

Levensduurverlenging diepzeekades

Alfred Roubos, Havenbedrijf Rotterdam

Camille Habets, Royal HaskoningDHV

Content

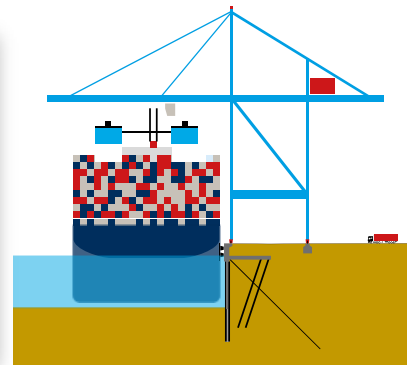
- Introductie: Alfred Roubos
- Case study: Camille Habet



Introductie Alfred Roubos

- Port Engineer ($\approx 17,5$ jaar)
- Onderzoeker TU Delft
- Lid van diverse technische commissies (Eurocode CEN/NEN, CROW, PIANC, BS)
- Main research focus:
- Waterbouwkundige constructies (e.g. kademuren, steigers, meerpalen)
- Bagger-, kust- en oeverwerk.
- Innovaties & beproevingen

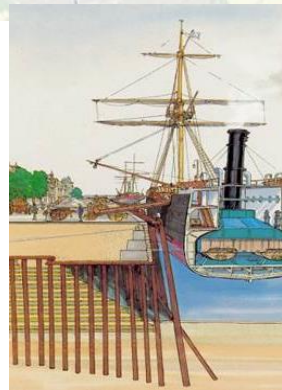
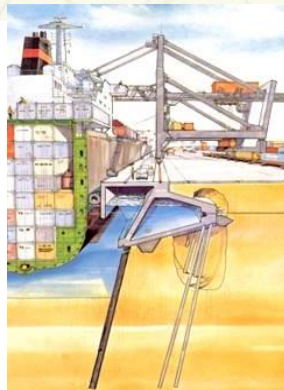
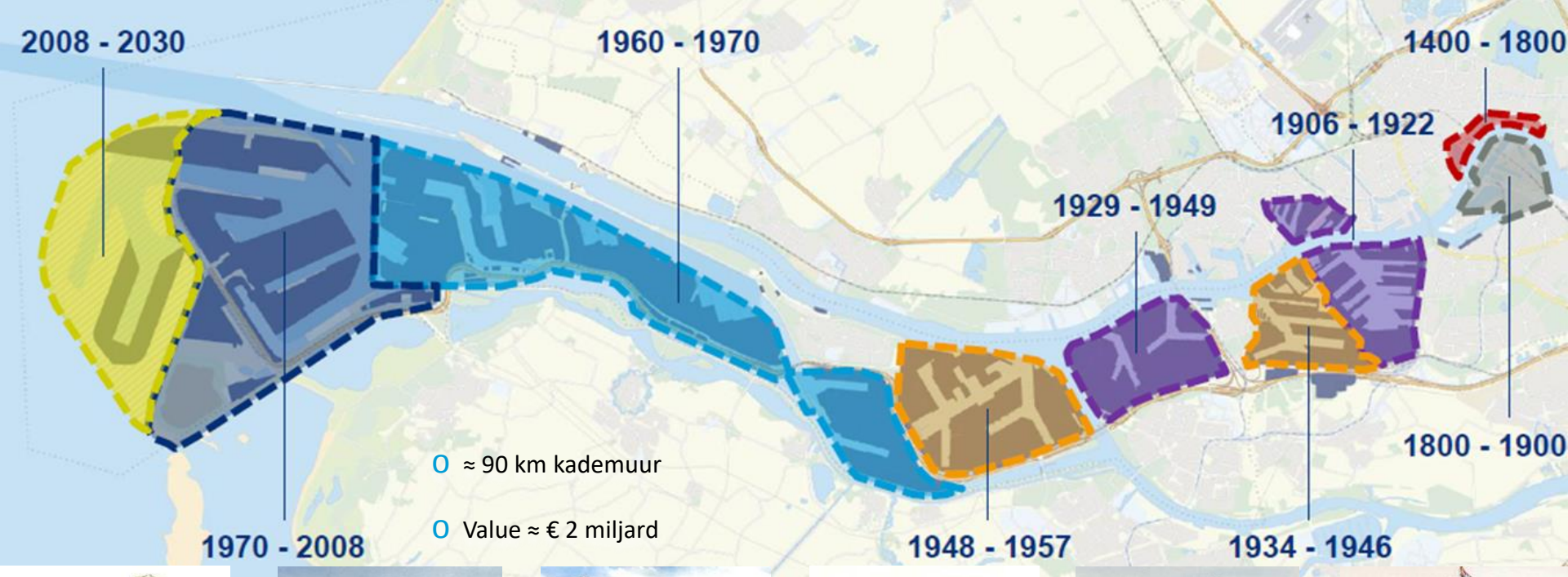
PhD: reliability of quay walls



Proef funderingspalen
Maasvlakte Rotterdam

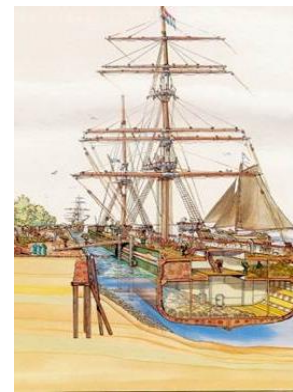
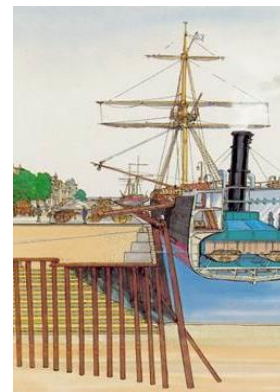
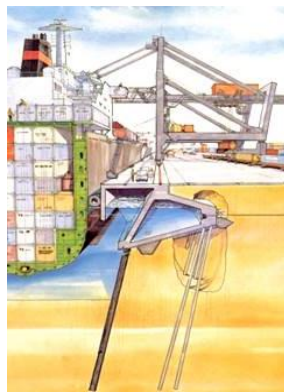
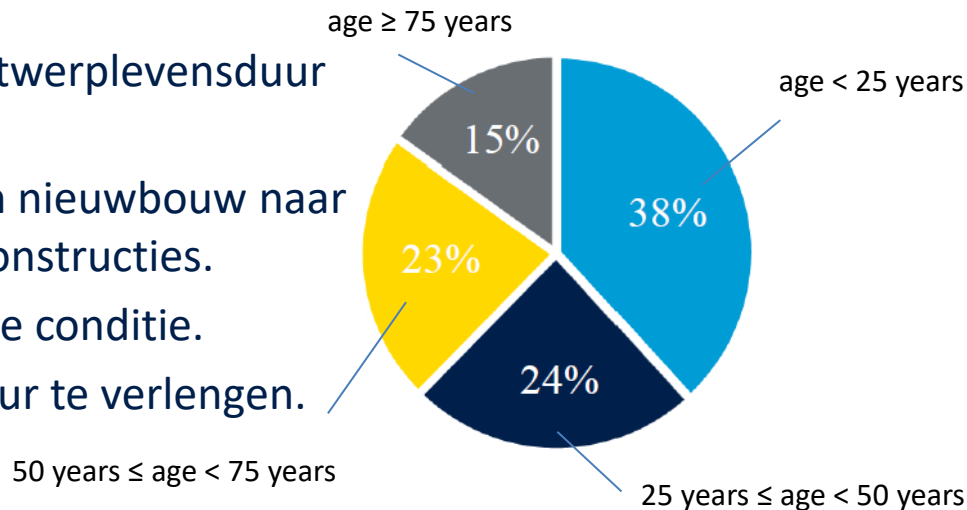


Boegschroef proef

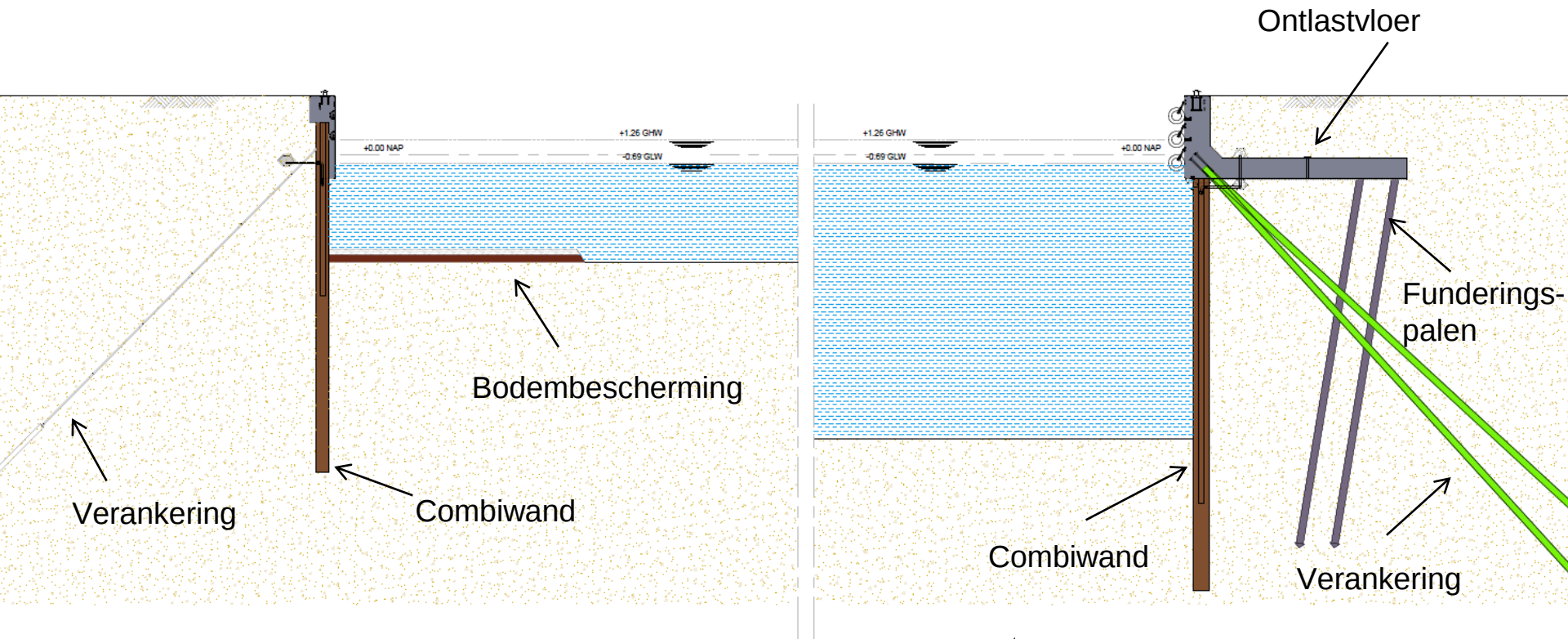


Situatie in Rotterdam

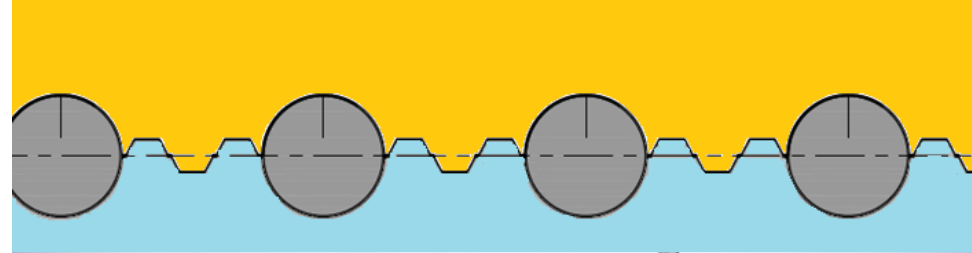
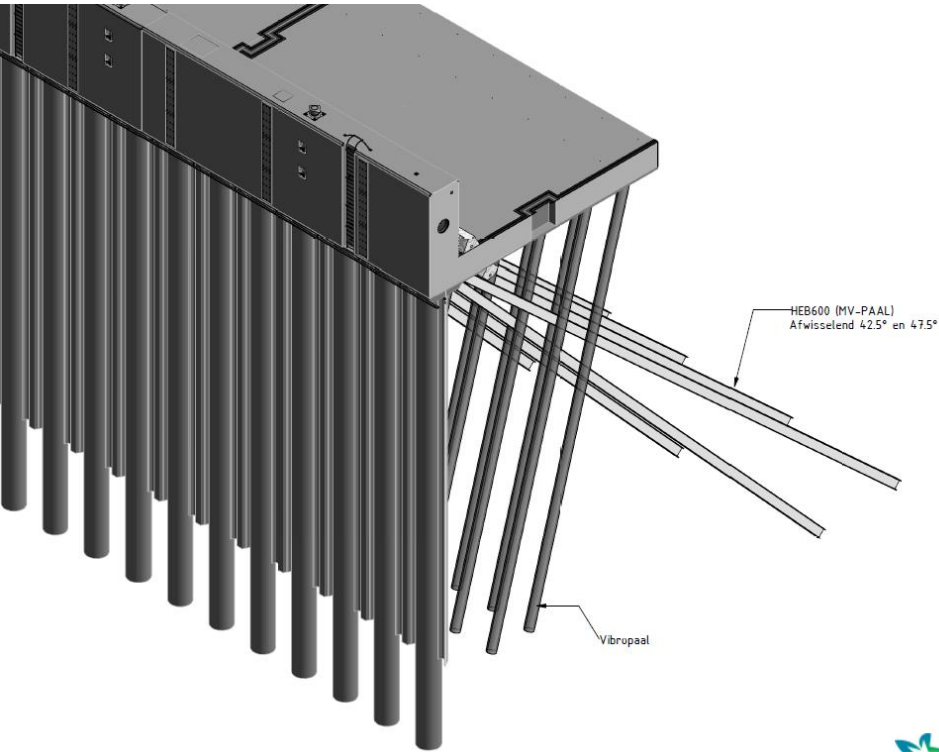
- Veel kades naderen het einde van de ontwerplevensduur van 50 jaar.
- Focus van ingenieurs zal verschuiven van nieuwbouw naar toetsen en beoordelen van bestaande constructies.
- Veel Rotterdamse kades zijn nog in goede conditie.
- HbR ziet mogelijkheden om de levensduur te verlengen.



Standaard kademuren in Rotterdam



Combiwand principe

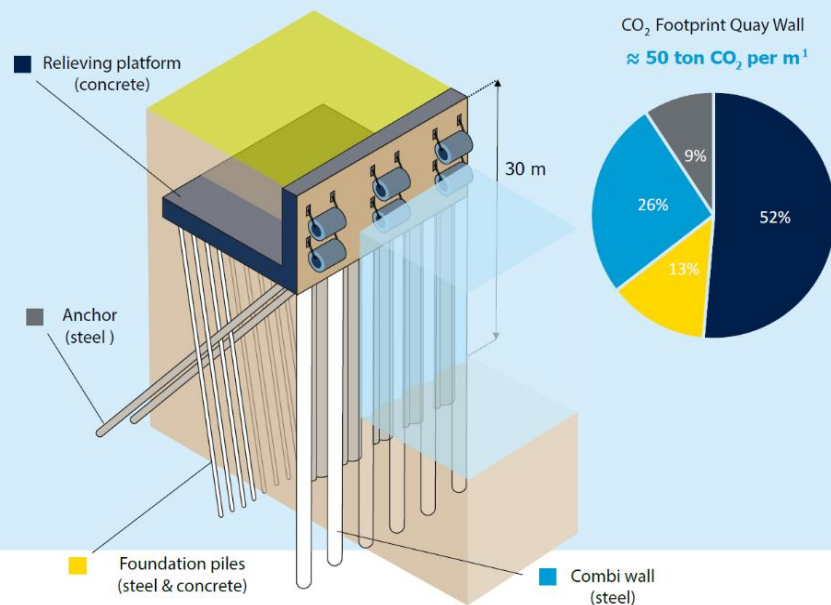


26 oktober 2023

Visie & Ambities

Bestaande constructies

Levensduur verlenging en beter benutten infrastructuur.



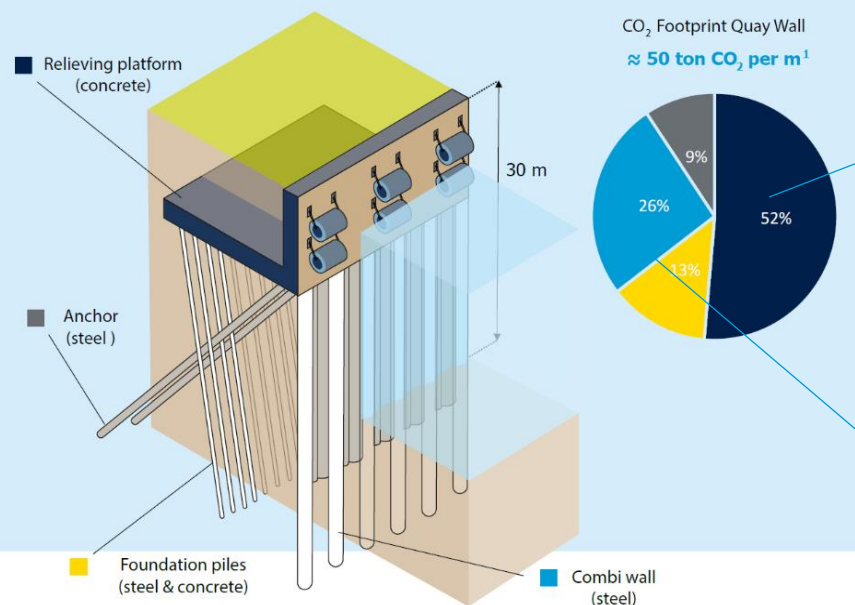
26 oktober 2023

Visie & Ambities

Nieuwe materialen (beton)

Bestaande constructies

Levensduur verlenging en beter benutten infrastructuur.



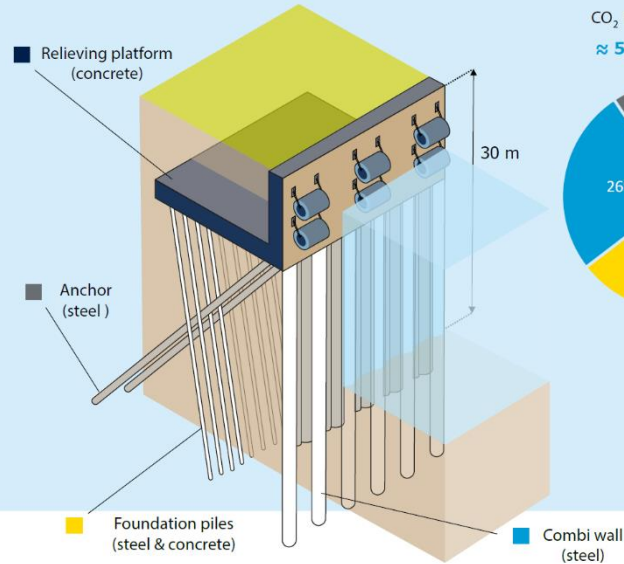
Beter benutten van materialen (staal)



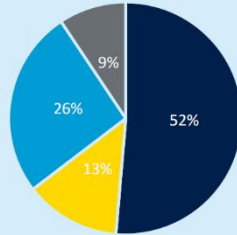
Visie & Ambities

Bestaande constructies

- Levensduur verlenging en beter benutten infrastructuur.
- >1500 km aan kademuren in NL

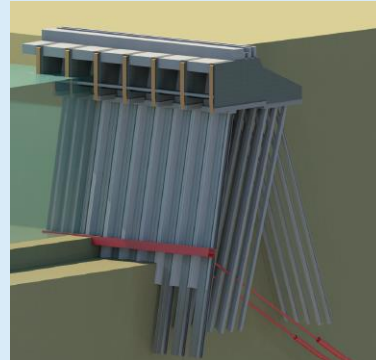


CO₂ Footprint Quay Wall
≈ 50 ton CO₂ per m¹



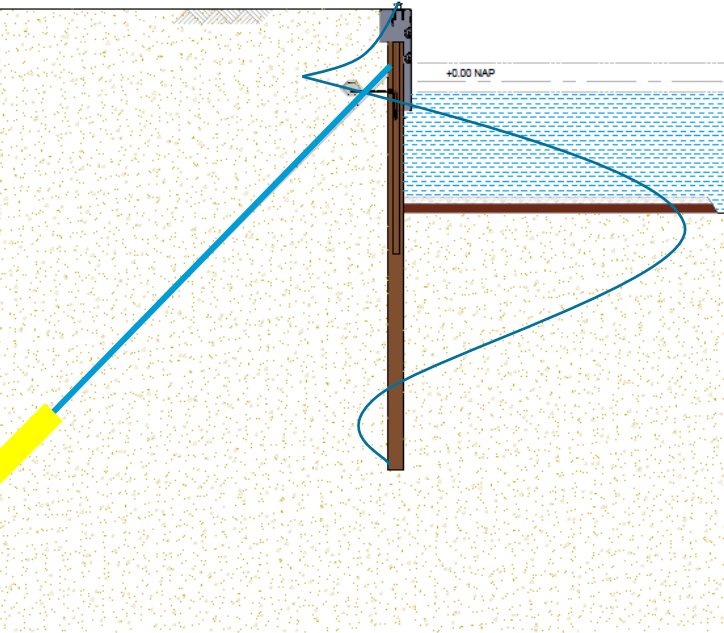
Nieuwe maritieme constructies

- 2023 - @2035@ => **Upgradeable / adaptief**
- @2035@ - 2050 => **Circulair / modulair / “groen”**



1^e onderwaterankers in Rotterdam

Hoe werkt het?



Levensduur verlenging bestaande kades en damwanden

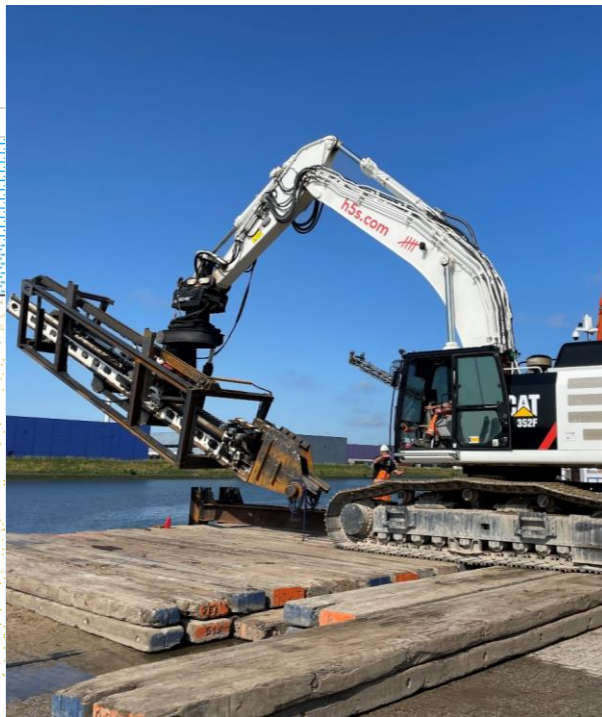
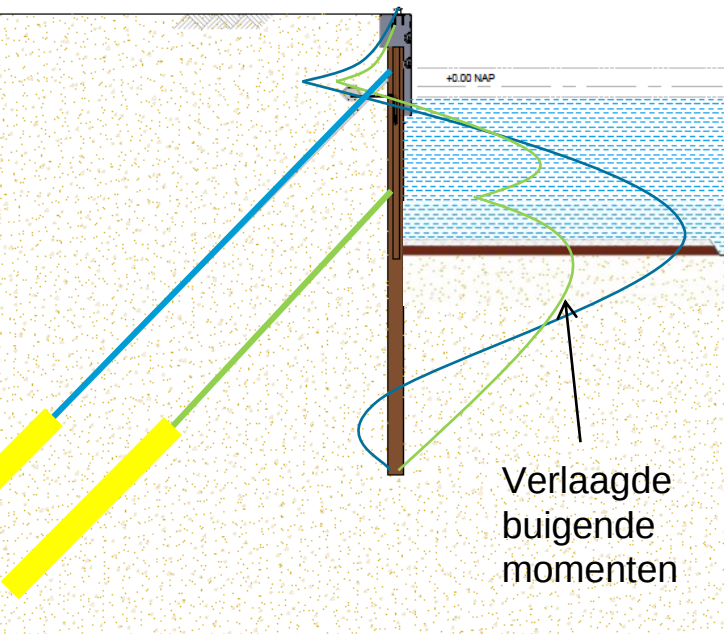
- Mitigatie van corrosie/degradatie.
- Optimaliseren functionaliteit (verdiepen of grotere belasting)

OF

- Optimaliseren carbon footprint nieuwe kademuren

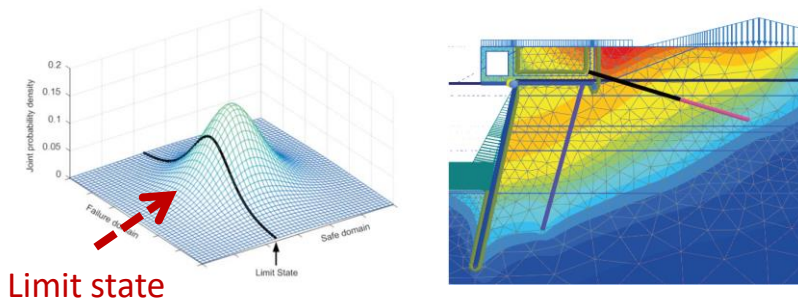
1^e onderwaterrankers in Rotterdam

Hoe werkt het?

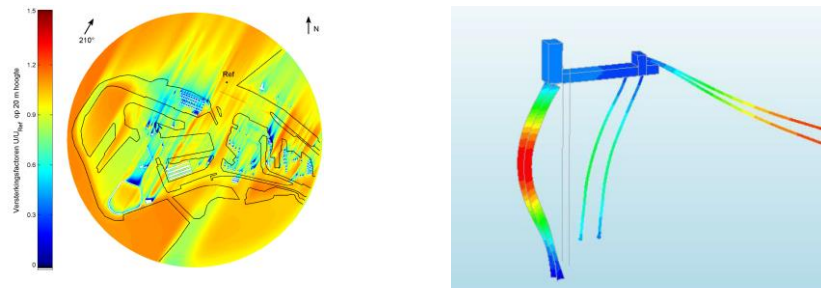


Trends bij het ontwerpen/toetsen van kademuren

1) Faalkansanalyse / risico gestuurd toetsen



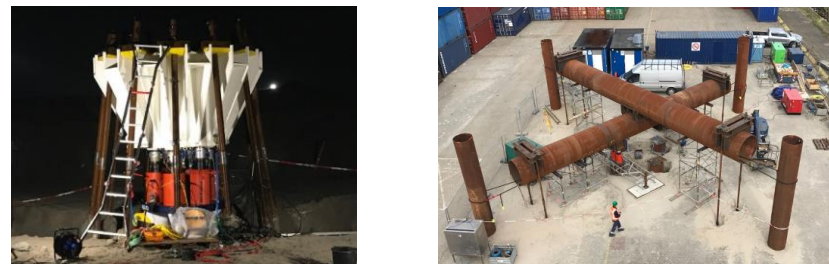
2) Geavanceerd modelleren & nieuwe methodes



4) Sensoren & digitaliseren



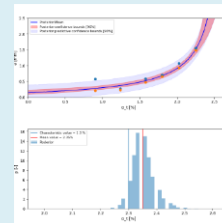
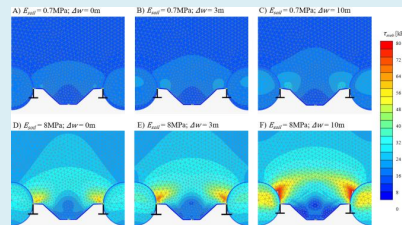
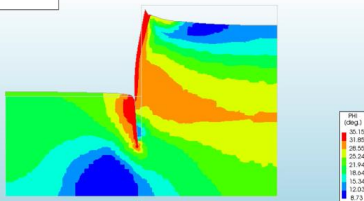
3) Full scale field tests / stress testing



Introductie Camille Habets

- Waterbouwkundig ingenieur bij Royal HaskoningDHV
- Havenbouw / maritieme constructies
- Thema's en interesses
 - Geotechnisch en constructief ontwerp
 - Aardbevingsontwerp → PIANC WG225
 - Uitvoering
 - **Levensduurverlenging**
 - Onderzoek en innovatie

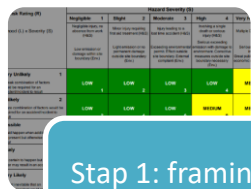
Model: V1
Phase: 2: Loadstep 4b: Loadfactor 230.00; toolcode
Plan: parameter 00
min: 0.73deg; max: 35.15deg



Technical drawing of a canal cross-section and plan view. The plan view shows a long canal with three sections labeled 'Ligplaats 1', 'Ligplaats 2', and 'Ligplaats 3'. Dimensions are given in meters (m) and feet (ft). Elevation points are marked along the canal bed and banks. A north arrow is present in the top right corner.

Case study: verdieping diepzeekade

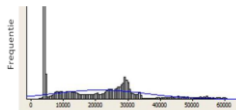
Een risico-gestuurde aanpak



Stap 1: framing
Brede eerste
risicoanalyse



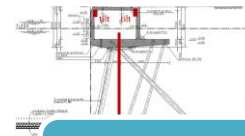
Stap 2: verkenning
Archiefonderzoek
en verkennende
berekeningen



Stap 3: onderzoek
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek



Stap 4: uitwerking
Verfijnde
berekeningen o.b.v.
nieuwe informatie



Stap 5: beheersing
Restrisico's en
monitoringsplan

Case study: verdieping diepzeekade



A screenshot of a risk analysis table. The table has columns for 'Risico', 'Bepaling', 'Maatregelen', and 'Risico'. The first row is highlighted in green, and the second row is highlighted in yellow.

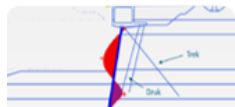
Stap 1: framing

Brede eerste
risicoanalyse

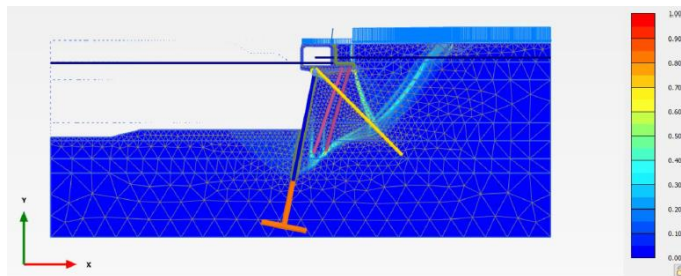
Toprisico: kade buiten bedrijf

- Overbelasting fundering en bovenbouw kadeconstructie
- Te grote vervormingen (kraanbanen en verharding)
- Vertraging uitvoering

Case study: verdieping diepzeekade



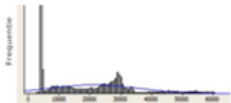
Stap 2: verkenning
Archiefonderzoek
en verkennende
berekeningen



Herberekening representatieve doorsnede

- EEM berekening met oorspronkelijke veiligheidsfilosofie
- EEM berekening met huidige veiligheidsfilosofie
- Lokalisering kritische constructieonderdelen bij belastingverhoging
 - Capaciteit combi-wand en MV-palen
 - Opbarsten passieve wig

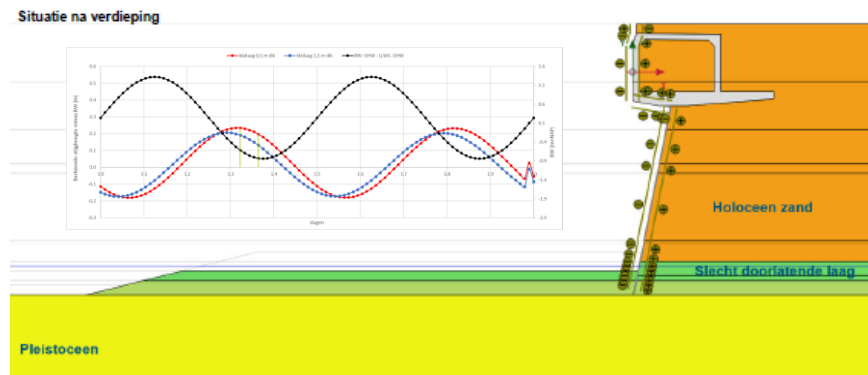
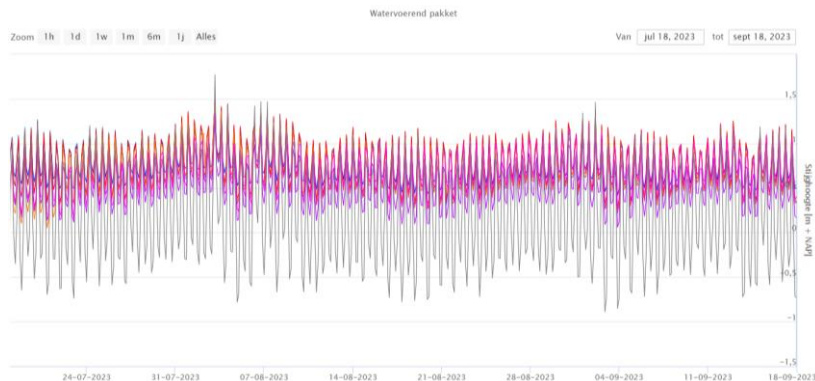
Case study: verdieping diepzeekade



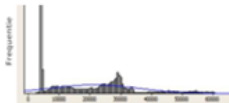
Stap 3: onderzoek
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. opbarstrisico passieve wig (stijghoogteverschil)

- Grondwaterstanden: peilbuismetingen en geohydrologische modellering



Case study: verdieping diepzeekade

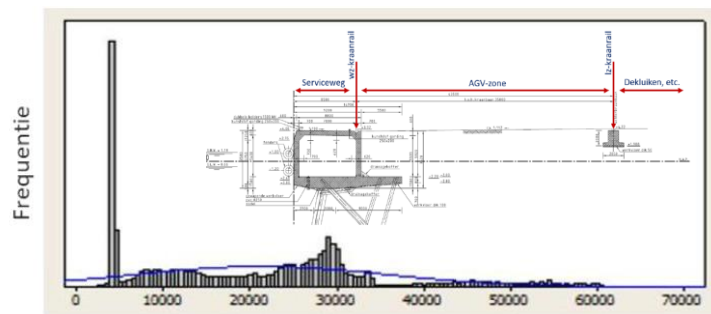


Stap 3: onderzoek

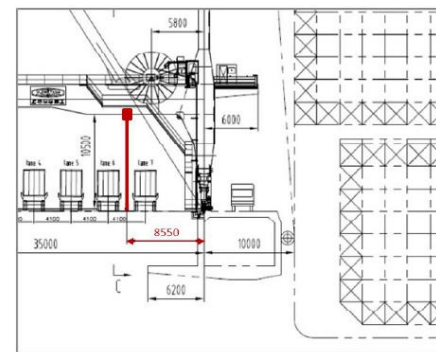
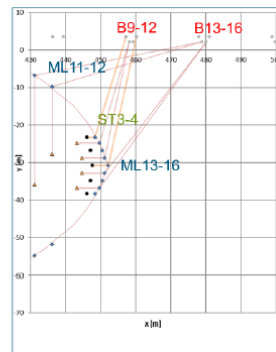
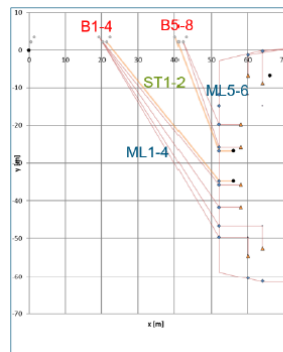
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. risico op overbelasting / vervormingen

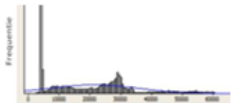
- Belastingen: daadwerkelijk gebruik



Belasting op AGV (kg)



Case study: verdieping diepzeekade

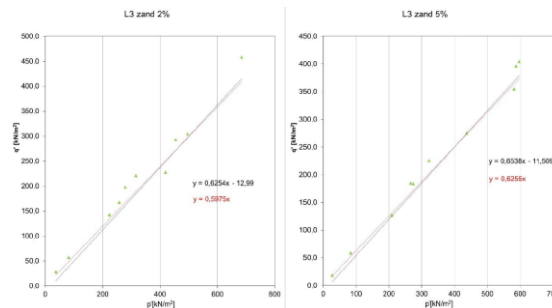
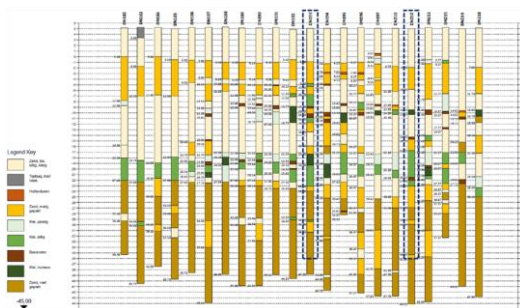


Stap 3: onderzoek

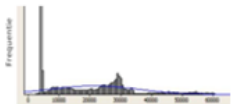
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. risico op overbelasting / vervormingen

- Rekafhankelijke grondparameters: gebied-specifieke literatuur en additioneel grondonderzoek (CPTs + groot aantal triaxiaalproeven)



Case study: verdieping diepzeekade



Stap 3: onderzoek
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. risico op overbelasting / vervormingen

- Wanddiktemetingen + gedetailleerd as-built onderzoek combiwand

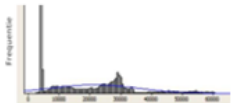
Diepte
maatgevende
krachtswerking

Locatie:	Amazonehaven	Duiker:	D. Dekker
Bolider 52	ECT Fase 1B	Datum:	26-05-20
Ultrason wanddiktemetingen combiwand			
Niveau	Buispost (1)	Kas (2)	Buis (3)
-4,00	12,5	13,7	13,1
	12,9	-	13,0
	15,0	13,5	13,8
-8,30	14,7	13,7	13,9
	14,3	13,7	13,0
	14,9	13,7	13,2
-13,00	15,0	14,0	13,3
	15,1	13,8	13,1
	15,0	13,8	13,1
3,00m boven de bodem	14,9	13,6	13,0
	14,9	13,8	13,1
	13,8	13,7	12,9
	15,0	12,8	12,9
1,50m boven de bodem	14,9	13,3	12,8
	15,0	13,0	12,9
0,30m boven de bodem	16,0	12,8	12,6
	14,5	12,8	12,6
	14,5	12,7	12,6

Locatie:	Amazonehaven	Duiker:	D. Dekker
Bolider 42	ECT Fase 1B	Datum:	26-05-20
Ultrason wanddiktemetingen combiwand			
Niveau	Buispost (1)	Kas (2)	Buis (3)
-4,00	13,5	13,2	14,0
	13,5	13,2	14,0
	13,2	13,3	14,0
-8,30	14,3	13,1	13,9
	15,5	13,1	13,8
	14,6	13,2	13,8
-13,00	15,1	13,2	13,8
	15,1	13,1	13,8
	15,2	13,2	13,8
3,00m boven de bodem	15,1	13,4	13,7
	15,3	13,5	14,6
	15,2	13,5	13,7
	14,8	13,7	14,0
1,50m boven de bodem	15,1	13,6	13,7
	14,9	13,8	-
0,30m boven de bodem	14,7	13,9	14,0
	15,0	13,8	13,9
	14,9	13,8	14,0

Locatie:	Amazonehaven	Duiker:	D. Dekker
Bolider 72	ECT Fase 1B	Datum:	26-05-20
Ultrason wanddiktemetingen combiwand			
Niveau	Buispost (1)	Kas (2)	Buis (3)
-4,00	15,5	13,2	13,5
	15,4	13,2	13,5
	14,7	13,2	13,4
-8,30	15,3	13,2	13,4
	14,8	13,2	13,5
	14,5	13,2	13,7
-13,00	13,9	-	13,5
	14,5	-	13,8
	14,5	-	13,7
3,00m boven de bodem	15,2	13,3	12,9
	15,1	13,4	13,3
	15,2	13,2	13,6
	14,7	13,1	13,4
1,50m boven de bodem	14,7	13,2	13,6
	14,8	13,2	13,4
0,30m boven de bodem	15,2	13,7	13,0
	15,2	13,5	13,3
	14,9	13,3	13,4

Case study: verdieping diepzeekade

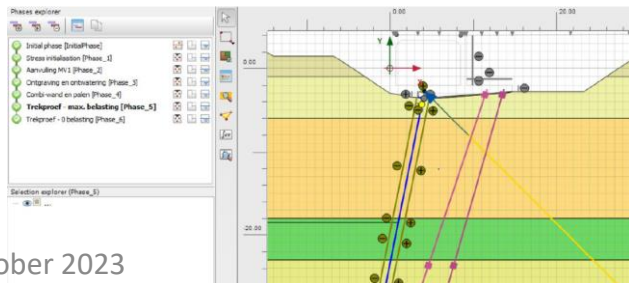


Stap 3: onderzoek

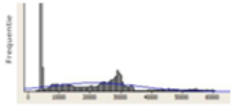
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. risico op overbelasting / vervormingen

- Toepassing resultaten paalproefprogramma's HbR
 - Geotechnische capaciteit MV-palen $\rightarrow +10\%$
 - Geotechnische capaciteit betonpalen $\rightarrow +25\%$



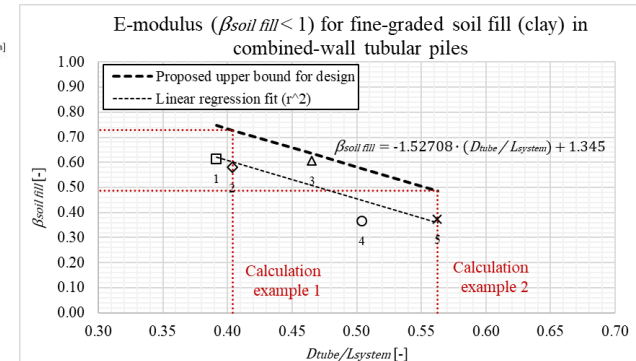
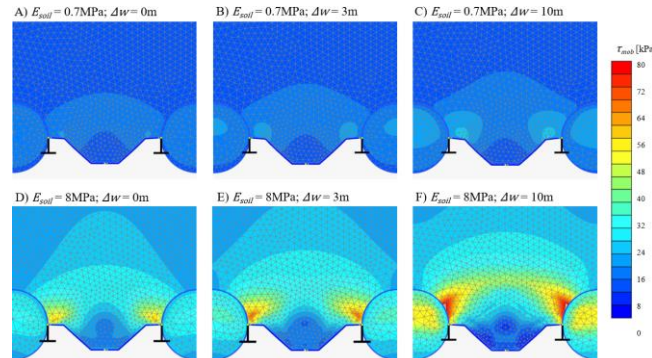
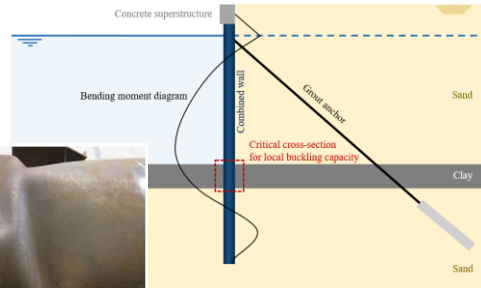
Case study: verdieping diepzeekade



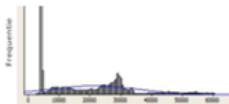
Stap 3: onderzoek
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Onderzoek t.a.v. risico op overbelasting / vervormingen

- Parallel onderzoek plooiweerstand van kleigevulde buispalen
- Nieuwe plooi controle kleigevulde buispalen combiwand → capaciteit kritische doorsnede +5%



Case study: verdieping diepzeekade



Stap 3: onderzoek

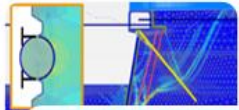
Additioneel risico-
gestuurd onderzoek

Veiligheidsfilosofie

- Projects specifieke keuzes op basis van bestaande inzichten in gedrag van maritieme constructies en resultaten gevoeligheidsanalyses
- Overkoepelend principe: CC1 voor renovatie van een bestaande constructie (NEN8707)
- Extra veiligheid op bovenbelasting, effectieve cohesie en 'BGT-vangnet'

Norm	Partiële veiligheidsfactoren				
	NEN9997-1 met CUR211 ^E		NEN8700/8707 (verbouw)		
Parameter	RC1	RC2	RC1	RC2	Keuze
Ontwerplevensduur					
Referentieperiode / restlevensduur	50 jaar		Minimaal 15 jaar met een aanbeveling van 30 jaar		
Betrouwbaarheidsindex β (-)	3,3	3,8	2,8	3,3 (3,1)	
Belastingfactoren (A1 en A2)					
Belastingfactor ontlastvloer (A1) – permanent	1,1	1,2	1,05	1,15	1,05
Belastingfactor ontlastvloer (A1) – variabel (verticaal)	1,35	1,5	1,10	1,30	1,10
Belastingfactor ontlastvloer (A1) – variabel (horizontaal)	1,2	1,3	Niet expliciet gedefinieerd		1,20
Belastingfactor terrein (A2)	1,0	1,1	1,0	1,0 (1,0)	1,10
Materiaalfactoren (M2) – damwandberekening ontlastvloerconstructie					
Tangens hoek van inwendige wrijving	1,2	1,25	1,15	1,2 (1,15)	1,15
Effectieve cohesie	1,3	1,45	1,15	1,3 (1,25)	1,30
Volumiek gewicht	1,0	1,0	1,0	1,00 (1,0)	1,00
Materiaalfactoren (M2) – algehele stabiliteit					
Tangens hoek van inwendige wrijving	1,2	1,25	1,15	1,2 (1,15)	1,20 (met 1,00 belastingfactor terrein)
Effectieve cohesie	1,3	1,45	1,15	1,3 (1,25)	1,30 (met 1,00 belastingfactor terrein)
Volumiek gewicht	1,0	1,0	1,0	1,0 (1,0)	1,00 (met 1,00 belastingfactor terrein)

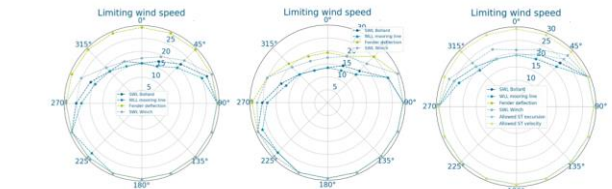
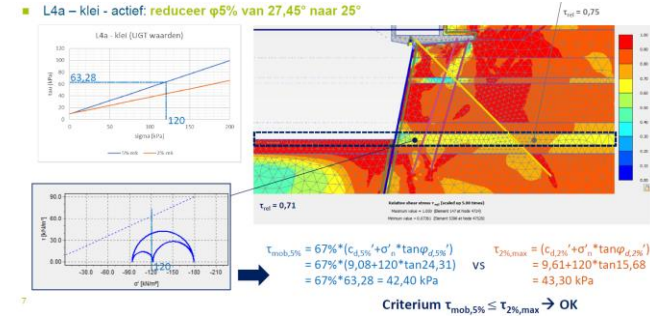
Case study: verdieping diepzeekade



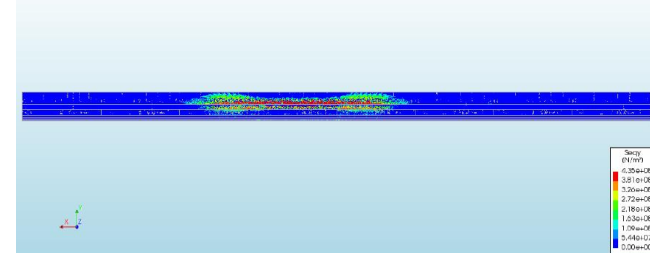
Stap 4: uitwerking
Verfijnde
berekeningen o.b.v.
nieuwe informatie

Gedetailleerde analyses o.b.v. onderzoeksdata

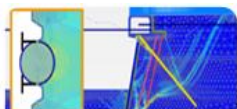
- Risico-gestuurde optimalisatie van belastingen, materiaaleigenschappen en veiligheidsfilosofie
 - Risico-gestuurde sensitiviteitsberekeningen (EEM) op representatieve doorsnede
 - Non-lineaire EEM berekening bovenbouw
 - Dynamic Mooring Analysis
- Geautomatiseerde EEM herberekening van alle (10+) doorsneden na vaststellen TPvE



Armborst
Theorie: Haarbeest (Load step 73, Load factor 24.90)
NewForman: Categorie: Total Stress: Safety
min: 4.25e+00 (min: max: 4.35e+00) (s)



Case study: verdieping diepzeekade

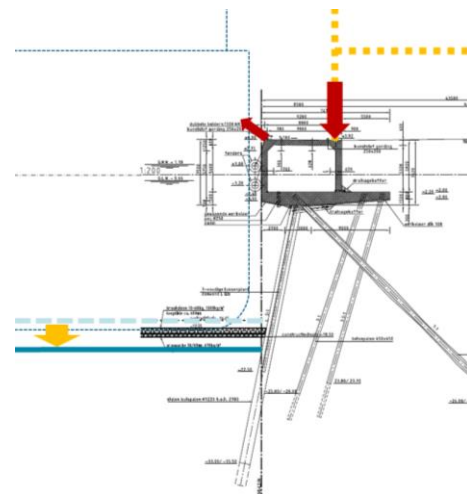


Stap 4: uitwerking

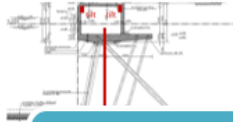
Verfijnde
berekeningen o.b.v.
nieuwe informatie

Eindresultaat

- Zonder ingrepen aan de kadeconstructie is een verdieping van ca. 1,8m NGD mogelijk!
 - 25% zwaardere kraan is mogelijk op de kade
 - Levensduurverlenging tot 2050
 - Ca. 25,000t CO2 besparing + grote reductie uitvoeringstijd t.o.v. nieuwe kademuur
 - Beperkte resterende ingrepen:
 - Verdieping: baggerwerk + nieuwe (geoptimaliseerde) bodembescherming
 - Inpassing (slimme) 300T bolders + ShoreTension® (nu 150T bolders)
 - Inpassing tie down constructies / stormvergrendelingen nieuwe kranen
- Restrisico's vastgesteld die beheerst dienen te worden.



Case study: verdieping diepzeekade

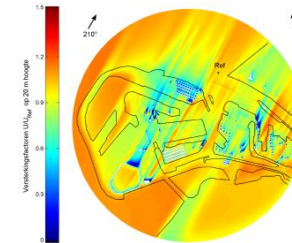
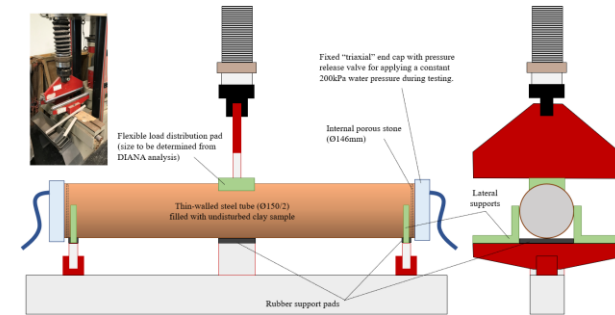
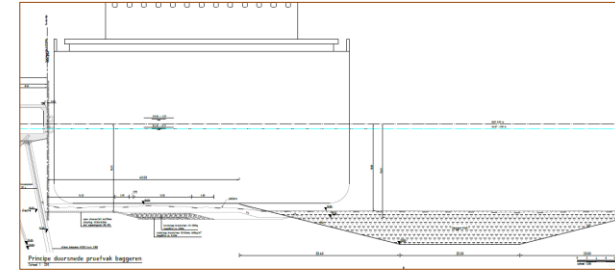


Stap 5: beheersing

Restrisico's en
monitoringsplan

Beheersing restrisico's

- Monitoring voor, tijdens en na verdieping
 - Waterstanden (buiten, freatisch, pleistoceen)
 - XYZ metingen bovenbouw + SAAF-metingen buispalen
 - Belastingen
 - Peilingen
- Baggeren geul t.b.v. beheersing stijghoogte passieve wig
- Verificatie-experiment nieuwe plooi controle
- Optimalisatie kraanontwerp en -belasting o.b.v. windmodellering HbR + windtunneltesten leverancier



Vragen?

