

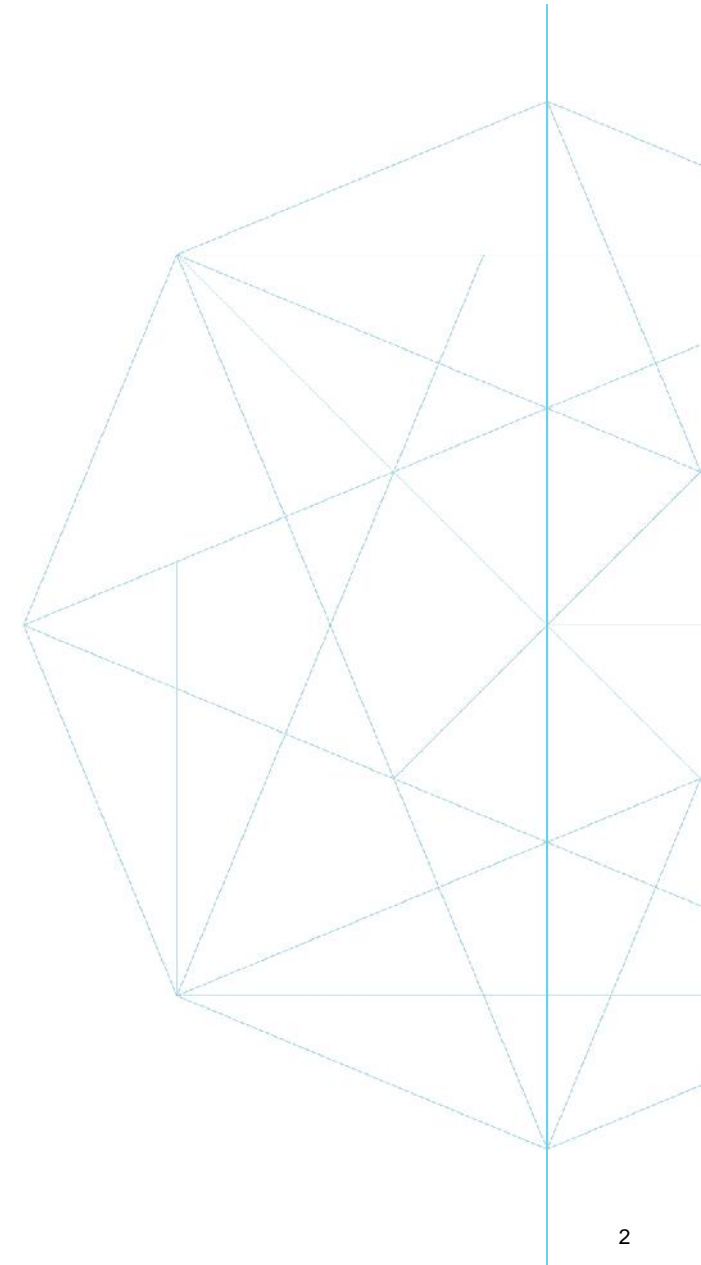
Lekdijk Kinderdijk - Schoonhovenseveer

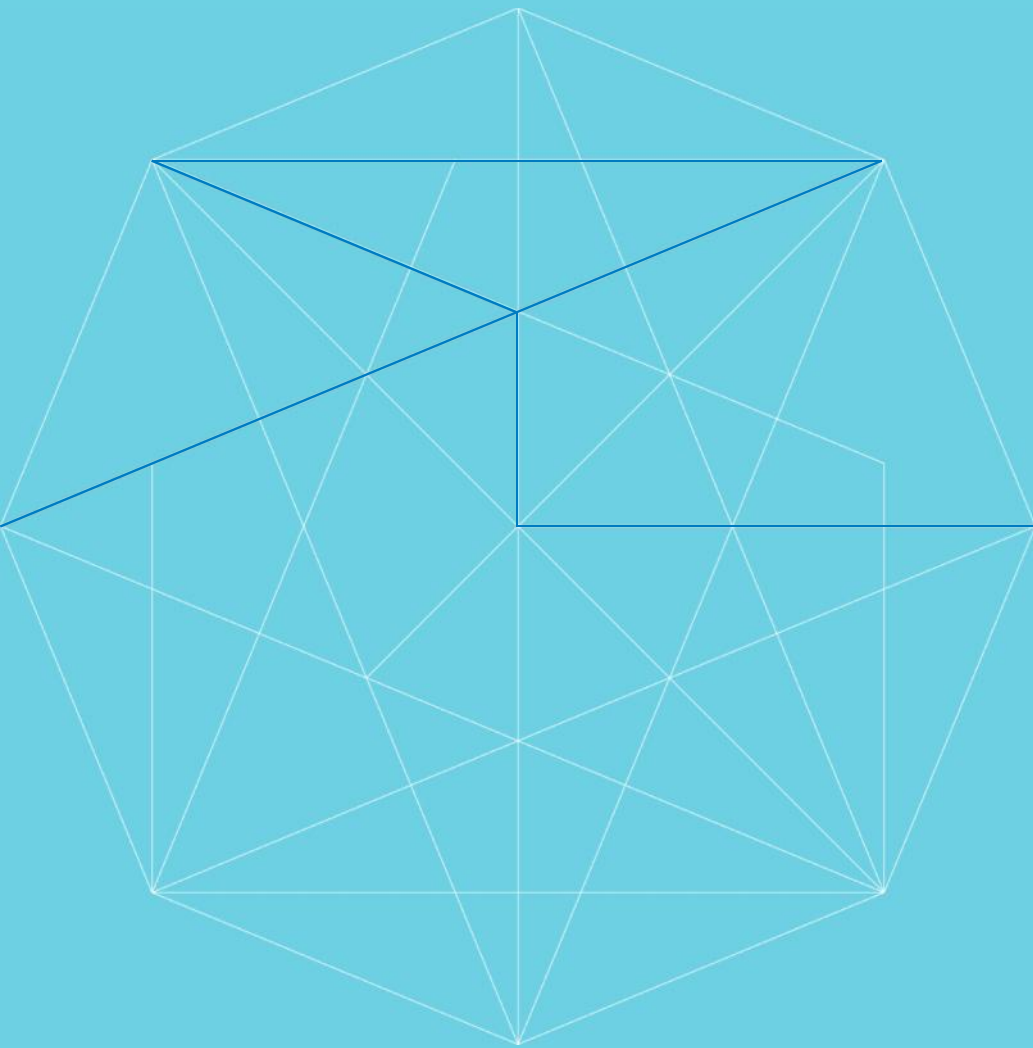
Dijkversterking met behulp van
constructieve elementen

Vasco Veenbergen - ABT

Inleiding

- project dijkversterking Kinderdijk – Schoonhovenseveer (KIS)
- vergelijking analytische modellen – Plaxis
- steunbermen en paalfunderingen
- verankerde palenwand – (stabiliteitsschermb)
- onverankerde diepwand – (zelfstandig kerend scherm)
- van theorie naar praktijk





Project KIS in vogelvlucht

Dijkversterking KIS

Project: 17,5 km dijk tussen Kinderdijk en Schoonhovenseveer
Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland
Opdrachtnemer: Combinatie Dijkverbetering Molenwaard
Aanneemsom: ruim €59 miljoen

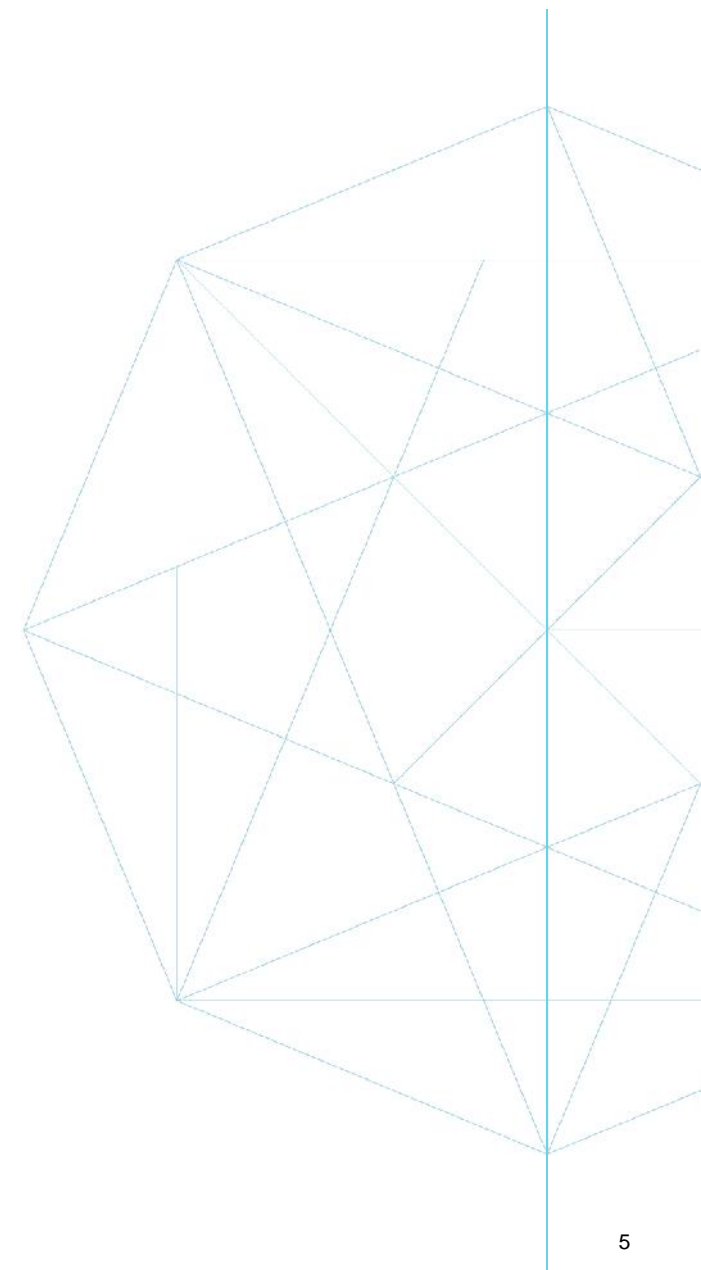


Dijkversterking KIS

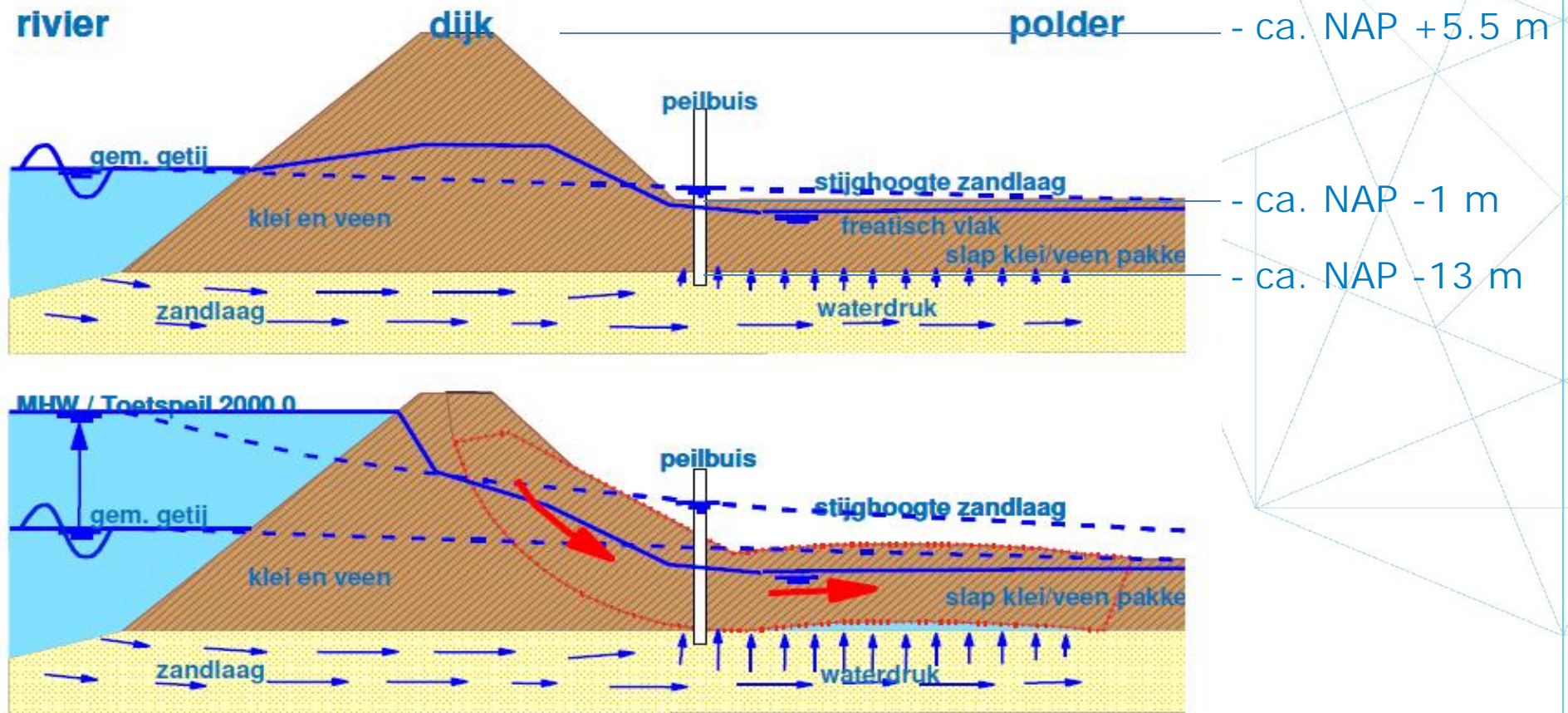
Van de 17,5 km voldoet 10 km niet aan de veiligheidsnorm



ABT / bouwen aan ambities / KIS – constructieve elementen in dijken



Probleem: binnenwaartse macrostabiliteit



Verschillende werkzaamheden

Overal waar het kan:

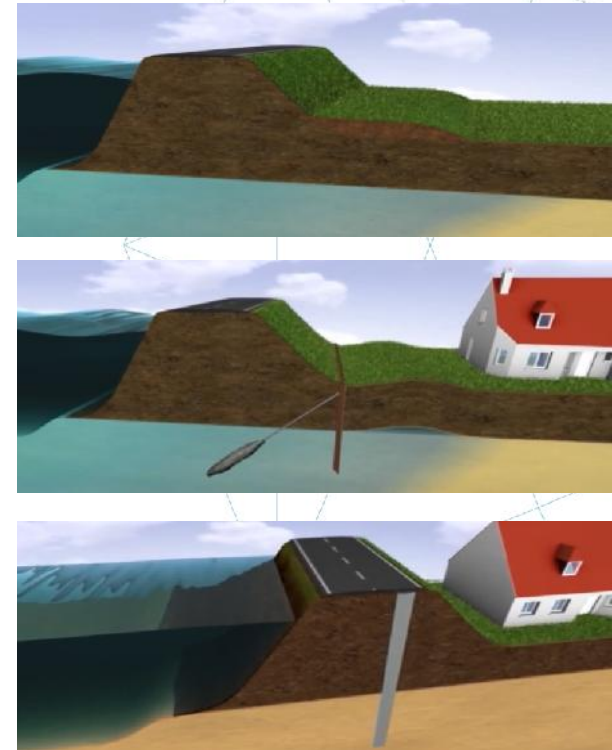
- Steunbermen
- Hoofdzakelijk binnendijks, maar ook buitendijks

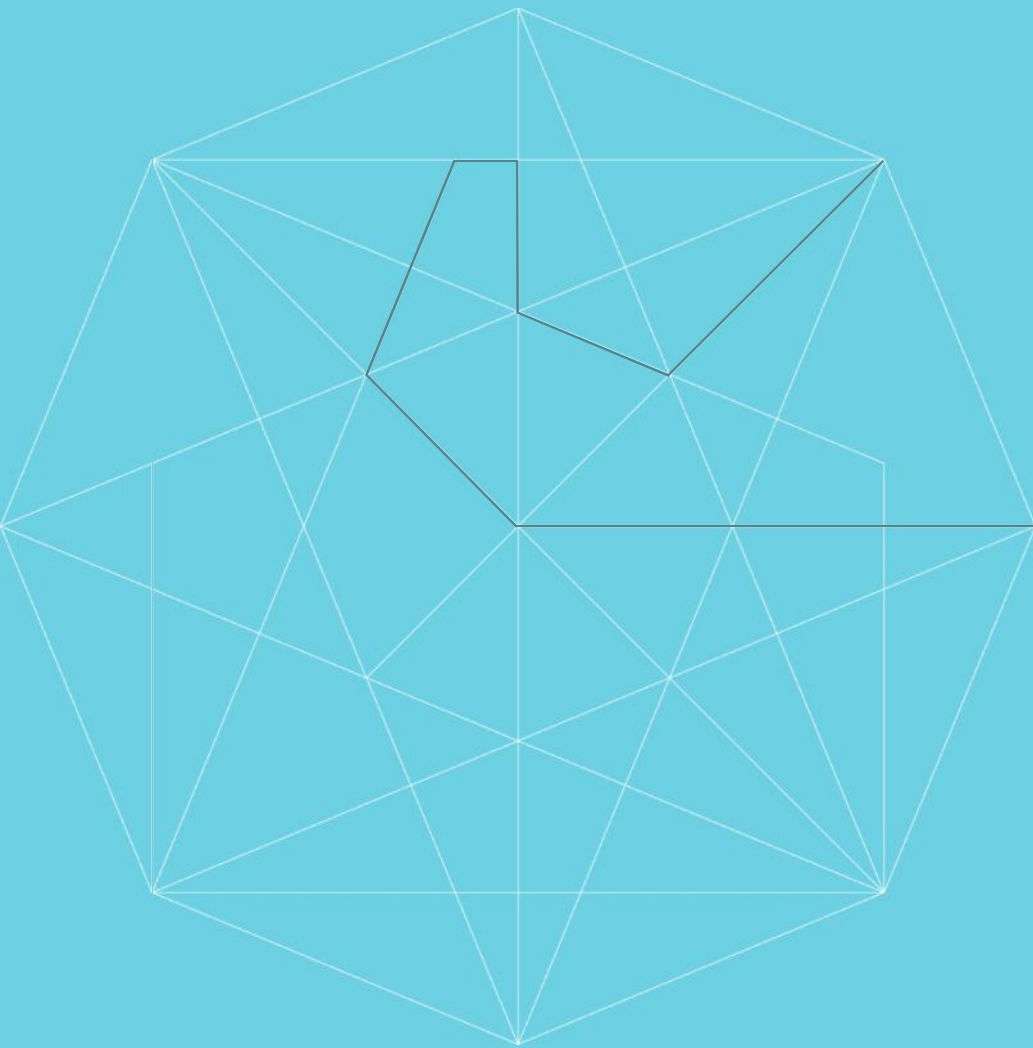
Daar waar het moet:

- Verankerde boorpalenwand
- Nog steeds opdrijven, maar dijk is stabiel
- $\varnothing 1,07$ m – h.o.h. 2,14 m → tussenruimte!

Of als er nog minder ruimte is:

- Onverankerde diepwand
- D=800 mm





Steunbermen in relatie tot
paalfunderingen

De grenzen verlegd.....

Bestaande paalfunderingen zijn ook een constructie in de dijk.

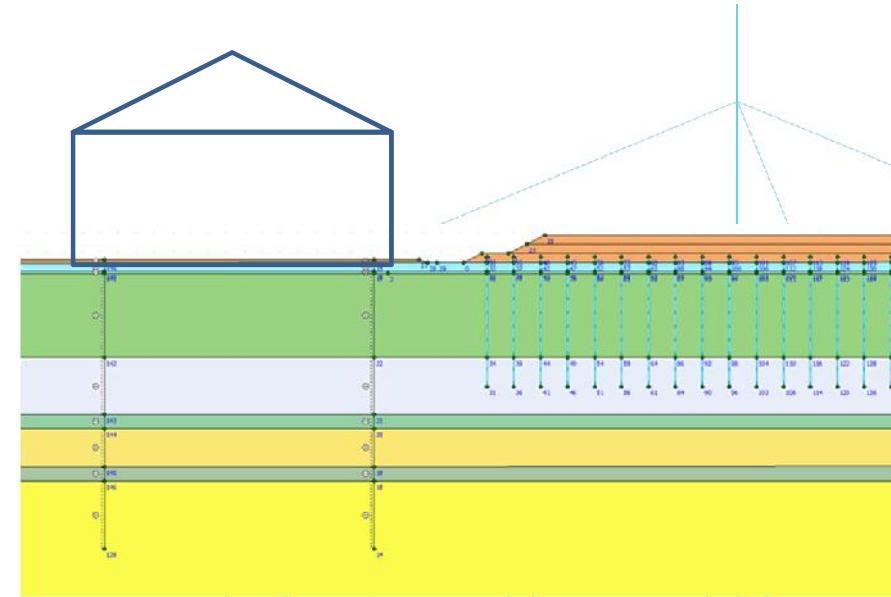
Nieuwe berekeningsopzet voor effect steunberm op palen:

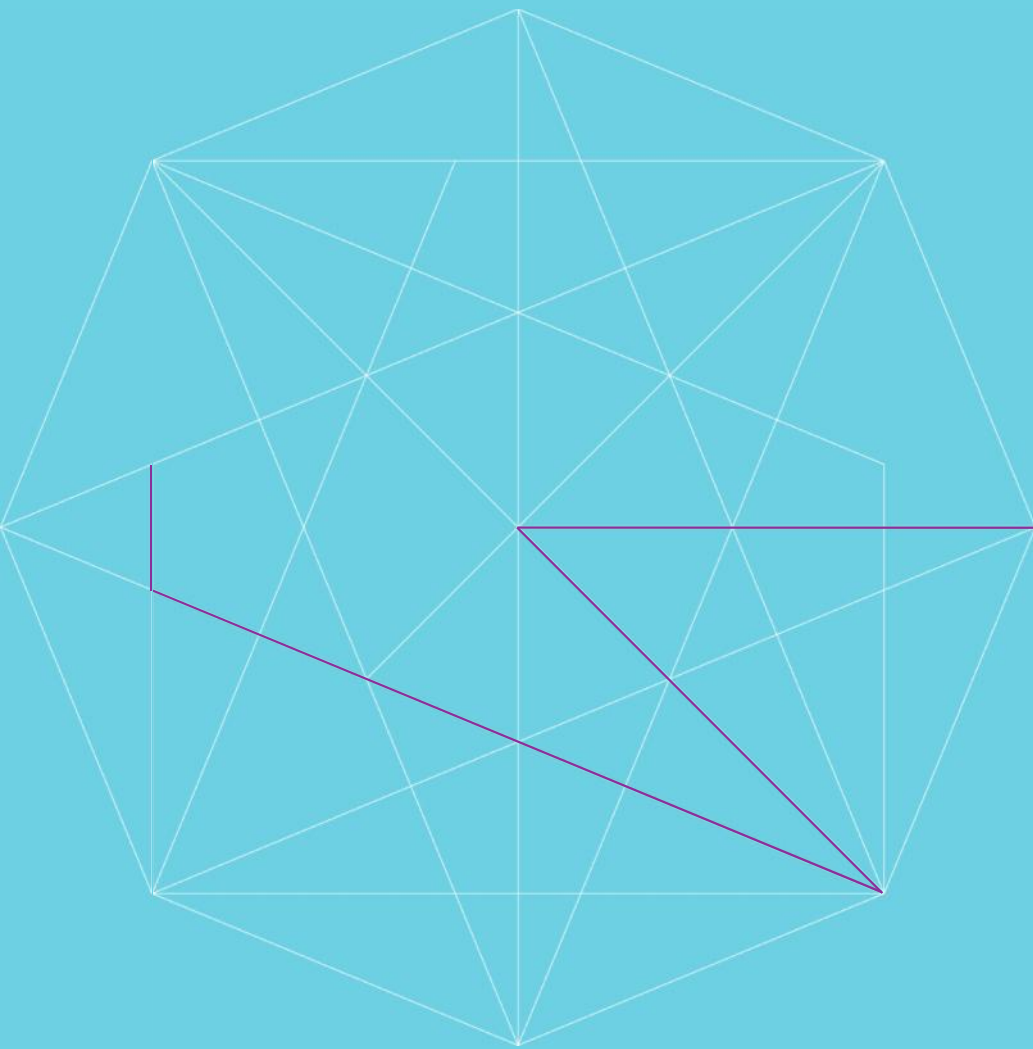
- bepalen uitgangssituatie (door opgraving)
- rekenen met kruip/relaxatie paalmateriaal
- rekenen met 2^e orde effecten
- accepteren scheurvorming in betonpalen
- verstevigen balkenrooster indien nodig
- duidelijke interactie tussen constructeur en geotechnieut

Resultaat:

Toelaatbare verplaatsing van centimeters naar decimeters

Veel minder mitigerende maatregelen nodig (die niemand wilde)!





Relatie D-GeoStability en Plaxis

IJken "groene dijk" (= huidige situatie met MHW)

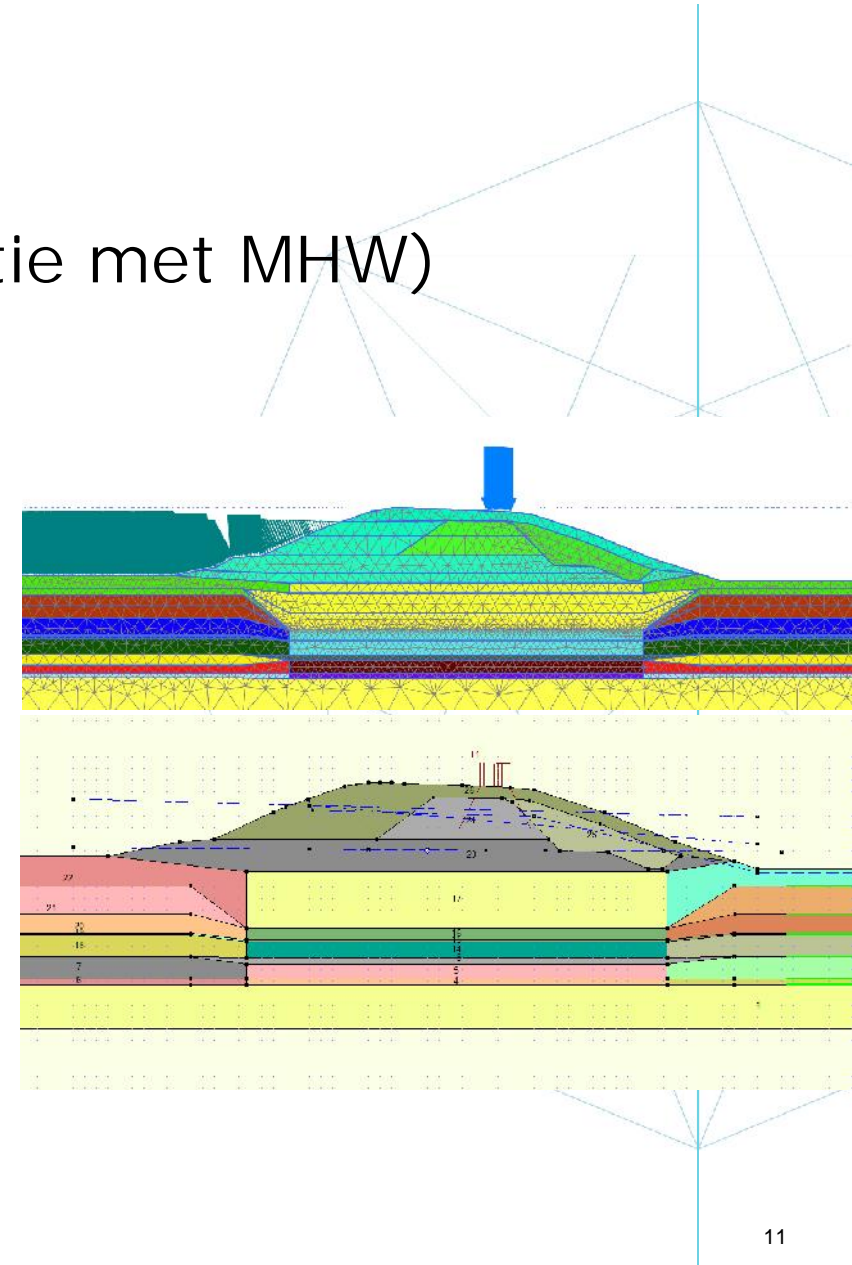
Doel ijking: controle Plaxis aan "vertrouwde" D-GeoStability

Eis:

- Zelfde maatgevende bezwijkmechanisme,
- Zelfde veiligheid (+/- 10%)
- Ongeveer zelfde ligging glijvlak.

Huidige rekenkundige veiligheid < 1,0:

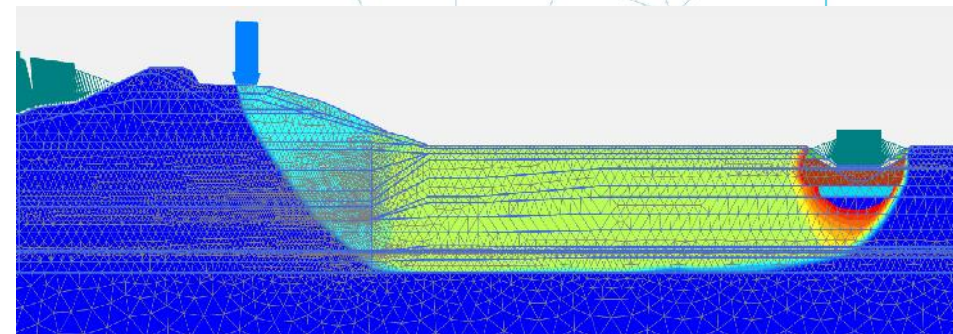
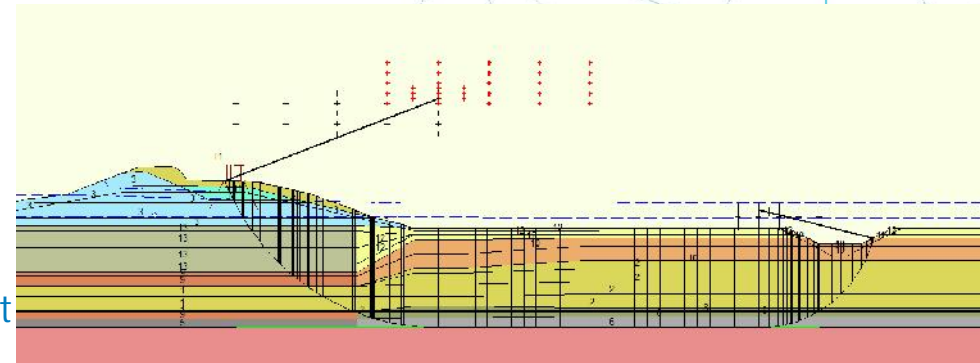
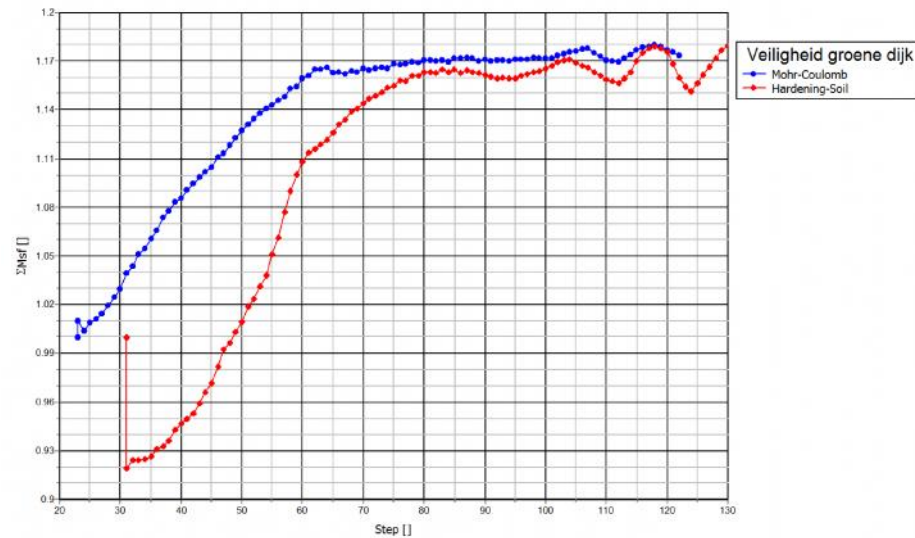
- D-GeoStability: rekenproces verloopt normaal → $\gamma_n = 0,xx$
- Plaxis: MStage < 1 → geen berekening mogelijk
- Oplossing: schaalfactor γ_s op c en ϕ en vervolgens behaalde veiligheid delen door γ_s

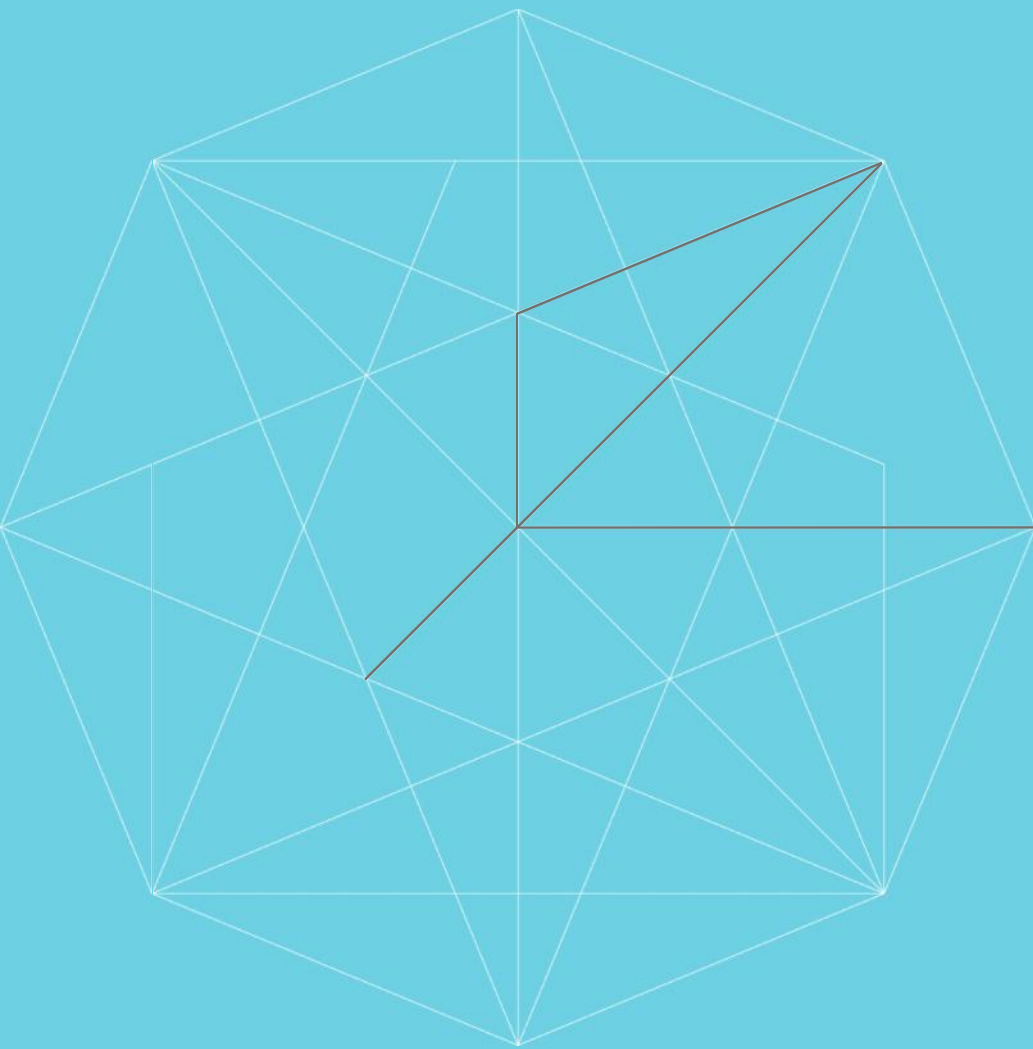


Vergelijking D-GeoStability vs Plaxis-HS

Resultaten - ervaring:

- Steeds goede fit:
- Verschil in veiligheid gemiddeld rond 5%
- Glijvlak loopt in Plaxis meestal wat flauwer op
- Wel een duidelijk verschil in uitkomst? → dan invoerfout
- Rekenmodel Mohr-Coulomb geeft zelfde resultaat





Verankerde palenwand

Verankerde palenwand

Berekeningsmethodiek KIS grotendeels voorgeschreven:

- Sterkte en stijfheidsparameters
- Verloop grondwaterstand en stijghoogte
- Autonome zakking kruin/achterland
- Rekenfases Plaxis-berekening:
 - U1x = opbouwen spanningen tot huidige situatie
 - U2x = aanbrengen palenwand en belastingen (autonome zakking, MHW en verkeersbelasting)
 - U3x = sterktereducties vanuit representatieve grondsterkteparameters en rekenwaarden van sterkteparameters

Richtlijn kent echter ook een paar open eindjes.....



fase	omschrijving	type
U1	a Initiële fase: bouw het oorspronkelijke grondlichaam op zonder eigen gewicht, met een horizontale freatische lijn gelijk aan het polderpeil (PL0)	gedraineerd
	b Breng het eigen gewicht van het oorspronkelijke grondlichaam aan.	gedraineerd
	c Breng de freatische lijn onder <u>normale omstandigheden</u> (PL1), inclusief eventuele opbolling, in alle grondlagen aan.	gedraineerd
U2	a Breng in de watervoerende laag en indringingslaag de potentiaal onder <u>normale omstandigheden</u> (PL3) aan. Waterspanning boven indringingslaag tussen PL1 en PL3 interpoleren.	gedraineerd
	b Activeer de constructieve elementen (damwand, verankering). Deactiveer een eventueel instabiel binnentalud (zie paragraaf 4.3.3).	gedraineerd
	c Breng buitenwaterstand (MHW) aan en breng de freatische lijn bij MHW (PL2) aan. Breng in de watervoerende laag de (opdrif)potentiaal onder <u>extreme omstandigheden</u> (PL4), dus bij optreden MHW, aan. Waterspanning in indringingslaag tussen PL3 (bovenkant) en PL4 interpoleren, en waterspanning boven indringingslaag tussen PL2 en PL3 interpoleren.	Gedraineerd
	d Breng de bovenbelasting op grondlichaam aan (verkeersbelasting).	Ongedraineerd
U3	a Voer de sterkte-reductie berekening met parametersets M1 uit.	Ongedraineerd
	b Wissel van niet-associatieve (M1) naar associatieve parametersets (M2).	Gedraineerd
	c Voer de sterkte-reductie berekening met parametersets M2 uit.	Gedraineerd

Zakkende grond op ankers

De dijk zakt in huidige situatie gemiddeld ca. 0,01 m / jaar richting achterland.

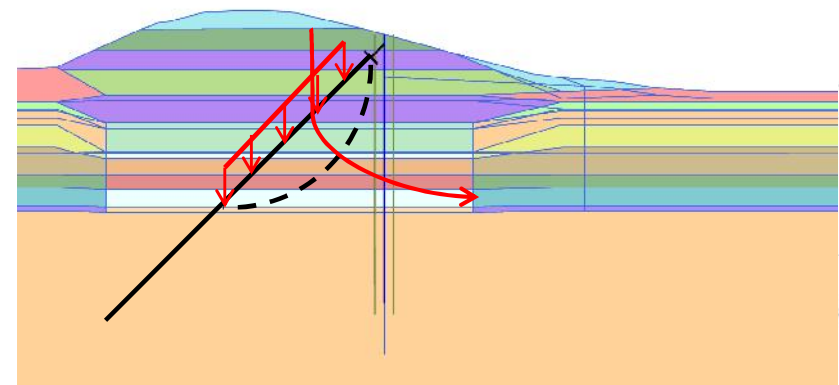
Anker is ligger op 2 steunpunten → paal is zettingsvrij element

De grond gaat dan aan de ankerstaaf "hangen" → niet te verwaarlozen kracht!

Palenwand reduceert horizontale vervorming richting achterland en daarmee de kruinzakking van 0,01 m /jaar.

2 dominante parameters:

- Diameter ankerstaaf → strengankers toegepast
- Grootte van de zakking → Plaxis3D
(de palenwand is geen doorgaand scherm)

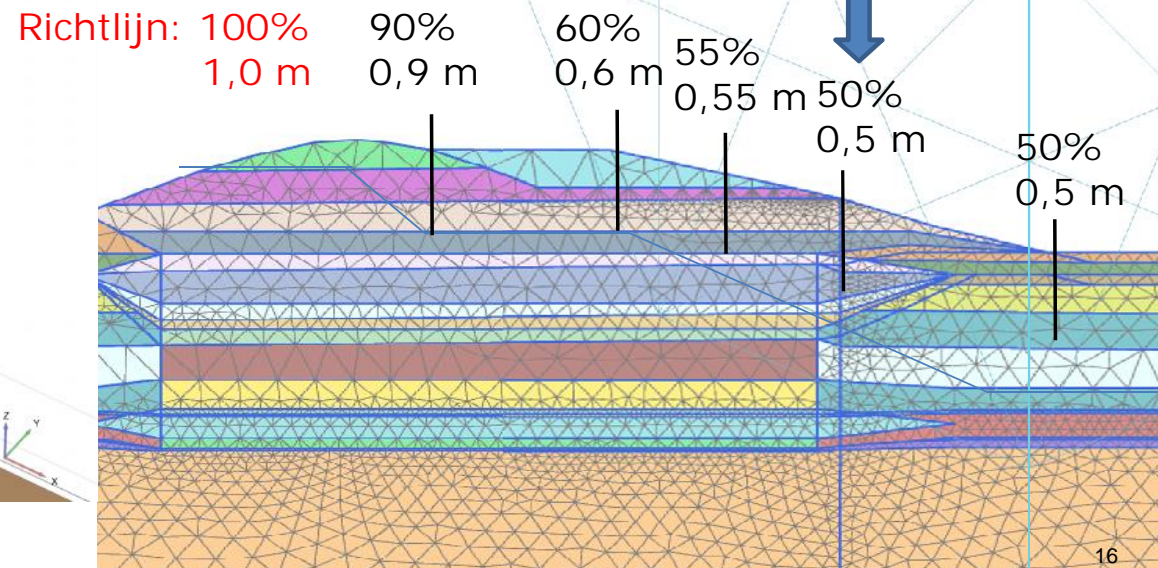
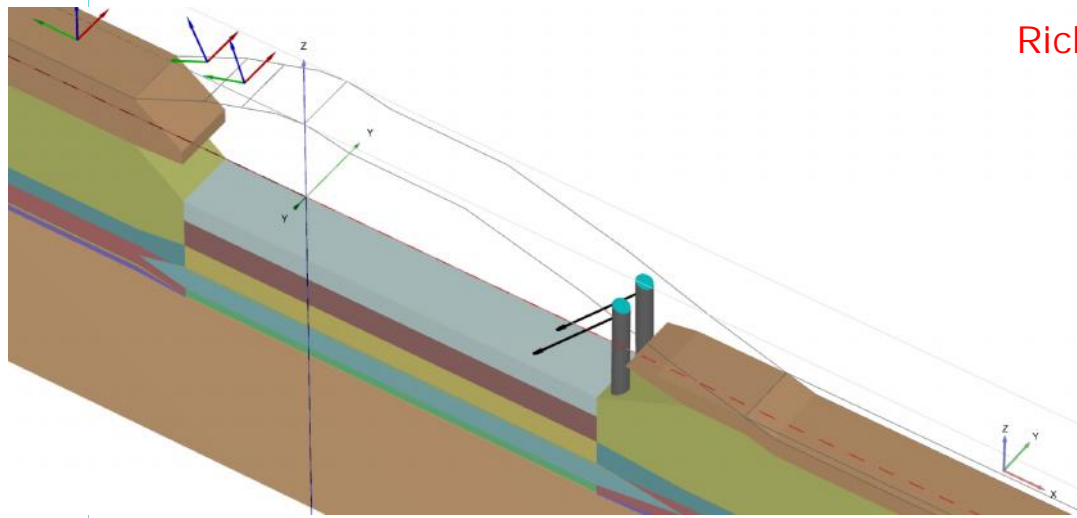


Zakkende grond op ankers - Plaxis3D

Middels Plaxis3D analyses positieve effect op vermindering kruinzakking aangetoond.

Twee berekeningen uitgevoerd:

1. Situatie over 100 jaar zonder wand
(kruinzakking en zakking achterland gekalibreerd = 1 m / 100 jaar = 100%)
2. Situatie met palenwand → verschil in zakking over ankerstaaf leidt tot reductiefactor



Zakkende grond op ankers - ankerkop

Aansluiting ankers op gording:

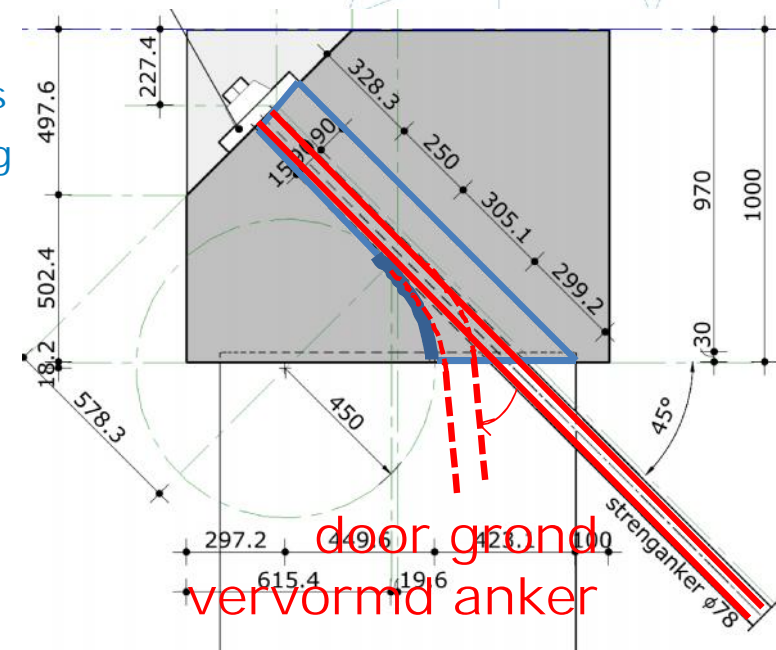
- Ingekleemde staaf in gording breekt als ankerstaaf wil doorbuigen (praktijkervaring).
- Grootte zakking is onzeker → robuuste oplossing nodig

Oplossing:

- Instortvoorziening met begrenzing kromming volgens leverancier: "de toeter" → ankerstaaf volgt kromming



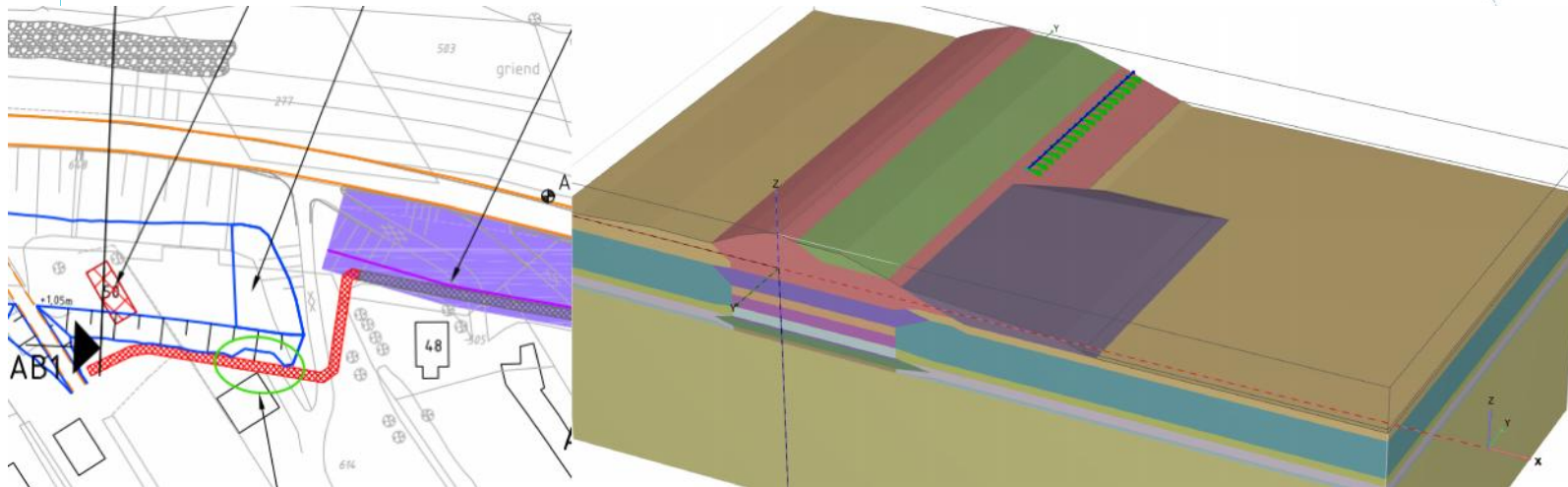
ABT / bouwen aan ambities / KIS – constructieve elementen in dijken



Randpalen en schermuiteinden - Plaxis3D

De palenwand gaat vaak over in een steunberm. Getoetst wat effecten zijn op de randpalen.

- uitgangspunt steunberm: 50 jaar MHW 2065
- uitgangspunt constructie: 100 jaar MHW 2115
- probleem: steunberm bezweek al voordat de palenwand berekend kon worden.
- oplossing: zelf gewicht steunberm verhoogd totdat die MHW2115 aan kan.
- resultaat: randpalen worden per saldo niet zwaarder belast, maar wel in andere richting



ABT / bouwen aan ambities / KIS – constructieve elementen in dijken

Plaxis3D en ontwerpen

Contractueel vastgelegd: Plaxis3D analyses structureel uitvoeren ter controle van de 2D-berekeningen.

Belangrijkste conclusies:

Plaxis2D vs Plaxis 3D: goede fit met verklaarbare verschillen

3D-berekeningen hebben waarde toegevoegd; o.a. randpalen, reductie zakkende grond op ankers

Ook veel problemen ondervonden met Plaxis3D-berekeningen:

- Berekeningen kunnen om onverklaarbare redenen vastlopen in willekeurige rekenstappen;
- Het opzetten van de mesh loopt soms zonder melding vast; ook indien slechts kleine wijzigingen zijn doorgevoerd ten opzichte van een eerder succesvol opgezette mesh;
- Interpoleren van de waterspanningen lukte niet altijd;

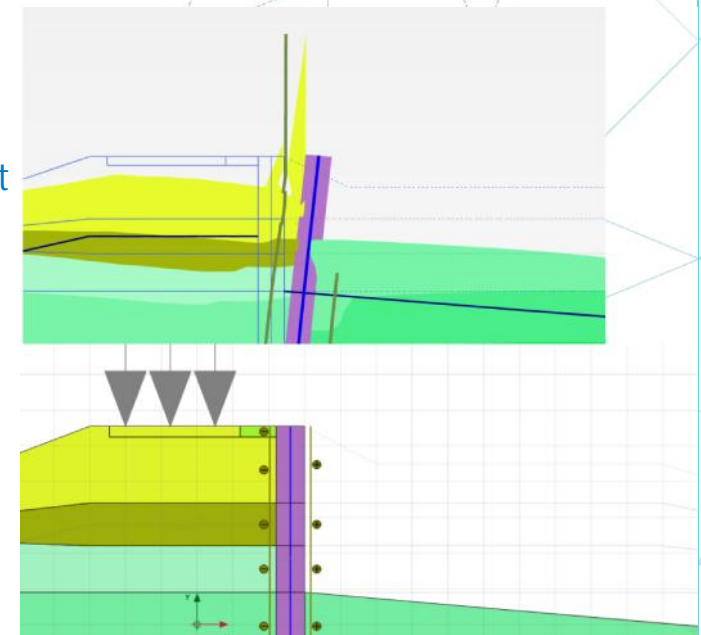
Plaxis3D en ontwerpen (vervolg rekenproblemen)

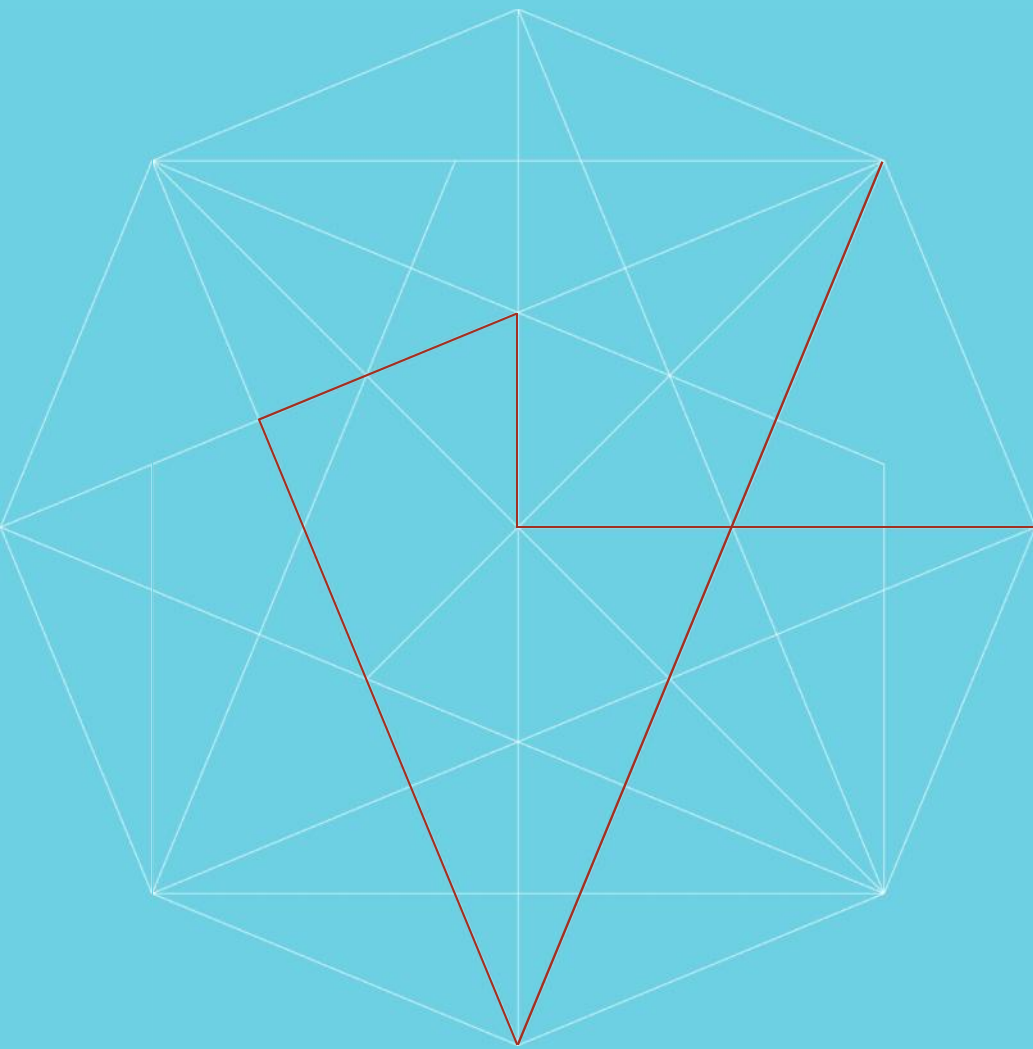
- Een rekenstap moet soms in tweeën worden geknipt (2D geen problemen).
- Er kunnen op willekeurige plaatsen op het maaiveld "springende punten" ontstaan.
- Berekeningen duurden lang, soms > 24 uur!
- Vergt veel van betrokken specialisten ook in privé tijd

Conclusie CDVM:

- Afzien van routinematig ontwerpen met Plaxis3D; kan nog niet in bestekken worden opgenomen.
- Ongewis en tijdrovend proces.
- Prima geschikt voor onderzoeksdoeleinden.

Toch gewenst? Op regie basis bij volgende projecten?





Diepwand

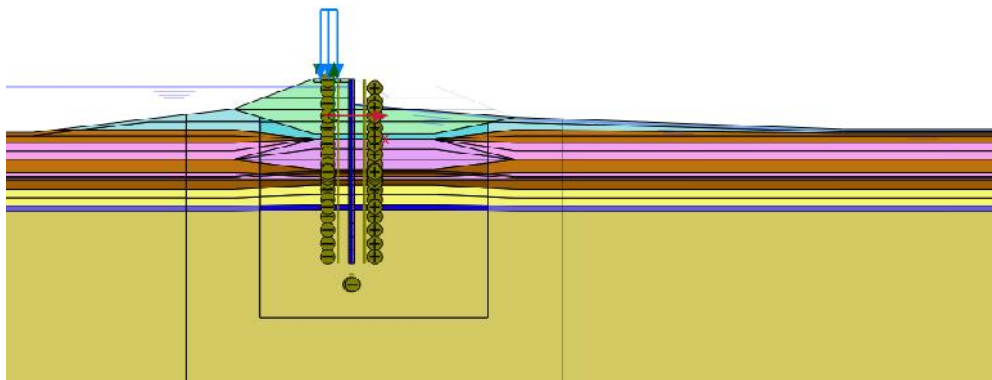
Diepwanden

Berekening is praktisch identiek aan verankerde palenwand. Grootste verschillen zijn:

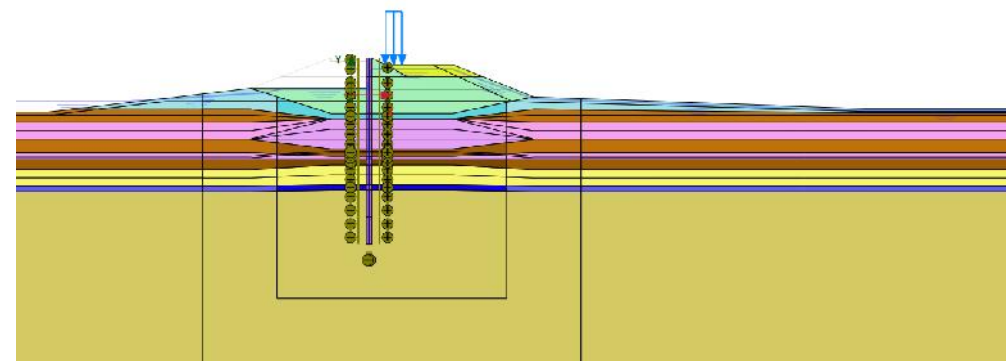
- Andere veiligheid door ontbreken verankering;
- Moet in 2 richtingen keren: binnenwaarts restprofiel (MHW) en buitenwaarts restprofiel (LLW)

Resultaten:

- Alle diepwanden 800 mm dik; teenniveau variabel van NAP -15 m tot NAP -22 m
- Rekenwaarde momenten van 800 kNm/m' tot 3000 kNm/m'.



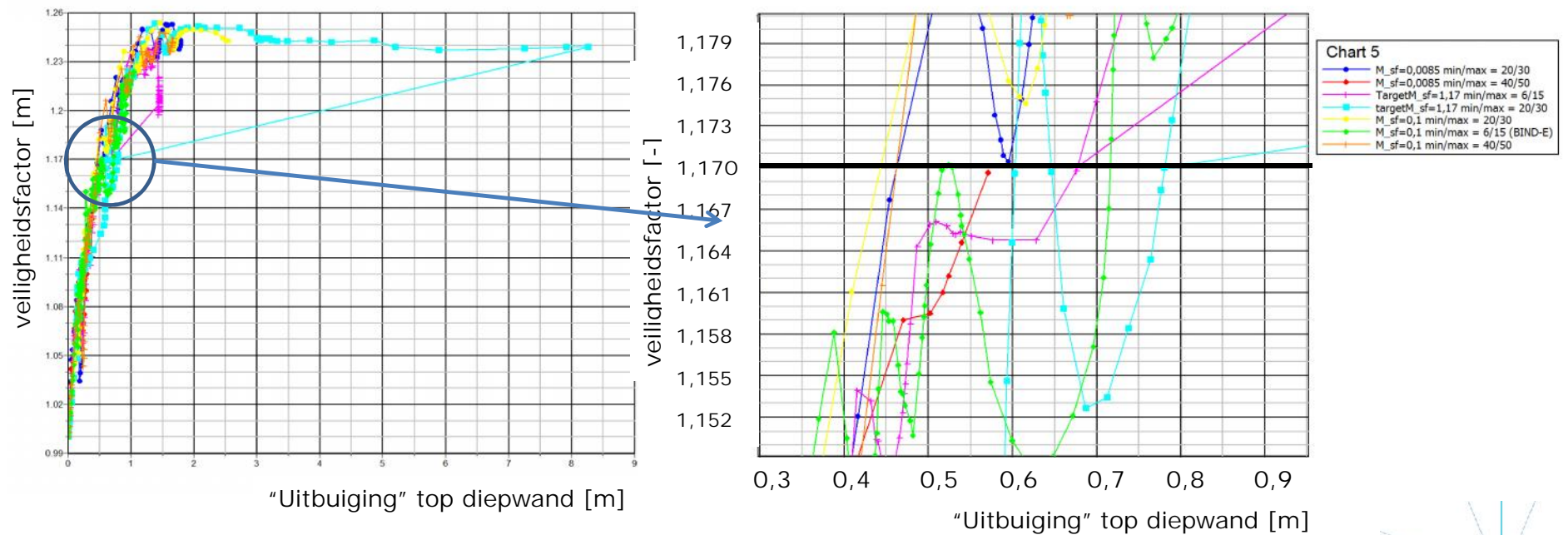
Maatgevend Hoog Water: naar binnen keren



Laag Laag water: naar buiten keren

Iteratieparameters c-phi-reductie

Bij exact dezelfde input verschil in aansturen rekenproces



Snedekrachten aflezen bij $\Sigma M_{sf} = 1,17$:

Uitbuiging diepwand varieert van 0,44 tot 0,78 m ~ $M_s; d = 2600 \text{ kNm/m}'$ tot $3800 \text{ kNm/m}'!!$

Iteratieparameters c-phi-reductie

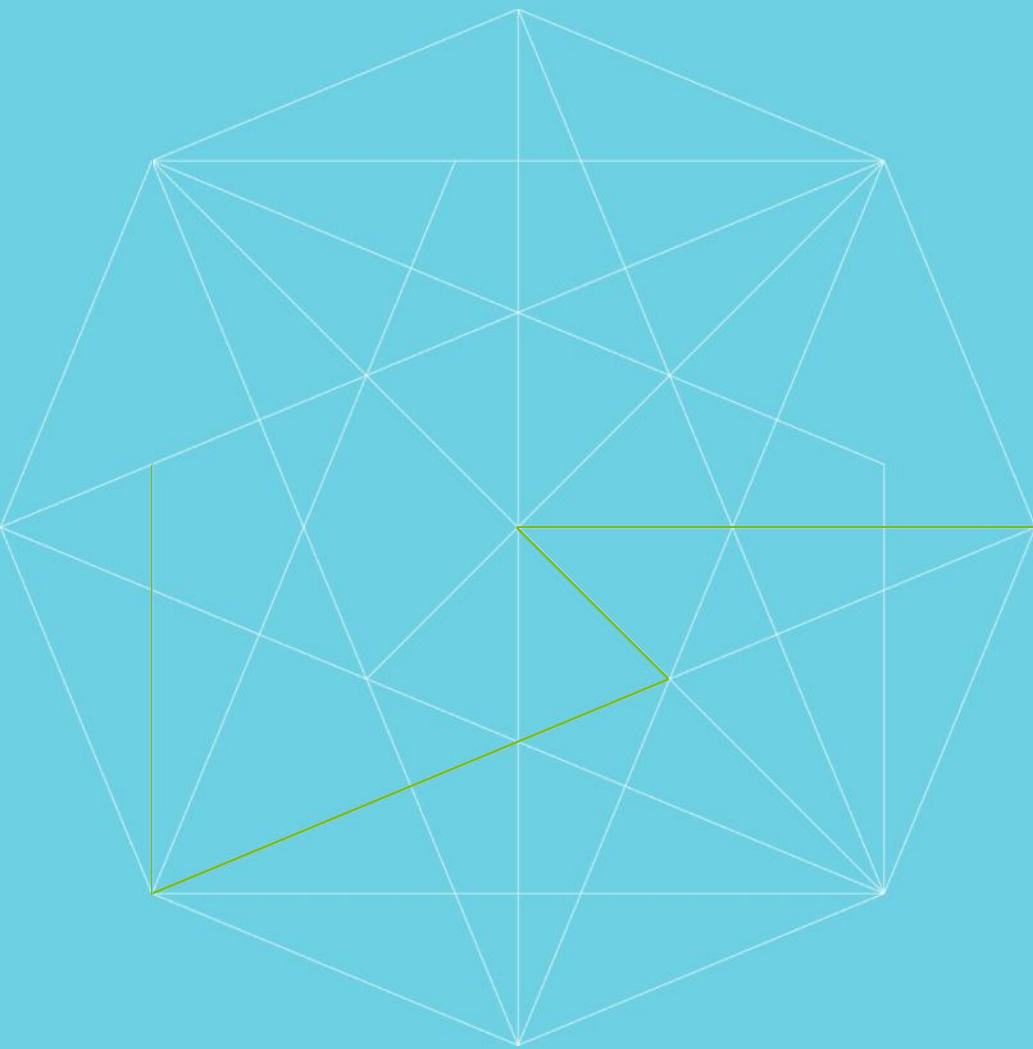
Te variëren parameters zijn:

- Loading type: "Target value" of "Incremental multipliers"
- Stapgrootte M_{sf} (bij "Incremental multipliers")
- Desired min/max number of iterations

Toetsen op betrouwbaar verloop rekenproces noodzakelijk:
vloeiende kromme van veiligheid ΣM_{sf} vs. uitbuiging u_x

Speelt hoofdzakelijk bij onverankerde wanden; effect bij verankerde palenwanden veel kleiner.

Name	Value
General	
ID	U3-c c-phi [Phase_9]
Start from phase	U3-b M1 naar M2
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multipliers
M_{sf}	0.1000
Pore pressure calculation type	Use pressures from previous pl
First step	23
Last step	122
Design approach	(None)
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Max cores to use	256
Max number of steps stored	1
Use default iter parameters	<input type="checkbox"/>
Max steps	100
Tolerated error	0.01000
Over-relaxation factor	1.200
Max number of iterations	100
Desired min number of iterations	6
Desired max number of iterations	15
Arc-length control type	On
Use line search	<input type="checkbox"/>
Reached values	
Reached total time	0.000 day
CEP - Relative stiffness	3.168E 6
ForceX - Reached total force X	0.000 kN
ForceY - Reached total force Y	0.000 kN
Pmax - Reached max pp	206.2 kN/m ²
ΣM_{stage} - Reached phase proportion	0.000
ΣM_{weight} - Reached weight proportion	1.000
ΣM_{sf} - Reached safety factor	1.174



Van theorie naar praktijk

Sfeerimpressie: uitvoering verankerde palenwand

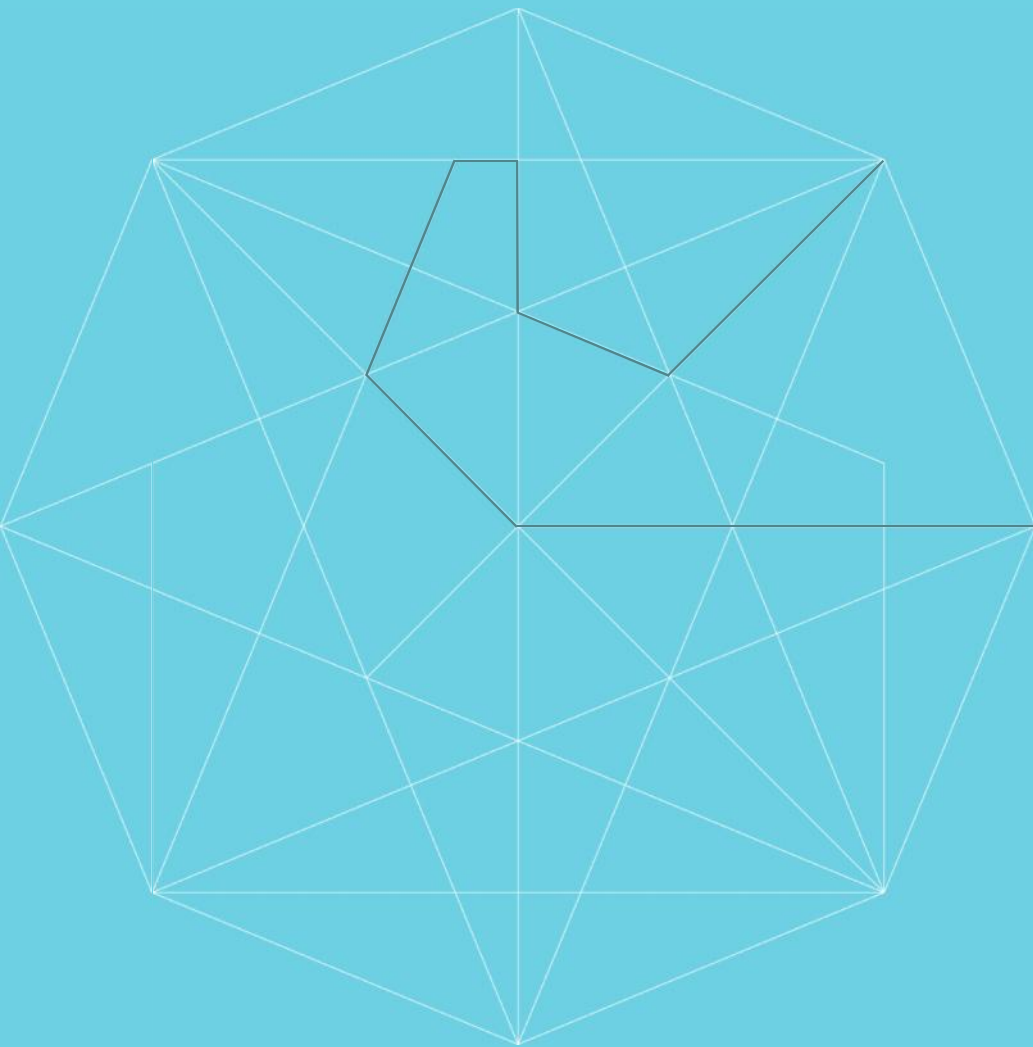
2015



2017

Gording storten + verankeren





Vragen?

Voor meer info:
v.veenbergen@abt.eu
06-13314846