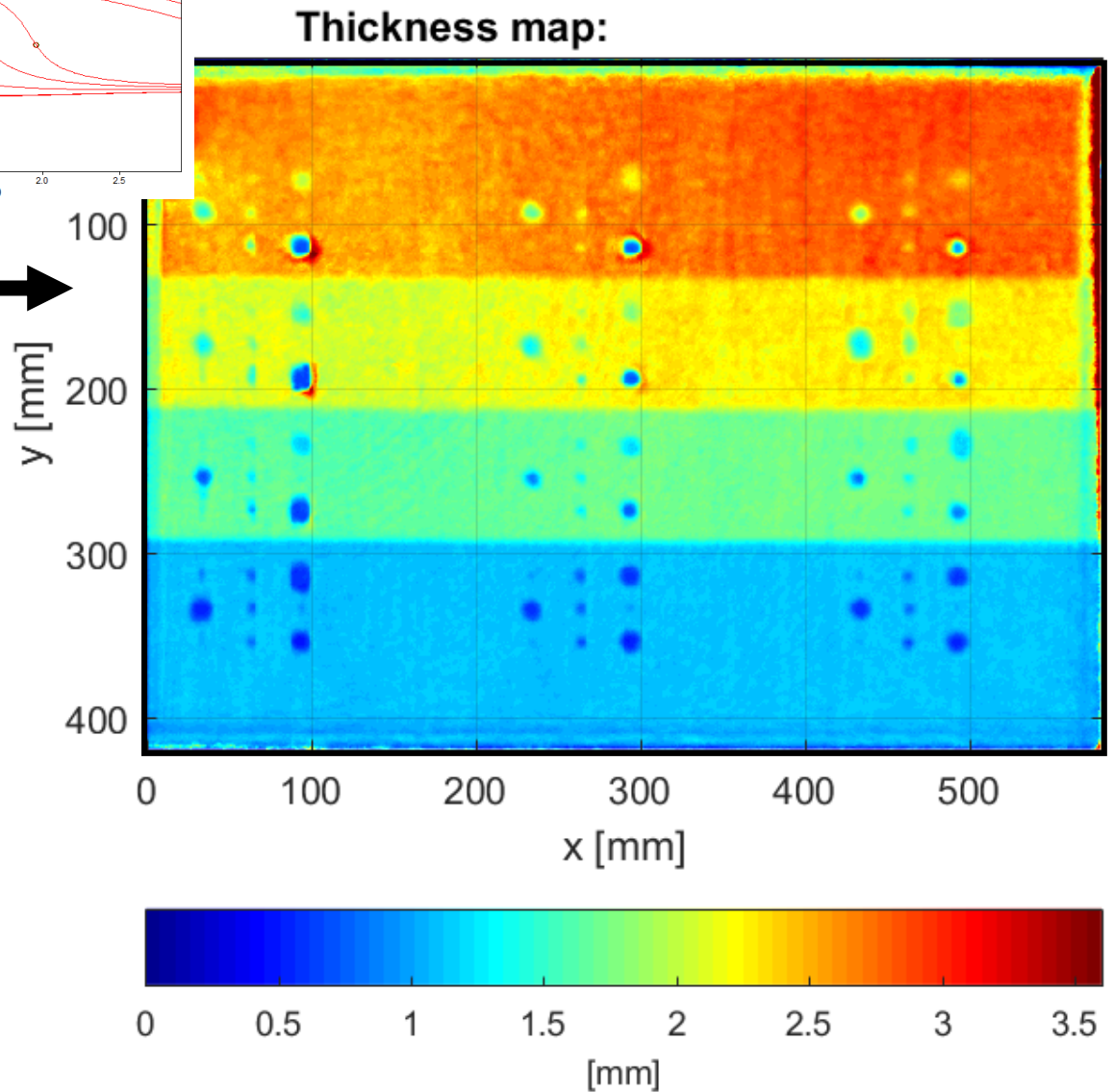
guided wave modes




1-32
33-64
65-96
97-128

NON-CONTACT ULTRASONIC INSPECTION





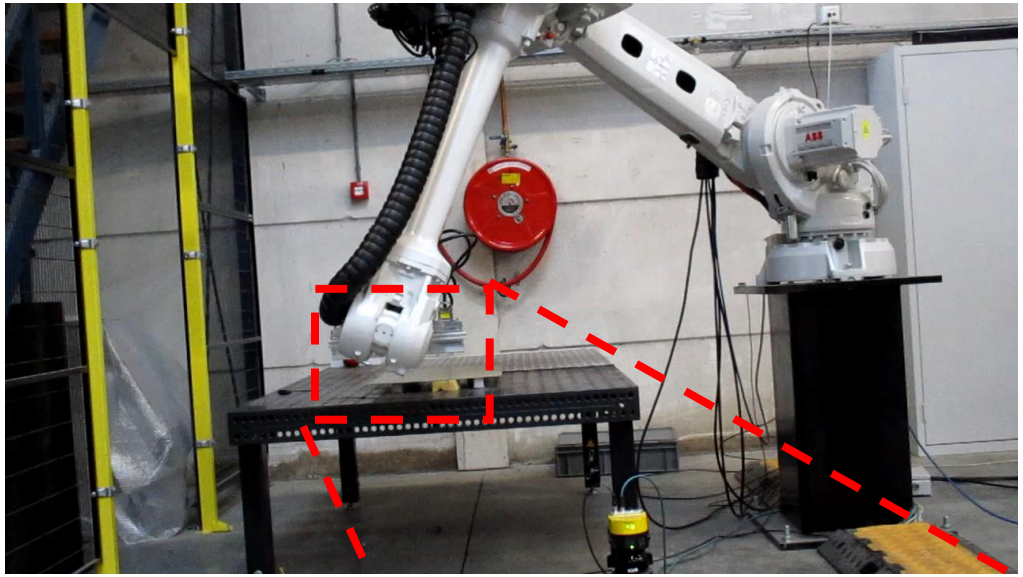
convert ultrasonic wave field into a <u>thickness map</u>

FAST NON-CONTACT INSPECTION
TECHNOLOGY STATUS

- MEMs-sensor array developed for inspection in air

- Distance from panel: **100- 250 mm** (typical)
- Scan speed:
  - Up to 250 mm/s, scanning large panels
  - Up to **5.5 m²/min**

- In 2020: internal research project:
  - Identified MEMs-sensor for underwater inspection
  - First demonstration of mapping wall thickness in steel



air

water

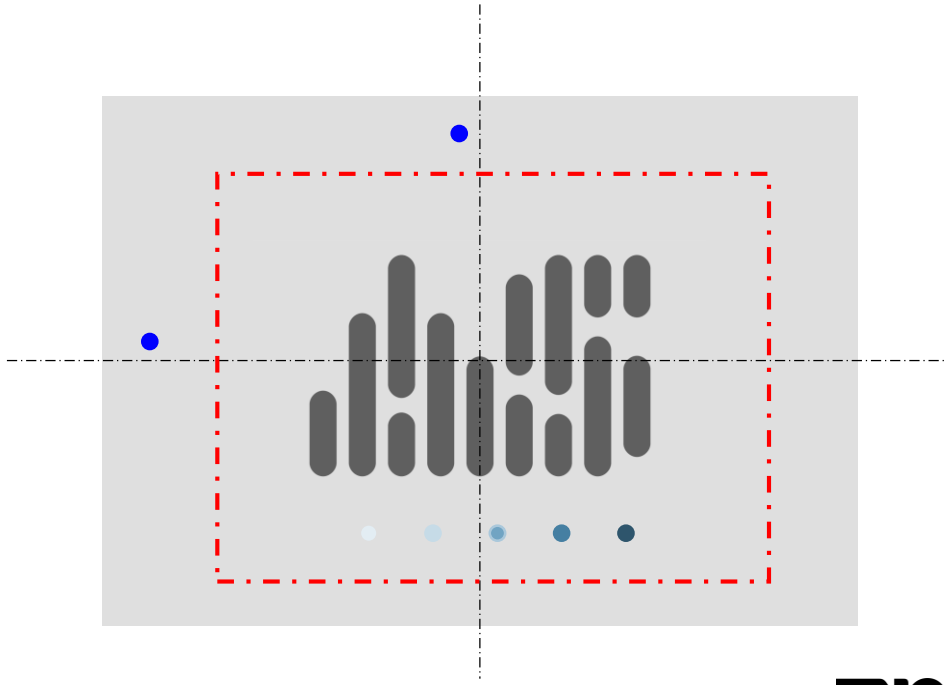
TEST SAMPLE
WALL THICKNESS MAPPING IN STEEL

- Plate dimensions 500 x 700 mm
- Thickness: 8 mm

- Material: steel (with paint)

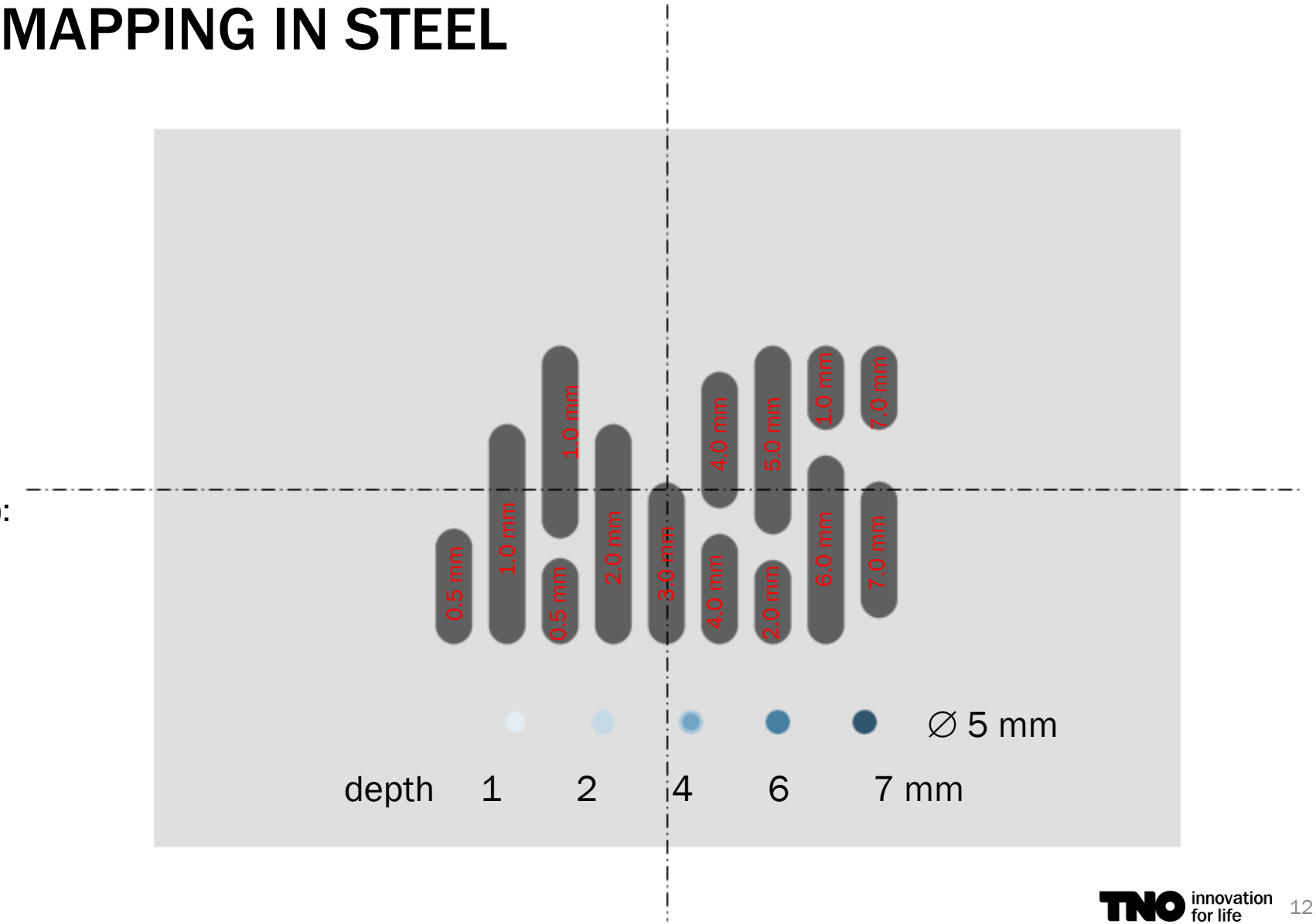
- Test pattern:
  - A&S logo with varying depth profile (see next slide)
  - Pitting with varying depth

- Transducers
  - A0-mode transducer



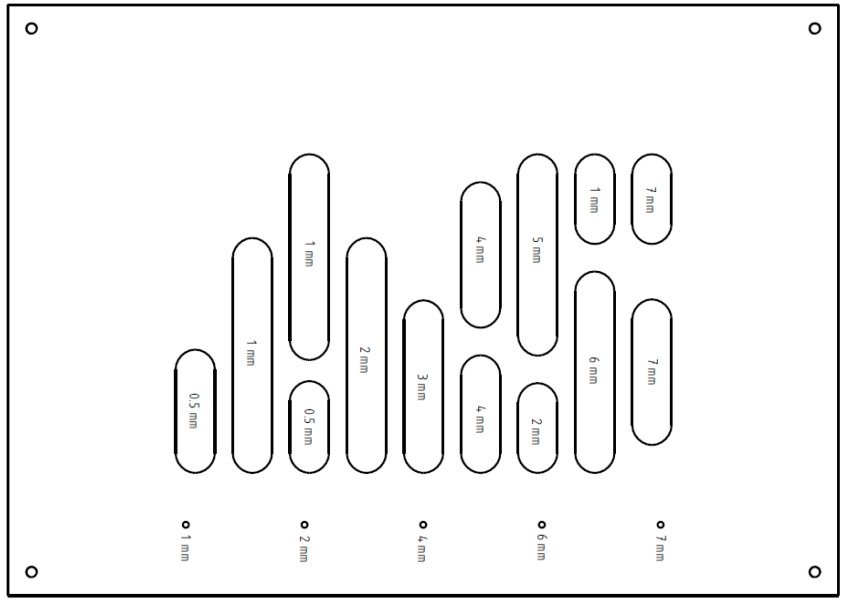
TEST SAMPLE
WALL THICKNESS MAPPING IN STEEL

- Nominal thickness: 8 mm
- Wall loss defects:
  - wall loss indicated in red
- Pitting defects (flat bottom holes):
- ∅ 5 mm
- Depth: 1, 2, 4, 6, and 7 mm

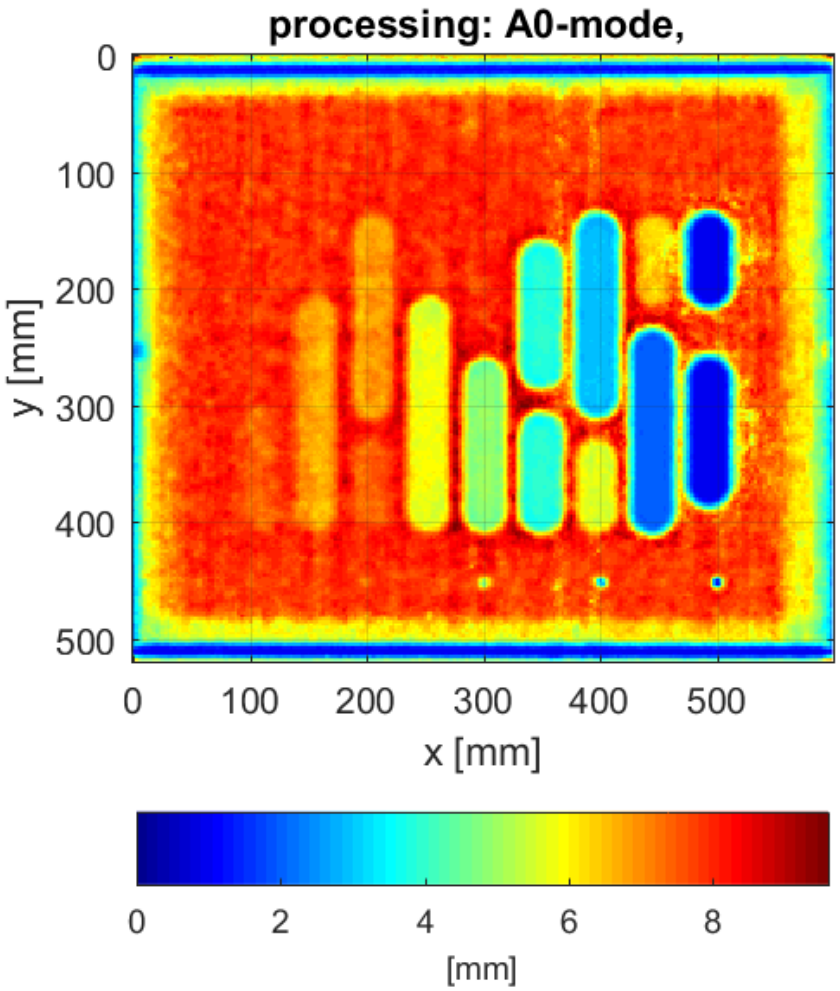


WALL THICKNESS MAP

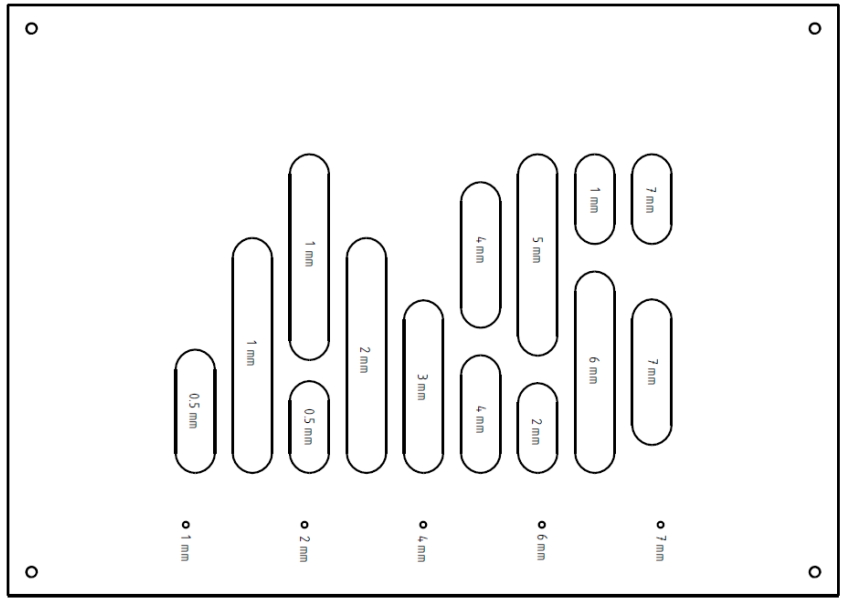
NON-CONTACT INSPECTION IN AIR



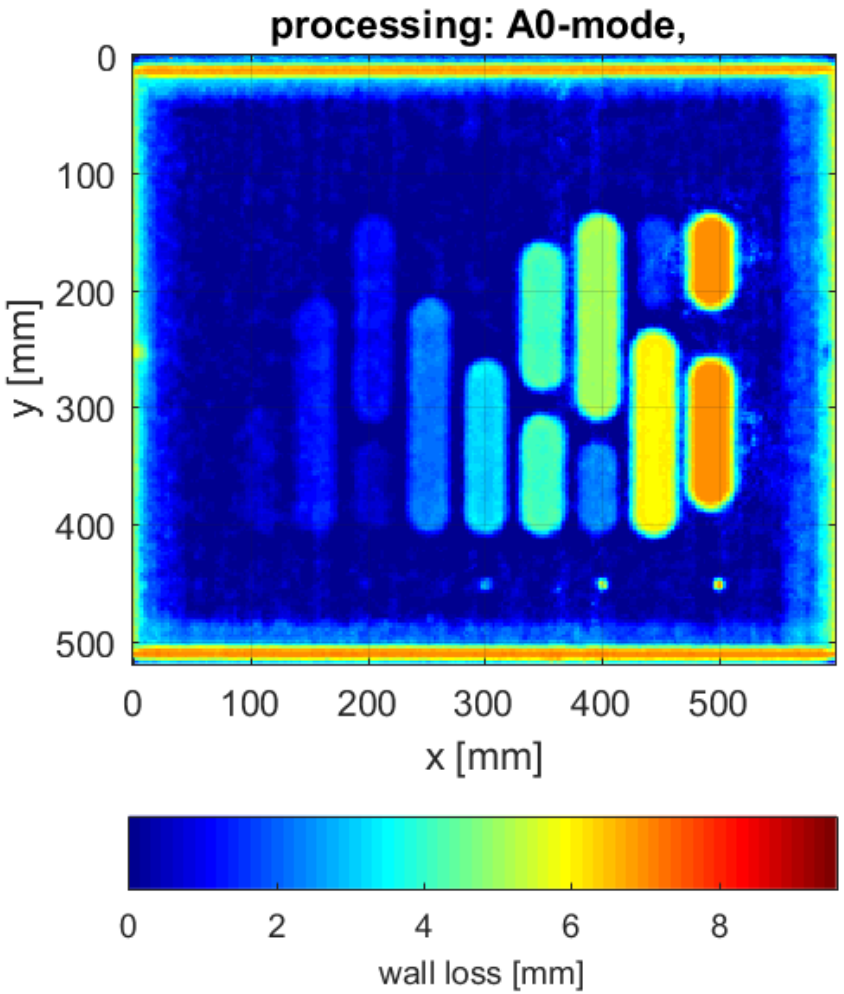
Indicated defect depth



WALL THICKNESS MAP
WALL LOSS



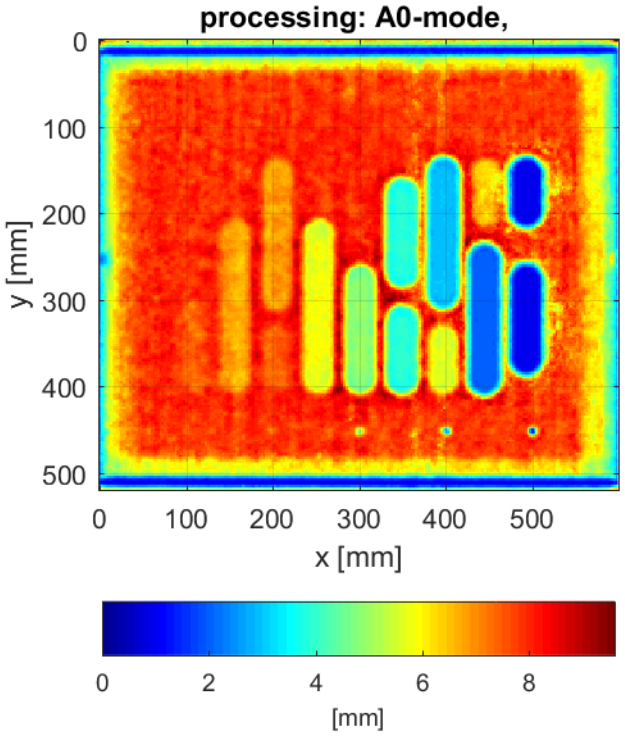
Indicated defect depth



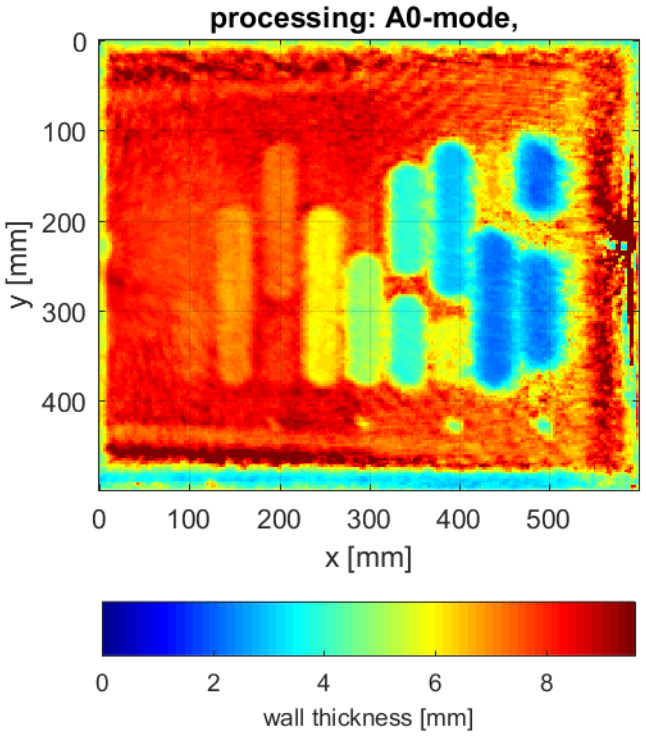
EXPERIMENTAL RESULTS
SCANS IN WATER

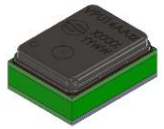
- Underwater inspection images give less sharp image as above water

in air



under water

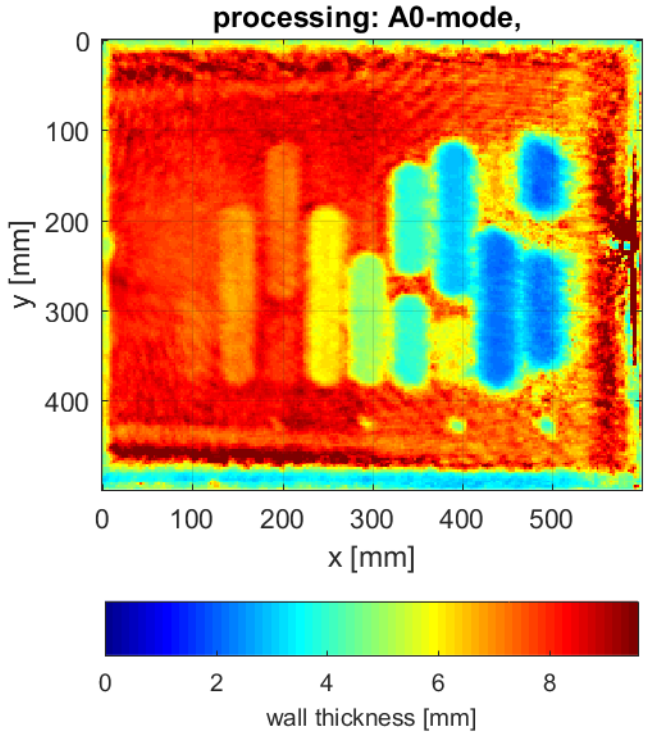


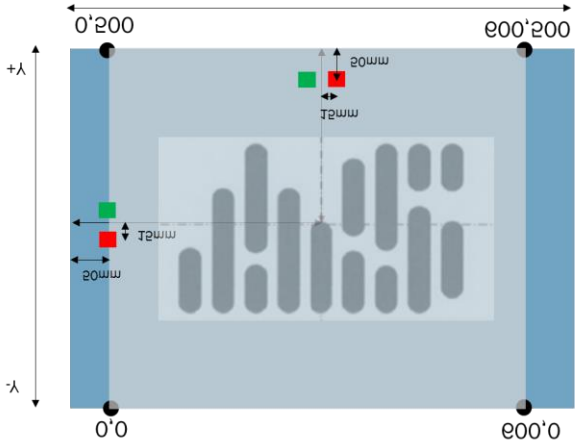


WALL THICKNESS MAPS
UNDERWATER INSPECTION

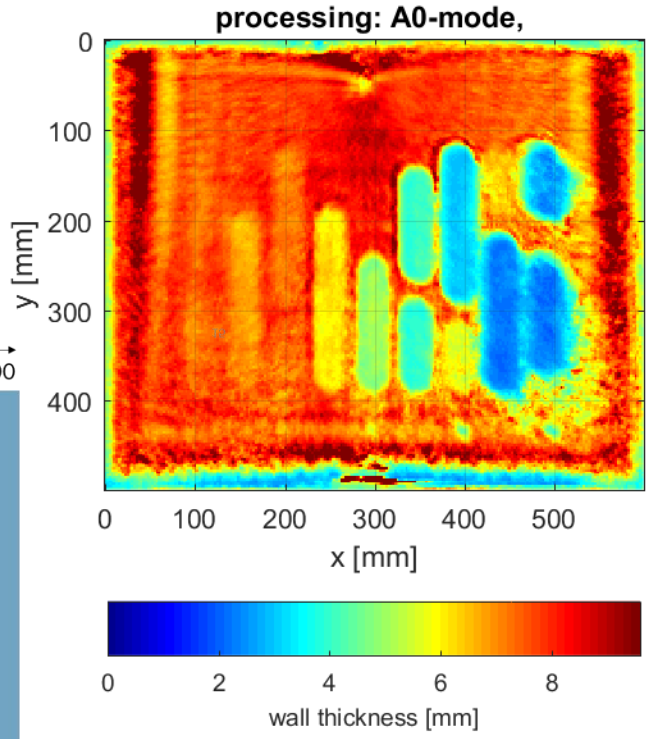
- Underwater inspection images give less sharp image as above water

piezo: left side



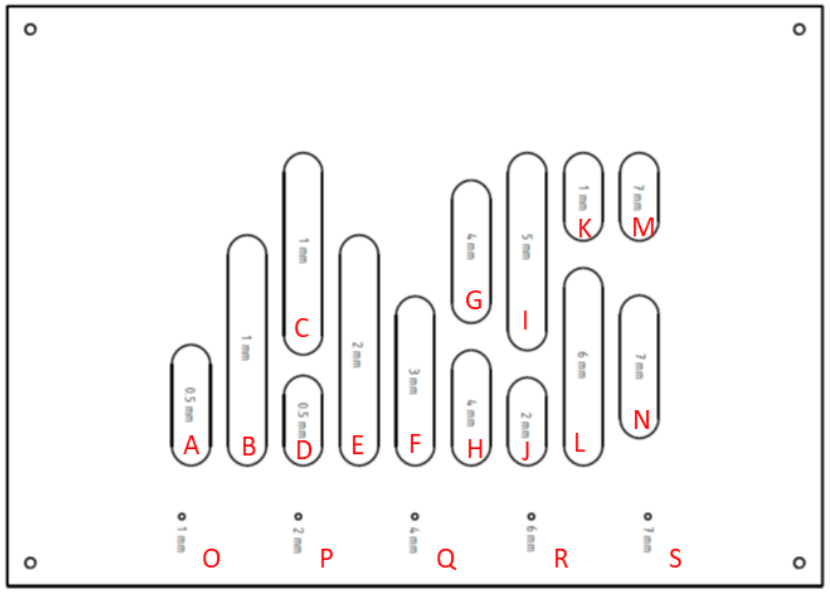


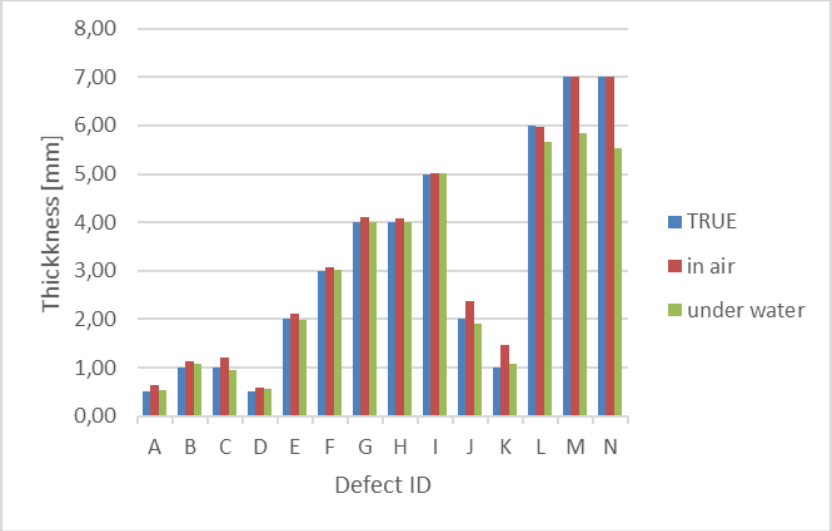
piezo: top side



DEPTH SIZING PERFORMANCE

		Air	Water	
			short side	long side
Defect ID	Actual depth [mm]	measured depth [mm]		
A	0,50	0,65	0,59	0,5
B	1,00	1,14	1,22	0,92
C	1,00	1,2	1,07	0,84
D	0,50	0,59	0,42	0,68
E	2,00	2,12	2,08	1,91
F	3,00	3,08	3,07	2,95
G	4,00	4,11	4	4,01
H	4,00	4,07	3,96	4,03
I	5,00	5,02	4,98	5,07
J	2,00	2,38	1,63	2,16
K	1,00	1,46	0,75	1,41
L	6,00	5,97	5,43	5,9
M	7,00	7,02	5,79	5,91
N	7,00	7,02	5,11	5,94
O	1,00	X	X	X
P	2,00	X	X	X
Q	4,00	3,14	2,71	2,39
R	6,00	5,37	3,29	3,33
S	7,00	6,44	4,18	3,96



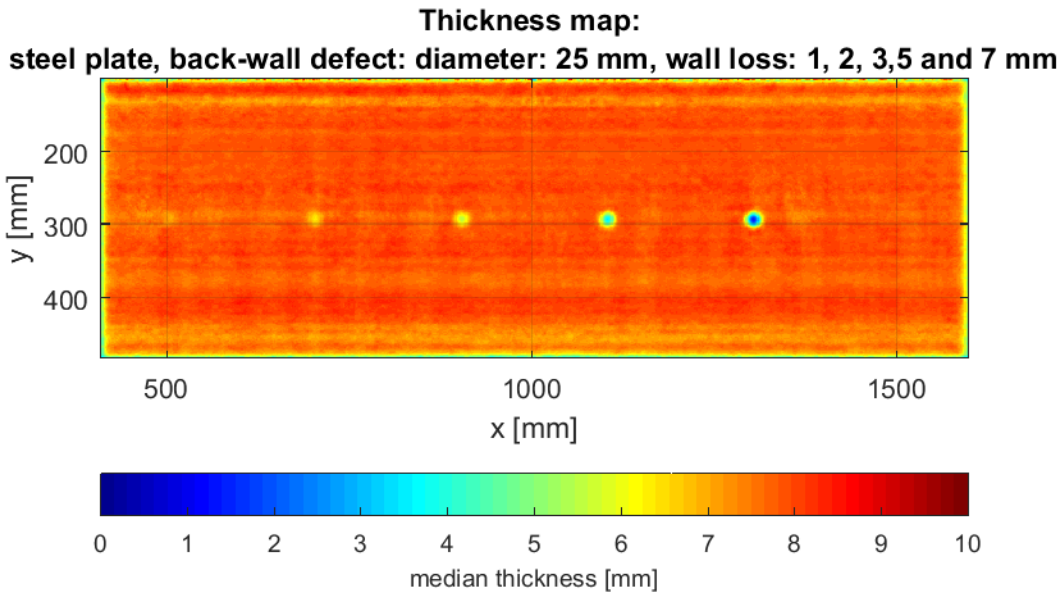


Pitting: ∅ 5 mm

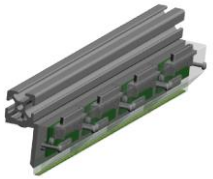
RESOLUTION OF LAMB WAVE INSPECTION
SIZING VERSUS SCREENING

- Sizing accuracy depends on:
  - Corrosion pit diameter

- Steel plate, nominal wall thickness: 8 mm
  - Varying pit diameter: 6, 12, 25 mm
  - Varying pit depth: 1, 2, 3, 5 and 7 mm (spherical shape)

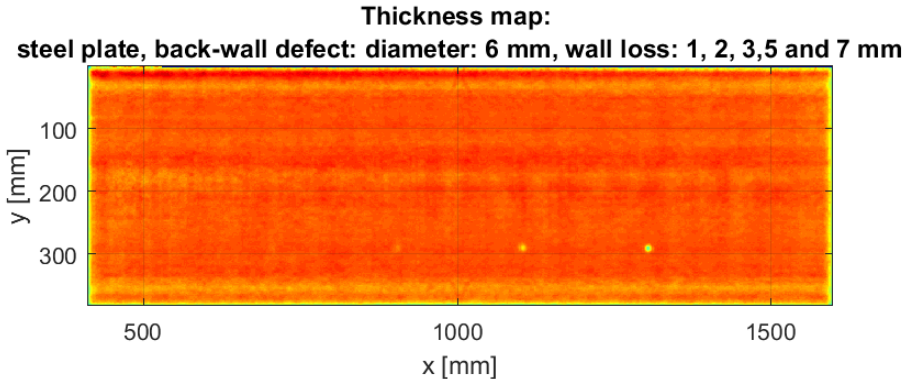


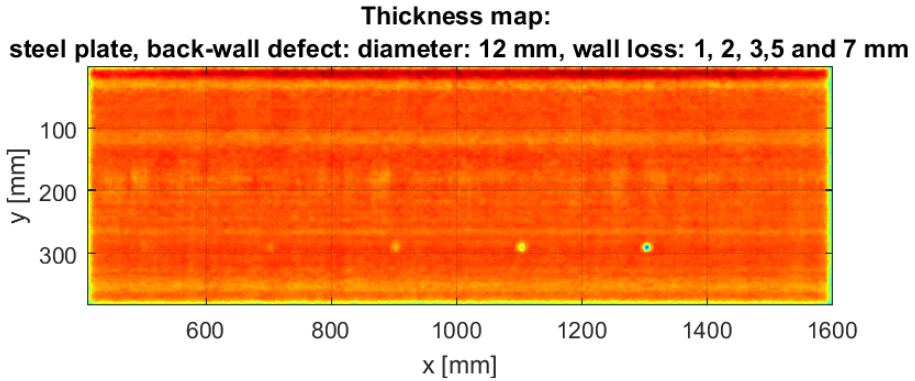
RESOLUTION ASPECTS
SIZING VERSUS SCREENING

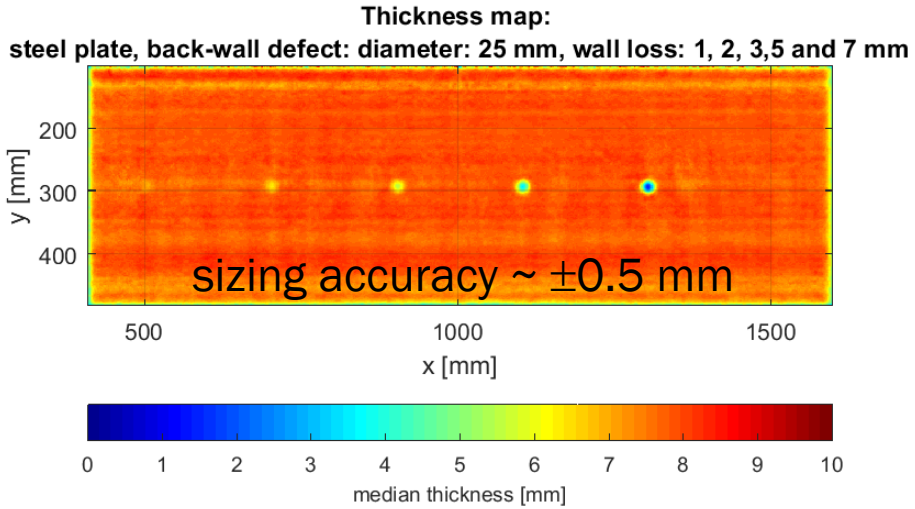


- Sizing accuracy depends on diameter of corrosion pit and the wave length of the Lamb waves

- Sizing becomes accurate when pit diameter ~ wavelength or larger





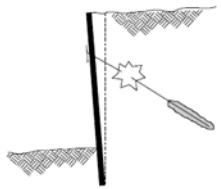


OTHER APPLICATIONS OF ULTRASONIC WAVES
SHEET PILE INTEGRITY

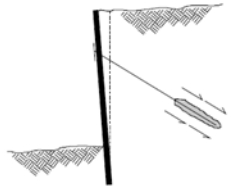
- Integrity related aspects:
  - depth of a sheet pile
  - anchor corrosion (tensional stress)

- Ultrasonic waves may be deployed to assess various integrity related aspects

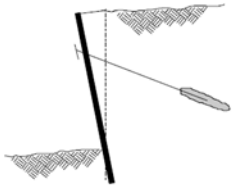
- Some relevant concepts are highlighted here
  (no comprehensive overview)



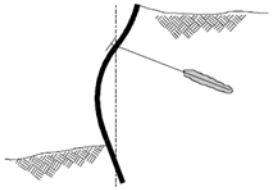
Tensile failure of tendon



Pull-out failure of grout/ground bond



Pull-out failure of tendon/grout bond



Failure of wall in bending

OTHER APPLICATIONS OF ULTRASONIC WAVES

DEPTH OF THE SHEET PILE

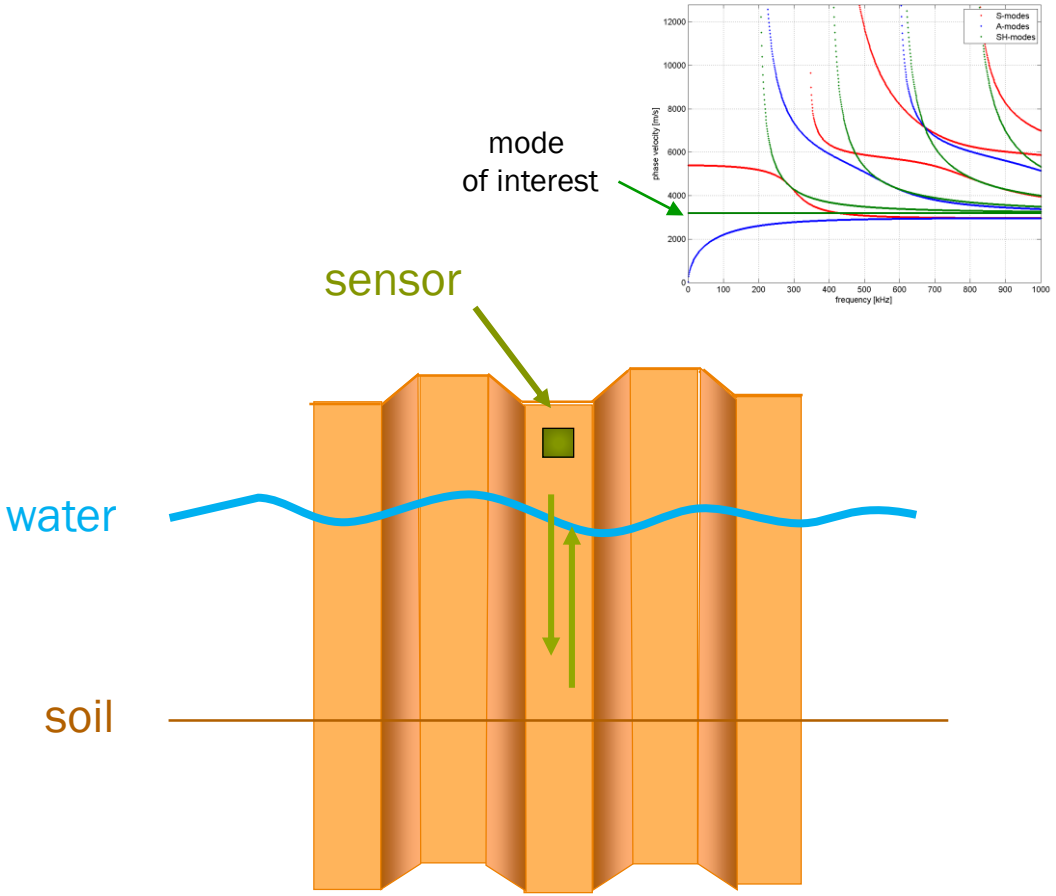
- Main question: what is the length of the sheet pile

- Concept:
  - use shear horizontal polarized guided waves to measure the travel time to end of the sheet pile

- Measure travel time
- Velocity is known

} Calculate depth

- Research and development topics:
  - Evaluate attenuation
    depth range in which method can be used
  - Design dedicated sensor
  - Deliver proof of principle



OTHER APPLICATIONS OF ULTRASONIC WAVES

ANCHOR TENSION ASSESSMENT

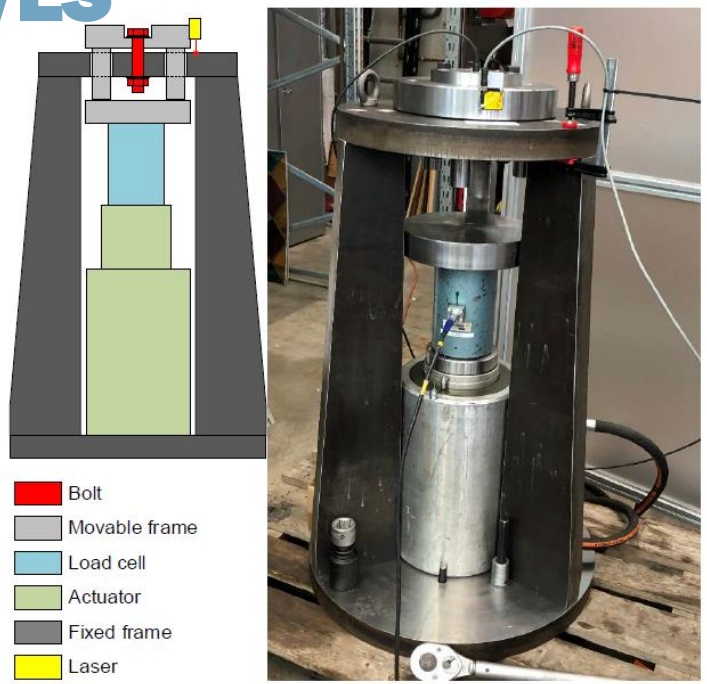
- Main question: what is tension in anchor (is it still providing support)

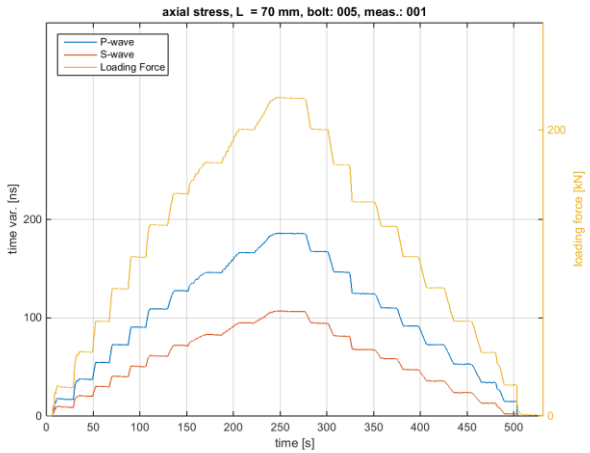
- Concept:
  - Wave velocity depends on applied mechanical stress (small effect)
  - Anchor length is not accurately known to use wave velocity, but using the ratio two waves (compressional/shear wave) eliminates the unknown anchor length

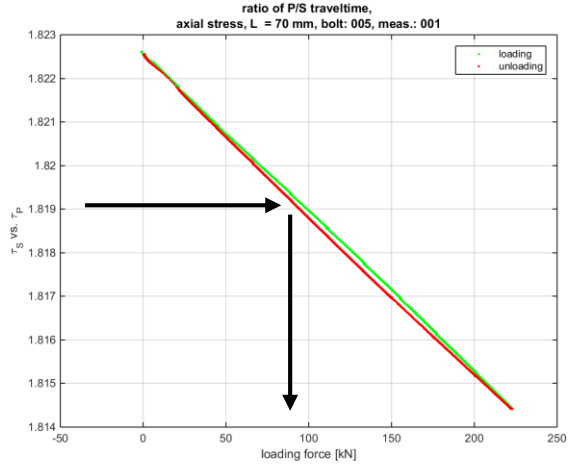
- Measure velocity ratio
- Calibration curve

} Calculate tensional stress

- Research and development topics:
  - Evaluate application specific requirement
  - Design dedicated sensor







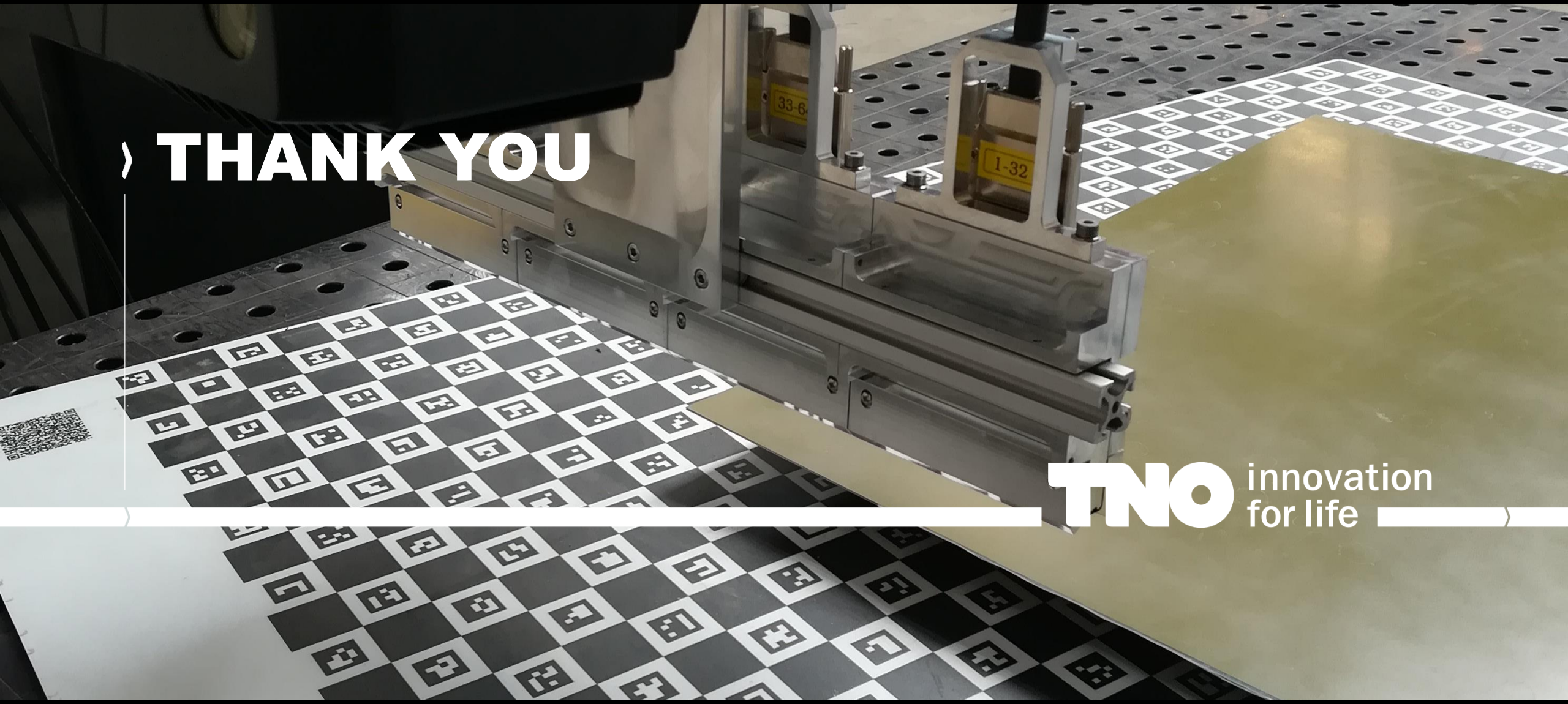
CONCLUDING REMARKS

- Conventional wall thickness measurement are labour intensive and sensitive to surface conditions
- A novel inspection concept for wall thickness measurements has been introduced capable of:
  - Fast, non-contact and large area inspection (up to 5.5 m^2/min)
  - Accurately measuring wall loss with a high spatial resolution,
    provided that corrosion is larger than the wavelength of the Lamb wave

- Application under water is possible, but high attenuation in water limits the application:
  possible solution: multiple transmitters operating at the same time

- Apart from corrosion mapping, ultrasonic measurement principles available for:
  - Measurement of sheet pile length
  - Anchor tension evaluation

  } could support comprehensive integrity assessment
  further development of these method(s) is required



THANK YOU

TNO innovation for life

RELIABILITY UPDATING METHOD FOR GROUND ANCHORS

PORT OF ROTTERDAM

Alfred Roubos: Port of Rotterdam Authority & TU Delft

Workshop existing anchors Delft 11th of October 2022

TU Delft

SMART PORT

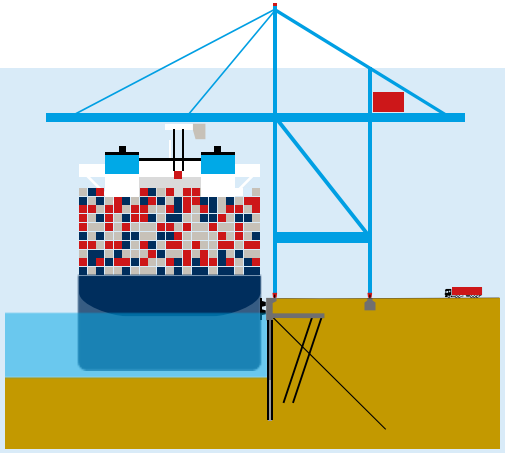
Port of Rotterdam

Introduction: Alfred Roubos

PhD: reliability of quay walls

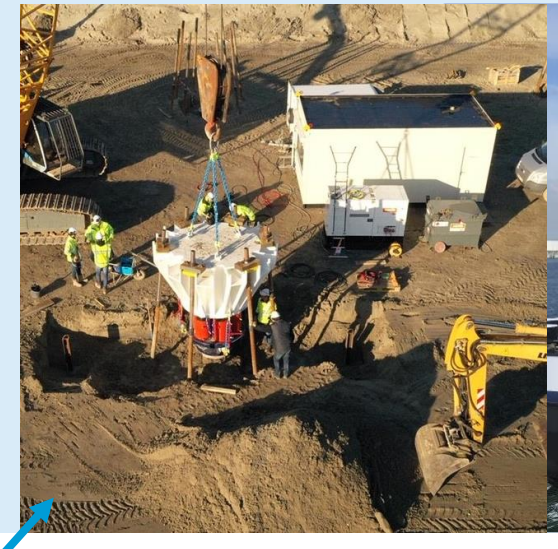
- Port Engineer (≈15 years)
- Researcher Delft University of Technology

  (Doctoral defence 2019)
- Member of national & international committees (Eurocode CEN/NEN, CROW, PIANC, BS)



Main research focus:

- Marine structures (e.g. quay walls, jetties, dolphins)
- Dredging, scour protection
- Innovations & full-scale field tests

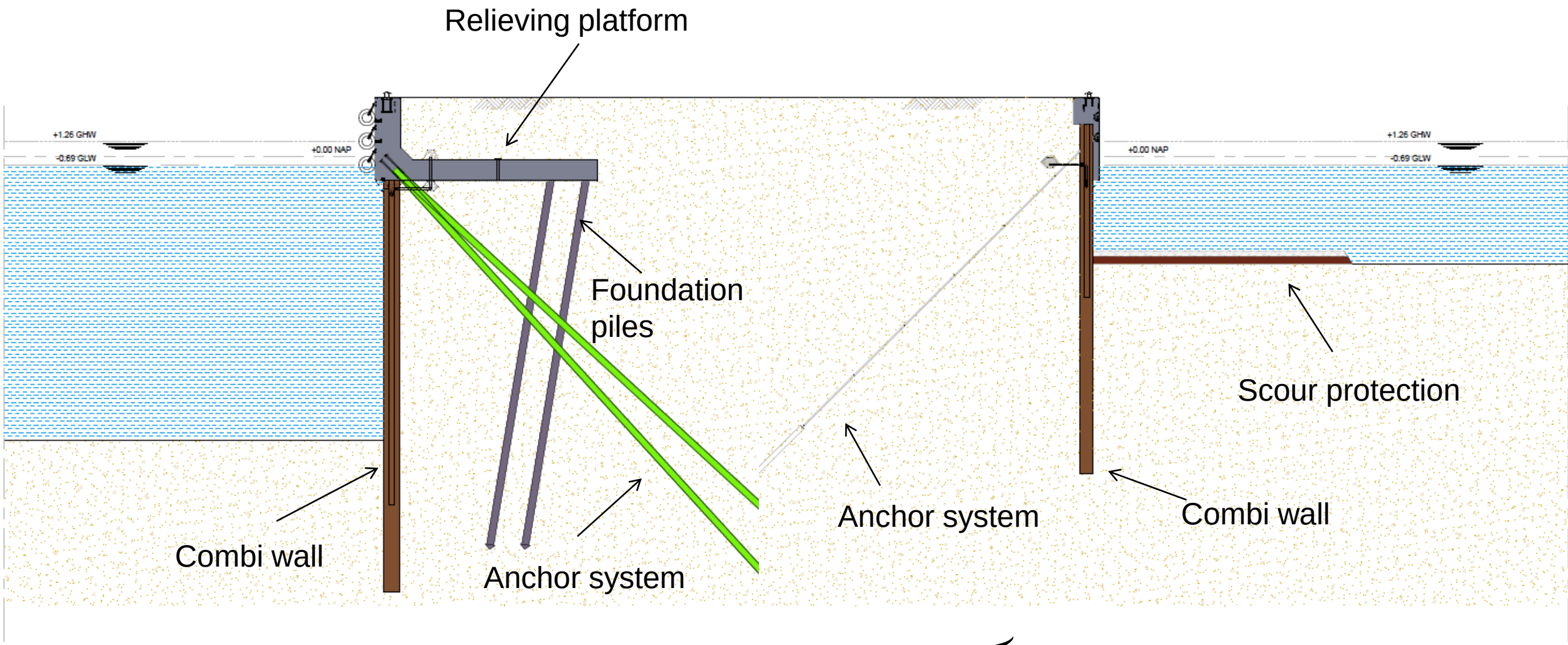


Full scale field test foundation piles

Bow-thruster induced scour

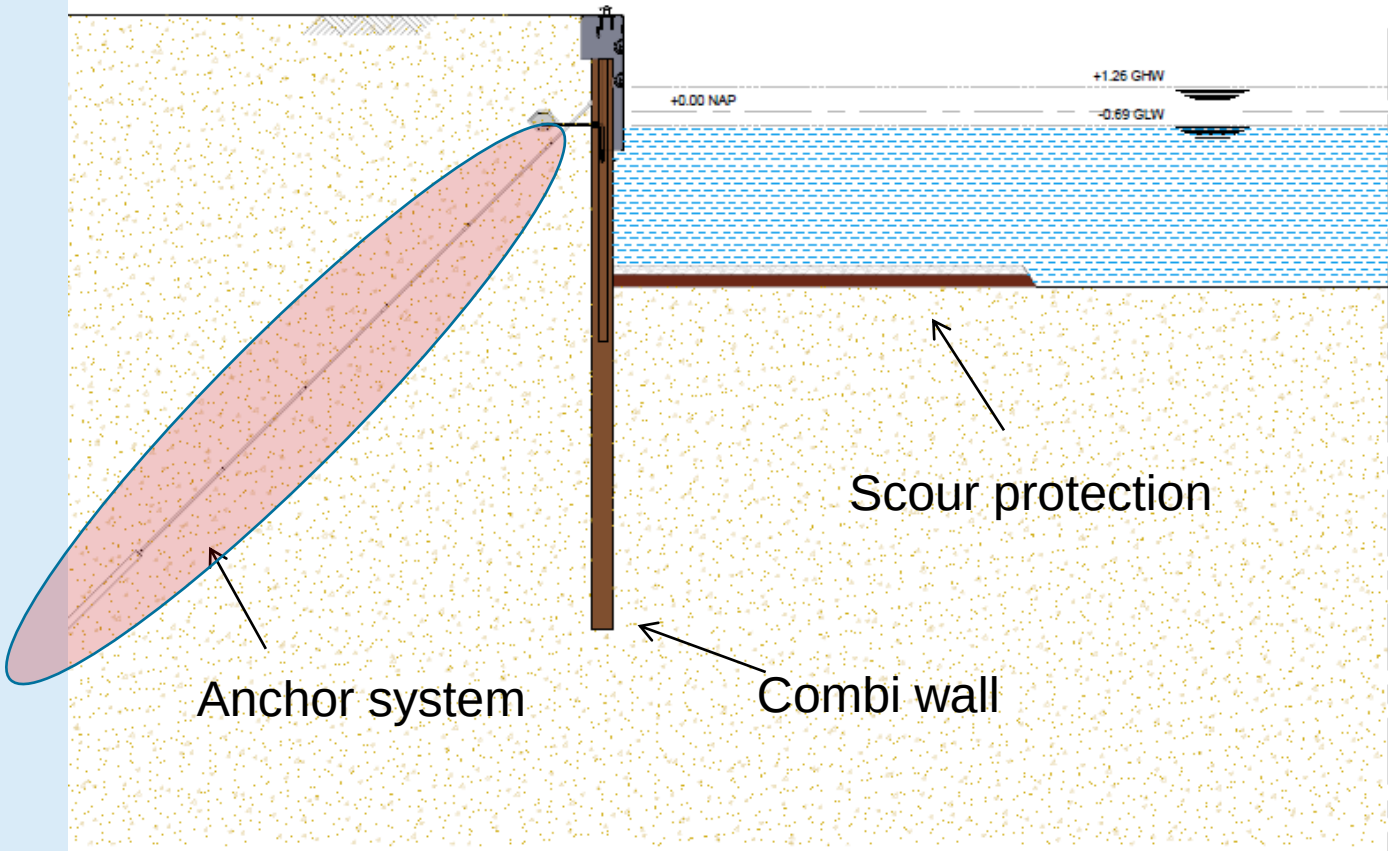
Port of Rotterdam

Standard quay-wall design solutions



Content

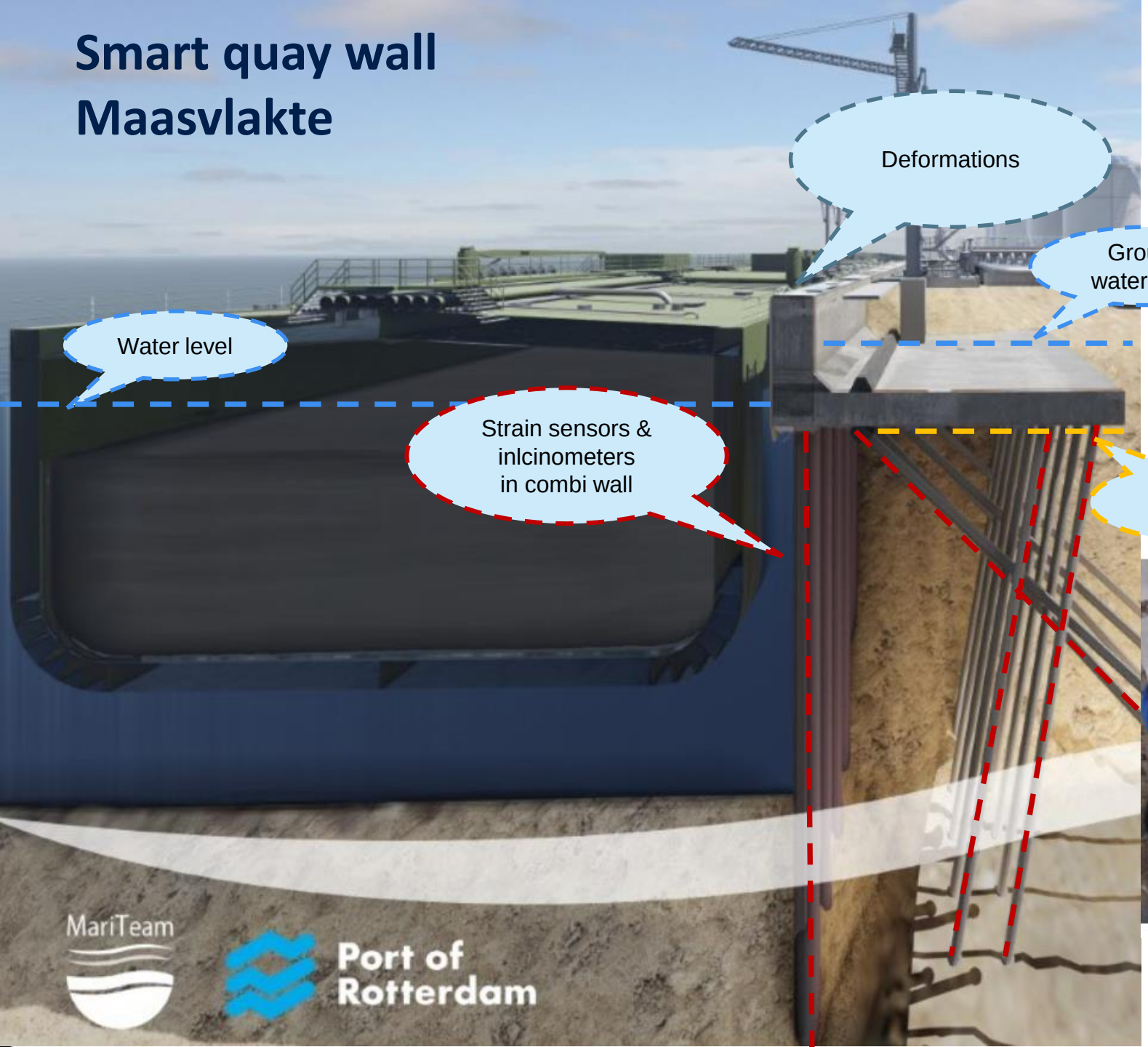
- Introduction / Motivation (5 min).
- Reliability updating using anchor test data (15 min).
- Discussion (10 min).

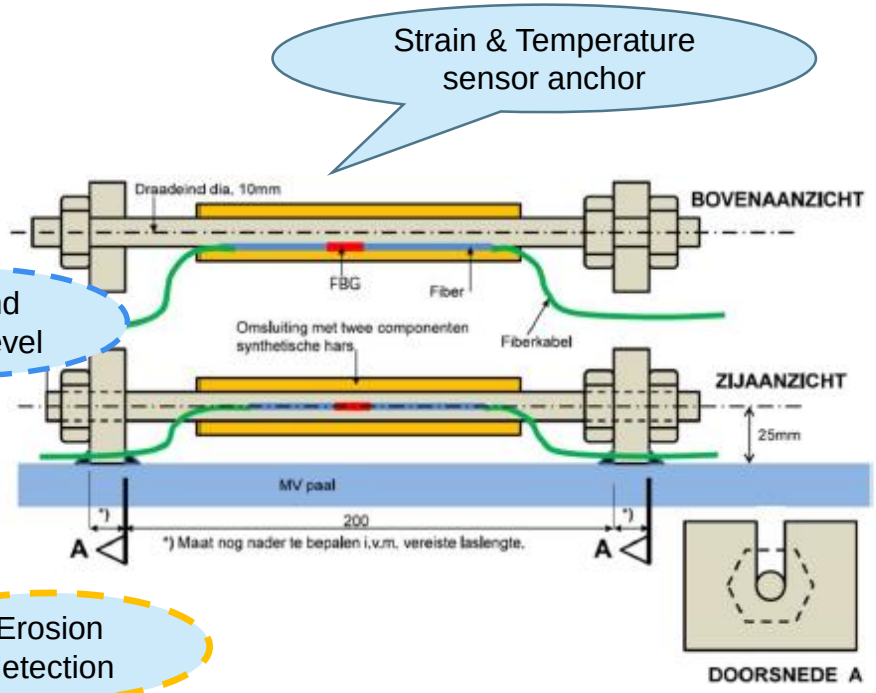


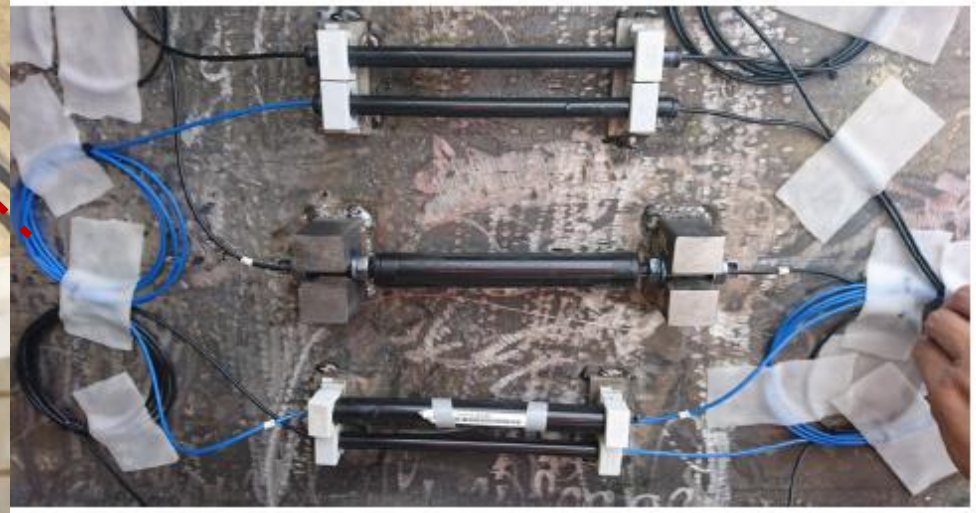
Motivation: Sensor data & digitisation

- Senor data (e.g. 10 smart quay walls).
- Digital twin.

Smart quay wall Maasvlakte







inventec b.v.

Port of Rotterdam

Value of installation and test data?

- Installation records (e.g. drivability, vibrations…) => reduce uncertainty in soil conditions OR predict weak quay-wall sections or structural members.
- Data of quality control procedures (material certificates steel/concrete & anchor test data).

Research questions

- In each project anchor tests are performed. How can we use this data?
- Can anchor test data be used as input for Reverse Engineering?

Value of installation data?

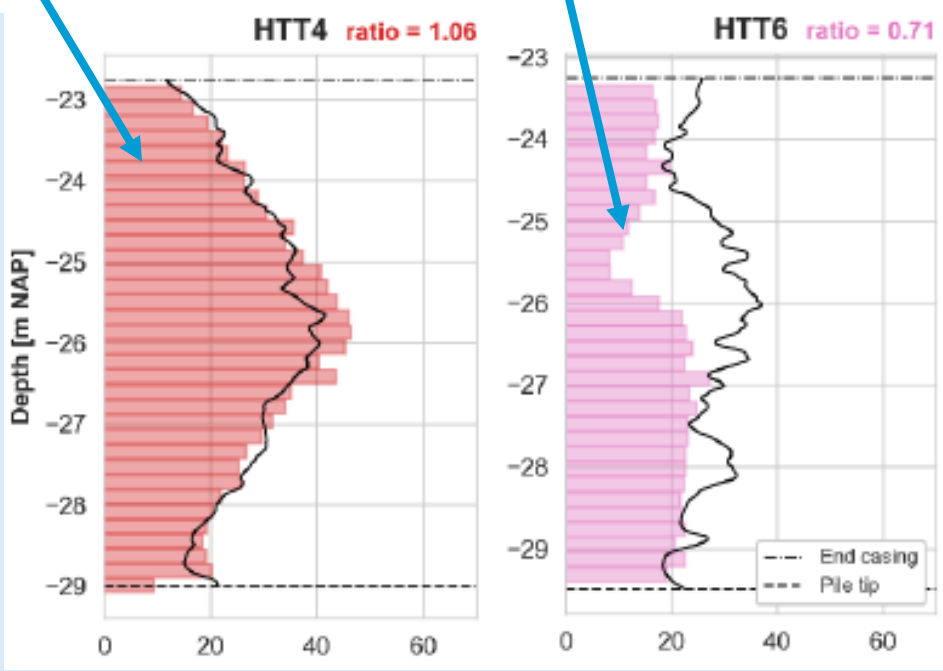
- Installation records (e.g. drivability, vibrations…) => reduce uncertainty in soil conditions OR predict weak quay-wall sections or structural members.
- Data of quality control procedures (material certificates steel/concrete & anchor test data).

Research questions

- In each project anchor tests are performed. How can we use this data?
- Can anchor test data be used as input for Reverse Engineering?

Zeer goede correlatie met de installatie energie (blow counts)

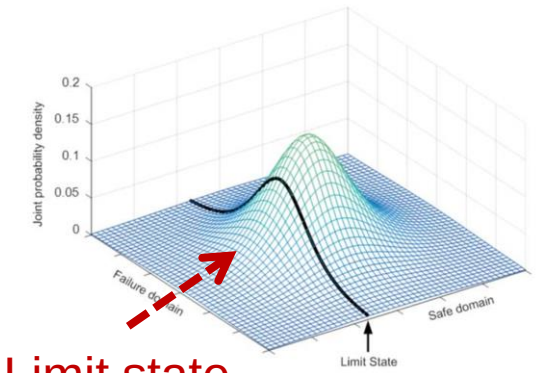
Zwakke plek kademuur (MV paal): waarschijnlijk het gevolg van het onderschatten in situ conusweestand



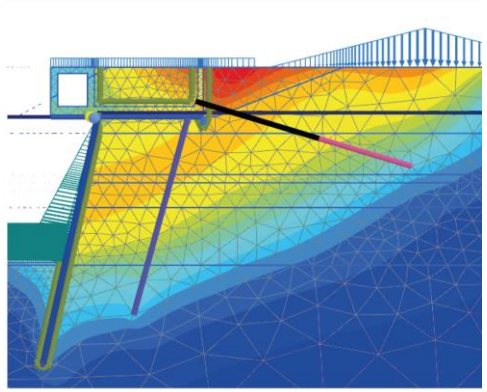
Conusweerstand
Installatie energie proefpaal HTT4
Installatie energie proefpaal HTT6

Main trends in quay-wall engineering

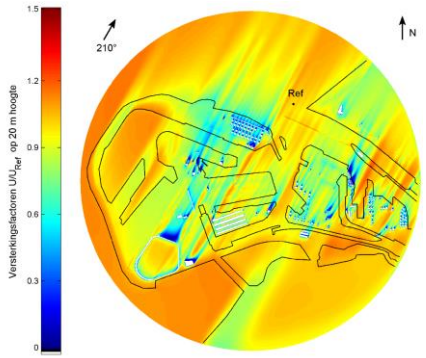
1) Reliability-based assessments

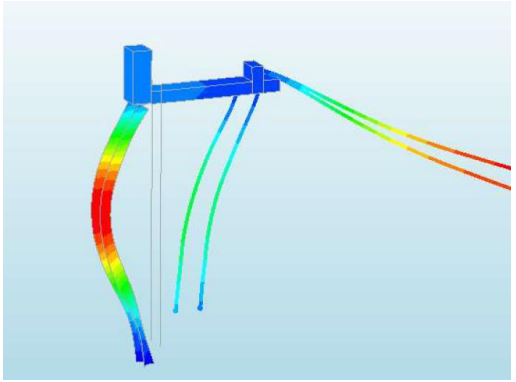


Limit state

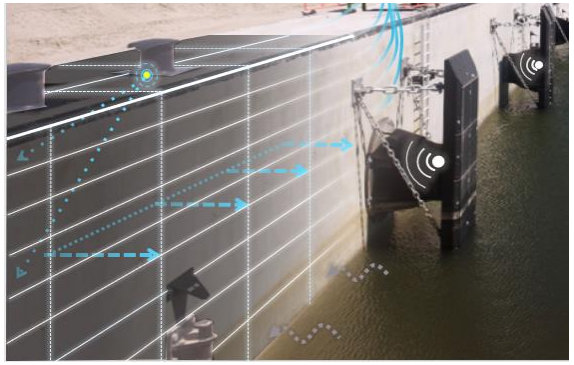


2) Advanced modelling & new methods





4) Sensoring & digitisation



3) Full scale field tests / stress testing

TU Delft

Port of Rotterdam

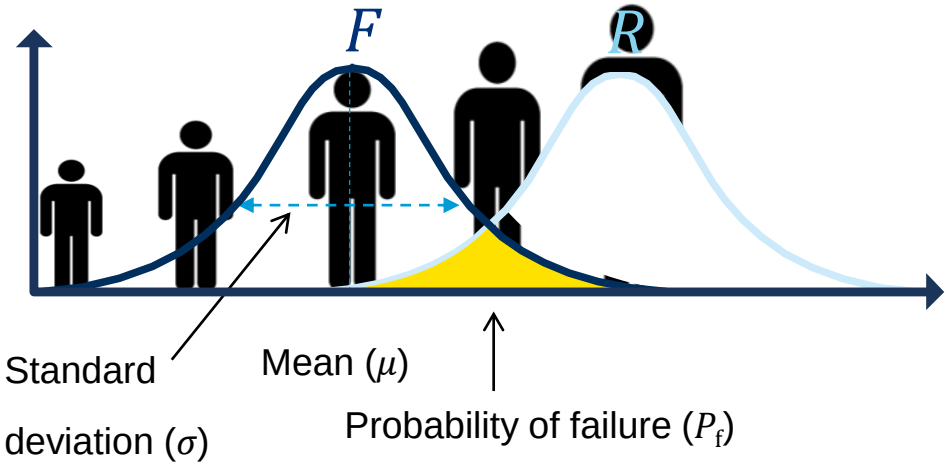
What is reliability?

Load F (weight)

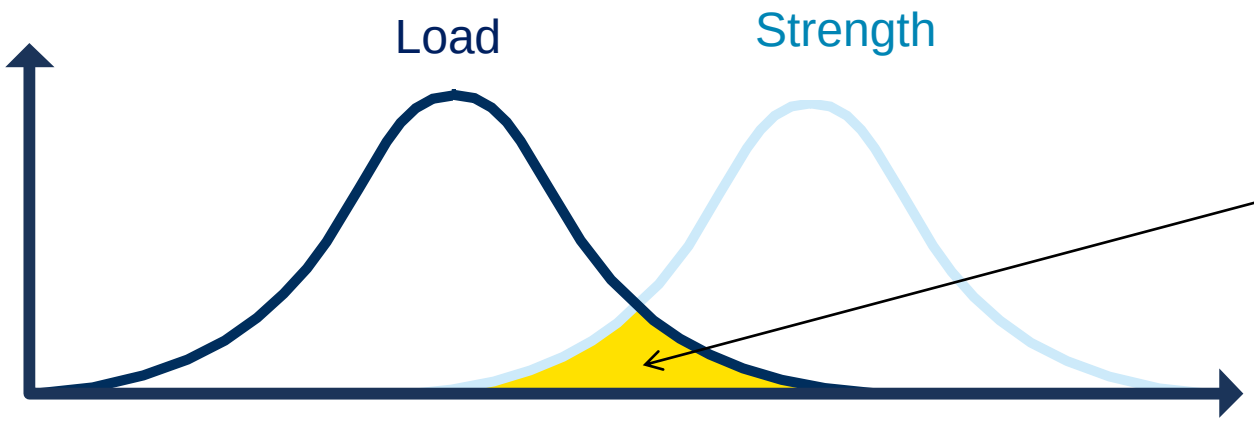
Example

Reliability estimate of a chair:

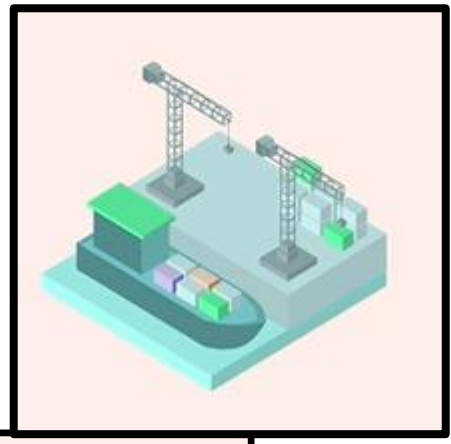
- Strength > Load => Safe / Reliable
- Load > Strength => Unsafe / Failure



Reliability-based assessment: Probability of failure?



Probabilistic toolbox



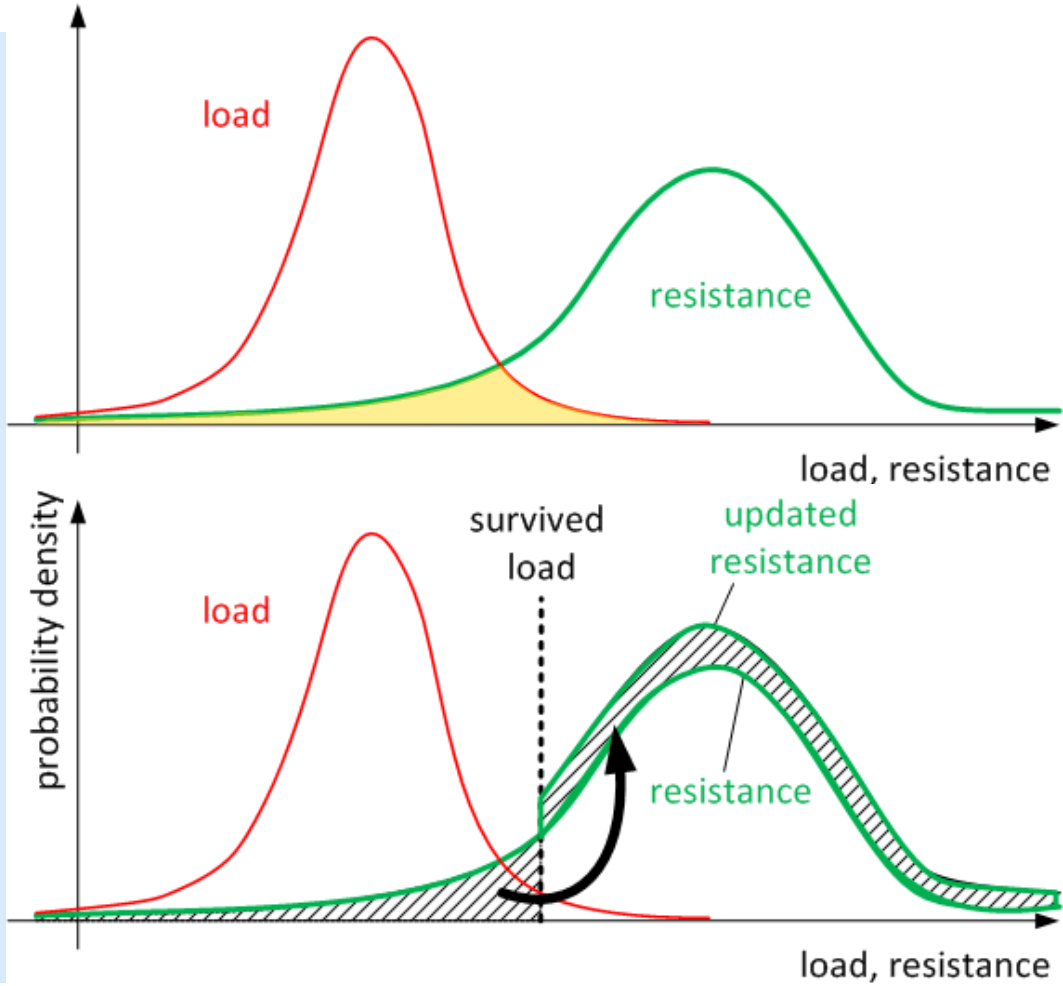
Anchor test results

- Deltares Toolkit

Principles of past service performance

Probability of failure ‘a-priori’

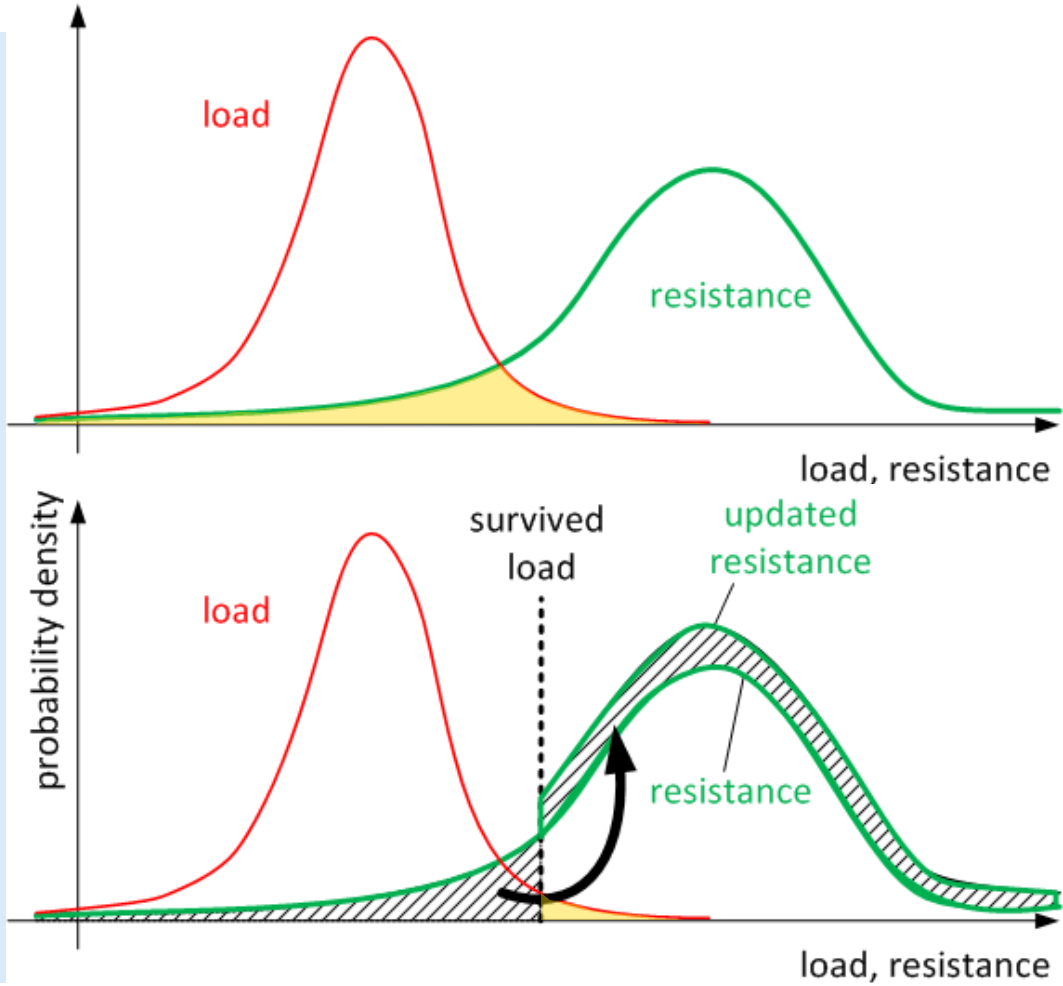
Probability of failure ‘a-posteriori’
(incl. test result survived load)



Principles of past service performance

Probability of failure ‘a-priori’

Probability of failure ‘a-posteriori’
(incl. test result survived load)



Reliability updating using anchor test data

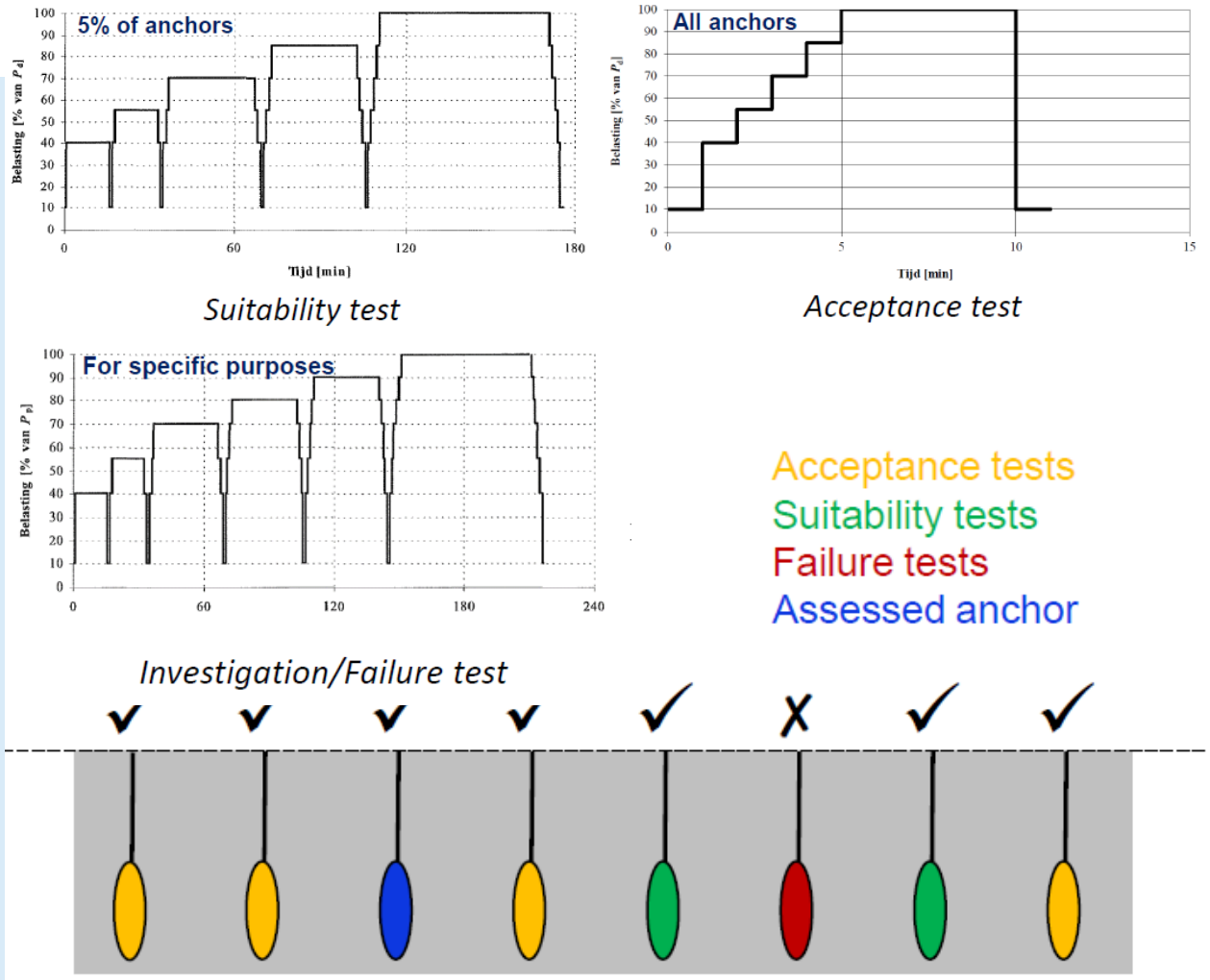
- 3 reference projects: Maaskade, LBBR, & HHTT.
- Type: Grout anchors.
- All projects provided us with failure (some), suitability (5%) and acceptance tests (all).

⇒ How can we use anchor test data?

⇒ Can this serve as input for reverse engineering?

Two reliability updating methods were tested:

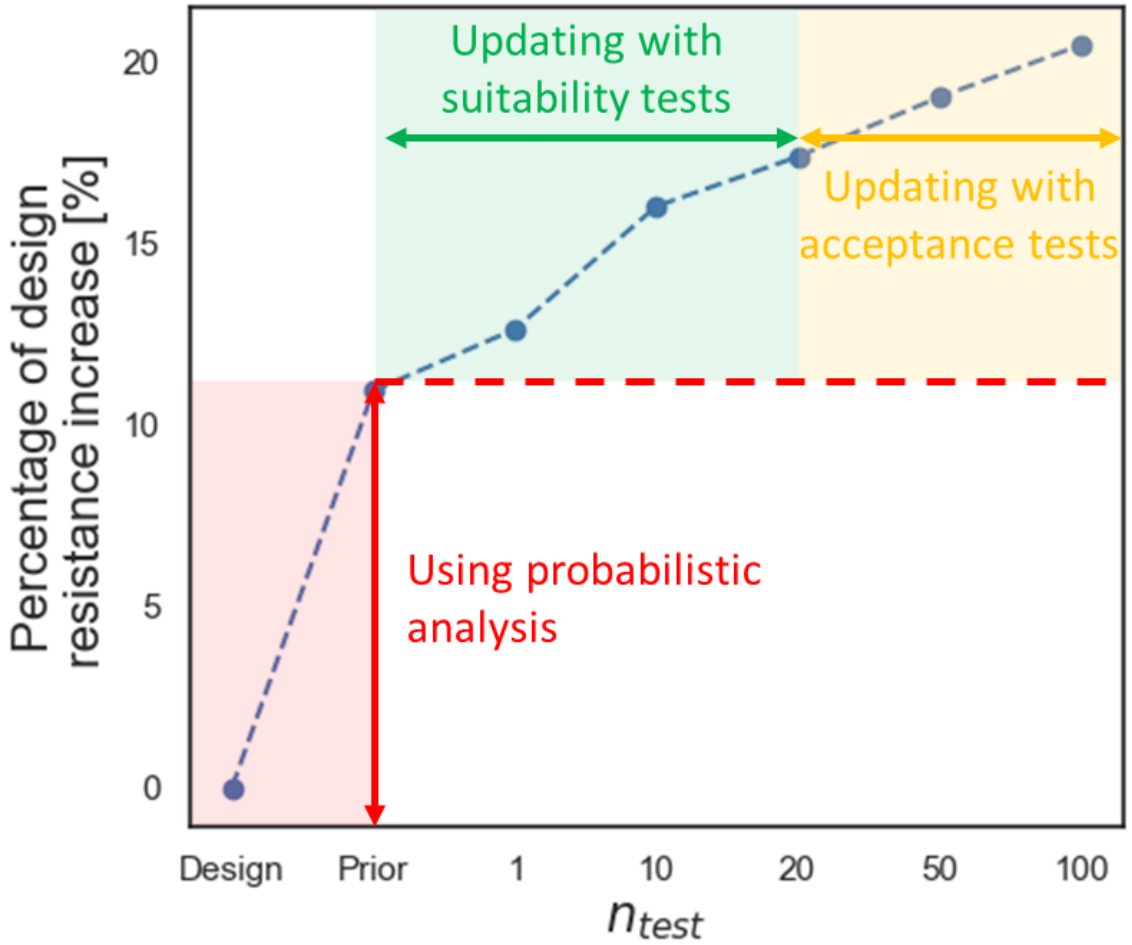
1. inequality updating via applied force.
2. equality updating by modelling anchor behaviour.



Method 1: ‘inequality updating’

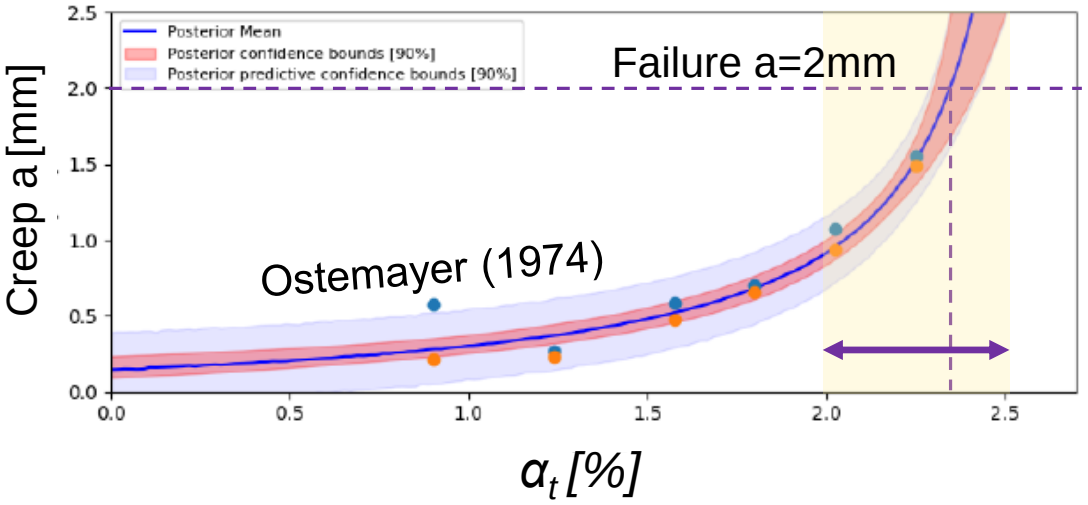
$$R_{a;min} = \alpha_t \cdot O \cdot L_A \cdot q_{c;gem}$$

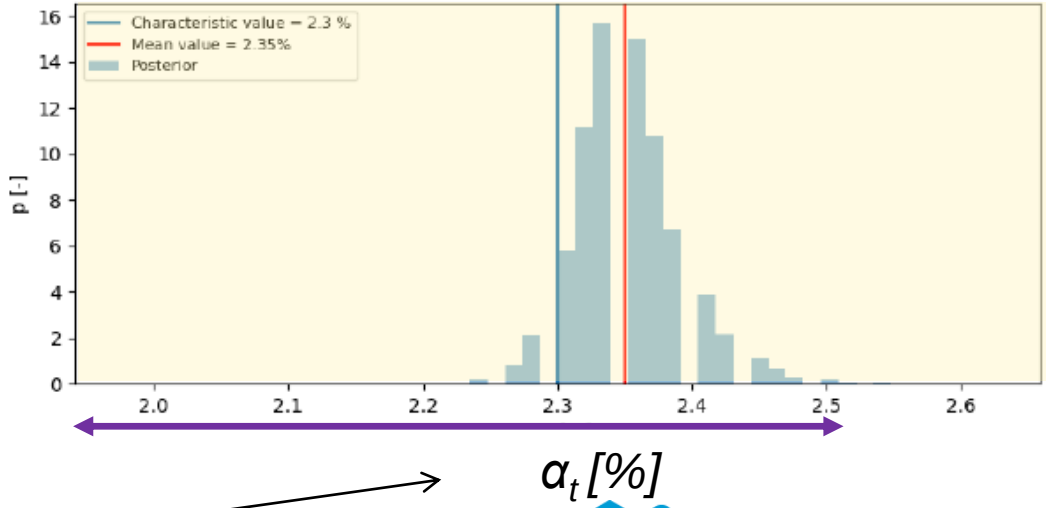
- Method is quite straight–forward, easy to understand and to apply.
- Suitability tests seem effective in increasing the design value of the resistance.
- The main parameter that is updated is α_t i.e. a large number of survived tests eliminates the probability of having a low α_t.
- The largest increase occurs with the first ten simulations (i.e. relevant for typical number of suitability tests in a project), after that the effect wears off.
- Increase of approx. 20% of test load doubles the gain using direct reliability updating.



Key findings method 2: ‘Equality updating’

- Method is slightly more complex, since a geotechnical model is fitted to the measurements.
- The hyperbolical-shaped model of Ostemayer (1974) is considered (model mean = dark blue line). Geotechnical failure is defined as 2mm creep. The model uncertainty (red shaded) and the overall uncertainty when sampling (blue shaded).The blue shaded area is called the ‘posterior predictive’.
- The lower histogram shows the posterior predictive projection at a creep rate of a=2 mm (failure) and gives the distribution of α_t at failure according to the observations.





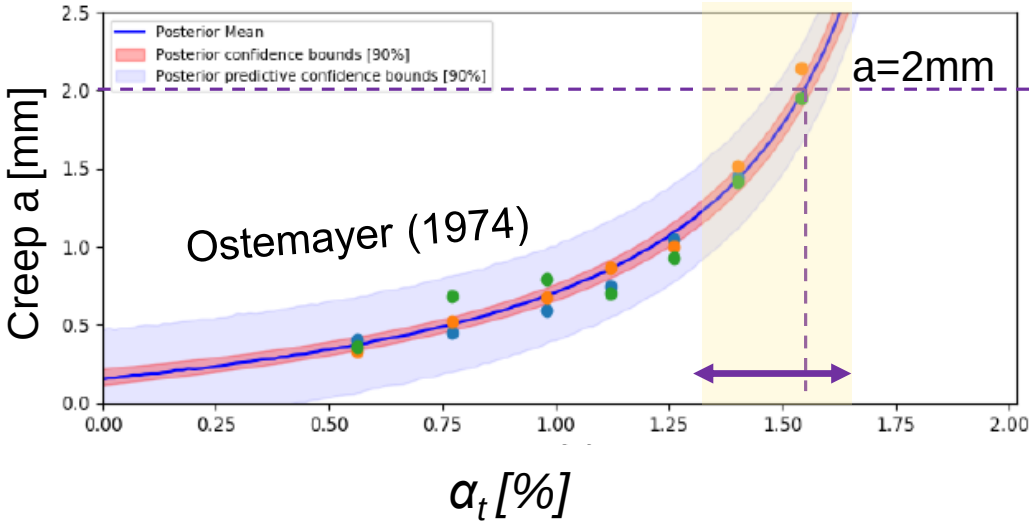
$$R_{a;min} = \alpha_t \cdot O \cdot L_A \cdot q_{c;gem}$$

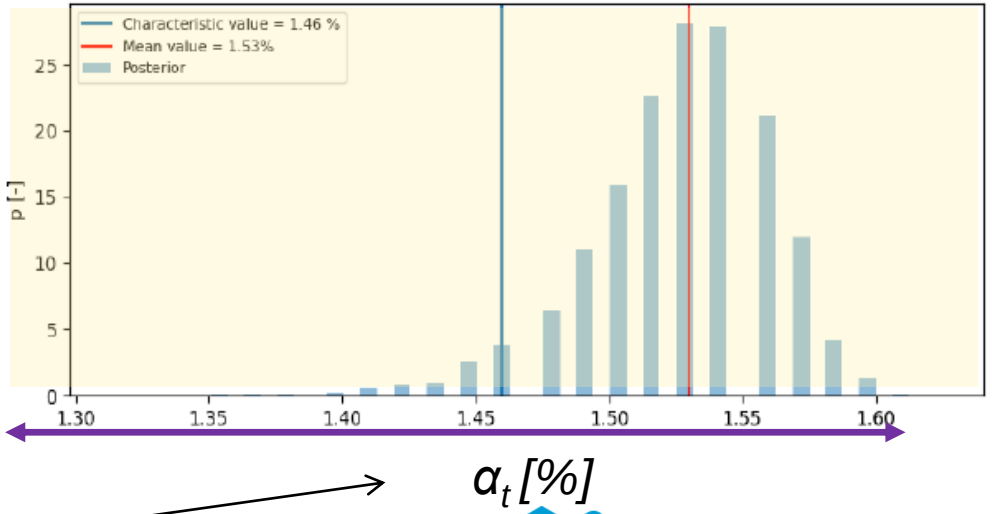
Example HHTT: A much higher characteristic α_t is found compared to 1.5% of CUR 166

Port of Rotterdam

Key findings method 2: ‘Equality updating’

- Method is slightly more complex, since a geotechnical model is fitted to the measurements.
- The hyperbolical-shaped model of Ostemayer (1974) is considered (model mean = dark blue line). Geotechnical failure is defined as 2mm creep. The model uncertainty (red shaded) and the overall uncertainty when sampling (blue shaded).The blue shaded area is called the ‘posterior predictive’.
- The lower histogram shows the posterior predictive projection at a creep rate of a=2 mm (failure) and gives the distribution of α_t at failure according to the observations.





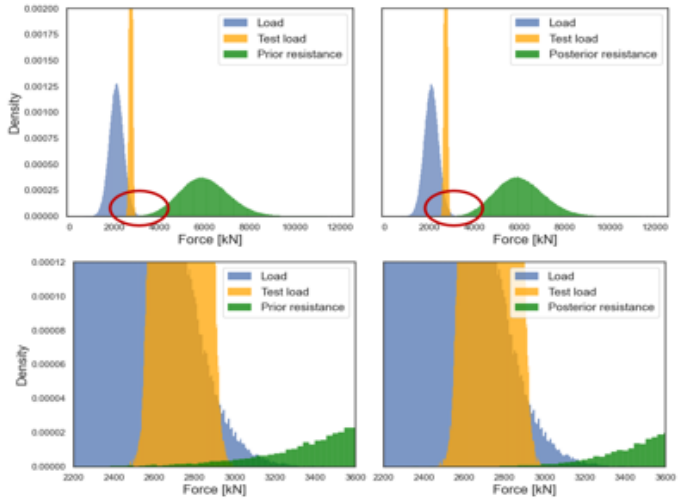
$$R_{a;min} = \alpha_t \cdot O \cdot L_A \cdot q_{c;gem}$$

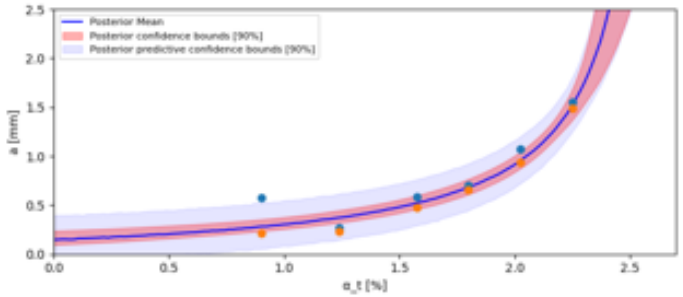
Example LBBR: The updated characteristic α_t is close to CUR166

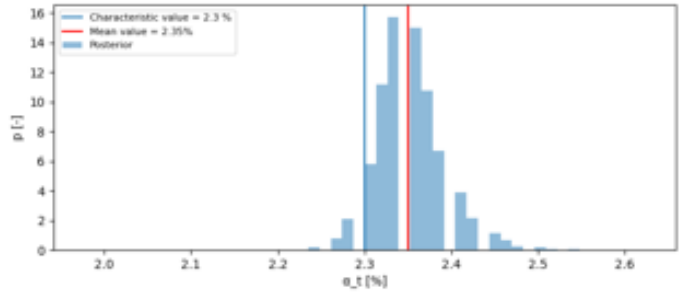
Port of Rotterdam

Key findings

- Both methods can be used to update the geotechnical design resistance.
- In the ‘inequality updating’ approach suitability tests seem to be quite effective.
- In the ‘equality updating’ approach the anchor behavior and the anchor geotechnical ultimate capacity could be updated on basis of failure test data. Extrapolating from information of suitability tests is expected to be possible, however will introduces additional uncertainties.
- Both methods update the α_t value. The approaches are comparable and could be integrated. Inequality updating updates the tail and equality updating updates the whole distribution.







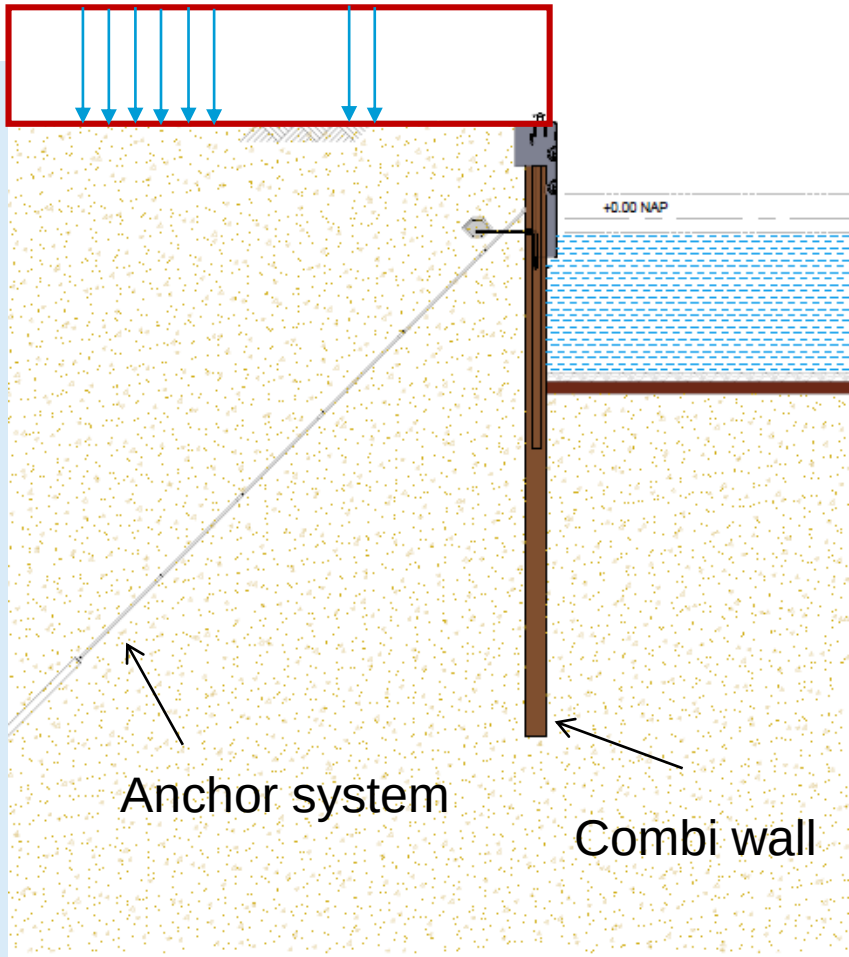
Estimation of the value

- Method 1 => 5-15% increase geotechnical design resistance.
- Method 2 => 0-40% increase of characteristic resistance.
- Max, additional anchor capacity is about 10%, since the steel capacity may become the weakest link.

⇒ This indicates a quay walls can facilitate **25-50%*** higher surcharge loads.

*) assuming 10% additional anchor capacity and sufficient capacity of other structural members.

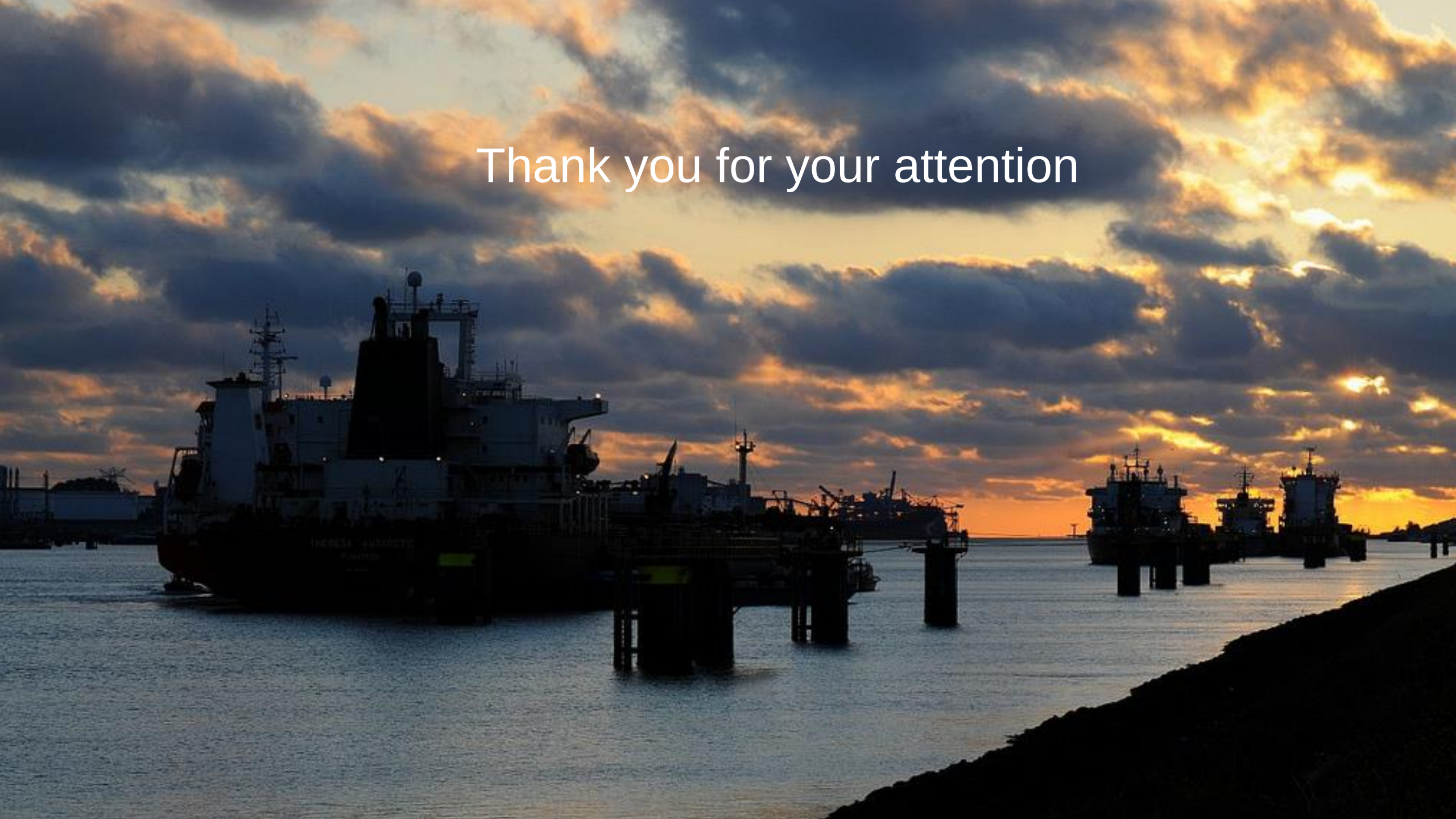
25%-50% additional load

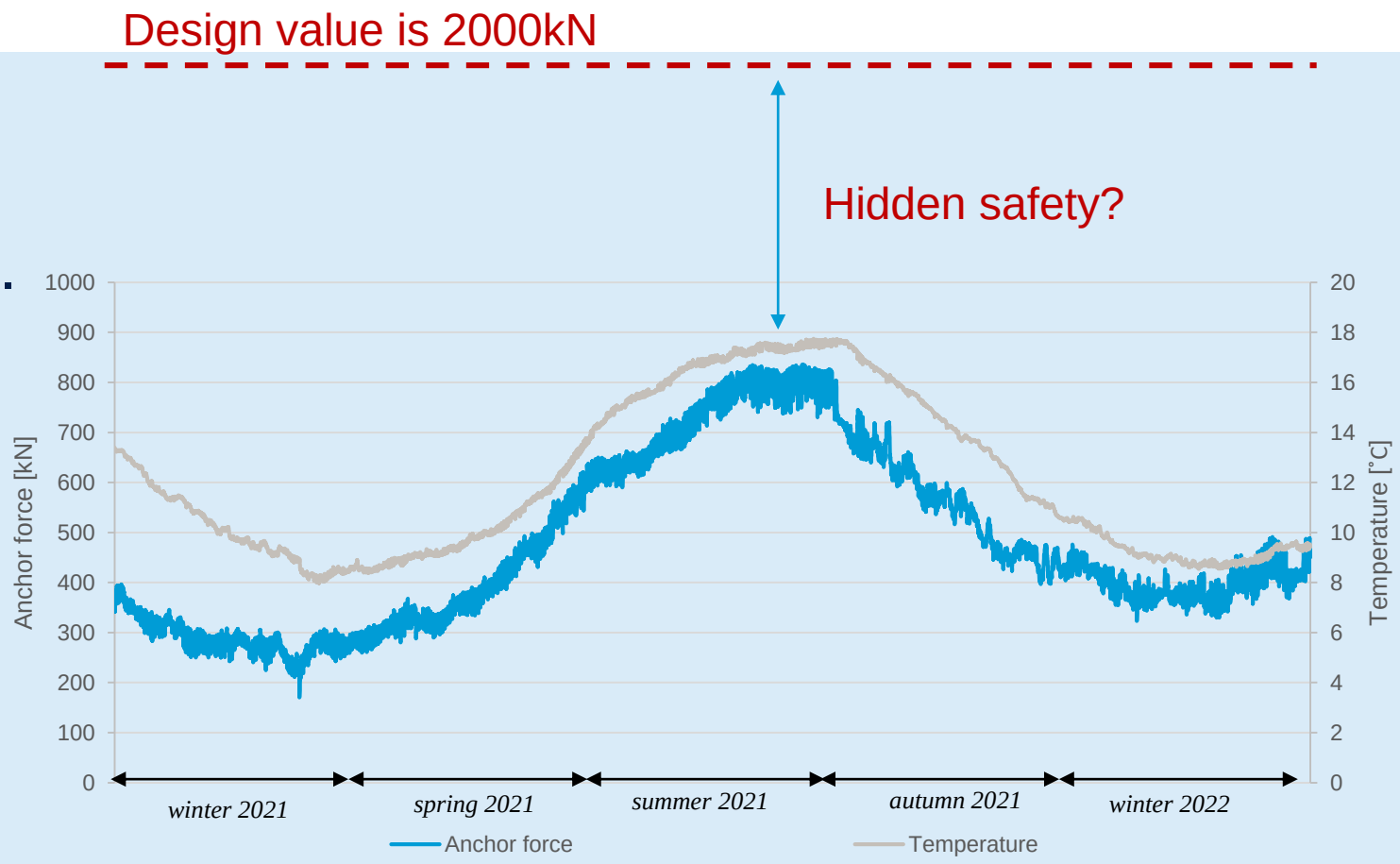


Next steps & discussion

- Develop standard data format for anchor test data (similar to GEF files of CPT's) together with the industry.
- Add full-scale failure test in the upcoming quay-wall & sheet-pile-wall projects.
- Improve reliability updating methods. Pilot project together with TU Delft (Data Platform Soil Retaining Walls via DigiShape).
- …….

```
#Project = HES HHTT - Maasvlakte Rotterdam
#Locatie = Maasvlakte
#AnkerID = Anker 1
#Datum = 16-08-2018
#Type anker = HSS standaard kop
#Type proef = bezwijkproef
#Voorbelasting = 514 kN
#Helling anker =
#
Diameter groutlichaam [m], 0.335
Lengte anker [m], 40
Lengte groutlichaam [m], 12.4
Gemiddelde qc [MPa], 17.5
#
#Belasting [kN],t [min],u [mm]
514,0,0
2054,1,16.70
2054,2,16.98
2054,3,17.25
2054,4,17.25
2054,5,17.22
2054,7,17.22
2054,10,17.29
2054,15,17.38
514,0,5.49
2825,1,27.10
2825,2,27.18
2825,3,27.18
2825,4,27.27
2825,5,27.27
2825,7,27.37
2825,10,27.37
2825,15,27.42
514,0,7.14
3595,1,37.38
3595,2,37.52
3595,3,37.52
3595,4,37.77
3595,5,37.78
3595,7,37.93
3595,10,37.95
3595,15,38.02
3595,20,38.04
3595,25,38.10
3595,30,38.24
514,0,10.87
4109,1,46.26
4109,2,46.26
4109,3,46.52
4109,4,46.52
```


Thank you for your attention

Smart quay walls: Anchor Force

- Influence of temperature.
- Lower compared to design value.
- Reduce model uncertainty.
- Input for checking the influence of climate change on quay-wall behaviour.