



Dijkversterking Stad Tiel

Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW20 Coupure Bellevue

Dijkversterking Stad Tiel

Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW20 Coupure Bellevue

Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland

Referentie: INFR200121-R14

Revisie: 0

Datum: 2 april 2021

Iv-Infra b.v.

Ingenieursbureau met Passie voor Techniek

Titel document: Dijkversterking Stad Tiel

Ondertitel document: Ontwerpnota voorlopig ontwerp KW20 Coupure Bellevue

Referentie: INFR200121-R14

Revisie: 0

Datum: 2 april 2021

Opdrachtgever: Waterschap Rivierenland

Projectnummer opdrachtgever: INFR200121

Project: INFR200121

Revisie	Status	Datum	Auteur(s)	Gecontroleerd	Goedgekeurd	Omschrijving
0	Concept	02-04-21	W. van der Mersch N. den Adel F.R.O. Hekman	H.J. Wolters en J.D. Reijneveld	H.J. Wolters	Ter bespreking met WSRL

Inhoudsopgave

1	Inleiding	6
1.1.	Projectomschrijving	6
1.2.	Doel en scope	7
1.3.	Revisiebeheer	7
1.4.	Leeswijzer	7
2	Omschrijving object en historie	8
2.1.	Algemeen	8
2.2.	Objecthistorie	8
2.3.	Beschrijving constructie	9
2.3.1.	Betonconstructie	12
2.3.2.	Onder- en achterloopsheid scherm (stalen damwand)	14
3	Wijzigingen ten opzichte van bestaande situatie	16
4	Uitgangspunten en randvoorwaarden	18
4.1.	Referenties	18
4.2.	Normen en richtlijnen	19
4.3.	Geometrische uitgangspunten	19
4.4.	Veiligheidsklasse, referentieperiode en restlevensduur	19
4.5.	Duurzaamheid en waterdichtheid	20
4.5.1.	Algemeen	20
4.5.2.	Waterdichtheid	20
4.5.3.	Duurzaamheid (bestaand)	20
4.5.4.	Duurzaamheid (nieuwbouw)	21
4.6.	Hydraulische randvoorwaarden	21
4.7.	Materialen	22
4.7.1.	Soortelijk gewicht	22
4.7.2.	Beton	22
4.7.3.	Betonstaal	22
4.7.4.	Staal	22
4.8.	Geotechnische uitgangspunten	22
4.8.1.	Bodemopbouw en sterkte parameters	22
4.8.2.	Modellering	23
4.9.	Computersoftware	24
5	Belastinggevallen en -combinaties	25
5.1.	Eigen gewicht	25
5.2.	Horizontale grond- en grondwaterdruk	26
5.3.	Hydraulische belasting	27

5.4.	Belastingcombinaties	28
6	Berekening en resultaten fundering	30
6.1.	Opzet berekeningen	30
6.2.	Mechanisme schuiven	30
6.2.1.	Inleiding	30
6.2.2.	Horizontale waterdruk	30
6.2.3.	Wrijving op onderkant fundering	31
6.2.4.	Wrijving langs achterzijde coupurewanden	31
6.2.5.	Toetsing horizontaal evenwicht	33
6.3.	Draagvermogen en mechanisme kantelen	34
7	Berekening en resultaten constructie	35
7.1.	Verhoging vleugelwanden	35
7.2.	Krachtswerking sponning	37
8	Betrouwbaarheid sluiting	38
9	Piping	40
9.1.	Methode toetsing piping	40
9.2.	Onderloopsheid	41
9.3.	Achterloopsheid	42
9.4.	Levensduur kwelschermen	44
10	Conclusie en aandachtspunten	45
10.1.	Conclusie	45
10.2.	Hoeveelheden VO-ontwerp	45
10.3.	Uitwerken in DO	45
BIJLAGEN		46
A.	Huidige situatie	46
B.	IDEA-berekening wand	51
C.	Resultaat grondonderzoek	52
D.	Berekening D-Foundations	53
E.	Toetsing betrouwbaarheid sluiting	54

1 Inleiding

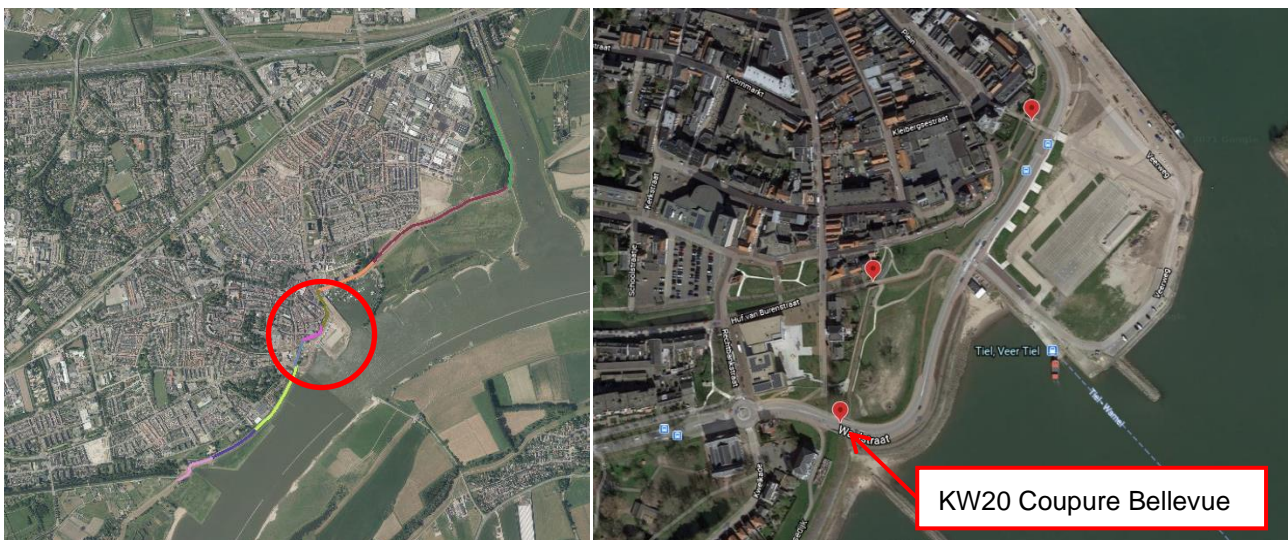
1.1. Projectomschrijving

Een groot deel van de waterkering bij Tiel is in de derde toetsronde afgekeurd. Een deel van dit traject is recent versterkt binnen het project Fluvia Tiel. De versterking van de overige waterkeringen rondom Tiel wordt op orde gebracht met de dijkversterking Stad Tiel. Deze dijkversterking is onderdeel van het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). Een overzicht van het projectgebied is opgenomen in Figuur 1-1.

Waterschap Rivierenland (WSRL) heeft voor de waterkering binnen het projectgebied een nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd waarbij de scope is vastgelegd met inachtneming van de nieuwe norm uit de Waterwet en de laatste rekenregels uit het Ontwerpinstrumentarium 2014 (OI2014). Op basis hiervan heeft Tauw in 2019, met de partners H+N+S en Iv-Infra, de verkenningsfase voor deze dijkversterking doorlopen en is een voorkeursalternatief (VKA) vastgesteld. Voor het grootste deel van het project is deze vervolgens uitgewerkt tot een voorlopig ontwerp (VO).

Omdat de versterking van de bestaande coupures later zijn opgenomen in de scope van het dijkversterkingsproject wordt voor deze constructies eerst nog de VO-fase doorlopen. Er zijn in totaal drie bestaande coupures aanwezig in Stad Tiel, namelijk de Coupure Waterpoort (KW11), Coupure Waalstraat (KW17) en Coupure Bellevue (KW20).

Voorliggende rapportage betreft de VO-ontwerpnota voor het verbouwen van KW20 Coupure Bellevue. De locaties van deze coupure is aangegeven in Figuur 1-1.



Figuur 1-1 Bovenaanzicht projectgebied dijkversterking Stad Tiel (links) en locatie KW20 coupure Bellevue (rechts)

1.2. Doel en scope

In het voorlopig ontwerp, bestaande uit dit document en een tekening van het kunstwerk, zijn integrale keuzes gemaakt met betrekking tot principe-oplossingen voor het verhogen van KW20 coupure. In dit document is een berekening van de maatgevende wijzingen in de krachtswerking voor het verbouwen van de bestaande coupure uitgewerkt.

Binnen de scope van dit document vallen de uitgangspunten specifiek voor de faalmechanismen sterkte, stabiliteit, piping en betrouwbaarheid sluiting. De benodigde toekomstige hoogte van de coupure is reeds vastgesteld in [11].

Buiten de scope van dit document vallen de vormgeving van de bestaande coupure en raakvlakken met obstakels in de ondergrond. .

1.3. Revisiebeheer

De huidige revisie (revisie 0) is een conceptversie ter bespreking met Waterschap Rivierenland.

Tabel 1-1: Revisietabel

Revisie document	Omschrijving
0	Conceptversie ter controle

1.4. Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een omschrijving gegeven van de historie en huidige staat van de coupure. Hoofdstuk 3 bevat een beschrijving van de aanpassingen aan het kunstwerk ten opzichte van de bestaande situatie en hoofdstuk 4 bevat de uitgangspunten voor het voorlopig ontwerp. De belastingen en belastingcombinaties zijn uitgewerkt in hoofdstuk 5. De fundering is getoetst in hoofdstuk 6 en de constructie in hoofdstuk 7. De faalmechanismes betrouwbaarheid sluiting en piping zijn beschouwd in hoofdstuk 8 en 9. De conclusie is vermeld in hoofdstuk 10

2 Omschrijving object en historie

2.1. Algemeen

De coupure Bellevue (KW20) is tijdens de dijkversterking in 1996 gerealiseerd. Het kunstwerk is in beheer bij de gemeente Tiel¹ en gelegen in dijktraject 43-6. De functie van de coupure is de mogelijkheid bieden voor wegverkeer, fietsers en voetgangers om de dijk te kruisen en het keren van water bij hoge waterstanden.



Figuur 2-1 Bestaande situatie coupure Bellevue

2.2. Objecthistorie

Het kunstwerk is in 1996 aangelegd vooruitlopend op de aanleg van de Nieuwe Tielseweg. Na de aanleg eindigde de coupure met een steenbekleding in de rivier de Waal (zie Figuur 2-2). In een later stadium (datum onbekend) zijn het grondlichaam en de bijbehorende stootplaten voor de Nieuwe Tielseweg aangebracht.

Dit heeft mogelijk geresulteerd in verschilzettingen onder de vleugelwanden waardoor deze zijn gescheurd (voor 2003). De scheuren zijn in het verleden meerdere malen hersteld, waarvan soms alleen cosmetisch. Tijdens een visuele inspectie op 06-08-2020 lijkt ook het beton van de schotbalkspanning in de vloer gerepareerd te zijn (zie Figuur 2-4 en Bijlage A). Een overzicht van de objecthistorie is weergegeven in Tabel 2-1.

¹ Dit beheer wordt in de toekomst overgedragen aan Waterschap Rivierenland



Figuur 2-2 Coupure Bellevue na aanleg (zie [2] en [5])

Tabel 2-1 Objecthistorie coupure Bellevue

Datum	Omschrijving
1995-1996	Bouw coupure (zie berekeningen in [1] en [2] & tekeningen in [15] en [16])
Onbekend	Aanleg Nieuwe Tielseweg
Onbekend	Herstel scheuren vleugelwand en schotbalkspanning vloer
Sept. 2003	Beoordelingsrapport overstroming t.g.v. falen van het kunstwerk (zie [3])
Mei 2018	Update archiefonderzoek, Arcadis (zie [5])
Dec. 2018	Inspectierapport, RPS/Movares, met inmetingen, kernboringen, staaldiktemetingen en proefsleuven, (zie [6])
Feb. 2019	Beoordelingsrapportage, Movares (onderdeel van Veiligheidsanalyse stad Tiel) (zie [9])

2.3. Beschrijving constructie

De coupure Bellevue bestaat uit een betonnen U-vormige bakconstructie en is op een zandbed van 0,5m gefundeerd (op staal). Het onder- en achterloopsheidscherm bestaat uit stalen damwanden en is aan de onder- en zijkanten gekoppeld aan de betonnen constructie. Aan de zuidzijde binnendijks en aan de noordzijde buitendijks is een trap aanwezig die waarschijnlijk alleen bestaat uit bestrating en daarom geen onderdeel is van de constructie (zie Figuur 2-3). De dagmaat van de doorgang is 12,6m en de lengte 17,44m. In de wanden en de vloer zijn sponningen en taatspotten opgenomen waarin bij hoogwater twee rijen schotbalken, een juk en daartussen paardenmest geplaatst worden (zie [9][5]).



Figuur 2-3 Proefsluiting coupure Bellevue, Jan Bouwhuis, 10 april 2019 (bron: De Tielenaar²)

In tegenstelling tot de ontwerptekening blijkt dat de schotbalken bestaan uit hardhout met afmetingen 250x250x6450mm (zie [5] en [9]). Uit overleg met de beheerder en foto's van een proefsluiting blijkt dat er geen stalen HEA260-profielen in verwerkt zijn. Omdat in de waterbouw vaak Azobé wordt toegepast is aangenomen dat de balken een bijbehorende sterkteklasse van D70 hebben (zie [9]). Het juk is uitgevoerd in staal HEA360 en HEB200 en wordt met roestvaststalen ankers vastgezet in de drie taatspotten in de coupurevloer.

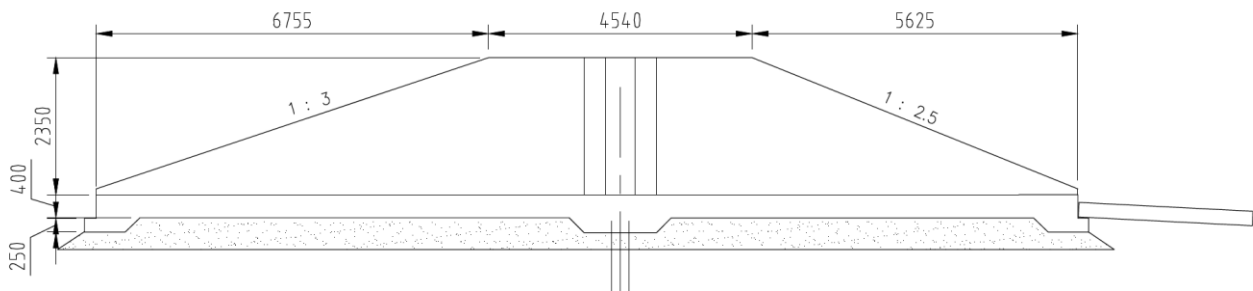
Ter plaatse van het fiets- en voetpad is de schotbalkspanning gedurende dagelijkse omstandigheden afgesloten met een rooster (zie Figuur 2-4).



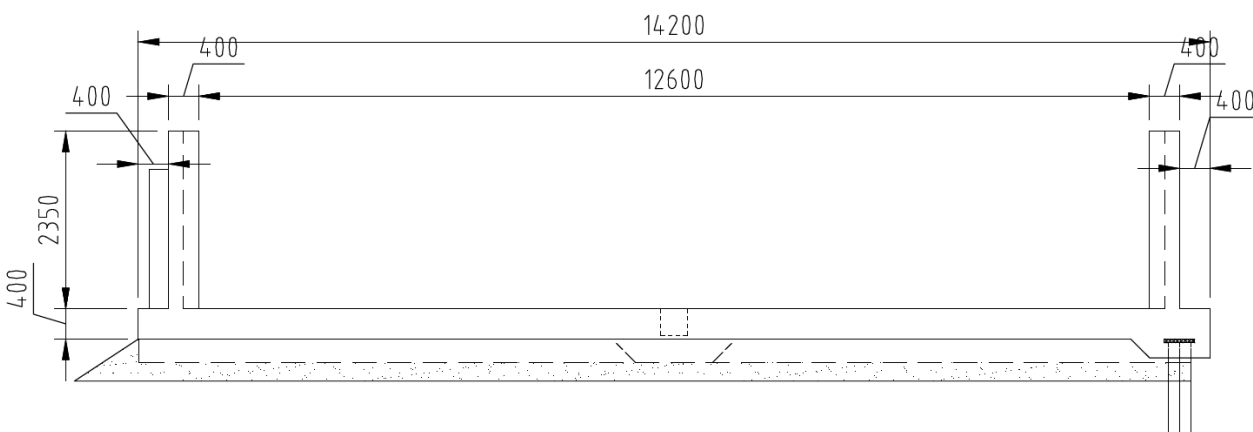
Figuur 2-4 Roosters t.p.v. fiets- en voetpad (zie [9])

² <https://detielenaar.nl/nieuws/2019/04/proef-afsluiting-3-coupires-tiel/>

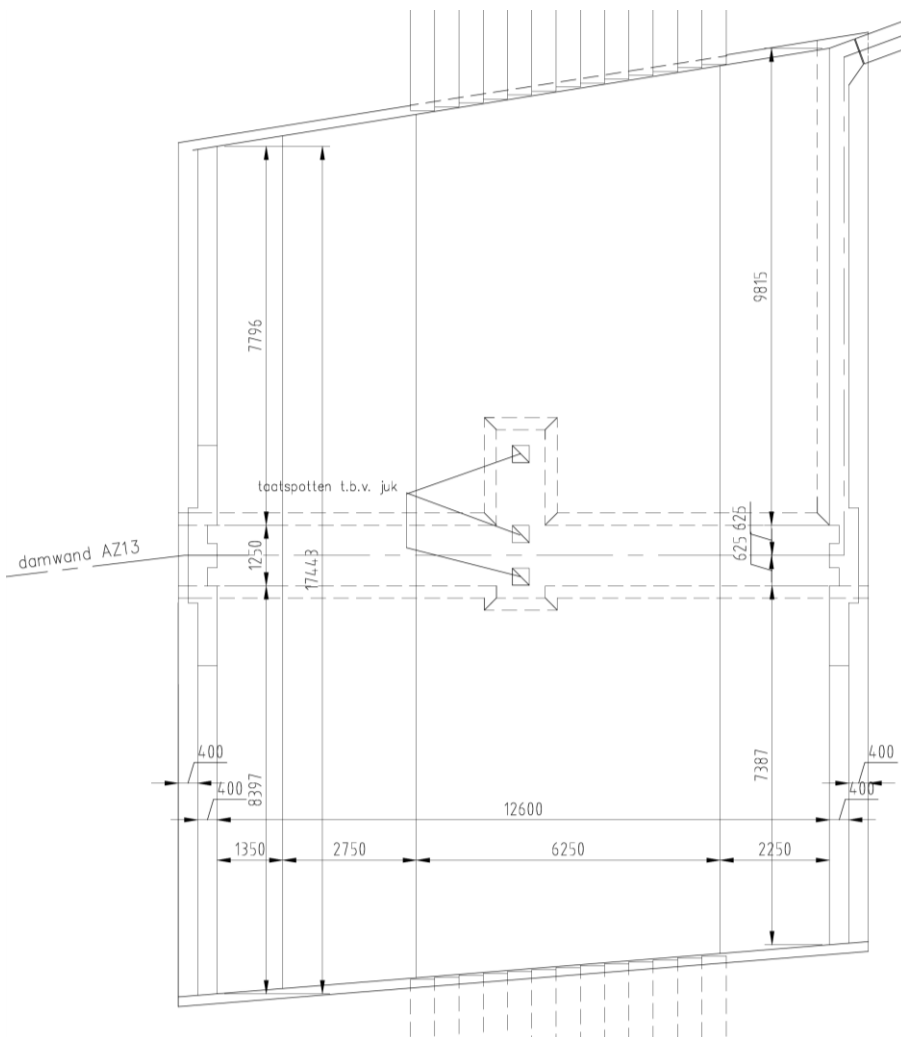
De kruin van de coupure ligt op +11,85m NAP en de bovenzijde van de drempel (rijweg) op +9,50m NAP (zie [15]). Het is niet bekend bij welk waterpeil de sluitingsprocedure in gang wordt gezet. Tussen 1996 en 2003 is de coupure twee keer gesloten vanwege een waterstand van +9,50m NAP en +10,35m NAP (zie [3]). Voor de afmetingen van de coupure worden de ontwerptekeningen aangehouden (zie [15]), waarvan in Figuur 2-5 t/m Figuur 2-7 schetsen zijn weergegeven.



Figuur 2-5 Schets langsdoorsnede coupure Bellevue (zie [15])



Figuur 2-6 Schets dwarsdoorsnede coupure Bellevue (zie [15])



Figuur 2-7 Schets bovenaanzicht coupure Bellevue (zie [15])

2.3.1. Betonconstructie

De betonnen U-bak bestaat uit in het werk gestort gewapend beton B35, milieuklasse 3, consistentieklasse 2 en staalkwaliteit wapening FeB500 HWL (zie [6]). De dikte van de wanden is 400mm en de dikte van de vloer is minimaal 400mm. Ter plaatse van de damwanden is de vloer aan de onderzijde verdikt tot 650mm. De hoogte van de wanden loopt in een helling van 1:3 (zuidzijde buitendijks) en 1:2,5 (noordzijde buitendijks en zuidzijde binnendijks) op tot maximaal 2350mm (zie [15]). Aan de noordzijde binnendijks sluit de wand aan op een damwandscherm met sloof.

Ter plaatse van de rijweg zijn aan elke zijde 13 stuks stootplaten van 3000x500x250mm aangebracht. De stootplaten zijn met thermisch verzinkte deuvels Ø22 verbonden aan de vloer. Onder de vleugelwand is een werkvloer aangetroffen van cement/licht beton. De dikte van de werkvloer wordt geschat op 1,0m (zie Figuur 2-8).



Figuur 2-8 Werkvloer onder vleugelwand (zie [6])

In de wanden zijn diverse scheuren aanwezig, met name ter plaatse van de schotbalkspinningen en aan de bovenzijde van de wanden. De scheurwijdte is $<0,2\text{mm}$ en de scheuren zijn niet vochtvoerend (zie Figuur 2-9 en Bijlage A). Verder zijn er lokaal betonschades in de vleugelmuur geconstateerd en is de conservering beschadigd. Ter plaatse van de voegovergangen zijn scheuren in de slijtlaag zichtbaar welke eerder zijn hersteld met bitumen (zie Figuur 2-10). Onderstaande scheuren wijzen bijna altijd op te weinig langswapening om weerstand te bieden aan invloeden als temperatuurswisselingen. De scheuren hebben geen gevolg voor de constructieve veiligheid.



Figuur 2-9 Haarscheuren in schotbalkspinning (links) en bovenzijde wand (rechts; zie [6])

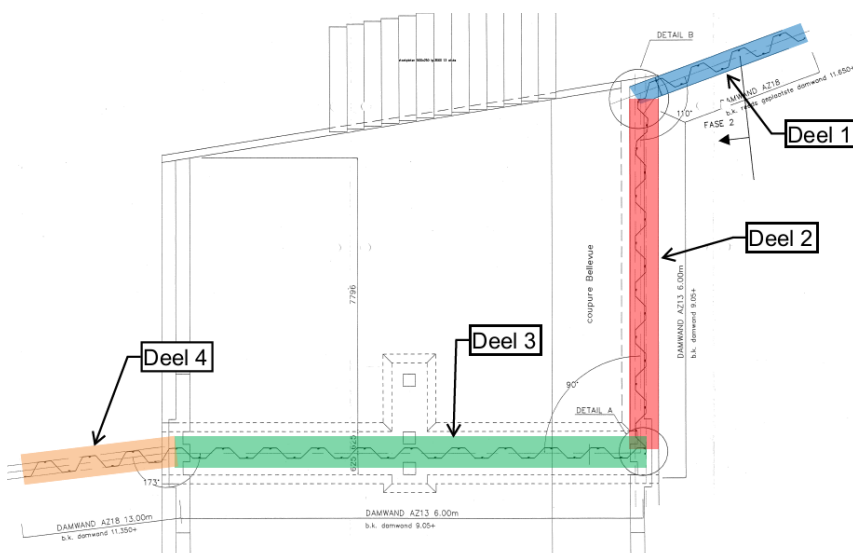


Figuur 2-10 Afgedrukte betonschol vleugelmuur (links) en scheuren bij voegovergangen (rechts; zie [6])

2.3.2. Onder- en achterloopsheid scherm (stalen damwand)

Het onder- en achterloopsheid scherm bestaat uit een doorgaande stalen damwand. De indeling van de damwandplanken is weergegeven in Figuur 2-11 en Tabel 2-2. De damwand is overal ingestort in het beton. Op de bovenzijde van de damwanden zijn tempexblokken aangebracht van 50x400mm (zie Figuur 2-12).

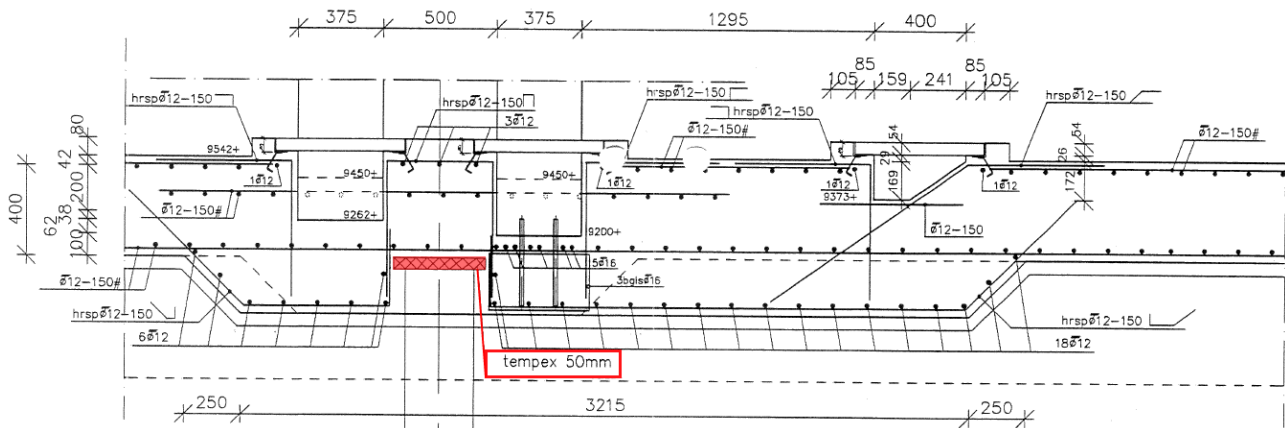
Uit de inspectie blijkt dat de damwandplanken uniform zijn gecorrodeerd. Er is sprake van matige corrosie conform CUR-aanbeveling 117. De afname van de staaldikte ligt tussen de 1,6% en 8,7% en er is geen putcorrosie of spleetcorrosie waargenomen (zie [6]).



Figuur 2-11 Overzicht indeling damwandplanken (zie [2])

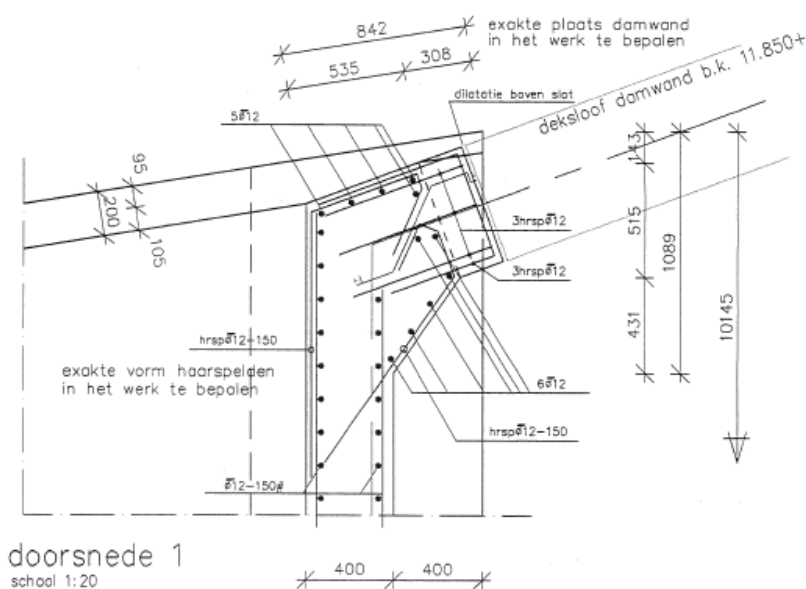
Tabel 2-2 Overzicht opbouw damwandscherm (zie [2], [5] en [9])

Deel	Planktype	Planklengte	Kop damwand	Voet damwand	Lengte scherm
1 (eerder geplaatst)	Arbed AZ18	ca. 13,00m	+11,65m NAP	-1,45m NAP	n.v.t.
2	Arbed AZ13	6,00m	+9,00m NAP	+3,00m NAP	ca. 10m
3	Arbed AZ13	6,00m	+9,00m NAP	+3,00m NAP	ca. 13,3m
4	Arbed AZ18	8,25m	+11,25m NAP	+3,00m NAP	4,75m

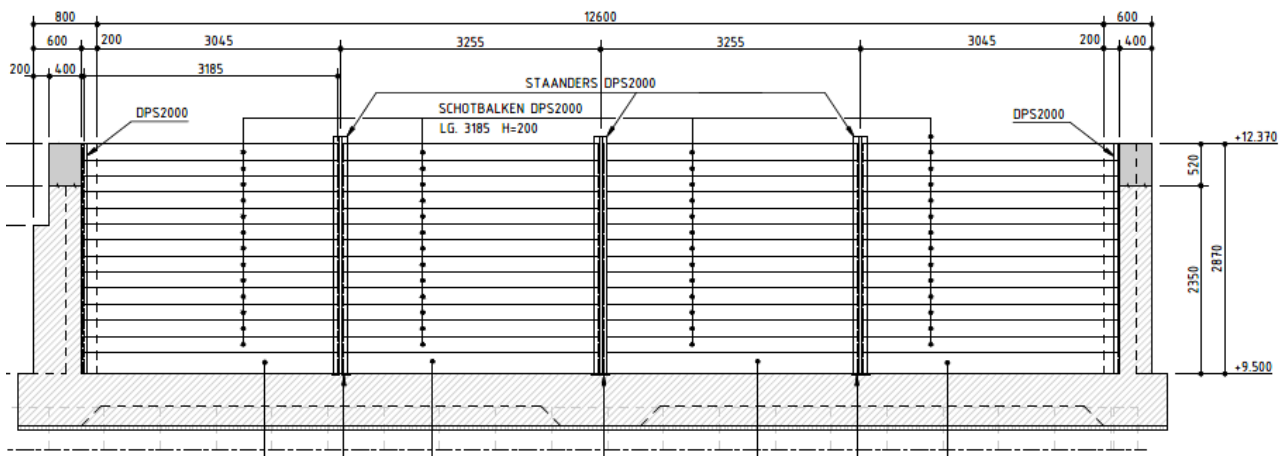


Figuur 2-12 Locatie tempex tussen damwand en beton (zie [2])

Ter plaatse van de aansluiting met de bestaande damwand op het Ravelijn (noordzijde) is een dilatatie in het beton aangebracht (boven het slot). De voegafsluiten van deze dilatatie is vergaan en kiert iets. Het openstaan van deze voeg komt waarschijnlijk door verschilzettingen.



Figuur 2-13 Dilatatie in wapeningstekening (links; zie [2]) en openstaande voeg (rechts; zie [5])



Figuur 3-3 Dwarsdoorsnede nieuwe situatie coupure Bellevue tijdens sluiting (zie [17])

De constructieve wijzigingen ten opzichte van de huidige situatie zijn als volgt:

- De wanden worden verhoogd in beton met dezelfde dikte tot +12,37m NAP;
- In de buitendijkse sponningen wordt met ankers een DPS-profiel bevestigd waarin de schotbalken vallen;
- De bestaande taatspotten worden verwijderd. Op deze locatie wordt, samen met twee nieuwe locaties een voetplaat aangebracht t.b.v. standers voor het DPS-systeem. De standers die worden toegepast betreffen verstijfde standers.

De constructie wordt echter zodanig ontworpen dat deze in de toekomst verder verhoogd kan worden tot het zichtjaar 2125. Het uitgangspunt is dat op dat moment de betonnen wanden verder verhoogd worden en er verder alleen wijzigingen aan het DPS-systeem nodig zijn. Deze wijzigingen betreffen het aanpassen van de lengte van de standers en het aanleveren van extra schotbalken.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

4.1. Referenties

In Tabel 4-1 en Tabel 4-2 zijn de relevante gerelateerde rapporten en tekeningen benoemd.

Tabel 4-1 Relevante gerelateerde rapporten

Nr	Documentnummer	Datum	Documenttitel
[1]	430409.O007	29-04-1996	Berekening Schotbalken en Juk Coupure Bellevue, Koninklijke van Drunen
[2]	430409.O008	13-05-1996	Berekening Betonwerk en wapeningstekeningen Coupure Bellevue, Koninklijke van Drunen
[3]	6591D-T-2002.0015	30-09-2003	Beoordelingsrapport Coupure Bellevue, Bouwdienst RWS
[4]	R1701863-06	13-12-2017	MOS Grondmechanica, Resultaten grondonderzoek en laboratoriumonderzoek "Dijkversterking dijktraject stad Tiel".
[5]	079799477 A	15-05-2018	Update archiefonderzoek constructies en kunstwerken project Stad Tiel
[6]	1803784A00-R18-092	12-12-2018	Inspectierapportage KW20 Coupure Bellevue, RPS
[7]	18.20230	21-01-2019	Lankelma, Grondonderzoek t.b.v. het project Stad Tiel
[8]	n.v.t.	30-01-2019	Beheer en onderhoudsplan Waterkeringen, Waterschap Rivierenland
[9]	n.v.t.	04-02-2019	Veiligheidsanalyse Stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW20 – Coupure Bellevue versie 2.0, Movares
[10]	n.v.t.	27-02-2020	Integrale veiligheidsanalyse Stad Tiel, samenvatting, actualisatie en aanscherping, Tauw
[11]	R007-1274666NPL	18-12-2020	Technische uitgangspuntennotitie VO-fase, Tauw
[12]	INFR200121-N-02	12-03-2021	Beoordeling betrouwbaarheid sluiting bestaande en nieuwe coupures, Iv-Infra
[13]	VN-75629-1	18-03-2021	Wiertsm&Partners, Resultaten terrein- en laboratoriumonderzoek dijkversterking Stad Tiel
[14]	R023-1274666DGL	01-04-2021	Technische uitgangspuntennotitie DO-fase, Tauw

Tabel 4-2 Relevante gerelateerde tekeningen

Nr	Documentnummer	Datum	Documenttitel
[15]	430409.X08	Juli 1995	11-8 Coupure Bellevue
[16]	430409.O20	30-04-1996	Schotbalkconstructie, Koninklijke van Drunen
[17]	1274666-TE-COU-VO-5a_BAT-0001-0	26-03-2021	VO-tekening KW20 Coupure Bellevue, Iv-Infra

4.2. Normen en richtlijnen

In de onderstaande tabel zijn de van toepassing zijnde normen weergegeven.

Normering:	Omschrijving:
Eurocode 0	Grondslagen
NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2019/NB:2019	Grondslagen van het constructief ontwerp
Eurocode 1	Belastingen op constructies
NEN-EN 1991-1- 1+C1+C11:2019/NB:2019	Algemene belastingen - Volumieke gewichten, eigen gewicht, opgelegde belastingen voor gebouwen
NEN-EN 1991- 2+C1:2015/NB:2019	Verkeersbelasting op bruggen
Eurocode 2	Ontwerp en berekening van betonconstructies
NEN-EN 1992-1- 1+C2:2011/NB:2016+A1:2020	Algemene regels en regels voor gebouwen
Eurocode 6	Ontwerp en berekening van constructies van metselwerk
NEN-EN 1996-1-1+A1:2013 /NB:2018	Deel 1-1 Algemene regels voor constructies van gewapend en ongewapend metselwerk
Eurocode 7	Geotechnisch ontwerp
NEN-EN 1997- 1+C1+A1:2016/NB:2019	Deel 1 Algemene regels
NEN 9997-1:2016/C2:2017	Geotechnisch ontwerp van constructies – Deel 1 Algemene regels
Overig	
CUR166 deel 2 6 ^e druk 2012	Damwandconstructies
WOWK 2018	Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken – Ontwerpverificaties voor de hoogwatersituatie, RWS, versie D2, 2018

4.3. Geometrische uitgangspunten

In Tabel 4-3 zijn de maaiveldniveaus, huidige niveau bovenkant coupure en de toekomstige hoogtes (zichtjaren 2075 en 2125) weergegeven. De hoofdafmetingen van de coupure zijn weergegeven in Figuur 2-5 t/m Figuur 2-7.

Tabel 4-3: Geometrische uitgangspunten coupures

Kunstwerk	Maaiveld	Bovenzijde kering (huidig)	Aanleghoogte (zichtjaar 2075)*	Ontwerphoogte (zichtjaar 2125)*
KW20 Coupure Bellevue	+9,50m NAP	+11,85m NAP	+12,37m NAP	+12,63m NAP

*Deze waarden betreffen de minimale hoogtes o.b.v. de bepaalde Hydraulische Belasting Niveaus (HBN) in [11]

4.4. Veiligheidsklasse, referentieperiode en restlevensduur

Voor de verbouw van de verbouw van de bestaande coupure wordt een restlevensduur van 100 jaar gehanteerd met bijbehorend zichtjaar van 2125 voor de toetsingen ten aanzien van sterkte en stabiliteit. De

uitbreiding in hoogte wordt in fases uitgevoerd, waarbij eerst verhoogd wordt tot de hoogte voor het zichtjaar 2075.

Omdat de constructie zich in de primaire waterkering bevindt is deze conform het Bouwbesluit ingedeeld in de gevolgklasse CC3 en RC3.

4.5. Duurzaamheid en waterdichtheid

4.5.1. Algemeen

De constructie betreft een bestaand kunstwerk met een restlevensduureis van 100 jaar. Deze combinatie is vrij ongebruikelijk. In de normen en richtlijnen wordt wat betreft duurzaamheid geen onderscheid gemaakt tussen nieuwbouw en verbouw. De eisen voor duurzaamheid (dekking en scheurwijdte) zijn sinds de bouw van de coupure strenger geworden.

De constructie wordt getoetst aan de geldende duurzaamheidseisen en daar waar onderdelen van de constructie volledig vernieuwd worden ook toegepast. Daar waar bestaande onderdelen niet voldoen wat betreft duurzaamheid wordt benoemd welke beheersmaatregelen toegepast zouden kunnen worden. Er wordt een advies gegeven in hoeverre het noodzakelijk is om deze maatregelen toe te passen.

4.5.2. Waterdichtheid

Er zijn geen eisen gesteld aan de waterdichtheid van de constructie. In principe wordt de waterdichtheid van de constructie ingedeeld in dichtheidsklasse 0 (conform NEN-EN1992-3). Dit betekent dat enige mate van lekkage acceptabel is. De scheurwijdte-berekening wordt uitgevoerd conform NEN-EN1992-1-1 art. 7.3.1.

Zoals hierboven benoemd wordt voor onderdelen waar de constructie niet voldoet aan deze scheurwijdte-berekening het proportionaliteitsbeginsel toegepast (NEN8700). Daarbij geldt voor waterdichtheid dat de scheur niet doorgaand mag zijn over de doorsnede.

4.5.3. Duurzaamheid (bestaand)

Voor het bestaande beton wordt de informatie uit Figuur 4-1 toegepast. Voor de wanden geldt de milieuklasse 2 vochtig, betonoppervlakken die in de gebruikperiode zijn blootgesteld met grond (conform NEN6720 Tabel 1). Omdat de wanden niet controleerbaar (lees: inspecteerbaar) zijn wordt aangenomen dat er een dekking van 25 +5 = 30mm is toegepast.

buiten kwal.		betondekking op buitenste wapening in mm			
		milieuklasse	droog (1)	vochtig (2)	agressief (3t/m5)
wapening	FeB500				
beton klasse	B35	vloeren	15	25	30
		wanden	15	25	30
milieu klasse	3	balken	25	30	35
		kolommen	30	35	40
staalkwal.		niet controleerbare oppervlakken dekking met 5mm verhogen			

Figuur 4-1 Duurzaamheid bestaande situatie coupure Bellevue (zie [2])

4.5.4. Duurzaamheid (nieuwbouw)

In Tabel 4-4 t/m Tabel 4-6 is voor de diverse soorten onderdelen de constructieklasse, milieuklasse, dekking en scheurwijdte bepaald.

Tabel 4-4 Uitgangspunten bepaling dekking

Nr	Omschrijving	Betonkwaliteit	Ondergrond	Oneffen	Slecht inspecteerbaar	Onbekist	Nabewerkt	Nauwkeurig meten
1	Coupure bovenzijde	C30/37	Stortvlak	Nee	Nee	Ja	Ja	Nee
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	C30/37	Bekist	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	C30/37	Voorbereid	Nee	Nee	Nee	Nee	Nee

Tabel 4-5 Constructieklasse

Nr	Omschrijving	Algemeen			EC2			ROK		
		Basis	Leven	Sterkte	Plaat	Kwal.	Totaal	Plaat	Kwal.	Totaal
1	Coupure bovenzijde	S4	+2				S6			S6
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	S4	+2				S6			S6
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	S4	+2				S6			S6

Tabel 4-6 Milieuklasse, dekking en scheurwijdte

Nr	Omschrijving	Milieuklassen	C _{nom} [mm]	C _{toeg} [mm]	k _x [-]	W _{max} [mm]	W _{toel} (=k _x ·W _{max}) [mm]
1	Coupure bovenzijde	XC4 XD3 XF4	60	60	1,00	0,200	0,200
2	Coupure zijkant (tot -1m m.v.)	XC4 XD3 XF2	60	60	1,00	0,200	0,200
3	Coupure onderzijde (tot -1m m.v.)	XC4 XD3 XF2	70	70	1,00	0,200	0,200

4.6. Hydraulische randvoorwaarden

In de TUN [11] (bijlage 4) zijn de uitgangspunten en de werkwijze bij het bepalen van de hydraulische belastingen voor de kunstwerken beschreven. Voor het faalmechanisme constructief falen zijn de waterstand, golfhoogte en golfpiekperiode berekend. De faalkanseisen conform het Bouwbesluit zijn hierbij maatgevend. De hydraulische belastingen zijn bepaald voor zowel de situatie dat de vervalbelasting maatgevend is als de situatie dat de golfbelasting maatgevend is. Voor de kunstwerken is de situatie 'vervalbelasting maatgevend' maatgevend.

De hydraulische randvoorwaarden per coupure zijn weergegeven in Tabel 4-7. Daarnaast zijn de maatgevende waterstanden voor het faalmechanisme Piping berekend, Tabel 4-8. In het bepalen van de belastingen is het randvoorwaardenpunt Dkr 43 Waal km 915-916 Loc 1_158487_432781 gebruikt.

Tabel 4-7: Maatgevende hydraulische belastingen faalmechanisme constructief falen (zichtjaar 2125)

Coupires	Waterstand [m NAP]	Golfhoogte [m]	Golfpiekperiode* [s]
KW20 Bellevue	+12,19	0,77	3,37

* De golfpiekperiode is berekend door de spectrale golfperiode (=uitvoer HydraNL) te vermenigvuldigen met een factor 1,1

Tabel 4-8: Maatgevende hydraulische belasting faalmechanisme piping (zichtjaar 2125)

Coupures	Waterstand [m NAP]
KW20 Bellevue	+12,13

4.7. Materialen

4.7.1. Soortelijk gewicht

Het soortelijk gewicht wordt aangehouden conform NEN-EN1991-1-1 Bijlage A en is weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 4-9 Soortelijke gewichten materialen

Materiaal	Waarde	Eenheid
Gewapend beton	25,0	kN/m ³
Wapeningsstaal	78,5	kN/m ³
Constructiestaal	78,5	kN/m ³
Asfalt	23,0	kN/m ³
Water	10,0	kN/m ³
Zand (droog, verdicht)	18,0	kN/m ³
Zand (nat, verdicht)	20,0	kN/m ³

4.7.2. Beton

Het beton van de coupure heeft een kwaliteit van B35 (zie [2]). Dit staat gelijk aan een betonkwaliteit C28/35.

4.7.3. Betonstaal

De betonwapening van de coupure heeft een kwaliteit van FeB500.

4.7.4. Staal

De staalkwaliteit van de damwanden is onbekend.

4.8. Geotechnische uitgangspunten

4.8.1. Bodemopbouw en sterkte parameters

Het beschikbare grondonderzoek voldoet wat betreft omvang aan de gestelde eisen uit de Eurocode 7. De bodemopbouw en grondparameters die zijn afgeleid zijn opgenomen in onderstaande tabel. De volumieke gewichten zijn overgenomen uit de proevenverzameling van Waterschap Rivierenland. De sterkteparameters zijn afgeleid op basis van NEN-EN 1997-1 tabel 2.b. Een eventuele grondverbetering/zandbed is verwaarloosd. Het grondonderzoek is opgenomen in bijlage C.

Tabel 4-10 Bodemopbouw en grondparameters ter plaatse van KW20 (TG000.+023_B_BIB, TG000.+047_DKMP_KR)

Grondsoort	b.k. laag [NAP]	o.k. laag [NAP]	γ_{droog} [kN/m ³]	γ_{nat} [kN/m ³]	ϕ'_{kar} [°]	c'_{kar} [kN/m ²]	c_u [kN/m ²]
Dijksmateriaal	mv	3,0	18,54	18,54	22,50	5,00	80,00
Klei, siltig	3,0	-1,0	16,82	16,82	20,00	2,50	50,00
Zand, los-matig	-1,0		18,00	20,00	30,00	0,00	n.v.t.

4.8.2. Modelling

Uit archieftekeningen blijkt dat de coupure bestaat uit een op staal gefundeerde betonplaat, met opstaande betonnen wanden en met damwanden als onder- en achterloopsheidschermen, zie Figuur 2-5 t/m Figuur 2-7. De berekeningen zijn uitgevoerd uitgaande van een geschematiseerd funderingselement met de afmeting van de betonplaat (als een poer).

De fundering is gecontroleerd op het mechanisme schuiven, op draagvermogen en het mechanisme kantelen.

Uitgangspunten fundering

- Voor het aanlegniveau is op basis van Figuur 2-5 uitgegaan van een niveau van gemiddeld 0,5 m – maaiveld, wat overeenkomt met een NAP-niveau van +9,0 m.
- Afmeting grondvlak coupure (betonplaat) B x L: 14,2 x 17,44 m.

Uitgangspunten (grond)waterstand

- Voor de maatgevende (horizontale) waterdruk aan de Waalzijde is uitgegaan van de drukfiguur volgens Figuur 5-4. De statische waterdruk is gerekend vanaf onderkant fundering (9,0 m + NAP) tot 12,19 m + NAP. Extra waterdruk als gevolg van golven is gerekend vanaf maaiveld (9,5 m + NAP) tot de bovenzijde van de toekomstige kering in 2125 (12,67 m + NAP).
De grondwaterstand aan de stadzijde is aangenomen op 0,5 m – maaiveld, er van uitgaande dat het aanwezige zandbed onder de verharding altijd voor enige drainage zal zorgen.

Uitgangspunt (wand)wrijving

- Weerstand tegen het mechanisme schuiven wordt geleverd door wrijving langs de onderkant van de fundering en door wrijving langs de achterzijde van de coupurewanden.
- Gunstige werking van passieve gronddruk tegen de fundering is verwaarloosd, evenals de gunstige invloed van de aanwezige damwanden tegen onder- en achterloopsheid. Ook het gunstige effect van de lokale verbreding van de coupurewanden aan de achterzijde van de sponningen is verwaarloosd.
- Voor de fundering is uitgegaan van op een werkvloer gestort beton waarbij de wrijvingshoek $\delta' = \phi'$ is gesteld. Voor de coupurewanden (glad vanwege bekisting) is met een wrijvingshoek $\delta' = 2/3 * \phi'$ gerekend.
- Voor de wrijving aan de achterzijde van de coupurewand is uitgegaan van het onder water gewicht van het dijksmateriaal (dijk is verzadigd), en een neutrale gronddrukfactor ($K_0 = 0,5$).
- Voor de berekening van de wandwrijving is voor de hoek van inwendige wrijving een partiële factor $\gamma_{\phi'} = 1,2$ (op $\tan(\phi')$) in rekening gebracht conform Eurocode 7.

Het mechanisme schuiven is gecontroleerd met een handberekening. Het draagvermogen en het mechanisme kantelen zijn gecontroleerd met de in D-Foundations aanwezige module 'Funderingen op staal'.

4.9. Computersoftware

Voor de berekening is gebruik gemaakt van de volgende software:

Softwarepakket	Versienummer	Omschrijving
IDEA	20.1.3471.1	Software t.b.v. doorsnedecontroles
D-Foundations	19.1	Deltares software voor het berekenen van een fundering op staal

5 Belastinggevallen en -combinaties

5.1. Eigen gewicht

Voor de doorsnedecontrole van de wanden is het eigen gewicht relevant. Het eigen gewicht van de wand is als volgt (per strekkende meter wand):

$$q_{eg} = 0,4\text{m} \cdot (12,63 - 9,50) \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$q_{eg} = 31,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Ten behoeve van de berekening van de fundering is daarnaast ook het totale gewicht van de constructie bepaald in de situatie dat er geen hoogwater aanwezig is. Het totale gewicht betreft het eigen gewicht van de wanden en de vloer en is als volgt bepaald:

- Wand (noord):

$$\text{Talud buitendijks: } \left(\frac{2250\text{mm} + 520\text{mm}}{2} + 100\text{mm} \right) \cdot (5741\text{mm} + 1326\text{mm}) \cdot 400\text{mm} = 4,197\text{m}^3$$

$$\text{Wand overig: } (2350\text{mm} + 520\text{mm}) \cdot 11641\text{mm} \cdot 400\text{mm} = 13,364\text{m}^3$$

$$\text{Verdikking achterzijde: } 2180\text{mm} \cdot 1950\text{mm} \cdot 200\text{mm} = 0,850\text{m}^3$$

$$\text{Sponning: } 2\text{stuks} \cdot 375\text{mm} \cdot (2350\text{mm} + 520\text{mm}) \cdot -200\text{mm} = -0,431\text{m}^3$$

$$\text{Totaal: } 4,197\text{m}^3 + 13,364\text{m}^3 + 0,850\text{m}^3 - 0,431\text{m}^3 = 17,980\text{m}^3$$

- Wand (zuid):

$$\text{Talud buitendijks: } \left(\frac{2250\text{mm} + 520\text{mm}}{2} + 100\text{mm} \right) \cdot (6755\text{mm} + 170\text{mm}) \cdot 400\text{mm} = 4,113\text{m}^3$$

$$\text{Talud binnendijks: } \left(\frac{2250\text{mm} + 520\text{mm}}{2} + 100\text{mm} \right) \cdot (5625\text{mm} + 766\text{mm}) \cdot 400\text{mm} = 3,796\text{m}^3$$

$$\text{Wand overig: } (2350\text{mm} + 520\text{mm}) \cdot 3602\text{mm} \cdot 400\text{mm} = 4,135\text{m}^3$$

$$\text{Verdikking achterzijde: } 1950\text{mm} \cdot (1540\text{mm} \cdot 400\text{mm} + (500\text{mm} + 520\text{mm}) \cdot 200\text{mm}) = 1,599\text{m}^3$$

$$\text{Sponning: } 2\text{stuks} \cdot 375\text{mm} \cdot (2350\text{mm} + 520\text{mm}) \cdot -200\text{mm} = -0,4305\text{m}^3$$

$$\text{Totaal: } 4,113\text{m}^3 + 3,796\text{m}^3 + 4,135\text{m}^3 + 1,599\text{m}^3 - 0,4305\text{m}^3 = 13,213\text{m}^3$$

- Vloer:

- Oppervlak dwarsdoorsnede

$$\text{Voetpad (zuid): } \frac{710\text{mm} + 690\text{mm}}{2} \cdot 2150\text{mm} = 1,505 \text{ m}^2$$

$$\text{Fietspad (zuid): } \frac{570\text{mm} + 520\text{mm}}{2} \cdot 2750\text{mm} = 1,499 \text{ m}^2$$

$$\text{Rijweg: } \frac{400 + 463}{2} \cdot 2 \cdot 3125\text{mm} = 2,697 \text{ m}^2$$

$$\text{Fietspad (noord): } \frac{520\text{mm} + 570\text{mm}}{2} \cdot 3050\text{mm} = 1,662 \text{ m}^2$$

$$\text{Voute (noord onderzijde): } \frac{1}{2} \cdot 250^2 + 250\text{mm} \cdot 800\text{mm} = 0,231\text{m}^2$$

$$\text{Subtotaal: } 1,505\text{m}^2 + 1,499\text{m}^2 + 2,697\text{m}^2 + 1,662\text{m}^2 + 0,231\text{m}^2 = 7,594\text{m}^2$$

- Voute stootplaten: $2 \cdot \left(\frac{1}{2} \cdot 250^2 + 250\text{mm} \cdot 700\text{mm} \right) = 0,413\text{m}^2$

- Voute schotbalkaanslag: $(250\text{mm} + 1250\text{mm}) \cdot 250\text{mm} = 0,375\text{m}^2$

$$\text{Totaal: } 7,594\text{m}^2 \cdot 17443\text{mm} + (0,413\text{m}^2 + 0,375\text{m}^2) \cdot 12600\text{mm} = 142,39 \text{ m}^3$$

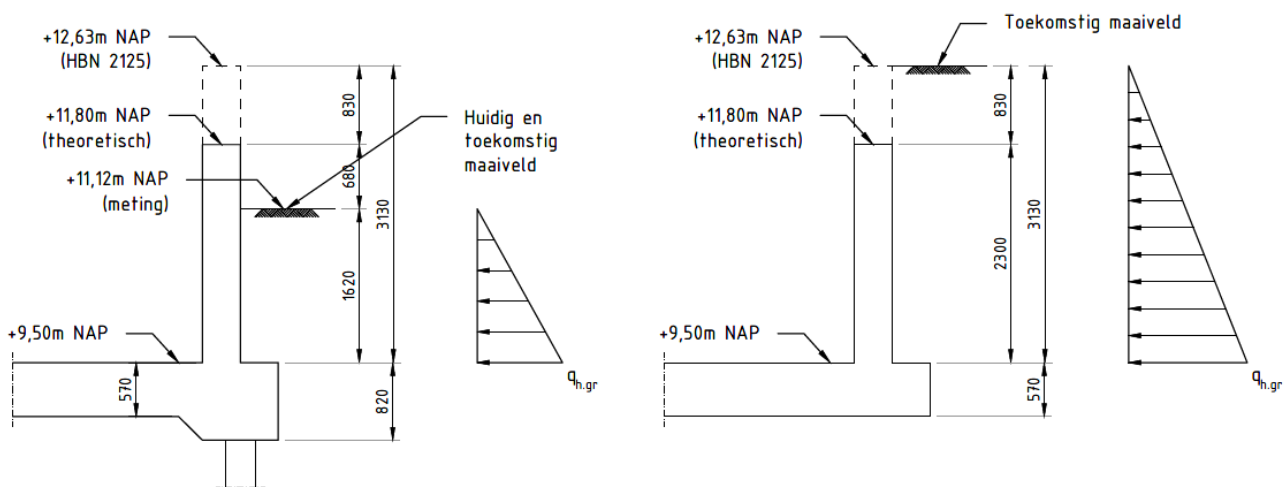
Het totale volume beton is: $142,39\text{m}^3 + 13,213\text{m}^3 + 17,98\text{m}^3 = 173,583\text{m}^3$

Het totale gewicht van de constructie is: $173,583\text{m}^3 \cdot 25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} =$

4340kN

5.2. Horizontale grond- en grondwaterdruk

De horizontale belastingen zijn schematisch weergegeven in Figuur 5-1. Voor de horizontale gronddruk voor uitgegaan van een neutrale gronddrukfactor $K_{0;\text{gem}} = 0,50$ tot onderzijde betonconstructie. De belasting op de zuidelijke wand is maatgevend.

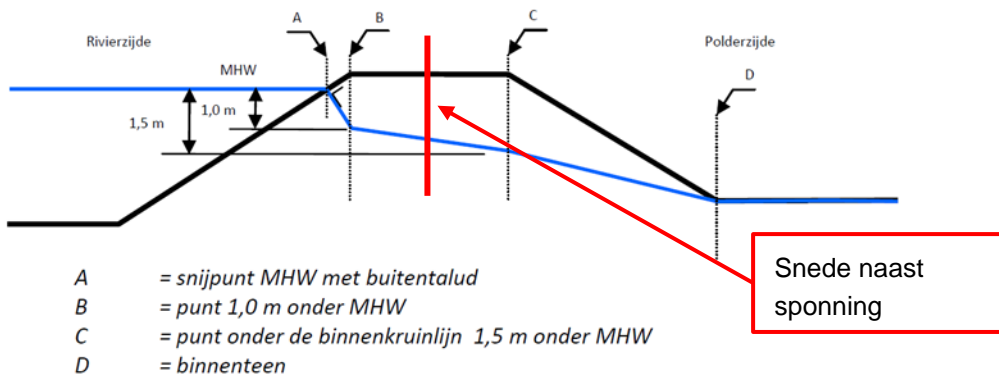


Figuur 5-1 Horizontale belasting binnendijkse zijde noordelijke wand (links) en zuidelijke wand (rechts)

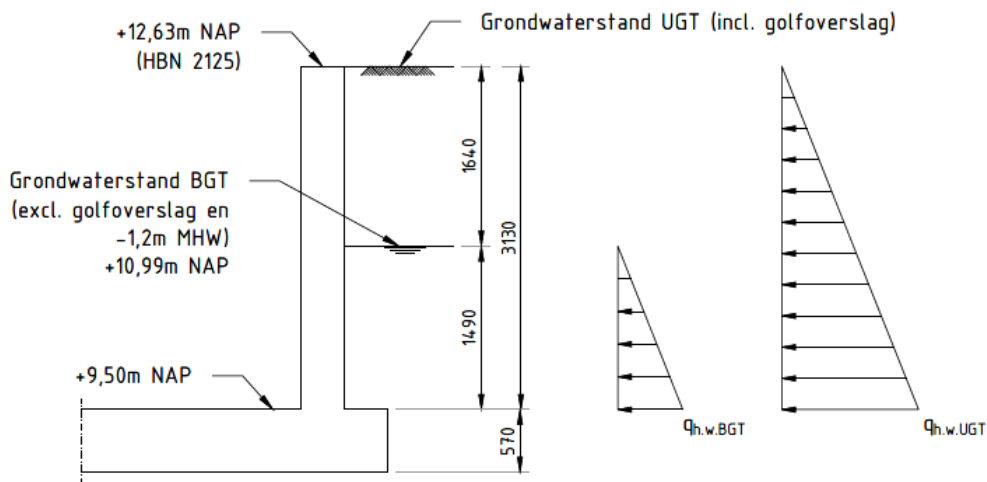
Voor het niveau van de grondwaterstand wordt Figuur 5-2 toegepast. Daaruit volgt dat het grondwater maximaal tot -1,2m WBN staat. Dit komt voor coupure Bellevue neer op $+12,19 - 1,2 = +10,99\text{m}$ NAP. Er wordt opgemerkt dat dit alleen de waterstand betreft en niet de golfslag. Deze hoogte is daarom alleen geldig voor de BGT situatie (zie par. 5.3). Voor de uiterste grenstoestand is overslag over de dijk mogelijk en wordt gerekend met een volledig verzadigd grondmassief.

Er wordt onderscheid gemaakt tussen korreldruk en grondwaterdruk:

- Korreldruk: $q_{h;gr} = 0,50 \cdot (12,63 - 9,50) \cdot \left(20 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} - 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}\right) = 15,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Grondwaterdruk BGT: $q_{h;w;BGT} = (10,99 - 9,50) \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 14,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$
- Grondwaterdruk UGT: $q_{h;w;UGT} = (12,63 - 9,50) \cdot 10 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} = 31,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$



Figuur 5-2 Schematisatie freatische lijn in dijk zuidzijde (zie [14] par. 8.4.3)



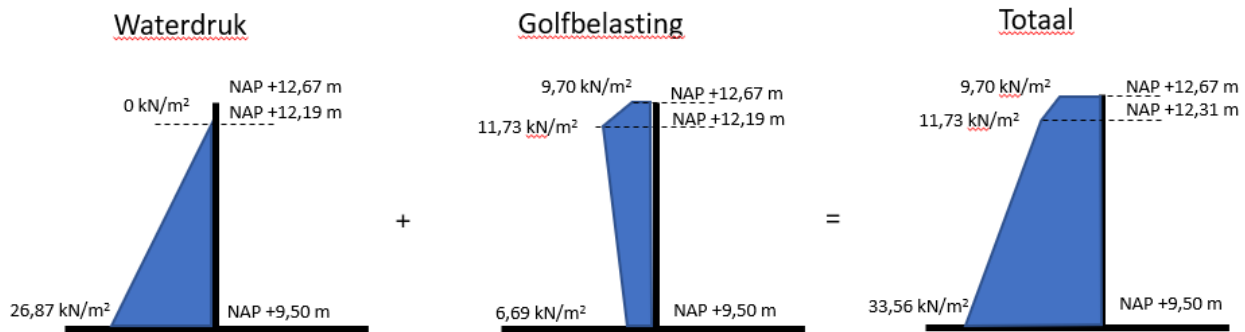
Figuur 5-3 Grondwaterdruk op zuidelijke wand coupure Bellevue

5.3. Hydraulische belasting

De hydraulische belasting is de belasting die tijdens hoogwater door een combinatie van de waterstand (= vervalbelasting) en golfhoogte (= golfbelasting) optreedt. Voor de toets op sterkte en stabiliteit wordt als volgt onderscheid gemaakt tussen de volgende grenstoestanden:

- Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT): Dit betreft de situatie waarin vervormingen en scheurwijdtes worden getoetst. Voor de BGT wordt alleen de waterdruk in rekening gebracht. De golfbelasting wordt verwaarloosd omdat deze niet continu aanwezig is;
- Uiterste grenstoestand (UGT): De som van de waterdruk en golfbelasting wordt in rekening gebracht.

Voor coupure Bellevue is de hydraulische belasting berekend op basis van de randvoorwaarden uit paragraaf 4.6. Daarin is de golfbelasting bepaald met het model van Goda. De horizontale druk die daaruit volgt is weergegeven in Figuur 5-4.



Figuur 5-4 Hydraulische belasting

5.4. Belastingcombinaties

De belastingcombinaties zijn opgesteld conform de NEN-EN1990 (Bouwbesluit; ingedeeld onder gebouwen) en de WOWK par. 7.10 (Waterwet). Omdat er in de Eurocode nauwelijks wordt ingegaan op waterkundige belastingen zijn de richtlijnen in de WOWK toegepast met betrekking tot hoe deze belastingeffecten in rekening dienen te worden gebracht.

De maatgevende belastingcombinatie tijdens hoogwater is afhankelijk van de hydraulische belasting. Omdat de projectlocatie in het bovenrivierengebied ligt wordt aangenomen dat er een zwakke correlatie tussen waterstand en golven is (conform WOWK par. 7.10.2.1). Daarnaast geldt er voor de constructies binnen dit project dat de hydraulische belasting maatgevend is boven het eigen gewicht (zie onderstaande tekst). Er kan daarom worden volstaan om de hydraulische belasting alleen in vergelijking 6.10b te toetsen.

In verreweg de meeste gevallen zal 6.10b maatgevend zijn voor de hoogwaterbelastingssituatie. Enkel in het geval dat het eigengewicht 80% of meer van de totale belasting beslaat, kan 6.10a het maatgevende belastingeffect geven.

Figuur 5-5 Citaat uit de WOWK par. 7.10.2

Er worden twee soorten uiterste grenstoestanden (UGT) beschouwd (conform NEN-EN1990 art. 6.4.1 en 6.4.2), namelijk:

- STR: Intern bezwijken of buitensporige vervorming van de constructie of van constructieve elementen;
- EQU: Statisch evenwicht van de constructie.

De belastingcombinaties in de uiterste grenstoestand zijn gebaseerd op de onderstaande formules.

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10a)$$

$$\left\{ \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i} \right. \quad (6.10b)$$

De belastingcombinaties voor de karakteristieke en frequente combinatie in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT) zijn respectievelijk gebaseerd op de volgende formules:

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (6.14b)$$

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} \text{ "+" } P \text{ "+" } \Psi_{1,1} Q_{k,1} \text{ "+" } \sum_{i > 1} \Psi_{2,i} Q_{k,i} \quad (6.15b)$$

Als uitgangspunt voor het samenstellen van de belastingcombinaties geldt dat de hydraulische belasting niet gelijktijdig met de verkeersbelasting in rekening gebracht wordt. Tijdens hoogwater zijn er verkeersmaatregelen aanwezig die de toegang van verkeer tot nabij de constructie beperken.

Tabel 5-1 Belastingfactoren behorend bij CC3

Belastinggeval	Sterkte (STR/GEO) (conform NEN-EN1990 Tabel NB.5 en WOWK Tabel 11)	Statisch evenwicht (EQU) (conform NEN-EN1990 Tabel NB.3 – A1.2(A) en WOWK Tabel 11)
Eigen gewicht (ongunstig)	1,50 ($\approx 1,10 \cdot 1,35$) en $\xi = 0,89$	1,10 (= $1,10 \cdot 1,00$)
Eigen gewicht (gunstig)	0,90	0,90
Gronddruk	1,10 (= $1,10 \cdot 1,00$)	1,10 (= $1,10 \cdot 1,00$)
Grondwaterdruk	1,00*	1,00*
Hydraulische belasting	1,00**	1,00**
Temperatuur	1,65 (= $1,10 \cdot 1,50$)	n.v.t.
Verkeersbelasting	1,50*** ($\approx 1,10 \cdot 1,35$)	1,50 ($\approx 1,10 \cdot 1,35$)

* De grondwaterdruk is gebaseerd op de waterdruk van de hydraulische belasting (zie WOWK par.7.10.4.3)

** Voor de hydraulische belasting is geen belastingfactor van toepassing omdat de overschrijdingskans is verwerkt in de rekeningwaarde (zie WOWK par.7.10.2)

*** Dit is lager dan de waarde 1,65 uit EC0, maar wordt hier toegepast omdat dit vermeld staat in de WOWK Tabel 11

Tabel 5-2 Ψ -factoren (conform NEN-EN1990 Tabel NB.2 - A1.1)

Belasting	Ψ_0 [-]	Ψ_1 [-]	Ψ_2 [-]
Hydraulische belasting	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.
Verkeersbelasting (categorie G)	1,00*	0,50	0,30
Temperatuur	0	0,50	0

* Conform de rechterkolom uit WOWK Tabel 11. Dit is maatgevend boven de Ψ_0 van 0,70 uit EC0

6 Berekening en resultaten fundering

6.1. Opzet berekeningen

De fundering is gecontroleerd op het mechanisme schuiven, op draagvermogen en het mechanisme kantelen.

6.2. Mechanisme schuiven

6.2.1. Inleiding

Aan de veiligheidseis wordt voldaan als de resultante van de horizontale waterdruk kleiner is dan de wrijvingsweerstand langs de onderkant van de fundering en langs de achterzijde van de coupurewanden.

$$H_d < R_d = V'_d * \tan(\delta_d) + F_{hor, res, d} * \tan(\delta_d), \text{ waarin}$$

H_d = De rekenwaarde van de horizontaalkracht uit de waterdruk op de coupure (zie 5.2).

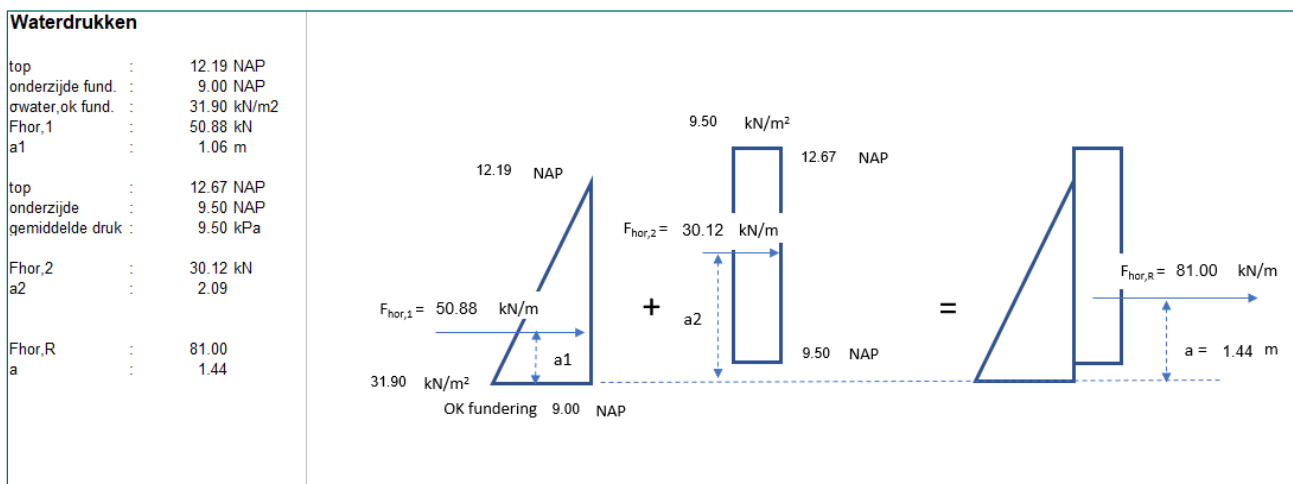
V'_d = De rekenwaarde van de verticaalkracht als gevolg van het eigen gewicht van de coupure (zie 5.1).

$F_{hor, res, d}$ = De rekenwaarde van de horizontale resultante gronddruk (korrelspanningen) tegen de coupurewanden.

$\tan(\delta_d)$ = De rekenwaarde van de wrijvingsfactor tussen fundering/wand en grond, voor de fundering is dit $\delta = \varphi$ (in het werk gestort beton) en voor de wand is dit $\delta = 2/3 * \varphi$ (gladde wand).

6.2.2. Horizontale waterdruk

Op basis van de hydraulische belasting is in onderstaande figuur de resultante horizontaalkracht uit de waterdruk afgeleid. Deze bedraagt $F_{hor, R, d, waterdruk} = 81,00 \text{ kN/m}$ breedte. De totale druk is samengesteld uit de hydrostatische druk en (gemiddelde) golfdruk.



Figuur 6-1 Afleiding resultante waterdruk op de coupure per meter breedte

6.2.3. Wrijving op onderkant fundering

De weerstand biedende wrijving langs de onderkant van de fundering wordt beschreven met:

$$F_{\text{wrijving fundering,d}} = V'_d * \tan(\delta_d).$$

Bij de bepaling van het eigen gewicht van de coupure is rekening gehouden met de opwaartse waterdruk tijdens hoog water aangezien een deel van de coupure onder water staat. Er is mee gerekend dat de coupure bij maatgevend hoog water aan de Waalzijde geheel onder water staat en dat coupure aan de stadzijde zich boven water bevindt. Voor het onderwater gewicht is 15 kN/m³ aangehouden, voor het gewicht boven water is 25 kN/m³ aangehouden. Voor het karakteristieke eigen gewicht (totale gewicht) resulteert dan (zie ook onderbouwning in 5.1):

$$V'_{\text{kar}} = \frac{1}{2} * 173,583 \text{ m}^3 * 15 \text{ kN/m}^3 + \frac{1}{2} * 173,583 \text{ m}^3 * 25 \text{ kN/m}^3 = 3472 \text{ kN. Hieruit volgt:}$$

$$F_{\text{wrijving fundering,d}} = V'_{\text{kar}} * \gamma_{G;\text{stb}} * \tan(\delta_{\text{kar}}) / \gamma_{\varphi'} = 3472 * 0,9 * \tan(22,5) / 1,2 = 1078 \text{ kN.}$$

$\gamma_{G;\text{stb}}$ = partiële factor voor gunstig werkende belasting.

δ_{kar} = hoek van inwendige wrijving voor een ruw oppervlak: $\varphi = 22,5^\circ$ voor dijksmateriaal (maatgevend).

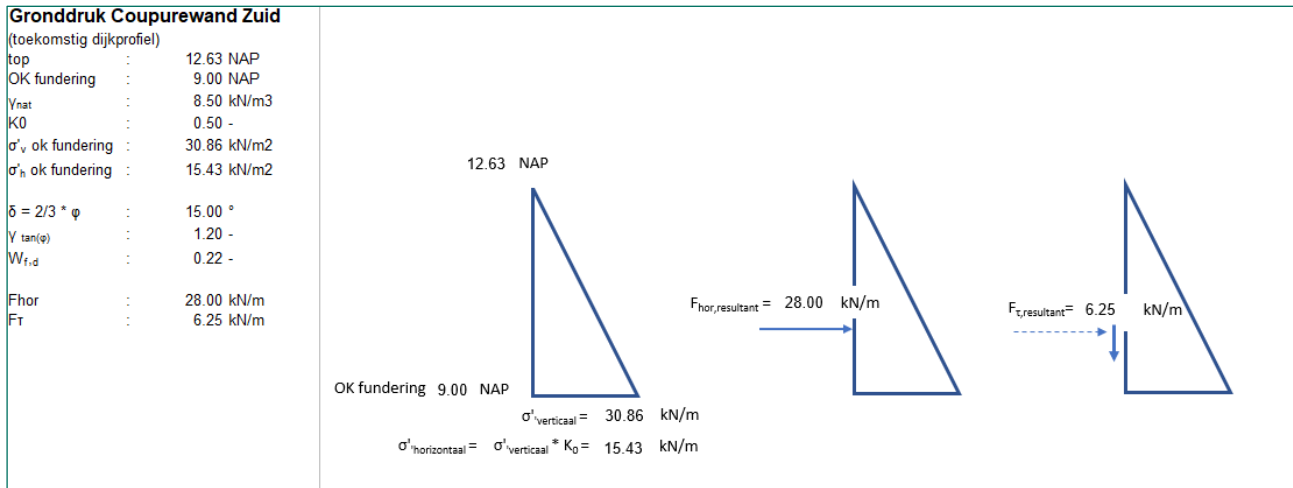
$\gamma_{\varphi'}$ = partiële factor op de hoek van inwendige wrijving.

6.2.4. Wrijving langs achterzijde coupurewanden

Omdat de coupurewanden niet gelijkvormig zijn en het maaiveld achter de wand aan de noordzijde lager ligt dan de bovenkant van de wand zijn beide wanden apart beschouwd. Voor de coupurewand aan de zuidzijde is uitgegaan van het toekomstige maaiveld na ophoging van de dijk en voor de coupure aan de noordzijde is uitgegaan van het huidige maaiveldniveau (zie Figuur 5-1).

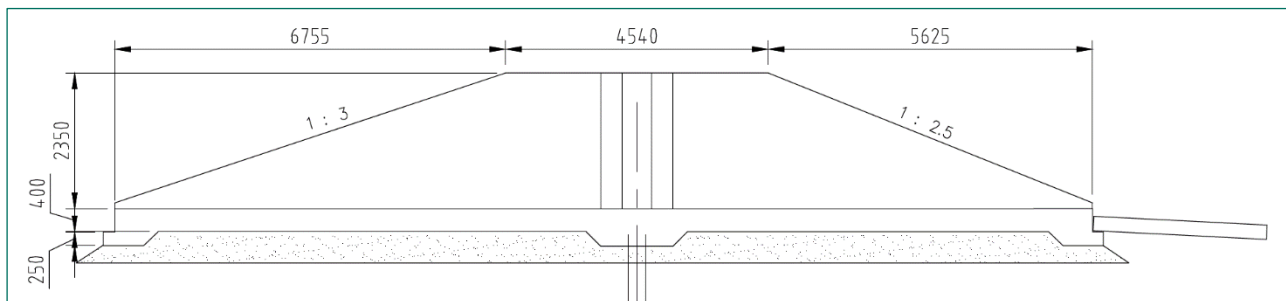
Op basis van het contactoppervlak tussen de coupurewanden en de grond is de totale wrijving voor de coupure berekend. Voor de grond is uitgegaan van de eigenschappen van 'Dijksmateriaal'.

In onderstaande figuur is de berekening van de maximale wrijving (rekenwaarde) per strekkende meter voor de zuidelijke coupurewand uitgewerkt, ter plaatse van het hoogste maaiveldniveau.



Figuur 6-2 Berekening wandwrijving zuidelijke coupurewand (maximale hoogte)

Voor de totale wandwrijving per strekkende meter (maximale hoogte) is een rekenwaarde van $F_{T,d} = 6,25$ kN/m' berekend.

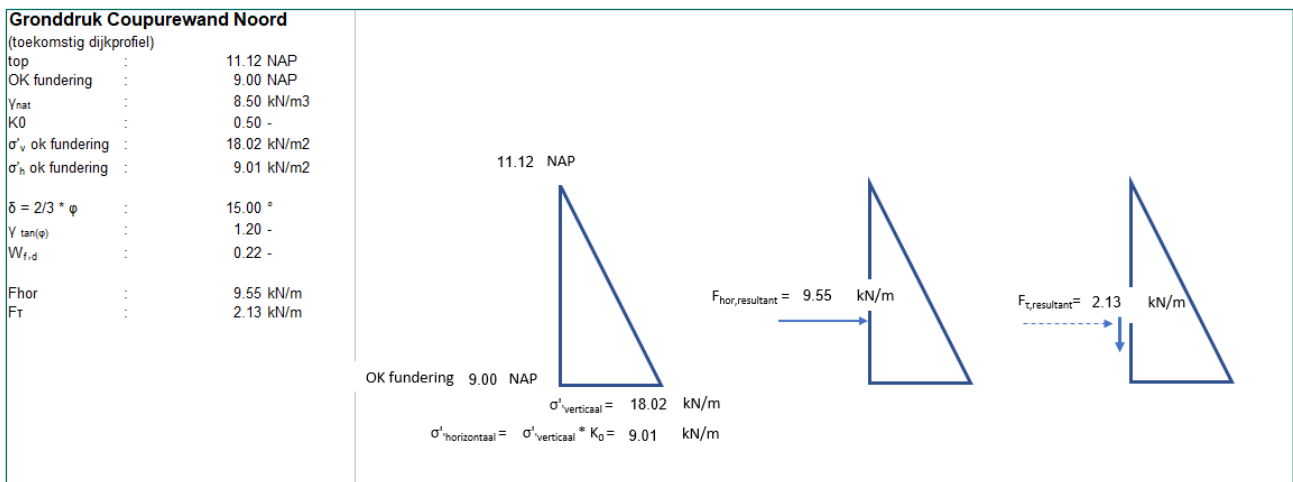


Figuur 6-3 Aanzicht zuidelijke coupurewand

Voor het hoogste punt van de coupurewand, die over 4,5 m horizontaal loopt, is gerekend met de maximale wandwrijving zoals in het voorgaande is berekend. Voor beide vleugelwanden is een vereenvoudigde maatvoering aangehouden er van uitgaande dat beide wanden over een horizontale afstand van 5,6 m naar beide uiteinden aflopen tot onderkant fundering (zie Figuur 6-3). Ter plaatse van het hoogste deel van de wand wordt gerekend met de maximale wrijving volgens Figuur 6-2, voor het aflopende deel wordt gemiddeld tussen de maximale wrijving (hoogste niveau) en 0 (funderingsniveau).

$$F_{wrijving\ zuidelijke\ wand,d} = 4,54 * 6,25 + 2 * 5,625 * \frac{1}{2} * (0 + 6,25) = 64\text{ kN.}$$

Van de noordelijke wand loopt de vleugelwand aan de Waalzijde af naar maaiveld en blijft de hoogte aan de stadzijde op constante hoogte tot het uiteinde van de coupure. Verder ligt het maaiveld lager dan de hoogte van de coupurewand, zie ook Figuur 2-1. Daarom is wrijving over de vleugelwand aan de waalzijde verwaarloosd en is alleen gerekend met wrijving over het hoogste deel van de wand. Daarbij is het maaiveldniveau constant genomen, waarbij de rekenwaarde van de wrijving is berekend volgens onderstaande figuur.



Figuur 6-4 Berekening wandwrijving noordelijke coupurewand (maximale hoogte)

$$F_{wrijving \text{ noordelijke wand},d} = (4,54 + 5,625) * 2,13 = 22 \text{ kN.}$$

6.2.5. Toetsing horizontaal evenwicht

$$H_d < R_d = V'_d * \tan(\delta_{d,fundering}) + F_{hor \text{ res},d} * \tan(\delta_{d,coupurewanden})$$

$$\text{Waarin } H_d = 81 * (12,6 + 0,6 + 0,8) = 1134 \text{ kN (zie Figuur 3-3)}$$

$$R_d = (1078 + 64 + 22) = 1171 (>1134)$$

Hieruit volgt dat de coupure voldoet. De toets suggereert dat de weerstand tegen afschuiven maar net voldoende is. Er zijn echter diverse conservatieve aannames gedaan, waaronder het niet meenemen van het zandbed onder de coupure en het verwaarlozen van gunstige effecten van de aanwezige damwanden onder de coupure.

6.3. Draagvermogen en mechanisme kantelen

De toetsing is uitgevoerd met D-Foundations, waarbij de coupure als een funderingselement met een lengte en breedte is geschematiseerd en het eigen gewicht als verticale kracht en de horizontale waterdruk als horizontale kracht.

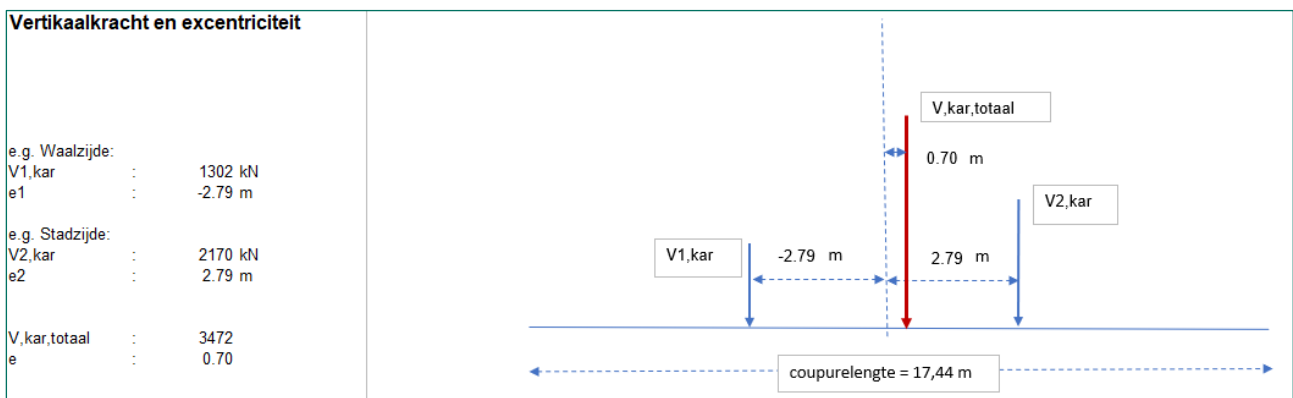
Uitgangspunten:

Afmeting fundering coupure : $B = 14,2$ m en $L = 17,44$ m.

Eigen gewicht coupure : $V_{kar, totaal} = 3472$ kN. $F_{v,d, totaal} = V_{kar, totaal} * \gamma_{G;stb} = 3472 * 0,9 = 3125$ kN (lage verticaalkracht in combinatie met horizontaalkracht is maatgevend).
Excentriciteit ten opzichte van het midden van de fundering is $0,70$ m.

Waterdruk (maatgevend HW) : $H_{d,totaal} = 1085$ kN op een hoogte van $1,44$ m ten opzicht van de onderkant fundering (zie Figuur 6-1).

Vanwege de hogere waterstand aan de Waalzijde is sprake van een geringe excentriciteit van de resultante verticaalkracht ten opzichte van het midden van de coupure. Zie onderstaande figuur.



Figuur 6-5 Verticaalkracht en excentriciteit ten opzichte van het midden van de coupure

Uit de gemaakte berekeningen blijkt dat de coupure wat betreft het draagvermogen voldoet voor de gedraineerde situatie en ongedraineerde situatie en tevens voor het mechanisme kantelen. Zie bijlage D.

Tabel 6-1 Toetsing draagvermogen en stabiliteit

	Belasting V_d [kN]	Draagvermogen R_d [kN]	Voldoet
Situatie gedraineerd	3125	28312	Ja
Situatie ongedraineerd	3125	48610	Ja
Situatie kantelstabiliteit	-	-	Ja

7 Berekening en resultaten constructie

De vleugelwanden van de coupure worden in beton opgehoogd tot +12,37m NAP (zichtjaar 2075). Voor de berekening wordt ervan uitgegaan dat over ca. 50 jaar de wanden ook weer in beton worden opgehoogd tot +12,63m NAP (zichtjaar 2125). Deze laatstgenoemde situatie is maatgevend en in navolgende paragrafen getoetst.

7.1. Verhoging vleugelwanden

Voor de verhoging van de vleugelwanden is uitgegaan dat het maaiveld aan de noordzijde op hetzelfde niveau blijft en aan de zuidzijde gelijk komt met de wand (zie Figuur 5-1). De bovenbelasting achter de wanden bestaat 13 kN/m² over een breedte van 2,5m (zie [11] par 8.6).

Een dergelijke bovenbelasting op de dijk tijdens hoogwater direct achter de vleugelwanden is aan de noordzijde fysiek niet mogelijk. Aan de zuidzijde is aan de binnenzijde van de dijk een onderhoudsweg beschikbaar, waarmee het niet noodzakelijk is dat men met materieel op de kruin van de dijk zal rijden tijdens hoogwater. Er wordt aangenomen dat de bovenbelasting daarom niet gelijktijdig met hoogwater aanwezig is. Omdat hoogwater maatgevend is, betekent dat, dat er bij beide wanden geen bovenbelasting in rekening is gebracht..

Dit betekent dat de horizontale belasting aan de zuidelijke wand maatgevend is. Daarom is alleen de zuidelijke wand beschouwd. De maatgevende snede is aan de onderzijde van de wand. De belasting op deze snede is als volgt:

- Eigen gewicht: Verticale belasting van 31,3 kN/m (zie par. 5.1)
- Horizontale korreldruk:
 - Dwarskracht: $\frac{1}{2} \cdot (12,63 - 9,50) \cdot 15,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 24,6 \text{ kN/m}$
 - Moment: $\frac{1}{3} \cdot (12,63 - 9,50) \cdot 24,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 25,7 \text{ kNm/m}$
- Horizontale grondwaterdruk BGT:
 - Dwarskracht: $\frac{1}{2} \cdot (10,99 - 9,50) \cdot 14,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 11,1 \text{ kN/m}$
 - Moment: $\frac{1}{3} \cdot (10,99 - 9,50) \cdot 11,1 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 5,5 \text{ kNm/m}$
- Horizontale grondwaterdruk UGT:
 - Dwarskracht: $\frac{1}{2} \cdot (12,63 - 9,50) \cdot 31,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 49,0 \text{ kN/m}$
 - Moment: $\frac{1}{3} \cdot (12,63 - 9,50) \cdot 49,0 \frac{\text{kN}}{\text{m}} = 51,1 \text{ kNm/m}$

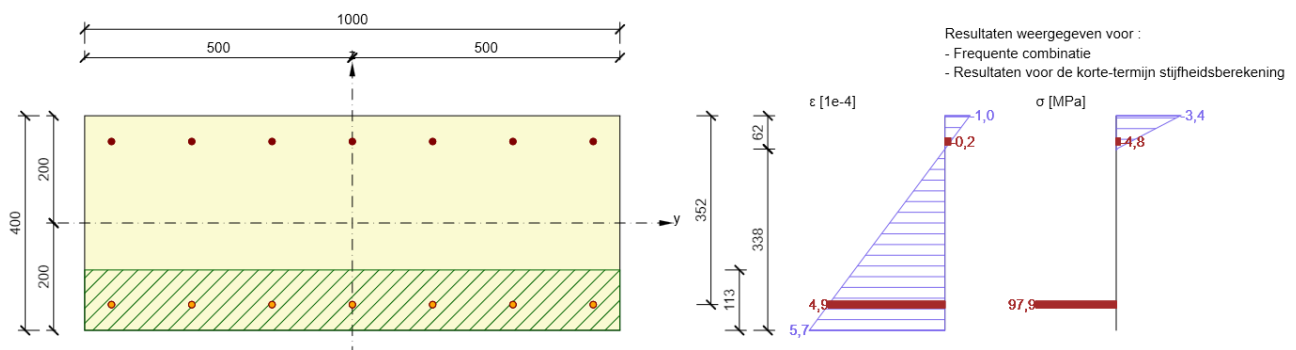
De belastingcombinaties zijn weergegeven in Tabel 7-1. De rekenwaardes voor de belastingen zijn weergegeven in Tabel 7-2. De wapening in de wand is een vierkant net Ø12-150 waarvan de 1^e laag horizontaal is en de 2^e laag verticaal (zie [2]).

Tabel 7-1 Belastingcombinaties wand coupure

	BGT	UGT
Eigen gewicht (gunstig)	1,00	0,90
Hor. gronddruk	1,00	1,10
Hor. grondwaterdruk	1,00	1,00

Tabel 7-2 Rekenwaardes belastingen wand coupure

	BGT	UGT
Normaalkracht [kN/m]	31,3	$0,9 \cdot 31,3 = 28,2$
Dwarskracht [kN/m]	n.v.t.	$1,1 \cdot 24,6 + 49 = 76,1$
Moment [kNm/m]	$25,7 + 5,5 = 31,2$	$1,1 \cdot 25,7 + 51,1 = 79,4$



Figuur 7-1 Spanning- en rekverdeling in de doorsnede bij toets scheurwijdte in IDEA (zie Bijlage B)

Deze belastingen zijn ingevoerd in IDEA en de resultaten zijn weergegeven in Tabel 7-3 (zie Bijlage B). Uit de berekening volgt dat de doorsnede voldoet.

Tabel 7-3 Resultaten IDEA-berekening wand coupure

Type controle	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Waarde [%]	Controle
Weerstand N-My-Mz	-28,2	79,4	0,0			58,8	Oké
Dwarskracht	-28,2			76,1	0,0	49,1	Oké
Interactie	-28,2	79,4	0,0	76,1	0,0	62,0	Oké
Scheurwijdte	-31,3	76,8	0,0			97,3	Oké

7.2. Krachtswerking sponning

Het is in deze fase nog niet bekend hoe de bevestiging van het DPS-systeem in de sponning eruit ziet. Er wordt daarom conservatief aangenomen dat de belasting op de schotbalk wordt afgedragen door het beton. Er ontstaat dan een drukdiagonaal in het beton die afgedragen wordt door de horizontale wapening in de wand/sponning (zie Figuur 7-2).

Er wordt uitgegaan dat de schotbalken een lengte hebben van 3,5m (conservatief). De rekenwaarde van de belasting aan de onderzijde van de sponning is dan gelijk aan de hydraulische belasting en heeft de volgende waarde:

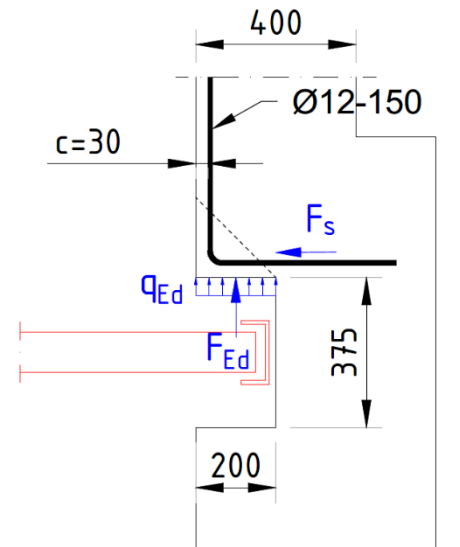
$$F_{Ed} = 1,0 \cdot 33,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot \frac{3,5\text{m}}{2} = 58,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Omdat de drukdiagonaal onder een hoek van 45 graden optreedt is dit tevens de belasting die door de wapening afgedragen dient te kunnen worden. De capaciteit van de wapening $\text{Ø}12-150$ is als volgt:

$$F_{s;Rd} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot 12^2 \cdot \frac{1000\text{mm}}{150\text{mm}} \cdot 435 \text{ MPa} = 328 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

De unity check op de wapening is als volgt:

$$UC = \frac{F_{Ed}}{F_{s;Rd}} = \frac{58,7}{328} = 0,18 < 1,00,$$



Figuur 7-2 Krachtsafdracht sponning

dus akkoord

8 Betrouwbaarheid sluiting

De toetsing op het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is uitgewerkt in de notitie met referentie INFR200121-N-02 [12], deze notitie is opgenomen in bijlage E. In de notitie is aangetoond dat de faalkans op dit faalmechanisme lager is dan de faalkanseis. Deze conclusie geldt indien onderstaande aanbevelingen uitgewerkt worden.

Om te voldoen aan de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiting dienen de volgende aspecten te worden opgenomen in de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraiboek.

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

Voor de coupure is vanaf het zichtjaar 2023 een herstelmogelijkheid nodig om te voldoen aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting: Om deze herstelmaatregel voor de coupure in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem
- Beschikbaarheid van OTO-Plan
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure)
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen
- Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek

In aanvulling op bovenstaande punten zijn er vanuit het beheer- en onderhoudsplan [8] nog de onderstaande eisen aan het ontwerp van de coupures. Deze dienen in een vervolgfase uitgewerkt te worden:

- Leveren van een complete gereedschapskist voor de opbouw die wordt opgeslagen in de containers van deze coupure
- Leveren van alle data voor een complete sluitprocedure conform BO-rapportage T-BBU
- Leveren van werkinstructie voor opbouw coupure

9 Piping

In dit hoofdstuk wordt het faalmechanisme piping t.p.v. Coupure Waalstraat getoetst. In dit hoofdstuk wordt alleen gekeken naar mogelijke in- of uitredepunten die ontstaan door de aanwezigheid van de coupure. Voor de toetsing van het faalmechanisme piping voor het grondlichaam wordt verwezen naar [10].

9.1. Methode toetsing piping

Voor de controle op piping is de procedure beschreven in de Werkwijzer Ontwerpen Waterkerende Kunstwerken (WOWK 2018) en de Schematiseringshandleiding Piping Kunstwerk gevolgd (volledige referentie is opgenomen in paragraaf 4.2. Er dient getoetst te worden op de mechanismes onderloopsheid en achterloopsheid. Voor deze toetsingen zijn verschillende rekenmethodes beschikbaar. Welke methode toegepast dient te worden, is in een stroomschema weergegeven in Figuur 9-1. Onderstaand zijn de stappen in het schema voor beide mechanismes beschreven. Op basis van deze stappen wordt onderloopsheid getoetst op basis van het heave criterium en achterloopsheid o.b.v. methode Bligh. De toetsing op onderloopsheid is uitgewerkt in paragraaf 9.2 en achterloopsheid in paragraaf 9.3.

Onderloopsheid

Kwelweg zuiver horizontaal?

Nee, bij onderloopsheid is er een verticale kwelweg.

Toets op opbarsten:

Toetsing niet uitgevoerd uitgangspunt is dat opbarsten optreedt.

Lane zeker conservatief?

Nee, controle Lane is niet uitgevoerd.

Toets op heave

Achterloopsheid:

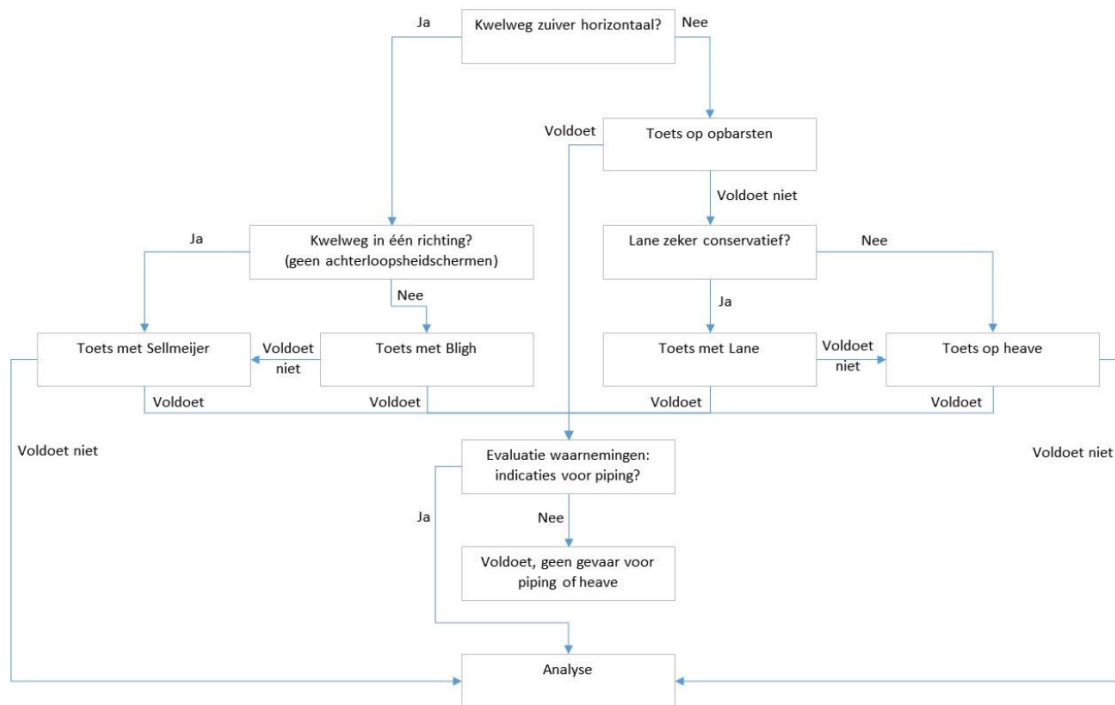
Kwelweg zuiver horizontaal?

Ja, bij achterloopsheid is de kwelweg langs de coupure horizontaal.

Kwelweg in één richting?

Nee, de coupure is voorzien van achterloopsheidschermen. Door deze schermen loopt de kwelweg niet in één richting.

Toets met Bligh



Figuur 9-1: Bepaling schematisering piping [Bron:Schematiseringshandleiding Piping]

9.2. Onderloopsheid

In de toetsing op onderloopsheid wordt uitgegaan van een kwelweg onder de coupure door. De coupure is voorzien van een onderloopsheidscherm. De lengte van dit scherm wordt getoetst op het heave criterium. Het heavecriterium is in de WOWK gedefinieerd als:

$$i = \frac{\varphi_0 - h_p}{d} \leq i_c$$

Waarin:

- i optredend verhang over het kwelscherm [-]
- φ_0 stijghoogte t.p.v. het kwelscherm, conservatief is uitgegaan van de buitenwaterstand voor het zichtjaar 2125: NAP+12,19 m. Er is geen reductie t.g.v. het aanwezige voorland in rekening gebracht.
- h_p waterstand in het achterland, hiervoor is het maaiveldniveau t.p.v. de coupure aangehouden. $h_p = \text{NAP} + 9,50 \text{ m}$.
- d is de lengte van het kwelscherm. Het kwelscherm is 6,0 m lang, zie Tabel 2-2.
- i_c kritiek verhang over het kwelscherm, conform de WOWK is het kritieke verticale verhang $i_c = 0,50$

Invullen in de formule resulteert in:

$$i = \frac{\varphi_0 - h_p}{d} = \frac{12,19 - 9,50}{6} = 0,45$$

$$i \leq i_c \rightarrow 0,45 \leq 0,50$$

Het optredende verhang over het kwelscherm (0,45) is dus kleiner dan het kritieke verhang (0,50). Er is voldaan aan het heave criterium. Onderloopsheid kan daarom tot aan het zichtjaar 2125 worden uitgesloten.

9.3. Achterloopsheid

In de toetsing op achterloopsheid wordt uitgegaan van een kwelweg langs de zijde van de coupure. Achterloopsheid wordt getoetst met het aangepaste model van Bligh. Het model van Bligh is gegeven in onderstaande formule (conform WOWK) :

$$\Delta H - 0,3d \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

Hierin is:

- ΔH het optredende verval over het kunstwerk;
- d de afstand tussen bovenkantzandlaag en maaiveldniveau achterland.
- ΔH_c het maximaal toelaatbare verval;
- C_{creep} is de creepfactor
- L de minimale kwelweglengte

De parameters die zijn toegepast in de berekening zijn bepaald volgens de WOWK en hieronder toegelicht:

d de afstand tussen bovenkantzandlaag en maaiveldniveau achterland.

Conservatief is aangehouden dat de zandlaag direct aan het maaiveld grenst, $d=0$ m.

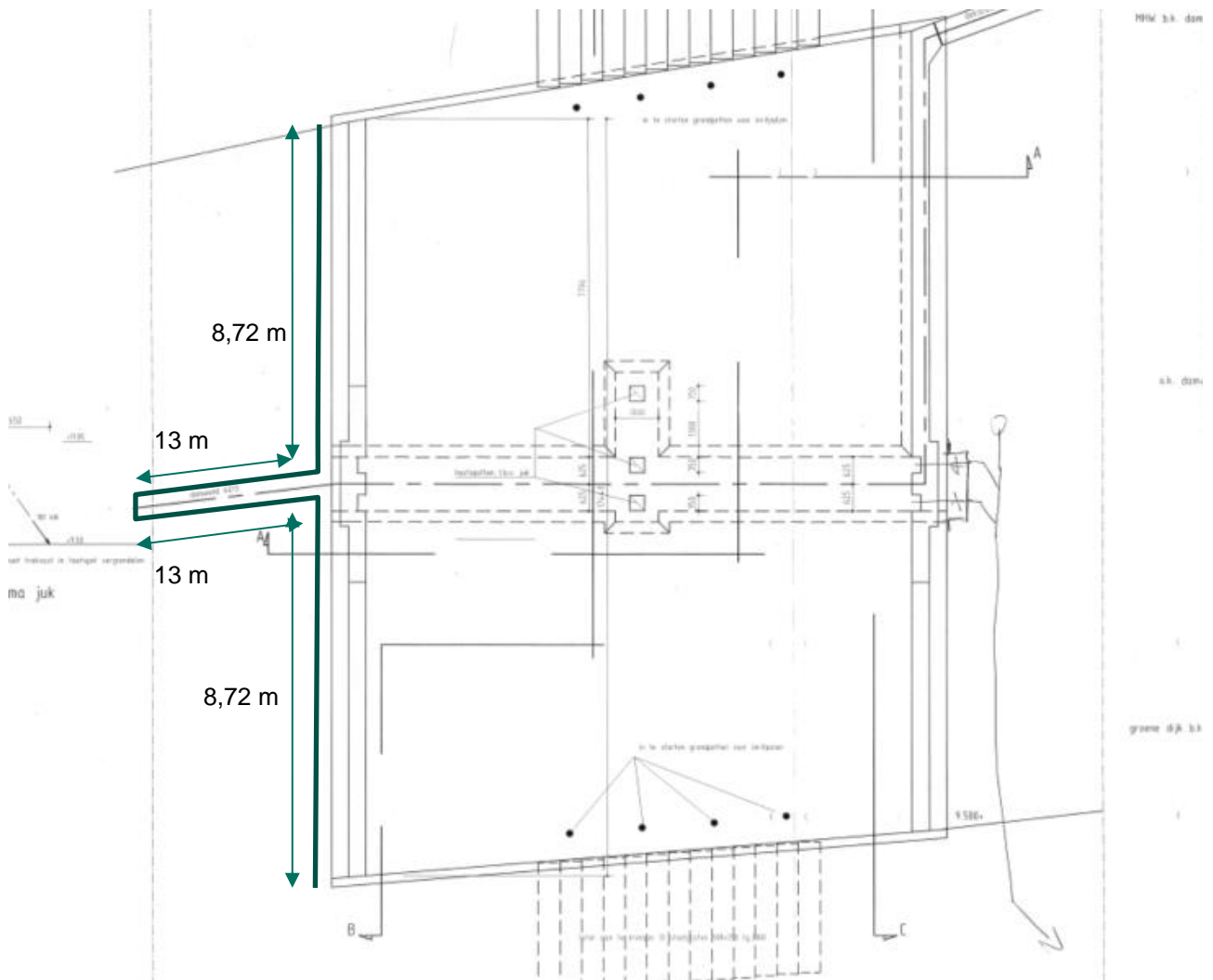
ΔH Verval over de waterkering

Het verval over de waterkering is afhankelijk van de waterstand op de Waal en het maaiveldniveau achter de coupure:

- | | |
|-------------------------------------|-------------------|
| • Waterpeil Waal zichtjaar 2125 | NAP+12,19 m |
| • Maaiveldniveau achterland coupure | NAP+9,50 m |
| • Verval | $\Delta H=2,69$ m |

L Kwelweglengte

De kwelweglengte is de afstand die het water moet afleggen, dit is de afstand vanaf het intredepunt langs de Waal en het uitredepunt aan de stadszijde van de coupure. In de archiefgegevens is opgenomen dat de coupure gefundeerd is op een zandbed. Een eventuele kwelweg zal door dit zandbed lopen. De kwelweg bestaat uit de lengte van de coupure en de achterloopsheidschermen. Aan de noordelijke zijde sluit een damwandconstructie aan op de vleugelmuur van de coupure. Deze damwandconstructie loopt ca. 120 m door, deze zijde is niet maatgevend voor achterloopsheid. Aan de zuidelijke zijde is een achterloopsheidscherm met een lengte van 13,0 m (lengte haaks op vleugelmuur coupure) aanwezig. Deze zijde is maatgevend voor achterloopsheid. In Figuur 9-2 is de horizontale kwelweg weergegeven. Voor de kwelweglengte zijn alleen de horizontale afstanden langs het achterloopsheidscherm in rekening gebracht. De lengte bedraagt: $2 \times 8,72 \text{ m} + 2 \times 13 \text{ m} = 43,44 \text{ m}$.



Figuur 9-2: Bovenaanzicht coupure Bellevue, kwelweg zuidelijke vleugelmuur

C_{creep} Creepfactor

In het model van Bligh zijn creepfactoren gedefinieerd afhankelijk van de grondsoort en korrelgrootte van de grondlaag waar de kwelweg door loopt. er is uitgegaan van een creepfactor $C_{creep} = 15$ [-]. Dit komt overeen met matig fijn zand. Het is onbekend wat de korrelverdeling is van het zandbed onder de fundering. De keuze voor $C_{creep} = 15$ is een veilige keuze omdat de werkelijke kwelweg voor ca. 26 m door het dijklichaam loopt. Grondonderzoek in de nabijheid van de coupure toont aan dat het dijklichaam bestaat uit klei zandige lagen (boring TG000.+023_B_BIB). Het is aannemelijk dat deze kleilagen de kwelweg blokkeren. Conservatief is het uitgangspunt dat de kwelweg wel ontstaat en dat de creepfactor over de hele kwelweg gelijk is aan $C_{creep} = 15$ [-]. De keuze voor de creepfactor is vanwege de aanwezigheid van de kleilagen een veilige keuze.

Met bovenstaande parameters kan de formule Bligh worden ingevuld:

$$\Delta H - 0,3d \leq \Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}}$$

$$\Delta H_c = \frac{L}{C_{creep}} = \frac{43,44}{15} = 2,90$$

$$\Delta H - 0,3d = 2,63 - 0,3 * 0 = 2,69$$

$$2,69 \leq 2,90$$

Het optredende verval is kleiner dan het kritieke verval. Achterloopsheid kan daarom tot aan het zichtjaar 2125 worden uitgesloten.

9.4. Levensduur kwelschermen

Naast de vereiste lengte van de kwelschermen is de resterende levensduur van de schermen onderzocht. De schermen hebben geen stabiliteitsfunctie en geen functie als grondkering. Omdat de schermen over de volledige hoogte ondersteund worden door de ondergrond kan het over de wand optredende waterdrukverschil worden opgenomen door verhoging van de horizontale korrelspanning. Hiermee is niet de sterkte van de wand maatgevend voor de levensduur, maar het moment dat lekkage optreedt door corrosie. Er wordt uitgegaan van het zichtjaar 2125. De schermen zijn aangebracht in 1995. Het onderloopsheidscherm bestaat uit een AZ13 damwand en het achterloopsheidscherm uit een AZ18 damwand. Beide damwandprofielen hebben een wanddikte van 9,50 mm. In 2018 zijn 10 staaldiktemetingen uitgevoerd op het onderloopsheidscherm. De gemeten maximale afname bedraagt 0,8 mm. De afname per jaar bedraagt 0,034 mm/jaar. De gemeten afname is kleiner dan het uitgangspunt voor nieuwe damwandconstructies in [11]. Er wordt daarom uitgegaan van de materiaalafnames in [11], dit zijn de onderstaande afnames:

- 2,4 mm (totale afname) in 100 jaar voor de zone onder het laagste grondwaterniveau
- 4,4 mm (totale afname) in 100 jaar voor de zone boven het laagste grondwaterniveau

De zone onder de dagelijkse grondwaterstand zal op basis van een corrosiesnelheid (2,4 mm/100 jaar) ca. 431 jaar (t.o.v. 1995) meekunnen. De zone boven de dagelijkse grondwaterstand heeft op basis van een corrosiesnelheid (4,4 mm/100 jaar) een levensduur van ca. 215 jaar (t.o.v. 1995). In beide zones worden tot aan het zichtjaar 2125 geen lekkages verwacht.

10 Conclusie en aandachtspunten

10.1. Conclusie

In dit document zijn de sterkte en stabiliteit van de versterking van KW20 coupure Bellevue beschouwd. De globale krachtwerving in de wanden en sponningen is bepaald en de aanwezige wapening is getoetst. De uitwerking van de niet-kritische onderdelen vindt plaats in de volgende projectfase, te weten het definitief ontwerp (DO).

De fundering van de coupure is getoetst op het mechanisme schuiven, op het draagvermogen en het mechanisme kantelen. Uit de berekeningen blijkt dat de coupure voldoet.

Daarnaast zijn de faalmechanismes betrouwbaarheid sluiting en piping beschouwd. Het faalmechanisme piping voldoet voor het zichtjaar 2125. Voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting dient door Waterschap Rivierenland de aspecten beschreven in hoofdstuk 8 uitgewerkt te worden.

10.2. Hoeveelheden VO-ontwerp

Ten behoeve van het opstellen van een kostenraming zijn globaal de volgende hoeveelheden voor de wijzigingen aan coupure Bellevue opgesteld (maten zijn afgerond):

- Betonnen wanden: 5m³ beton
- Wapening wanden: 80 kg/m³ (incl. 15% knipverlies, verankerings- en overlappingslengte)
- DPS2000:
 - 3 verstijfde staanders met voetplaat (L ≈ 3,0m)
 - 2 sponningprofielen verankeren in beton (2x2,9m)
 - 56 schotbalken (4x14x3,185m)

10.3. Uitwerken in DO

Op basis van deze ontwerpnota dienen de onderstaande punten nader beschouwd te worden in DO-fase:

- Bevestiging en plaatsing van het DPS-systeem in de sponningen en op de vloer;
- Wapening in de op te hogen wanden;
- Aansluiting opgehoogde wanden op langsconstructie in deeltraject 4C;
- Uitwerken beheer- en onderhoudseisen conform par. G10 in [8].

BIJLAGEN

A. Huidige situatie



Figuur 10-1 Aanleg coupure Bellevue vlak naast de Waal, Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-2 Aanleg coupure Bellevue vlak naast de Waal (links), bekisting zuidelijke wand (rechtsboven) en egalisatie zandbed t.b.v. werkvloer (rechtsonder), Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-3 Proefsluiting na aanleg coupure Bellevue, Jack Buis, 1996-1997



Figuur 10-4 Aanzicht coupure Bellevue vanaf dijklichaam, 06-08-2020



Figuur 10-5 Aansluiting noordelijke wand op damwandscherm Ravelijn vanaf buitenzijde (links) en bovenzijde (rechts), 06-08-2020



Figuur 10-6 Gerepareerde scheuren in wegdek oostelijke voegovergang (links) en westelijke voegovergang (rechts), 06-08-2020



Figuur 10-7 Trap noordelijke wand buitendijks (links) en roosters en taatspotten in vloer (rechts), 06-08-2020



Figuur 10-8 Gerepareerde scheuren in sponning in wand (links) en vleugelmuur (rechts), 06-08-2020



Figuur 10-9 Gerepareerde scheuren in wanden, 06-08-2020



Figuur 10-10 Gerepareerde schotbalkspinning in vloer rijweg, 06-08-2020

B. IDEA-berekening wand

Project: Dijkversterking Stad Tiel

Projectnr.: INFR200121

Auteur: WME



Calculate yesterday's estimates

Inhoudsopgave

- 1 Projectgegevens
- 2 Snedecontroles
- 2.1 Snede S 1
- 3 Lijst met Staafmacro's
- 4 Lijst met gewapende doorsnedes
- 5 Lijst met gebruikte materialen

1 Projectgegevens

Projectnaam	Dijkversterking Stad Tiel
Projectnr.	INFR200121
Omschrijving	KW20 wand
Auteur	WME
EN 1992-1-1, GFRP	31-3-2021
Versie	20.1.3471.1

Nationale Norm

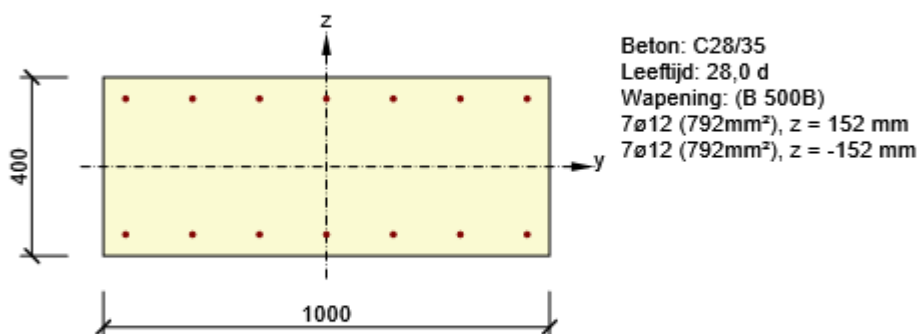
Nationale Norm	EN 1992-1-1:2014-12, NEN:2011/NB:2016-11
Ontwerp levensduur	100 jaar

2 Snedecontroles

2.1 Snede S 1

2.1.1 Extreem S 1 - E 1

Staa macro	M 1
Gewapende doorsnede	R 1



2.1.1.1 Lasteffecten - snedekrachten





Lasttype	Combinatie type	N [kN]	V _y [kN]	V _z [kN]	T [kNm]	M _y [kNm]	M _z [kNm]
Totaal	Fundamenteel UGT	-28,2	0,0	76,1	0,0	79,4	0,0
Totaal	Frequent	-31,3	0,0	0,0	0,0	31,2	0,0

2.1.1.2 Compleet

Maatgevende controle	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Waarde [%]	Controle
Scheurwijdte	-31,3	31,2	0,0			97,3	Oké
Type controle	N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Waarde [%]	Controle
Weerstand N-My-Mz	-28,2	79,4	0,0			58,8	Oké
Dwarskracht	-28,2			76,1	0,0	49,1	Oké
Interactie	-28,2	79,4	0,0	76,1	0,0	62,0	Oké
Spanningbeperking	0,0	0,0	0,0			0,0	Niet gedaan
Scheurwijdte	-31,3	31,2	0,0			97,3	Oké

Grenswaarde van de uitnutting van de controle: 100,0 %

Meldingen

Onvolkomenheden	
	De dwarskracht wordt opgenomen door het beton, beugels zijn enkel nodig volgens detaileringseisen, zie 6.2.2
	Geen dwarskrachtwapening gevonden in de doorsnede
	Rek in de langwapening veroorzaakt door dwarskracht kan niet worden berekend, omdat het niet mogelijk is om een vakwerkmodel op te zetten vanwege het ontbreken van beugelwapening.
	Belastingen voor noch de karakteristieke combinatie noch de quasi-blijvende combinatie zijn niet ingevoerd. De controle van de spanningbeperking voor deze combinaties volgens 7.2 is niet gedaan.

2.1.1.3 Weerstand N-My-Mz

Resultaten weergegeven voor combinatie :Fundamenteel UGT

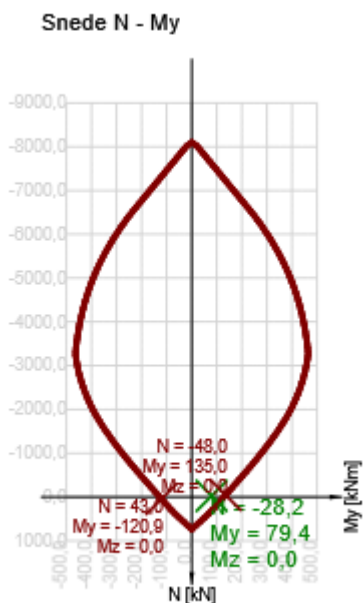
N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	Type	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
-28,2	79,4	0,0	Nu-Muy-Muz	58,8	100,0	Oké

Rekenwaarde van de weerstand van de doorsnede belast door buiging én normaalkracht

Type	F_{Ed}	F_{Rd1}	F_{Rd2}
N [kN]	-28,2	-48,0	43,0
M_y [kNm]	79,4	135,0	-120,9
M_z [kNm]	0,0	0,0	0,0

Meldingen

Geen foutmeldingen



Verklaring

Symbol	Verklaring
N_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste normaalkracht t.g.v. een de blijvende en veranderlijke externe belasting, en de secundaire (parasitaire) effecten van de voorspanning
$M_{Ed,y}$	Rekenwaarde van de toegepaste buigende moment om de y-as t.g.v. een de blijvende en veranderlijke externe belasting, en de secundaire (parasitaire) effecten van de voorspanning
$M_{Ed,z}$	Rekenwaarde van de toegepaste buigende moment om de z-as t.g.v. een de blijvende en veranderlijke externe belasting, en de secundaire (parasitaire) effecten van de voorspanning
Type	Nu-Muy-Muz: Doorsnedeweerstand is bepaald op basis van een aangenomen proportionele verandering van de snedekracht, zodanig dat de excentriciteit gelijk blijft totdat het interactievlak is bereikt. De verandering van de snedekrachten kan worden geïnterpreteerd als de beweging in het vlak langs de lijn tussen de oorsprong (0, 0, 0) en (N_{Ed} , M_{Edy} , M_{Edz}). De twee snijpunten vertegenwoordigen de twee extreme waarden van de weerstand. Drie waarden van een extreme worden getoond door het programma: weerstand N_{Rd} en de bijbehorende weerstanden M_{Rdy} en M_{Rdz} .
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle
F_{Ed}	Toegepaste rekenwaarde van de kracht t.g.v. een externe last (zonder effecten van de voorspanning)
F_{Rd1}	Eerste verzameling weerstandskrachten resulterend uit de 1ste snede met het interactievlak
F_{Rd2}	Tweede verzameling weerstandskrachten resulterend uit de 2de snede met het interactievlak

2.1.1.4 Dwarskracht

Resultaten weergegeven voor combinatie :Fundamenteel UGT

V_{Ed} [kN]	N_{Ed} [kN]	V_{Rd} [kN]	Controle zone	Artikel	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
76,1	-28,2	155,1	zonder reductie	6.2.2(1)	49,1	100,0	Oké


Rekenwaarde en weerstand van de dwarskracht

V_{Ed} [kN]	$V_{Rd,c}$ [kN]	$V_{Rd,max}$ [kN]	$V_{Rd,r}$ [kN]	$V_{Rd,s}$ [kN]	V_{Rd} [kN]
76,1	155,1	1830,3	1750,4	0,0	155,1

Invoerwaarden en tussenresultaten van de afschuifcontrole

n_c	a_{sw} [mm ² /m]	A_{sl} [mm ²]	b_w [mm]	d [mm]	z [mm]	θ [°]	α [°]	α_{cw} [-]
0	0	792	1000	352	326	45,0	90,0	1,00
$C_{Rd,c}$ [-]	k [-]	k_1 [-]	ρ_l [-]	σ_{cp} [MPa]	σ_{wd} [MPa]	v_{min} [MPa]	v [-]	v_1 [-]
0,12	1,75	0,15	0,00	0,1	0,0	0,4	0,53	0,60

Meldingen

Onvolkomenheden	
	De dwarskracht wordt opgenomen door het beton, beugels zijn enkel nodig volgens detaileringseisen, zie 6.2.2

Verklaring

Symbol	Verklaring
V_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste dwarskracht
N_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste normaalkracht
V_{Rd}	De rekenwaarde van de afschuifweerstand
Controle zone	Zonetype waarin de controle is uitgevoerd
Artikel	Artikelnr. (methodetype) gebruikt voor de dwarskrachttoets
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle
$V_{Rd,c}$	De afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
$V_{Rd,max}$	Dwarskrachtweerstand van het element berekend op basis van de weerstand van de betondrukdiagonalen
$V_{Rd,r}$	Dwarskrachtweerstand voor de dwarskracht berekend zonder reductie door Beta (6.2.2(6))
$V_{Rd,s}$	De rekenwaarde van de dwarskracht dat kan worden opgenomen door de het vloeien van de beugelwapening
n_c	Aantal snedes van de beugel(s)
a_{sw}	De hoeveelheid beugelwapening
A_{sl}	De hoeveelheid trekwapening
b_w	De breedte van de doorsnede in het hart van de doorsnede
d	Effectieve hoogte van de doorsnede
z	Interne hefboomsarm
θ	Hoek tussen de betondrukdiagonaal en de staafas loodrecht op de dwarskracht
α	De hoek tussen de beugelwapening en de staafas loodrecht op de dwarskracht
α_{cw}	Coëfficiënt die rekening houdt met de spanningstoestand in de drukdiagonaal
$C_{Rd,c}$	Coëfficiënt voor de berekening van de rekenwaarde van de afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
k	Coëfficiënt voor de berekening van de rekenwaarde van de afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
k_1	Coëfficiënt voor de berekening van de rekenwaarde van de afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
ρ_l	Wap.verhouding van de getrokken langswapening
σ_{cp}	Normaalspanning in de doorsnede t.g.v. de belasting of voorspanning
σ_{wd}	Rekenspanning in de dwarskrachtwapening, zie opmerking 2 van artikel 6.2.3 (3)
v_{min}	Coëfficiënt voor de berekening van de rekenwaarde van de afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
v	Sterkte reductiefactor voor gescheurd beton tijdens de dwarskrachtcontrole
v_1	Sterkte reductiefactor voor gescheurd beton tijdens de dwarskrachtcontrole

2.1.1.5 Interactie

Resultaten weergegeven voor combinatie :Fundamenteel UGT

N_{Ed} [kN]	M_{Edy} [kNm]	M_{Edz} [kNm]	V_{Ed} [kN]	T_{Ed} [kNm]	Waarde V+T [%]	Waarde V+T+M [%]	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
-28,2	79,4	0,0	76,1	0,0	49,1	62,0	62,0	100,0	Oké

Interactiecontrole voor dwarskracht én wrijving (beton)

$V_{Rd,c}$ [kN]	$T_{Rd,c}$ [kNm]	$V_{Rd,max}$ [kN]	$T_{Rd,max}$ [kNm]	Verg. 6.31 [%]	Verg. 6.29 [%]	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
155,1	81,3	1830,3	314,3	49,1	4,2	49,1	100,0	Oké

Interactiecontrole voor dwarskracht, wrijving én normaalkracht

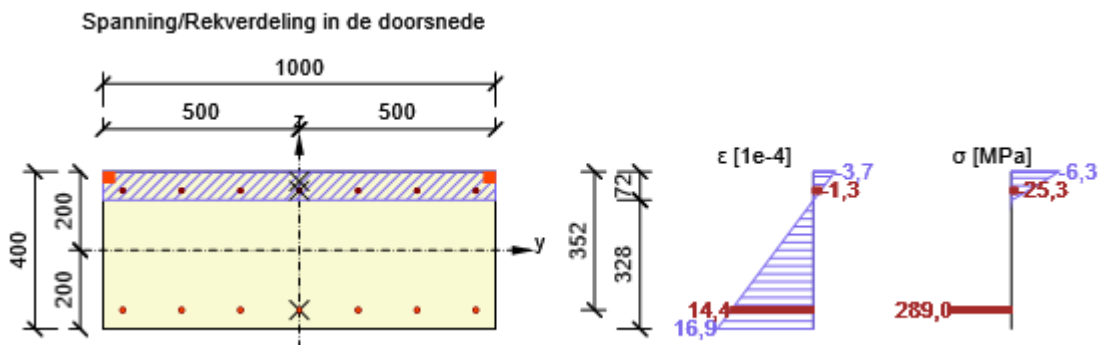
F_b [kN]	$\Delta F_{td,s}$ [kN]	$\Delta F_{td,t}$ [kN]	$\Delta \epsilon_s$ [1e-4]	$\Delta \epsilon_t$ [1e-4]	Extreme in staaf	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
208,8	76,1	0,0	0,0	0,0	1	62,0	100,0	Oké

Gedetailleerde staafcontrole

Staat	y_i [mm]	z_i [mm]	$\Delta \epsilon_{st}$ [1e-4]	ϵ [1e-4]	ϵ_{lim} [1e-4]	$\Delta \sigma_{st}$ [MPa]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Waarde [%]	Controle
1	-450	-152	0,0	14,4	450,0	0,0	289,0	465,9	62,0	Oké

Meldingen

Onvolkomenheden	
⚠	Geen dwarskrachtwapening gevonden in de doorsnede
⚠	Rek in de langwapening veroorzaakt door dwarskracht kan niet worden berekend, omdat het niet mogelijk is om een vakwerkmodel op te zetten vanwege het ontbreken van beugelwapening.



Verklaring

Symbool	Verklaring
N_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste normaalkracht
M_{Edy}	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de y-as
M_{Edz}	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de z-as
V_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste dwarskracht
T_{Ed}	Rekenwaarde van het toegepaste wringmoment
Waarde V+T	Berekende U.C.-waarde (uitnutting van de doorsnede) voor interactie tussen dwarskracht en wringing gerelateerd aan de grenswaarde
Waarde V+T+M	Berekende U.C.-waarde (uitnutting van de doorsnede) voor interactie tussen dwarskracht, wringing en buiging gerelateerd aan de grenswaarde
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle
$V_{Rd,c}$	De afschuifweerstand van de staaf zonder afschuifwapening
$T_{Rd,c}$	Rekenwaarde scheurmoment t.g.v. wringing
$V_{Rd,max}$	Dwarskrachtweerstand van het element berekend op basis van de weerstand van de betondrukdiagonalen
$T_{Rd,max}$	De rekenwaarde van de wringweerstand
Verg. 6.31	Het resultaat van de U.C.-waarde van de doorsnede volgens vergelijking (6.31) van EN 1992-1-1
Verg. 6.29	Het resultaat van de U.C.-waarde van de doorsnede volgens vergelijking (6.29) van EN 1992-1-1
F_b	Resulterende kracht in de langswapening t.g.v. buiging en normaalkracht
$\Delta F_{td,s}$	Bijkomende trekkracht in de langswapening t.g.v. dwarskracht berekend als $V_{Ed} * \cot\theta$
$\Delta F_{td,t}$	Bijkomende trekkracht in de langswapening t.g.v. wringing
$\Delta \epsilon_s$	Extra trekrek in de wapening/spanelement t.g.v. dwarskracht
$\Delta \epsilon_t$	Extra trekrek in de wapening/spanelement t.g.v. wringing
Extreme in staaf	Wapeningstaafnr. met de hoogste U.C.-waarde
Staaf	Wapeningstaafnr. met de hoogste U.C.-waarde
y_i	y-coördinaat van het drsn. onderdeel(vezel/staaf/spanelement...) gerelateerd aan het zwaartepunt van de doorsnede
z_i	z-coördinaat van het drsn. onderdeel(vezel/staaf/spanelement...) gerelateerd aan het zwaartepunt van de doorsnede
$\Delta \epsilon_{st}$	Bijkomende trekrek in wap.staaf/spanelement t.g.v. de dwarskracht én wringing
ϵ	De rek in de wap.staaf/spanelement t.g.v. dwarskracht, wringing en buiging
ϵ_{lim}	Grenswaarde van de rek in de wap.staaf/spanelement
$\Delta \sigma_{st}$	Bijkomende trekspanning in wap.staaf/spanelement t.g.v. de dwarskracht én wringing
σ	De spanning in de wap.staaf/spanelement t.g.v. de dwarskracht, wringing én buiging
σ_{lim}	Grenswaarde van de spanning in de wap.staaf/spanelement

2.1.1.6 Spanningbeperking


Spanningbeperking - korte termijn effect

Waarde [%]	Grens [%]	Controle
0,0	100,0	Niet gedaan

Spanningbeperking - lange termijn effect

Waarde [%]	Grens [%]	Controle
0,0	100,0	Niet gedaan

Meldingen

Onvolkomenheden	
	Belastingen voor noch de karakteristieke combinatie noch de quasi-blijvende combinatie zijn niet ingevoerd. De controle van de spanningbeperking voor deze combinaties volgens 7.2 is niet gedaan.

Verklaring

Symbool	Verklaring
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle

2.1.1.7 Scheurwijdte

Scheurwijdte - korte termijn effect

Combinatie	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
Freq	-31,3	31,2	0,0	0,097	0,100	97,3	100,0	Oké

Scheurwijdte - lange termijn effect

Combinatie	N [kN]	M _y [kNm]	M _z [kNm]	w _k [mm]	w _{lim} [mm]	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
Freq	-31,3	31,2	0,0	0,097	0,100	97,3	100,0	Oké

Tussenresultaten en coëfficiënten van de scheurwijdteberekening - korte-termijn effect

x [mm]	h _{c,eff} [mm]	d [mm]	A _{c,eff} [mm ²]	A _{s,eff} [mm ²]	ρ _{p,eff} [-]
62	113	352	112645	792	0,01
k _t [-]	ε _{sm} -ε _{cm} [1e-4]	k ₁ [-]	k ₂ [-]	k ₃ [-]	k ₄ [-]
0,60	2,9	0,80	0,50	3,40	0,43
c [mm]	ε ₁ [1e-4]	ε ₂ [1e-4]	s _{r,max} [mm]	Φ [mm]	σ _s [MPa]
42	5,7	-1,0	331	12	97,9

Tussenresultaten en coëfficiënten van de scheurwijdteberekening - lange-termijn effect

x [mm]	h _{c,eff} [mm]	d [mm]	A _{c,eff} [mm ²]	A _{s,eff} [mm ²]	ρ _{p,eff} [-]
62	113	352	112645	792	0,01
k _t [-]	ε _{sm} -ε _{cm} [1e-4]	k ₁ [-]	k ₂ [-]	k ₃ [-]	k ₄ [-]
0,40	2,9	0,80	0,50	3,40	0,43
c [mm]	ε ₁ [1e-4]	ε ₂ [1e-4]	s _{r,max} [mm]	Φ [mm]	σ _s [MPa]
42	5,7	-1,0	331	12	97,9

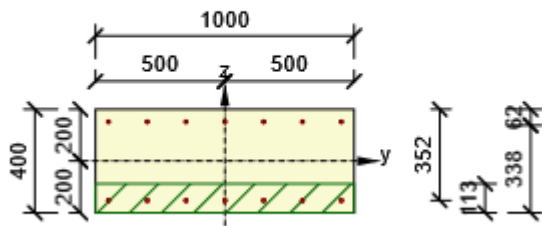
Kruipcoëfficiënt

Bepalingsmethode	φ(t,t ₀) [-]
Invoer	0,00

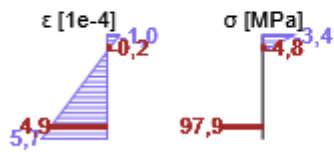
Meldingen

Geen foutmeldingen

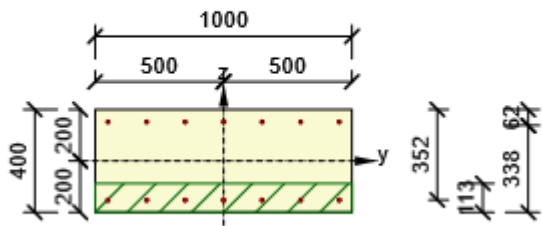
Spanning/Rekverdeling in de doorsnede



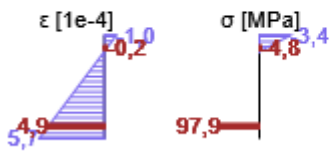
Resultaten weergegeven voor :
 - Frequente combinatie
 - Resultaten voor de korte-termijn stijfheidsbereik



Spanning/Rekverdeling in de doorsnede



Resultaten weergegeven voor :
 - Frequente combinatie
 - Resultaten voor de lange-termijn stijfheidsbereik



Verklaring

Symbool	Verklaring
Combinatie	Gebruikte combinatie voor de berekening inclusief rsup of rinf coëfficiënt volgens 5.10.9
N	Normaalkracht voor de BGT-combinatie
M_y	Buigend moment om de y-as voor de BGT-combinatie
M_z	Buigend moment om de z-as voor de BGT-combinatie
w_k	De scheurwijdte berekend volgens 7.3.4
w_{lim}	Grenswaarde van de scheurwijdte volgens tabel 7.1N
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle
x	Hoogte van de betondrukzone (positie van de neutrale lijn)
$h_{c,eff}$	Hoogte van de effectieve trekzone van het beton dat de wapening en voorspanstaal omgeeft (7.3.2 (3))
d	Effectieve hoogte van de doorsnede
$A_{c,eff}$	Effectief oppervlak van het beton onder trek dat de wapening en voorspanstaal omgeeft
$A_{s,eff}$	Effectief oppervlak van de voorspanning en wapeningstaal binnen het effectieve oppervlak van het beton.
$\rho_{p,eff}$	Verhouding van het effectieve oppervlak van het voorspanstaal en de wapening en de het effectieve oppervlak van het beton onder trek
k_t	Factor afhankelijk van de belastingduur (7.3.4 (2))
k_1	Coëfficiënt die rekening houdt met de hechteigenschappen van de gehechte wapening (7.3.4 (3))
k_2	Coëfficiënt die rekening houdt met de verdeling van de rek
c	Grootte van de betondekking van hoofdwapening
ε_1	Grotere trekrek op de randen van de beschouwde doorsnede, gewogen vanaf de basis van de gescheurde doorsnede
ε_2	Kleinere trekrek op de randen van de beschouwde doorsnede, gewogen vanaf de basis van de gescheurde doorsnede
$s_{r,max}$	Maximale eind scheurafstand
Φ	Staafdiameter of equivalente staafdiameter voor meerdere staven binnen het effectieve trekzone van het beton
σ_s	Maximale spanning in de trekwapening voor een gescheurde doorsnede
$\varphi(t, t_0)$	Berekende waarde van de kruipcoëfficiënt

2.1.1.8 Detailleringseisen

Resultaten weergegeven voor combinatie :Fundamenteel UGT

N_{Ed} [kN]	$M_{Ed,y}$ [kNm]	$M_{Ed,z}$ [kNm]	Verh.-lang [%]	Verh.-Dwarskracht [%]	Maatgevend [%]	Grens [%]	Controle
-28,2	79,4	0,0	64,0	0,0	64,0	100,0	Oké

Controle van de detailleringseisen van de langswapening

Type	Waarde _{ber}	Waarde _{lim}	Verh. [%]	Controle
Minimale wap.perct. van de langswapening (9.2.1.1 (1)) [%]	0,22	0,14	64,0	Oké
Maximale wap.perc. van de langswapening (9.2.1.1(3)) [%]	0,40	4,00	9,9	Oké
Minimale afstand van de langswapening (8.2 (2)) [mm]	138	21	15,2	Oké
Maximale afstand van de langswapening (9.2.3 (4)) [mm]	-	350	0,0	Uit


Controle van de detailleringseisen voor de beugels

Type	Waarde _{ber}	Waarde _{lim}	Verh. [%]	Controle
Minimum wap.perc. voor de dwarskrachtwapening (9.2.2 (5)) [%]	0,00	0,00	0,0	Uit
Maximale h.o.h. afstand van de beugels (9.2.2 (6)) [mm]	0	0	0,0	Uit
Maximale beugelbeenafstand (9.2.2 (8)) [mm]	0	0	0,0	Uit
Minimale doordiameter van een beugel (8.3 (2)) [-]	0,00	0,00	0,0	Uit

Invoerwaarden en tussenresultaten voor detailleringcontrole

b_w [mm]	d [mm]	A_c [mm ²]	$b_t * d$ [mm ²]	f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	f_{ck} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	f_{cd} [MPa]
1000	352	400000	352000	500,0	434,8	28,0	2,8	18,7

Meldingen

Onvolkomenheden	
	Geen dwarskrachtwapening gevonden in de doorsnede

Verklaring

Symbol	Verklaring
N_{Ed}	Rekenwaarde van de toegepaste normaalkracht
$M_{Ed,y}$	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de y-as
$M_{Ed,z}$	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de z-as
Verh.-lang	U.C.-waarde voor de detailleringseisen van de langswapening
Verh.-Dwarskracht	U.C.-waarde voor de detailleringseisen van de beugels
Maatgevend	U.C.-waarde voor de detailleringseisen van alle onderdelen
Grens	Grenswaarde voor de detailleringseisen
Controle	Resultaat van de controle
Type	Type van gecontroleerde detailleringseis
Waarde _{ber}	Reken- of toegepaste hoeveelheid, die uiting geeft aan de detailleringseis
Waarde _{lim}	Grenswaarde van de hoeveelheid, die uiting geeft aan de detailleringseis
Verh.	Verhouding van de toelaatbare en de toegepaste hoeveelheid, die uiting geeft aan de detailleringseis in verhouding tot de grenswaarde

2.1.1.9 Analyse N-My-Mz

Resultaten weergegeven voor combinatie :Fundamenteel UGT

$N_{Ed,tot}$ [kN]	$M_{Ed,y,tot}$ [kNm]	$M_{Ed,z,tot}$ [kNm]	Betonvezel	Extreme in staaf	Waarde [%]	Grens [%]	Controle
-28,2	79,4	0,0	3	1	62,0	100,0	Oké

Rekvlak

x [mm]	x_{lim} [mm]	d [mm]	z [mm]	ϵ_x [1e-4]	ϕ_z [1e-4]	ϕ_y [1e-4]
72	188	352	326	6,6	0,0	-51,7

Snedekrachten in doorsnede onderdelen

Drasn. onderdeel	N [kN]	M_y [kNm]	M_z [kNm]	A [mm ²]	y_i [mm]	z_i [mm]
Beton	-237,0	41,6	0,0	72467	0	175
Trekwapening	228,8	34,8	0,0	792	0	-152
Drukwapening	-20,0	3,0	0,0	792	0	152
Totaal	-28,2	79,4	0,0			

Gedetailleerde controle van beton

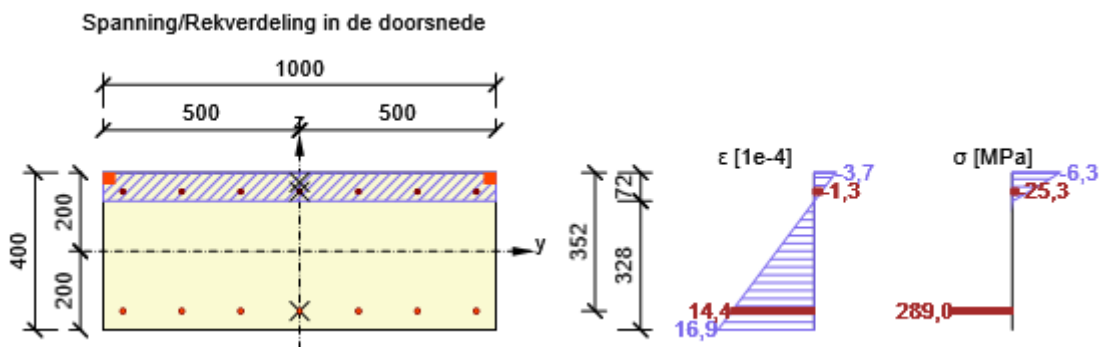
Vezel	y_i [mm]	z_i [mm]	ϵ [1e-4]	ϵ_{lim} [1e-4]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Waarde [%]	Controle
3	500	200	-3,7	-35,0	-6,3	-18,7	33,9	Oké

Gedetailleerde staafcontrole

StAAF	y_i [mm]	z_i [mm]	ϵ [1e-4]	ϵ_{lim} [1e-4]	σ [MPa]	σ_{lim} [MPa]	Waarde [%]	Controle
1	-450	-152	14,4	450,0	289,0	465,9	62,0	Oké

Meldingen

Geen foutmeldingen



Verklaring

Symbool	Verklaring
$N_{Ed,tot}$	Rekenwaarde van de toegepaste normaalkracht
$M_{Ed,ytot}$	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de y-as
$M_{Ed,ztot}$	Rekenwaarde van het toegepaste buigend moment om de z-as
Betonvezel	Vezelnr. met de hoogste U.C.-waarde
Extreme in staaf	Wapeningstaafnr. met de hoogste U.C.-waarde
Waarde	Berekende waarde van de uitnutting van de doorsnede of een -onderdeel (bv. wapeningstaaf) t.o.v. de grenswaarde
Grens	Grenswaarde van de uitnutting van de controle
Controle	Resultaat van de controle
x	Hoogte van de betondrukzone (positie van de neutrale lijn)
x_{lim}	Maximale hoogte van de betondrukzone (positie van de neutrale as)
d	Effectieve hoogte van de doorsnede
z	Interne hefboomsarm
ϵ_x	Normaalrek
φ_z	Raaklijn van de hoek tussen y-as en zijn loodrechte projectie in het rekvlak (rond de z-as)
φ_y	Raaklijn van de hoek tussen z-as en zijn loodrechte projectie in het rekvlak (rond de y-as)
Drsn. onderdeel	Onderdeelttype van de doorsnede (vezel/staaf/spanelement/...)
N	De waarde van de normaalkracht die kan worden opgenomen door het doorsnedeonderdeel.
M_y	De waarde van het buigend moment om de 'y' -as in het specifieke doorsnede onderdeel
M_z	De waarde van het buigend moment om de 'z' -as in het specifieke doorsnede onderdeel
A	Oppervlak van DRSN deel (vezel/staaf/spanelement...)
y_i	y-coördinaat van het drsn. onderdeel(vezel/staaf/spanelement...) gerelateerd aan het zwaartepunt van de doorsnede
z_i	z-coördinaat van het drsn. onderdeel(vezel/staaf/spanelement...) gerelateerd aan het zwaartepunt van de doorsnede
Vezel	Betonvezelnr. met hoogste U.C.-waarde
ϵ	De rek in huidig doorsnede onderdeel (vezel/wap.staaf/spanelement/...) berekend voor de UGT
ϵ_{lim}	Grenswaarde van de rek in drsn. onderdeel (vezel/wap.staaf/spanelement/...)
σ	De spanning in drsn. onderdeel (vezel/wap.staaf/spanelement...) berekend voor de toegepaste BGT-combinatie
σ_{lim}	Grenswaarde van de spanning in drsn. onderdeel (vezel/wap.staaf/spanelement...) berekend voor de toegepaste BGT-combinatie
Staat	Wapeningstaafnr. met de hoogste U.C.-waarde

3 Lijst met Staafmacro's

Staafmacro M 1

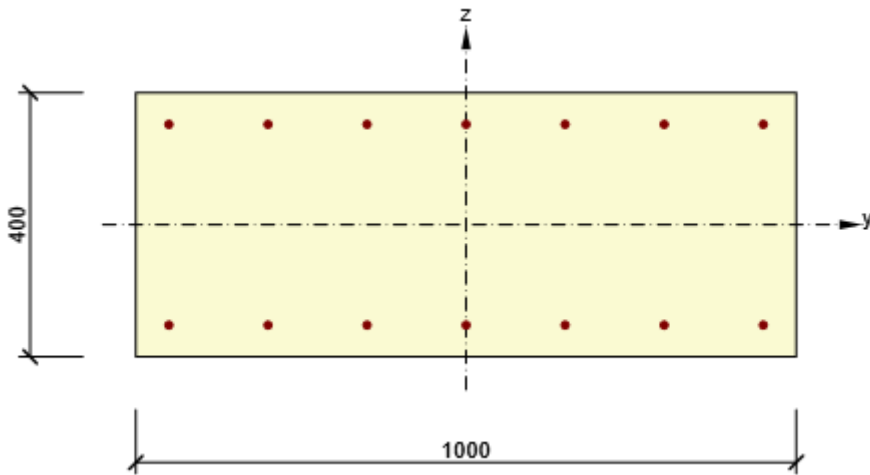
Staaftype	Ligger
Milieuklasse	XC4, XD3, XF2
Relatieve vochtigheid	65 %
Φ_{inf}	0,00
Belangrijkheid van rekenstaaf	Belangrijk
Coëfficiënt k_x (7.3.1(5))	0,50

Buig slankheid gegevens

Vrije ruimte tussen de dagzijdes van de steunpunten (5.3.2.2 (1)) m	Breedte van het steunpunt (5.3.2.2 (1))		Ondersteuningsomstandigheid	
	Links mm	Rechts mm	Links	Rechts
1,00	400	400	Niet-doorgaande ligger	Niet-doorgaande ligger

4 Lijst met gewapende doorsnedes

Gewapende doorsnede R 1



Doorsnede-onderdelen

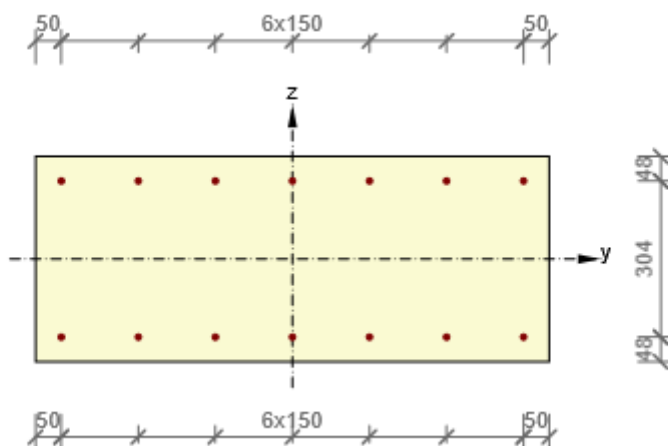
Rechthoekige doorsnede (1000 / 400mm), Materiaal: C28/35

Doorsnede-eigenschappen

A [mm ²]	S _y [mm ³]	S _z [mm ³]	I _y [mm ⁴]	I _z [mm ⁴]	C _{gy} [mm]	C _{gz} [mm]	i _y [mm]	i _z [mm]
400000	0	0	5333333333	3333333333	0	0	115	289

Betondekking gerelateerd aan de doorsnederanden

1	35 mm
2	30 mm
3	30 mm
4	30 mm



Langswapening [kg/m]	Beugels [kg/m]	Totale massa [kg/m]	Wapening / m ³ beton [kg/m ³]
12	0	12	31

Langswapening

Staat	Ø [mm]	Materiaal	Y [mm]	Z [mm]
1	12	B 500B	-450	-152
2	12	B 500B	-300	-152

Staf	Ø [mm]	Materiaal	Y [mm]	Z [mm]
3	12	B 500B	-150	-152
4	12	B 500B	0	-152
5	12	B 500B	150	-152
6	12	B 500B	300	-152
7	12	B 500B	450	-152
8	12	B 500B	450	152
9	12	B 500B	300	152
10	12	B 500B	150	152
11	12	B 500B	0	152
12	12	B 500B	-150	152
13	12	B 500B	-300	152
14	12	B 500B	-450	152

5 Lijst met gebruikte materialen

Beton

Naam	f_{ck} [MPa]	f_{cm} [MPa]	f_{ctm} [MPa]	E_{cm} [MPa]	μ [-]	Eenheid massa [kg/m ³]
C28/35	28,0	36,0	2,8	32308,2	0,20	2500
$\epsilon_{c2} = 20,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu2} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{c3} = 17,5 \cdot 10^{-4}$, $\epsilon_{cu3} = 35,0 \cdot 10^{-4}$, Exponent - n: 2,00, Korrelgrootte toeslagmateriaal = 16 mm, Cementklasse: R (s = 0,20), Type diagram: Parabolisch						

Verklaring

Symbol	Verklaring
f_{ck}	Karakteristieke cilindrische betondruksterkte bij 28 dagen
f_{cm}	Gemiddelde waarde van de cilindrische druksterkte van beton
f_{ctm}	Gemiddelde axiale treksterkte van beton
E_{cm}	Secant elasticiteitsmodulus van beton
ϵ_c	Betondrukrek bij piekspanning f_c
ϵ_{cu}	Uiterste drukrek in het beton

Wapeningstaal

Naam	f_{yk} [MPa]	f_{tk} [MPa]	E [MPa]	μ [-]	Eenheid massa [kg/m ³]
B 500B	500,0	540,0	200000,0	0,20	7850
$f_{tk}/f_{yk} = 1,08$, $\epsilon_{uk} = 500,0 \cdot 10^{-4}$, Type: Staven, Staafoppervlak: Geribd, Klasse: B, Vervaardiging: Warmgewalst, Type diagram: Bi-lineair met oplopende tak					

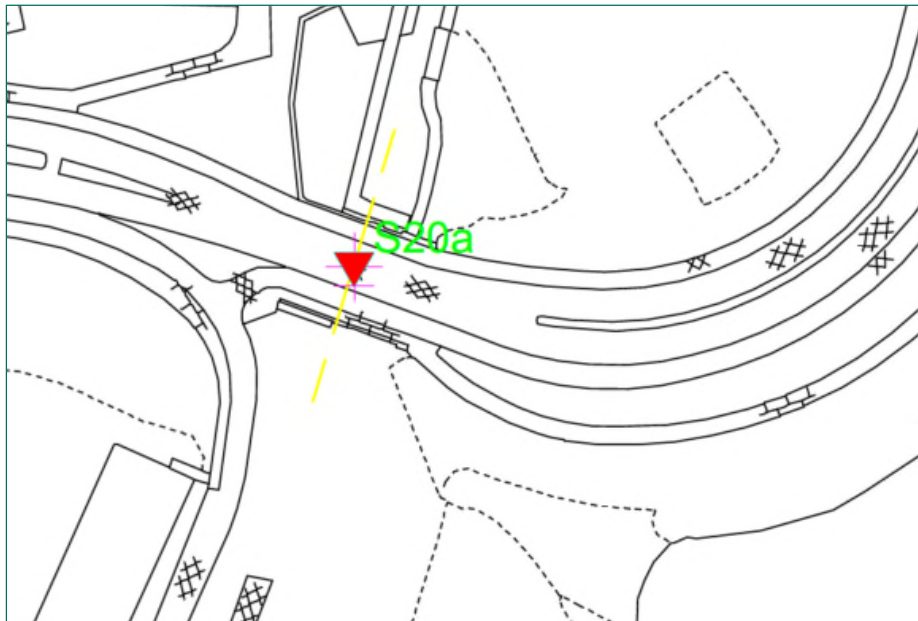
Verklaring

Symbol	Verklaring
f_{yk}	Karakteristieke vloeisterkte van de wapening
f_{tk}	Karakteristieke treksterkte van de wapening
E	Elasticiteitsmodulus van wapeningsstaal
ϵ_{uk}	Karakteristieke rek van de wapening of voorspanstaal bij de maximale belasting

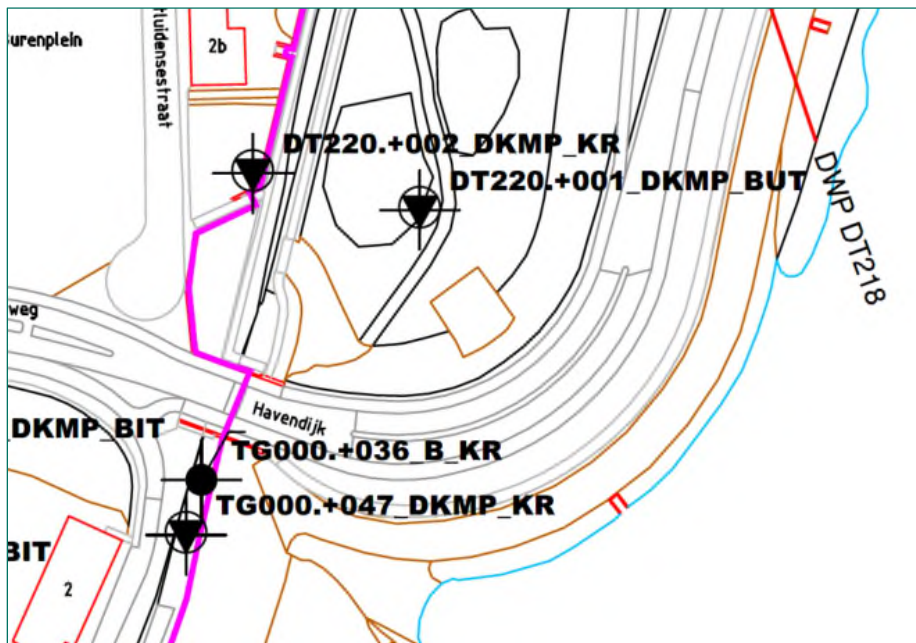
C. Resultaat grondonderzoek



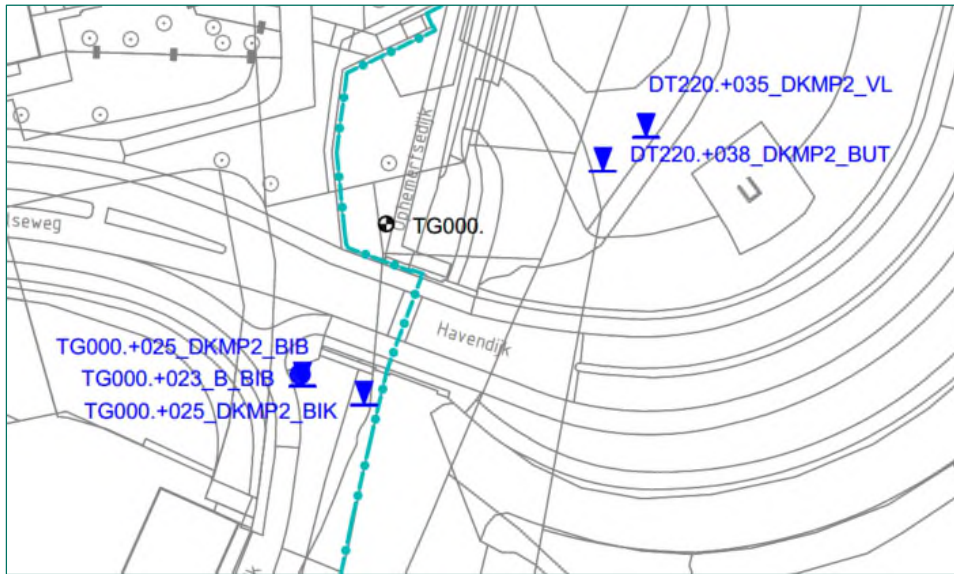
Grondonderzoek Coupure Bellevue (KW20)



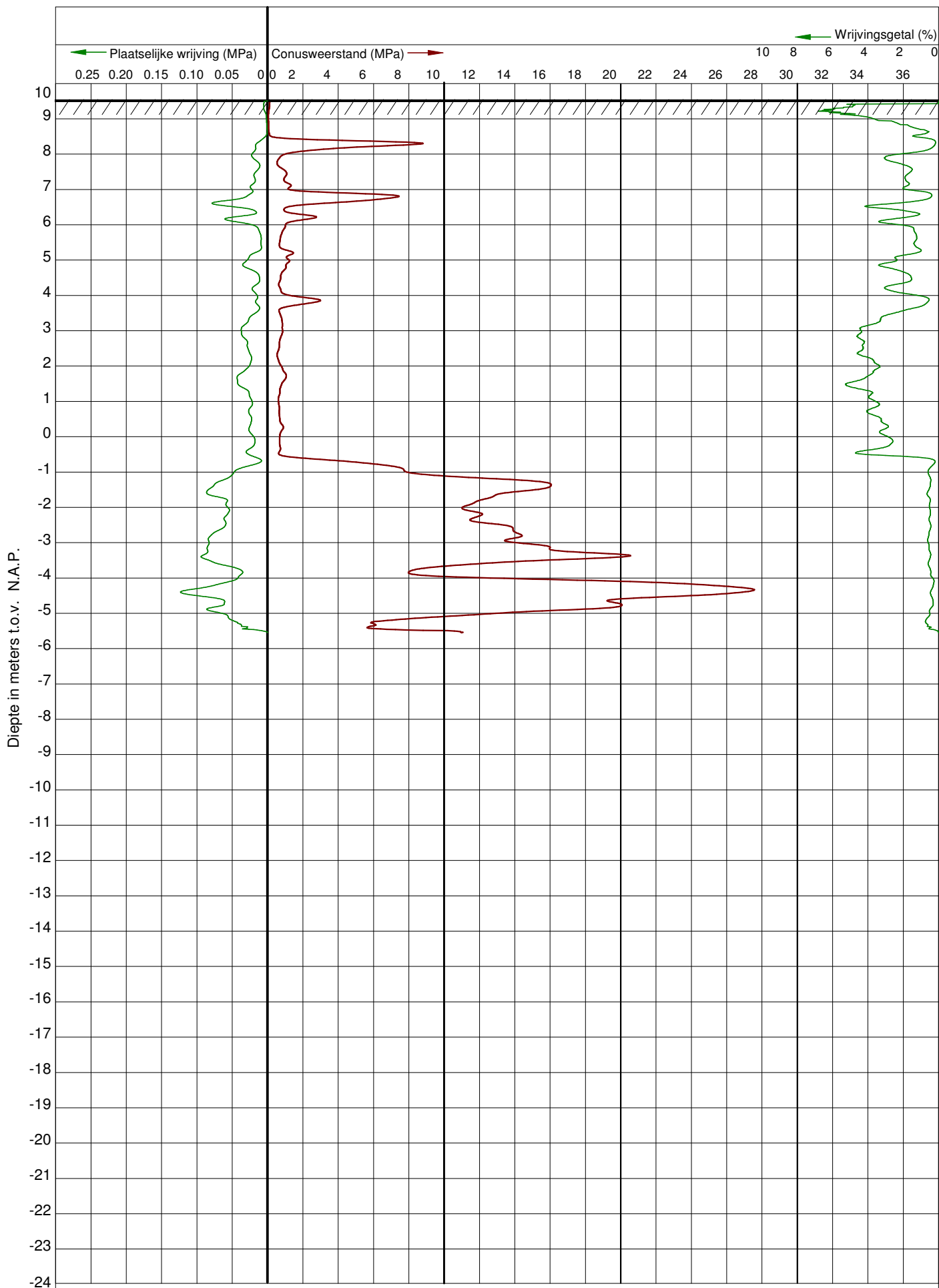
Figuur 1 Sondering Lankelma



Figuur 2 Sonderingen en boringen MOS



Figuur 3 Sonderingen en boring Wiertma



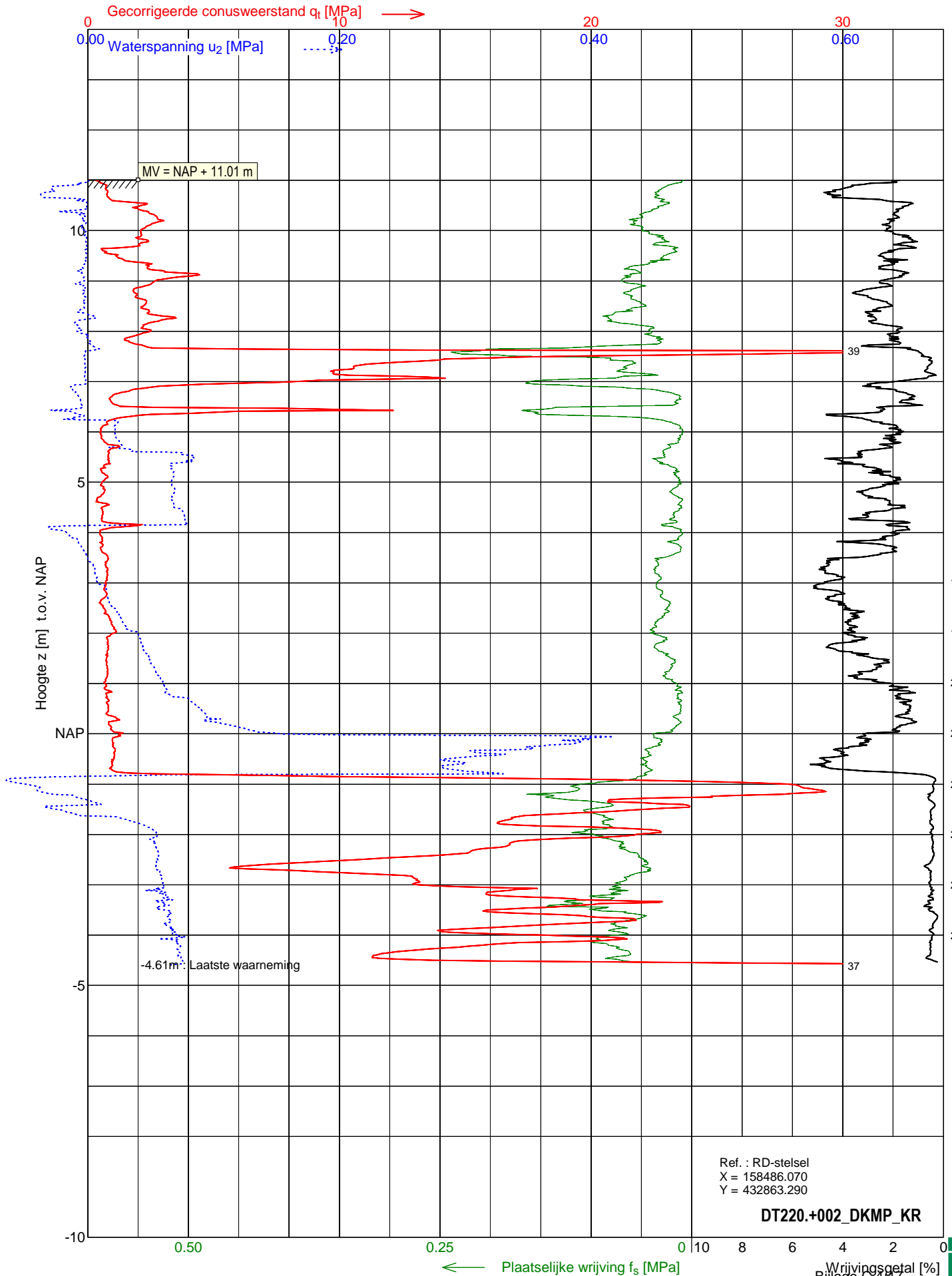
Sondering DT220.+002_DKMP_KR

Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 06-10-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10CFIP1452
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : 70
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA



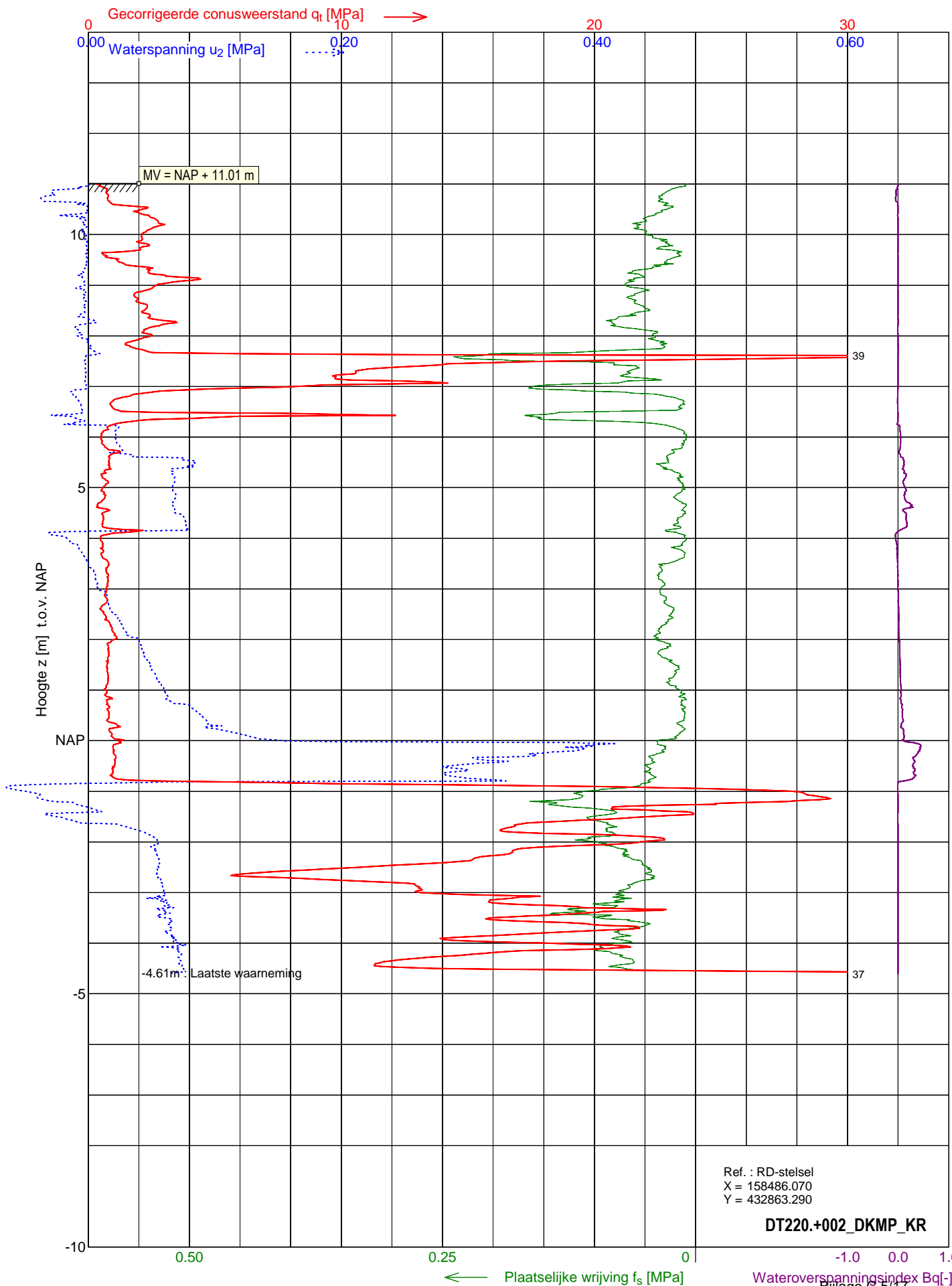
Sondering DT220.+002_DKMP_KR

Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 06-10-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10CFIP1452
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : 70
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA



Ref. : RD-stelsel
 X = 158486.070
 Y = 432863.290

DT220.+002_DKMP_KR



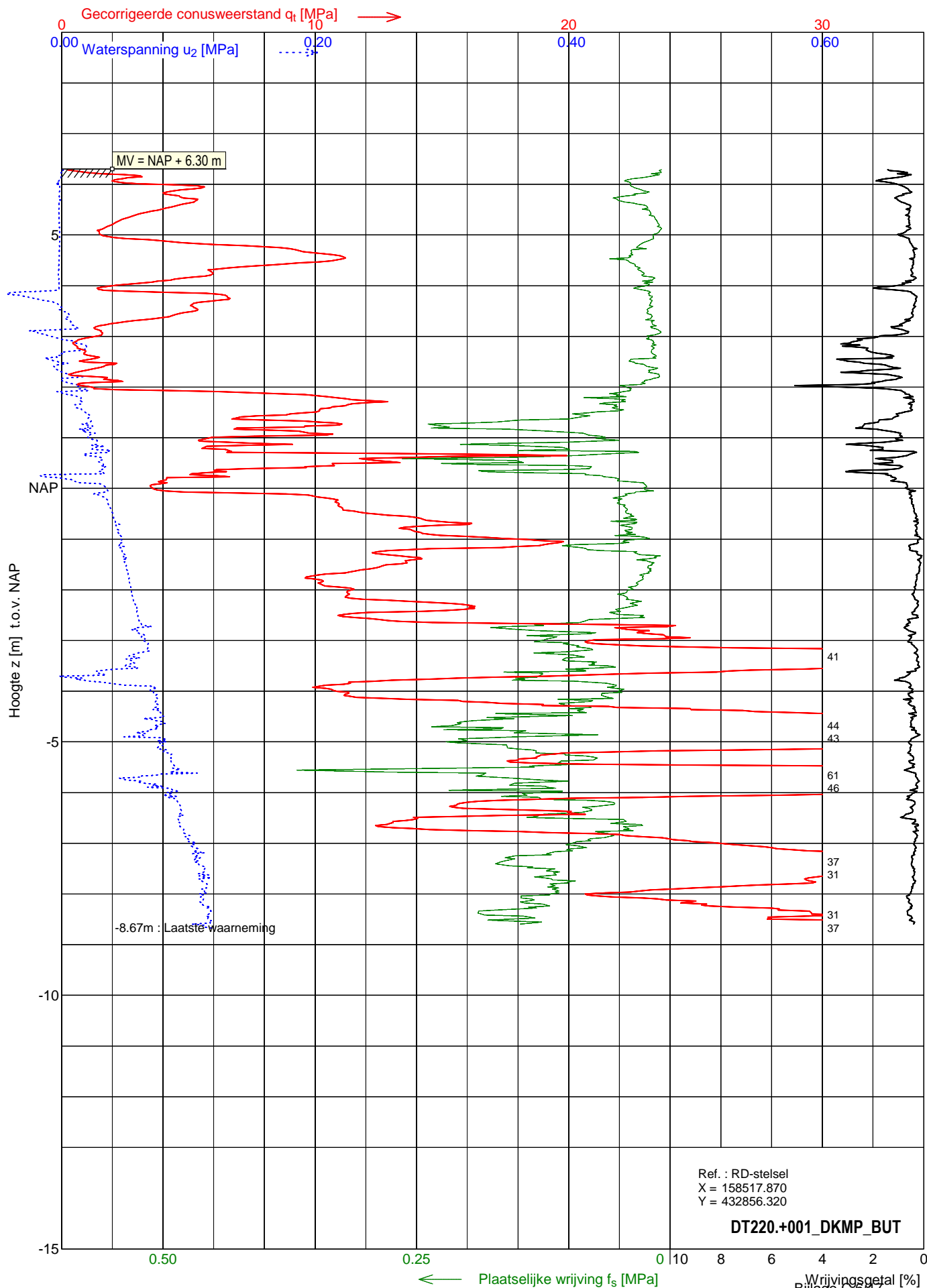
Sondering DT220.+001_DKMP_BUT

Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 25-08-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10-CFIIP.1467
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : SW9
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA



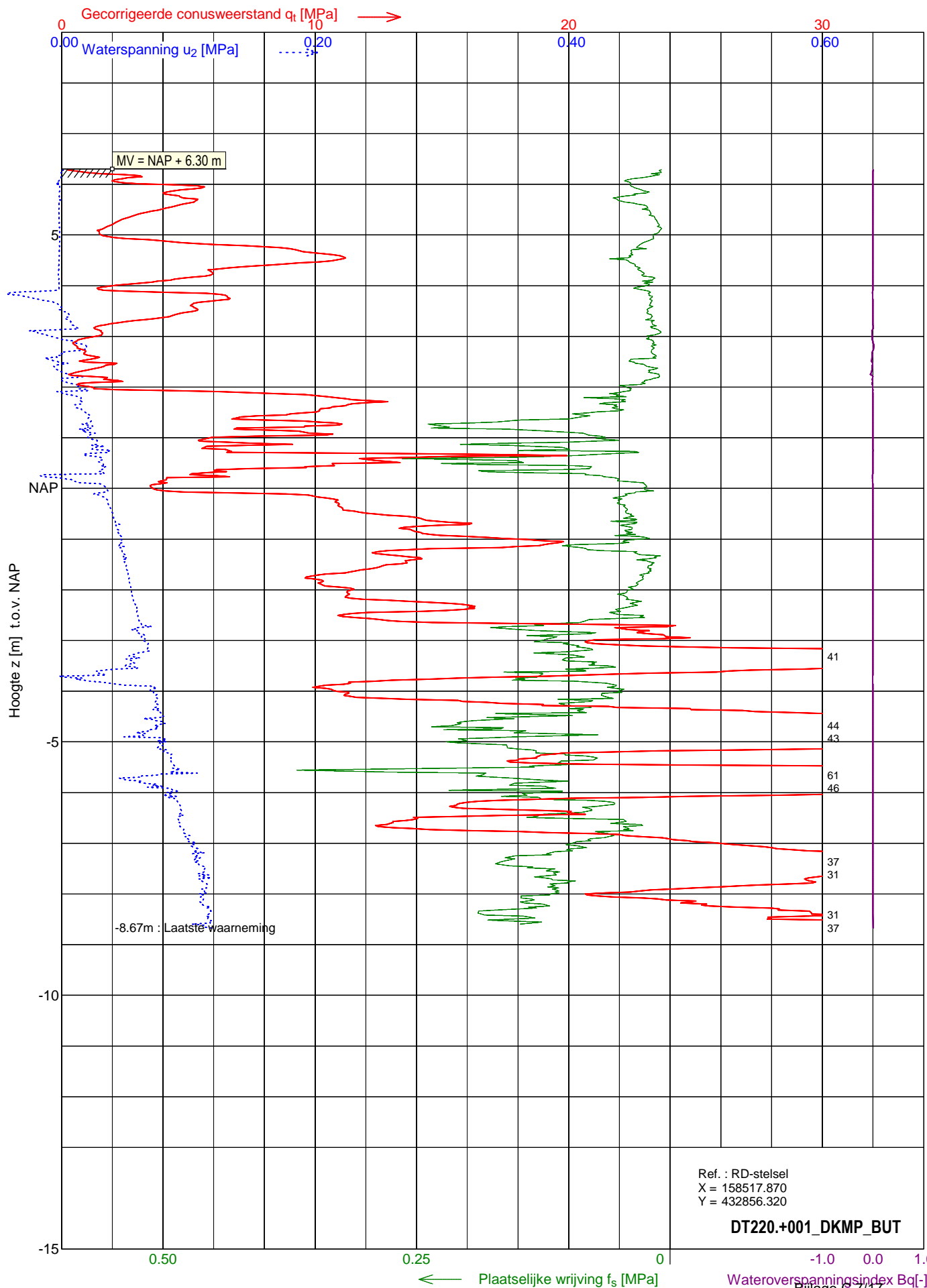
Sondering DT220.+001_DKMP_BUT

Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 25-08-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10-CFIIP.1467
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : SW9
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA



Ref. : RD-stelsel
 X = 158517.870
 Y = 432856.320

DT220.+001_DKMP_BUT



BORING : TG000.+036_B_KR

Datum : 11-10-2017 X : 158476.250 Boormethode : Puls/Ack
 GWS : niet aangetroffen Y : 432804.990 Boormeester : RS
 Maaiveld : NAP +11.81 m Beschrijver : RS
 Opmerking : -

TG000.+036_F_KR
 TG000.+036_D_KR

Boorprofiel	Laag	Test	γ [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	W [%]	Laag	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag
	1					1	+11.81 +11.51	Klei, matig zandig (zeer fijn), sterk humeus, bruin
	2					2	+11.51 +11.11	Klei, matig zandig (zeer fijn), bruin
	3					3	+11.11 +10.71	Klei, zwak siltig, matig puinhoudend, bruin
	4					4	+10.71 +10.21	Klei, matig zandig (matig fijn), grijs
	5	VGB	18.36			5	+10.21 +9.83	Monster nr. 3692, bruin
	6					6	+9.83 +9.61	Klei, matig zandig (matig fijn), matig grindig (matig grof), sterk puinhoudend, bruin
	7	VGB	18.61			7	+9.61 +9.34	Monster nr. 3693, bruin
	8					8	+9.34 +9.11	Klei, matig zandig (matig fijn), matig grindig (matig grof), sterk puinhoudend, bruin
	9					9	+9.11 +9.01	Zand, zeer grof, matig kleiig, matig grindig (zeer grof), matig puinhoudend, bruin
	10					10	+9.01 +8.87	Monster nr. 3694, grijs
	11					11	+8.87 +8.81	Zand, zeer grof, matig kleiig, matig grindig (zeer grof), matig puinhoudend, bruin
	12					12	+8.81 +8.41	Klei, matig siltig, matig grindig (fijn), bruin
	13					13	+8.41 +8.01	Monster nr. 3695, grijs
	14					14	+8.01 +7.81	Klei, matig siltig, grijs
	15					15	+7.81 +7.45	Monster nr. 3696, grijs
	16					16	+7.45 +7.21	Klei, matig siltig, grijs
	17					17	+7.21 +6.81	Monster nr. 3697, bruin
	18					18	+6.81 +6.61	Klei, matig siltig, zwak puinhoudend, grijs
	19					19	+6.61 +6.21	Monster nr. 3698, bruin
	20					20	+6.21 +6.01	Klei, matig siltig, bruin
	21					21	+6.01 +5.61	Monster nr. 3699, grijs
	22					22	+5.61 +5.51	Klei, sterk zandig (matig fijn), bruin
	23					23	+5.51 +5.41	Klei, matig siltig, matig puinhoudend, grijs
	24					24	+5.41 +5.01	Monster nr. 3700, donkergrijs
	25					25	+5.01 +4.81	Klei, matig siltig, matig puinhoudend, grijs
	26					26	+4.81 +4.41	Monster nr. 3701, donkergrijs
	27					27	+4.41 +4.21	Klei, sterk zandig (matig fijn), grijs
	28					28	+4.21 +3.81	Monster nr. 3702, grijs
	29					29	+3.81 +3.61	Klei, matig siltig, grijs
	30					30	+3.61 +3.24	Monster nr. 3703, grijs
	31					31	+3.24 +3.01	Klei, matig siltig, grijs
	32					32	+3.01 +2.76	Monster nr. 3704, grijs
	33					33	+2.76 +2.41	Klei, zwak siltig, grijs
	34					34	+2.41 +2.01	Monster nr. 3705, grijs
	35					35	+2.01 +1.81	Klei, zwak siltig, grijs
	36					36	+1.81 +1.41	Monster nr. 3706, grijs
	37					37	+1.41 +1.21	Klei, zwak siltig, sterk humeus, grijsbruin
	38					38	+1.21 +0.89	Monster nr. 3707, grijs
	39					39	+0.89 +0.81	Klei, zwak siltig, sterk humeus, grijsbruin
	40					40	+0.81 +0.61	Klei, matig siltig, grijs
	41					41	+0.61 +0.21	Monster nr. 3708, grijs
	42					42	+0.21 +0.01	Klei, matig siltig, zwak humeus, grijs
	43					43	+0.01 -0.34	Monster nr. 3709, grijs
	44					44	-0.34 -0.59	Klei, zwak siltig, grijs
	45					45	-0.59 -0.99	Monster nr. 3710, grijs
	46					46	-0.99 -1.19	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
	47					47	-1.19 -1.51	Monster nr. 3711, grijs
	48					48	-1.51 -1.99	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
	49					49	-1.99 -2.79	Zand, matig grof, zwak siltig, matig grindig (fijn), grijs
	50					50	-2.79 -3.13	Monster nr. 3712, grijs
	51					51	-3.13 -3.19	Zand, matig grof, zwak siltig, matig grindig (fijn), grijs
	52					52	-3.19 -3.79	Zand, matig grof, zwak siltig, matig grindig (fijn), grijs
	53					53	-3.79 -4.17	Monster nr. 3713, bruin
	54					54	-4.17 -4.79	Zand, zeer grof, uiterst grindig (zeer grof), grijs
	55					55	-4.79 -5.19	Monster nr. 3714, grijs

Boorprofiel	Laag	Test	γ [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	W [%]	Laag	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag
	3692	VGB	18.36				+10.21 +9.83	Klei, matig siltig, zwak grindig (fijn), sterk puinhoudend, bruin
	3693	VGB	18.61				+9.61 +9.34	Klei, matig siltig, zwak grindig (fijn), zwak puinhoudend, bruin
	3694	VGB	14.21				+9.01 +8.95	Klei, matig siltig, matig grindig (matig grof), grijs
							+8.95 +8.87	Zand, matig fijn, zwak kleiig, matig grindig (matig grof), bruin



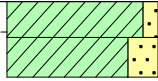



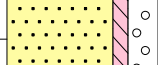
BORING : TG000.+036_B_KR - vervolg -

Datum : 11-10-2017 X : 158476.250 Boormethode : Puls/Ack
 GWS : niet aangetroffen Y : 432804.990 Boormeester : RS
 Maaiveld : NAP +11.81 m Beschrijver : RS
 Opmerking : -

Boorprofiel	Laag	Test	γ [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	W [%]	Laag	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag
	3695	VGB	18.93				+8.41 +8.01	Klei, matig siltig, bevat sporen van zand, zwak puinhoudend, grijs
	3696	VGB	18.78				+7.81 +7.45	Klei, matig siltig, bevat sporen van puin, grijs
	3697	VGB	19.60				+7.21 +6.94 +6.94 +6.81	Klei, matig siltig, bevat sporen van puin, bruin Klei, zwak zandig (zeer fijn), bruin
	3698	VGB	19.48				+6.61 +6.43 +6.43 +6.21	Klei, matig siltig, zwak puinhoudend, bruin Klei, matig siltig, bruin
	3699	VGB	18.30				+6.01 +5.79 +5.79 +5.71 +5.71 +5.61	Klei, zwak zandig (zeer fijn), zwak puinhoudend, grijs Zand, zeer fijn, sterk siltig, zwak puinhoudend, bruin Klei, sterk zandig (zeer fijn), bruin
	3700	VGB	18.29				+5.41 +5.01	Klei, matig siltig, zwak puinhoudend, donkergrijs
	3701	VGB	17.90				+4.81 +4.61 +4.61 +4.51 +4.51 +4.41	Klei, matig zandig (matig fijn), donkergrijs Klei, matig siltig, zwak humeus, bruin Klei, zwak zandig (zeer fijn), grijs
	3702	VGB	19.02				+4.21 +4.04 +4.04 +3.81	Klei, matig siltig, grijs Klei, zwak zandig (matig fijn), grijs
	3703	VGB	19.16				+3.61 +3.40 +3.40 +3.24	Klei, matig zandig (matig fijn), grijs Klei, matig siltig, grijs
	3704	VGB	17.75				+3.01 +2.76	Klei, matig siltig, grijs
	3705	VGB	17.53				+2.41 +2.01	Klei, matig siltig, grijs
	3706	VGB	14.55				+1.81 +1.72 +1.72 +1.54 +1.54 +1.41	Klei, matig siltig, grijs Klei, matig siltig, zwak humeus, donkergrijs Klei, matig siltig, matig humeus, bruin
	3707	VGB	14.88				+1.21 +0.89	Klei, matig siltig, zwak humeus, grijs
	3708	VGB	16.39				+0.61 +0.21	Klei, matig siltig, zwak humeus, grijs
	3709	VGB	15.19				+0.01 -0.06 -0.06 -0.12 -0.12 -0.34	Klei, matig siltig, zwak humeus, grijs Hout, bruin Klei, matig siltig, zwak humeus, grijs

BORING : TG000.+036_B_KR - vervolg -

Datum : 11-10-2017 X : 158476.250 Boormethode : Puls/Ack
 GWS : niet aangetroffen Y : 432804.990 Boormeester : RS
 Maaiveld : NAP +11.81 m Beschrijver : RS
 Opmerking : -

Boorprofiel	Laa	Test	γ [kN/m ³]	γ_{dr} [kN/m ³]	W [%]	Laa	Diepte [m t.o.v. NAP] van tot	Omschrijving grondlaag
	3710	VGB	19.74				-0.59 -0.78	Klei, zwak zandig (matig fijn), grijs
							-0.78 -0.99	Klei, sterk zandig (matig fijn), grijs
	3711	VGB	21.04				-1.19 -1.51	Zand, matig fijn, zwak siltig, grijs
	3712	VGB	19.15				-2.79 -3.13	Zand, matig grof, zwak siltig, grijs
	3713	VGB	21.32				-3.79 -4.17	Zand, zeer grof, zwak siltig, sterk grindig (matig grof), bruingrijs
	3714	VGB	20.81				-4.79 -5.19	Zand, zeer grof, zwak siltig, sterk grindig (matig grof), grijs

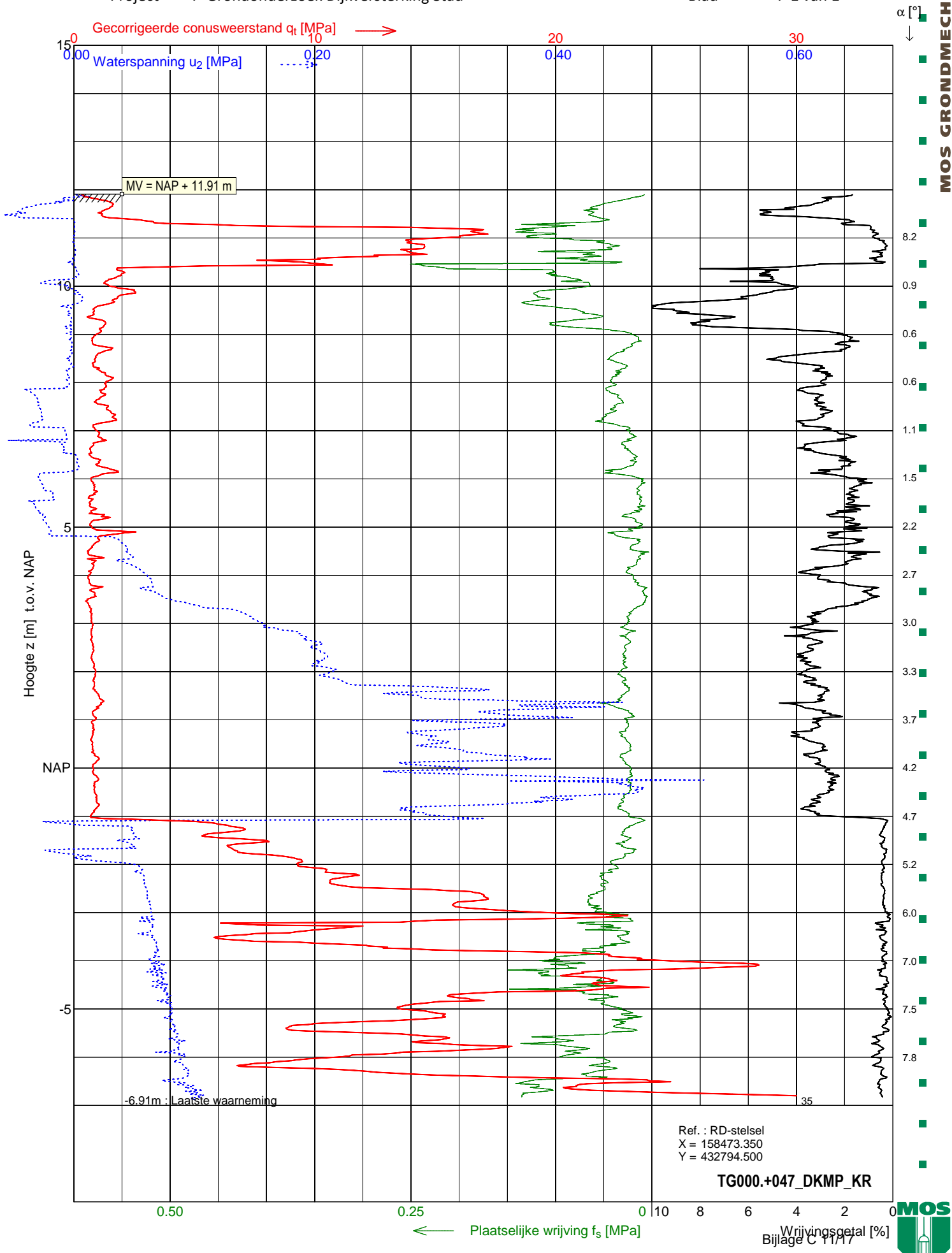
Sondering TG000.+047_DKMP_KR

Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 05-10-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10CFIP1452
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : 70
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA



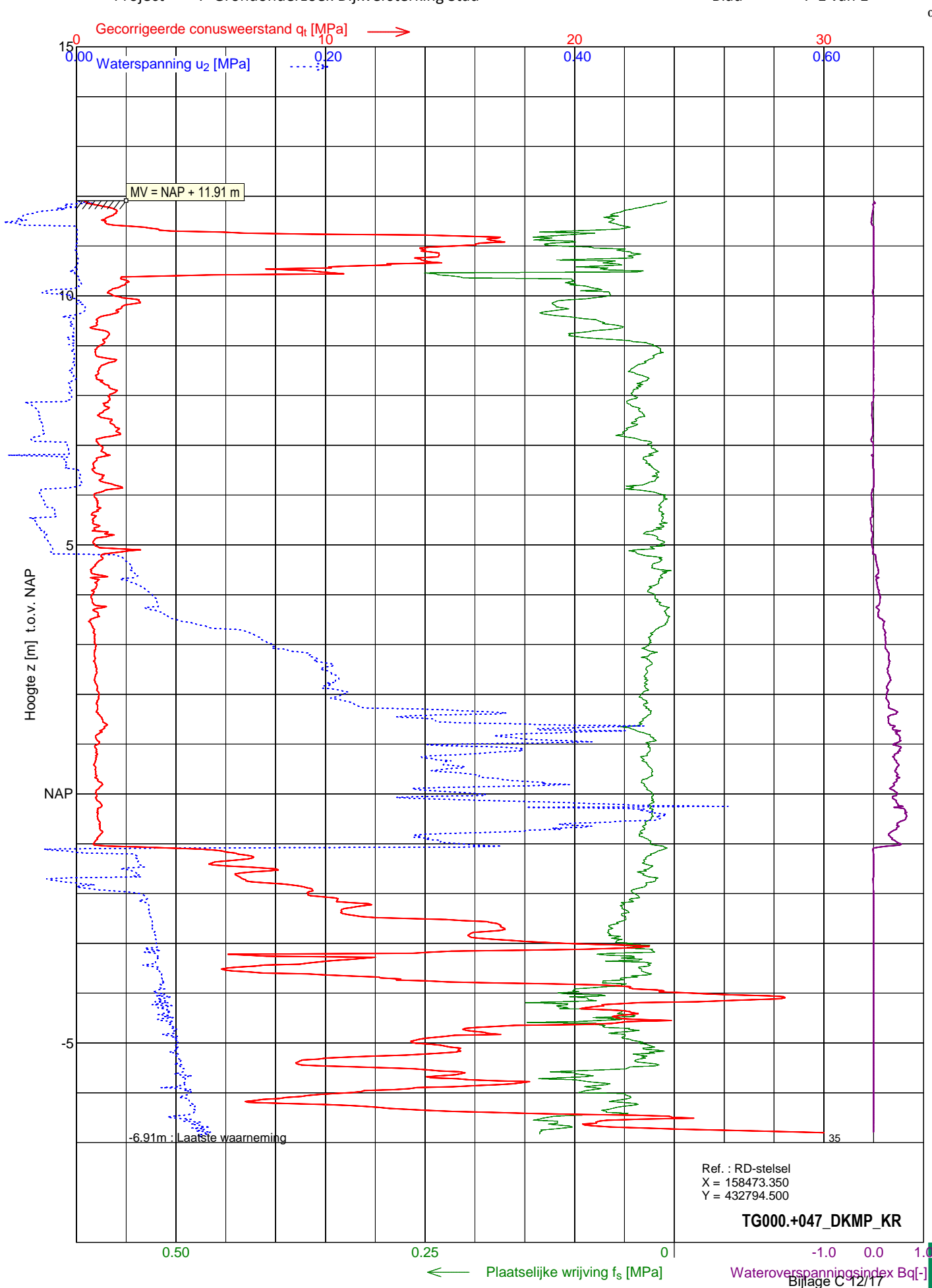
Sondering TG000.+047_DKMP_KR

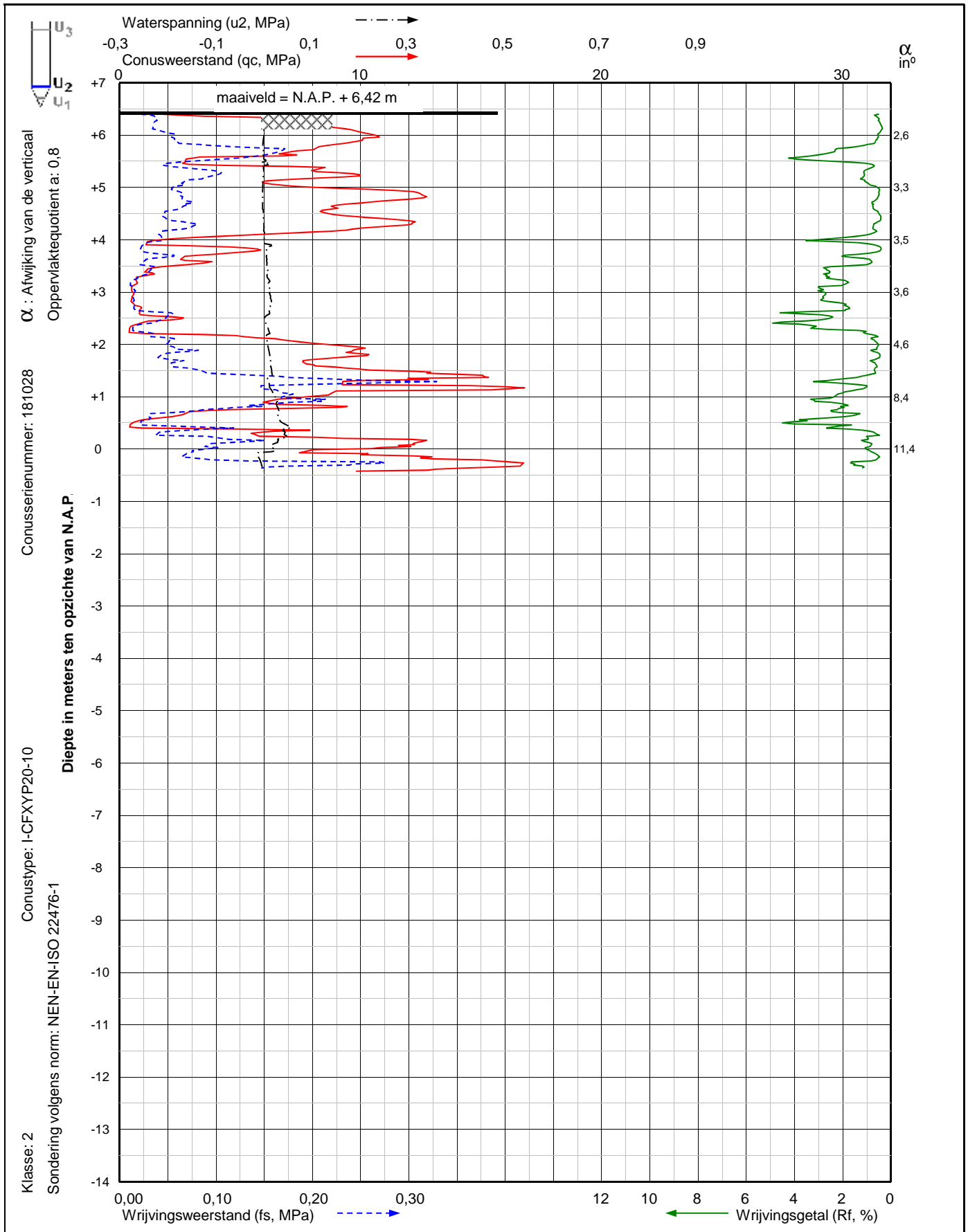
Opdracht : 1701863
 Plaats : Tiel
 Datum : 05-10-2017
 Project : Grondonderzoek Dijkversterking Stad

Conus nummer : S10CFIP1452
 Soort conus : Elektrisch
 Opp. conuspunt : 1000 mm²

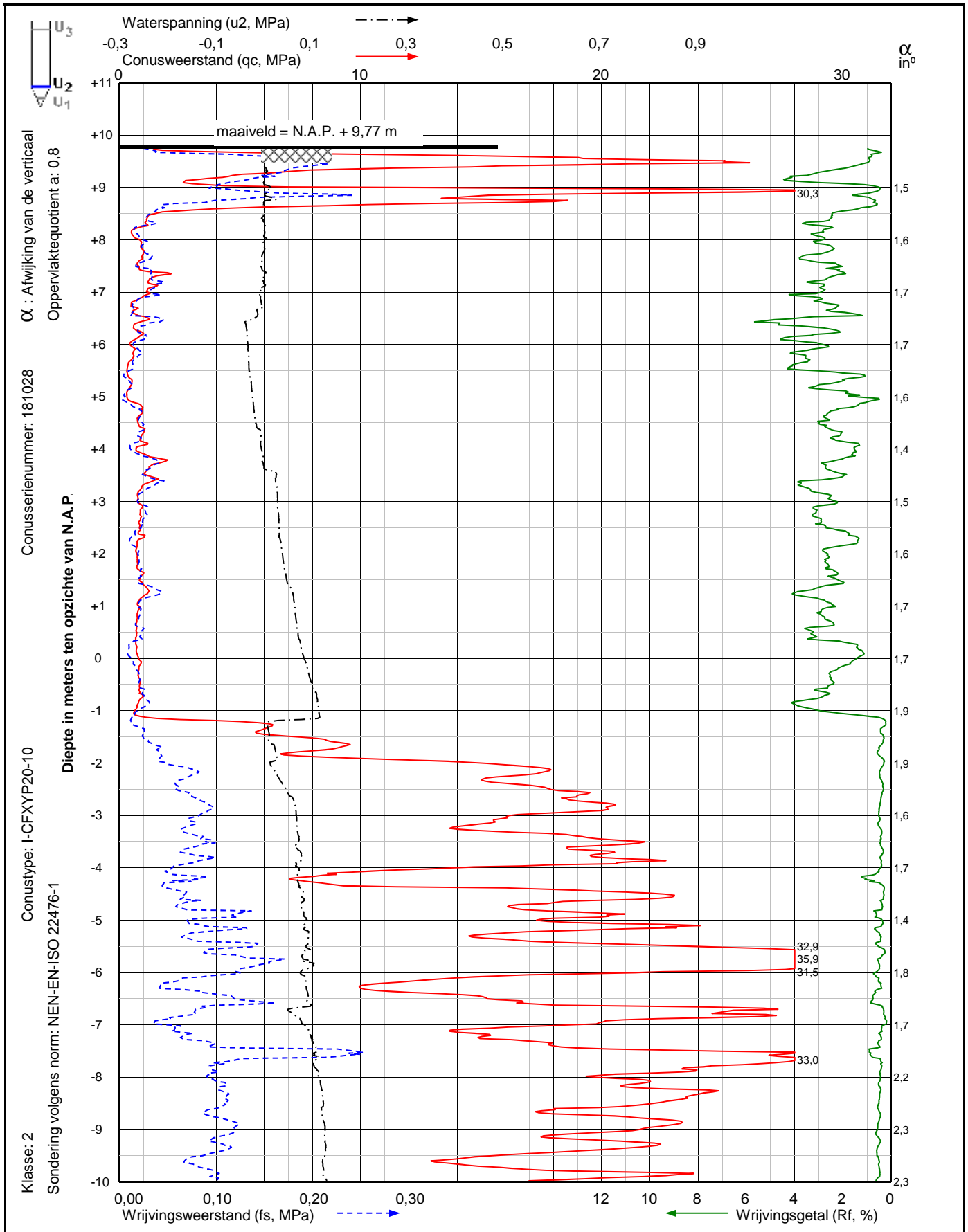
NEN-EN-ISO-22476-1
 Klasse 2, type TE2
 Sondeerunit : 70
 Blad : 1 van 1

MOS GRONDMECHANICA

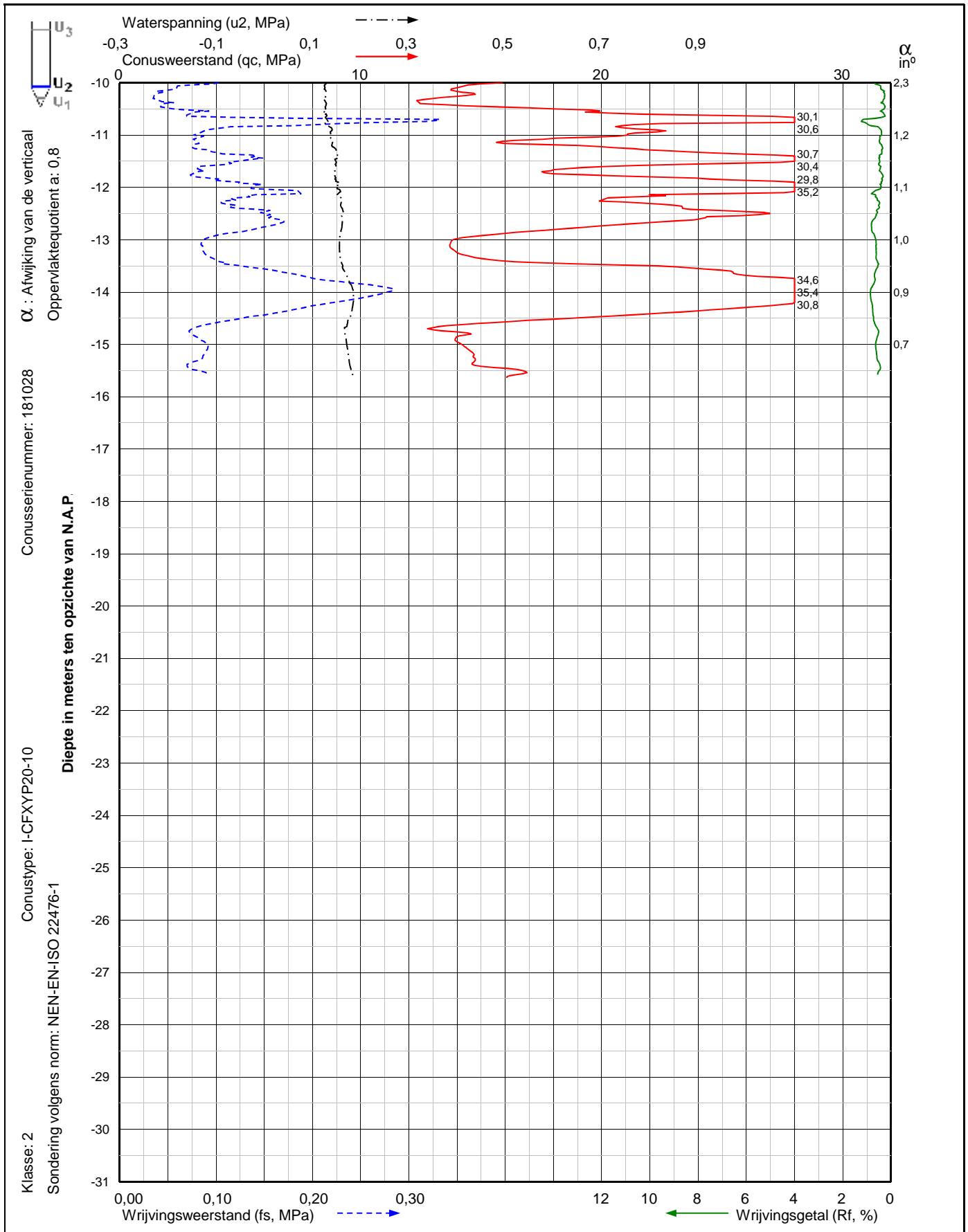




Project: Dijkverbetering Stad Tiel te Tiel		Sondering: DT220.+038_DKMP2_BUT	
	X = 158.508	Opdr.nr.: VN-75629-1	
	Y = 432.839	Datum: 16-4-2020	
	Blad: 1 van 1		



Project: Dijkverbetering Stad Tiel te Tiel		Sondering: TG000.+025_DKMP2_BIB	
	X = 158.469	Opdr.nr.: VN-75629-1	
	Y = 432.811	Datum: 17-6-2020	
	Blad: 1 van 2		

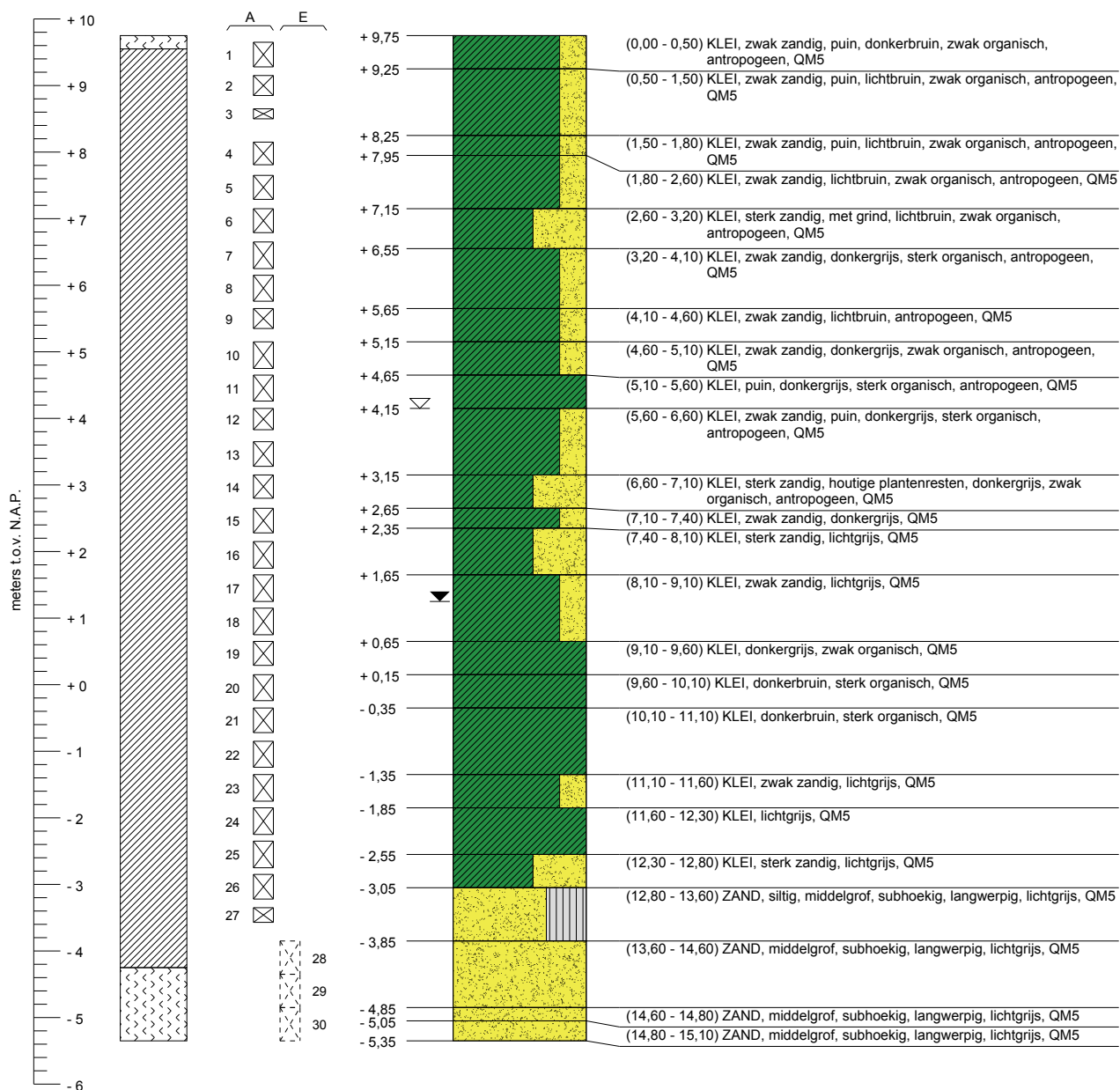


Project: Dijkverbetering Stad Tiel te Tiel		Sondering: TG000.+025_DKMP2_BIB	
	X = 158.469	Opdr.nr.: VN-75629-1	
	Y = 432.811	Datum: 17-6-2020	
	Blad: 2 van 2		

Veldboorbeschrijving (klasse 2)

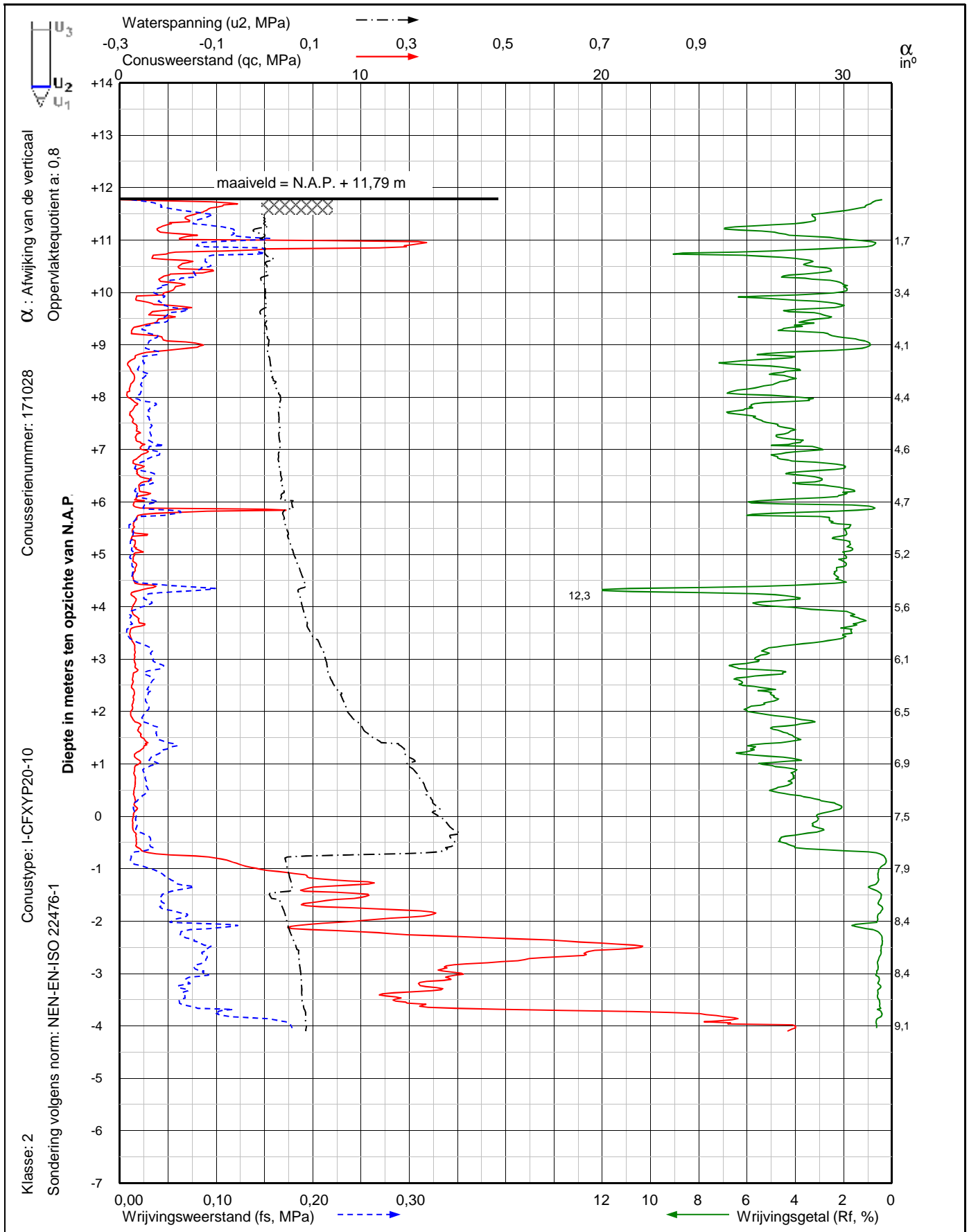
Maatvoering in meters t.o.v. N.A.P.

Maatvoering in meters t.o.v. maaiveld



GWS MB109 d.d. (01-06-2020) : t.o.v. NAP + 1,25 m t.o.v. maaiveld - 8,50 m
 G.H.G. MB109 d.d. (01-06-2020) : t.o.v. NAP + 4,15 m t.o.v. maaiveld - 5,60 m

Geotechnisch onderzoek	RD coördinaten	Dijkverbetering Stad Tiel
Waterschap Rivierenland	X = 158469,1	Boring conform NEN-EN-ISO-14688
	Y = 432812,8	Boormeester: LMEL
	Uitgevoerd: 01-06-2020	Oprachtnr.: 75629
	Blad 1 van 1	TG000.+023_B_BIB Boornr (W&P): MB109



Project: Dijkverbetering Stad Tiel te Tiel		Sondering: TG000.+025_DKMP2_BIK	
X = 158.477	Y = 432.809	Opdr.nr.: VN-75629-1	
Blad: 1 van 1		Datum: 16-4-2020	

D. Berekening D-Foundations

Rapport voor D-Foundations 19.1

Ontwerp en Verificatie volgens Eurocode 7 van Strook- en Paalfunderingen
Ontwikkeld door Deltares

Datum van rapport: 3/30/2021
Tijd van rapport: 12:30:02 PM
Rapport met versie: 19.1.2.26122

Datum van berekening: 3/30/2021
Tijd van berekening: 12:28:44 PM
Berekend met versie: 19.1.2.26122

Bestandsnaam: C:\..\Tiel\Coupure Bellevue\D-Foundations\Fundering Bellevue_rev0

Projectbeschrijving: INFR200121 TIEL
FUNDERING BELLEVUE
D-Foundations Fundering Bellevue_rev0

1 Inhoudsopgave

1 Inhoudsopgave	2
2 Invoergegevens	3
2.1 Algemene Invoergegevens	3
2.2 Rapportage Gegevens	3
2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal	3
2.4 Bovenbouw	3
2.5 Algemene Sondeergegevens	3
2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan	4
2.6 Grondgegevens	4
2.6.1 Grondprofiel Bellevue	4
2.7 Funderingsgegevens	5
2.8 Funderingsplan	5
2.8.1 Overzicht Funderingsplan	6
2.9 Belastingsgegevens	6
2.9.1 Verticale belastingen	6
2.9.2 Horizontale belastingen	6
2.10 Eisen	6
2.11 Opgegeven Parameters	7
2.12 Model Opties	7
3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing	8
3.1 Toetsing Grenstoestand EQU	8
3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie	8
3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie	8
3.1.3 Stabiliteit	8

2 Invoergegevens

2.1 Algemene Invoergegevens

Model Shallow Foundations (EC7-NL)

2.2 Rapportage Gegevens

Geotechnisch adviseur :
Constructeur bovenbouw :
Opdrachtgever :

Titel 1 : INFR200121 TIEL
Titel 2 : FUNDERING BELLEVUE
Titel 3 : D-Foundations Fundering Bellevue_rev0
Nummer project :
Locatie project :

2.3 Toepassingsgebied Model Fundering op staal

De toetsingen uitgevoerd door het model fundering op staal van D-FOUNDATIONS hebben betrekking op funderingen op staal waarop statische of quasi-statische krachten werken. Het funderingsoppervlak mag hierbij een hoek met de horizontaal maken van ten hoogste 2.5 graden.

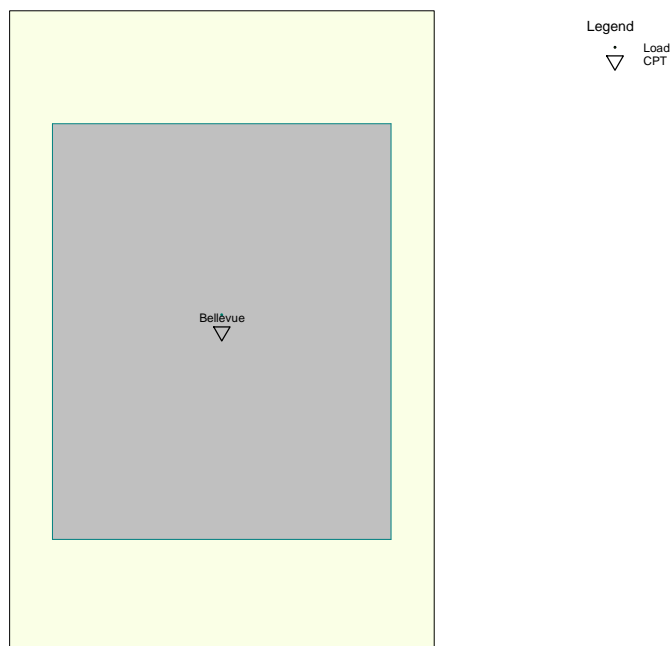
2.4 Bovenbouw

Stijfheidskarakteristiek : Slap

2.5 Algemene Sondeergegevens

Aantal sonderingen : 1

2.5.1 Overzicht Sonderingen in Funderingsplan



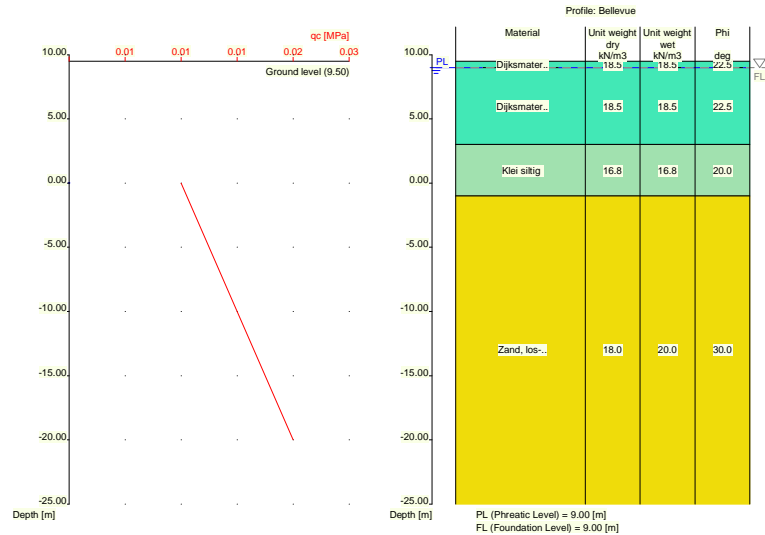
Naam sondering	X-coördinaat [m]	Y-coördinaat [m]
Bellevue	0.00	0.00

2.6 Grondgegevens

Aantal grondprofielen: 1

2.6.1 Grondprofiel Bellevue

Behorende bij sondering	Bellevue
Maaiveldniveau in [m. t.o.v. referentie niveau] :	9.50
Niveau grondwaterstand in [m. t.o.v. referentie niveau] :	9.00
Funderingsniveau in [m t.o.v. R.N.] =	9.00
Concentratiegetal van Frohlich [-] =	3
Aantal lagen in profiel :	4



Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	Gamma [kN/m ³]	Gamma sat [kN/m ³]	Phi [deg]	Cohesie [kPa]	f;undr [kPa]	Cc [-]	Ca [-]
1	9.500	18.54	18.54	22.50	5.00	80.00	0.01	0.00
2	9.000	18.54	18.54	22.50	5.00	80.00	0.01	0.00
3	3.000	16.82	16.82	20.00	2.50	50.00	0.01	0.00
4	-1.000	18.00	20.00	30.00	0.00	0.00	0.01	0.00

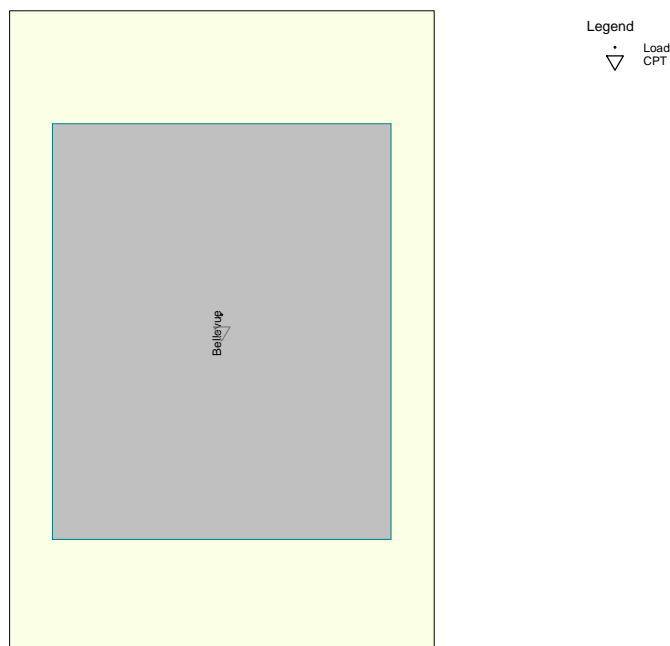
Nummer laag	Niveau bov.laag [m R.N.]	e0 [-]	Grond-soort
1	9.500	0.26	Zand
2	9.000	0.26	Klei
3	3.000	0.26	Klei
4	-1.000	0.26	Zand

2.7 Funderingsgegevens

Element naam	Element vorm	Breedte [m]	Lengte [m]	Diameter [m]	Type
Bellevue	Rechthoekige poer	14.20	17.44	nvt	In het werk...

2.8 Funderingsplan

2.8.1 Overzicht Funderingsplan



Element nummer/naam	Xm [m]	Ym [m]	hoek [deg]	Element type naam	Grond-profiel naam	Belastings-geval naam	Talud nr.
1: 1	0.00	0.00	0.00	Bellevue	Bellevue ...	2125	None

2.9 Belastingsgegevens

2.9.1 Verticale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO			BGT		
	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]	eB [m]	eL [m]	Vd [kN]
2125	0.00	0.70	3125.00	0.00	0.70	3125.00

2.9.2 Horizontale belastingen

Belastings-geval	GT EQU/STR/GEO		BGT		Kappa [deg]
	eH [m]	Hd [kN]	eH [m]	Hd [kN]	
2125	1.44	1085.00	1.44	1085.00	0.00

2.10 Eisen

Grenstoestand STR/GEO

Maximaal toegestane zakking in [m] :

0.150

Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :

1 / 100

Bruikbaarheidgrenstoestand	
Maximaal toegestane zakking in [m] :	0.150
Maximaal toegestane (relatieve) rotatie :	1 / 300

2.11 Opgegeven Parameters

Alle parameters volgens de standaard.

2.12 Model Opties

Geen gebruik tussenresultatenfile
Maak geen gebruik van het interactie model.

3 Shallow Foundations (EC7-NL): Resultaten Toetsing

3.1 Toetsing Grenstoestand EQU

Eis volgens NEN 9997-1:2016 art. 2.4.8: $E_d \leq C_d$.

3.1.1 Verticale Draagkracht, Ongedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Rd (Squeeze) [kN]	Ftrek [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	3125.00	48610.07	0.00	0.00	VOLDOET

- voor de toetsing is de hoogste waarde van Rd aangehouden!
 -Ftrek ($0.5 * b' * c_u; d$) is de trekkracht per strekkende meter welke opgenomen moet kunnen worden door de fundering bij squeeze (zie art. 6.5.2.2 (r) NEN 9997-1:2016).

3.1.2 Verticale Draagkracht, Gedraineerde Situatie

Fund. elem. naam	Berekeningsgeval	Vd [kN]	Rd [kN]	Vd (Pons) [kN]	Rd (Pons) [kN]	Resultaat toetsing
1	Geval C	3125.00	28312.44	3125.00	29248.60	VOLDOET

NB:bij toetsing voor zowel situatie met als zonder pons, moet aan beide worden voldaan!

3.1.3 Stabiliteit

Fund. elem. naam	Minimale l' [m]	Minimale b' [m]	Phi`d [deg]	Kantelstabiliteit	Totale stabiliteit
1	14.93	14.20	20.67	VOLDOET	VOLDOET

Einde Rapport

E. Toetsing betrouwbaarheid sluiting



Notitie

Voor: Waterschap Rivierenland
Van: N. den Adel
Gecontroleerd: M. Verduijn
Bedrijf: Iv-Infra b.v.

Datum: 12 maart 2021
Referentie: INFR200121-N02
Revisie: 2
Onderwerp: Betrouwbaarheid sluiting bestaande coupures

In deze notitie is, voor de primaire waterkering rond Tiel, een nadere uitwerking van de beoordeling van het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting (BSKW) voor de bestaande coupures, de nieuwe coupures en de demontabele keringen uitgevoerd. In deze revisie is de herstelmaatregel met big-bags om de bestaande coupures te kunnen sluiten opgenomen in de faalkansanalyse.

Revisie document	Omschrijving
0	Conceptversie ter bespreking
1	Conceptversie ter bespreking, wijzigingen zijn: <ul style="list-style-type: none">- Berekenen hydraulische randvoorwaarden met HKV-database- Gedetailleerde analyse technische falen toegevoegd
2	Conceptversie ter bespreking, wijzigingen zijn: <ul style="list-style-type: none">- In overleg met WSRL is de faalkans aangescherpt door een herstelmaatregel op te nemen in de faalkansanalyse

Samenvatting

Vanwege het relatief grote aantal coupures dat gerealiseerd wordt binnen het dijkversterkingsproject stad Tiel, is de faalkanseis per kunstwerk ten aanzien van betrouwbaarheid sluiting streng. Om te voldoen aan de faalkanseis zijn aanscherpingen in het hoogwaterdraaiboek noodzakelijk. Daarnaast dient een alternatieve sluiting met big bags voorbereid te zijn in het geval de reguliere sluiting faalt. Een gedetailleerde lijst met aspecten waaraan voldaan dient te worden is opgenomen in de paragraaf aanbevelingen op pagina 8.



Faalkanseis betrouwbaarheid sluiting kunstwerk

De faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is bepaald met onderstaande formule.

$$P_{eis;KW,bskw} = \frac{P_{norm} * \omega_{KW,bskw}}{N}$$

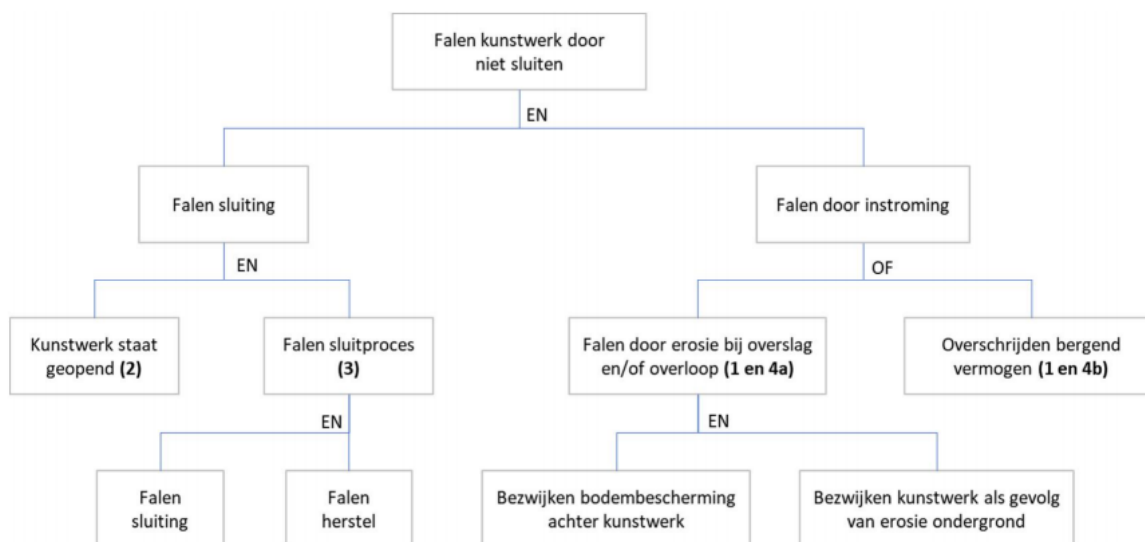
Waarin:

- $P_{eis;KW,bskw}$ Faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting per individueel kunstwerk per jaar.
- P_{norm} Faalkanseis voor gehele dijktraject (normtraject), voor dijktraject 43-6 is dit voor de ondergrens $P_{norm} = \frac{1}{10.000}$ per jaar
- $\omega_{KW,bskw}$ Faalkansruimtefactor voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting bedraagt 0,04 [-] [2].
- N Lengte-effectfactor voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is afhankelijk van het aantal kunstwerken dat een bijdrage heeft aan dit faalmechanisme. In het ontwerp wordt conform het OI2014 uitgegaan van de maximale waarde van 10 [-]. Deze maximale waarde is een conservatieve keuze waarin rekening is gehouden met eventuele kunstwerken die in de toekomst toegevoegd worden. ¹

$$P_{eis;KW,bskw} = \frac{P_{norm} * \omega_{KW,bskw}}{N} = \frac{\frac{1}{10000} * 0,04}{10} = \frac{1}{2.500.000} \text{ per jaar}$$

Faalkans betrouwbaarheid sluiting

De foutenboom voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting is opgenomen in Figuur 1.



Figuur 1: Foutenboom faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting [1]

¹ In de bestaande situatie zijn er in ieder geval 5 kunstwerken die bijdragen aan dit faalmechanisme. Daarnaast worden er 5 nieuwe coupures gerealiseerd. Het totale aantal relevante kunstwerken bedraagt 10. Er dient daarom uitgegaan te worden van de maximale waarde voor de lengte effect factor, N=10.



Uit de foutenboom volgt de onderstaande formule voor het bepalen van de faalkans:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * P(\{Z_{NS1} < 0 \text{ EN } Z_{NS2} < 0\} \text{ OF } Z_{NS3} < 0) * N$$

Hierin is:

- $P_{f,KW,NS}$ Kans op overstroming na niet-sluiten [per jaar];
- P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-];
- P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [1/vraag];
- $P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-];
- $P(Z_{NS1} < 0)$ Kans op bezwijken bodembescherming [-];
- $P(Z_{NS2} < 0)$ Kans op bezwijken kunstwerk in geval van een bezweken bodembescherming [-];
- $P(Z_{NS3} < 0)$ Kans op overschrijden van het kombergend vermogen [-].
- N Betreft het aantal sluitvragen [per jaar]

De bijdragen van de componenten bodembescherming en komberging is gering. Vanwege de ligging van de coupures in het bebouwd gebied, is er bij een gering instromend debiet al sprake van 'overlast' door overstromingsgevolgen. In deze beoordeling wordt de formule daarom vereenvoudigd tot:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * N$$

Voor de bestaande coupures wordt, om het aantal sluitvragen per jaar te bepalen, uitgegaan van de overschrijdingsfrequentie van de waterstand gelijk aan het drempelniveau van de coupures. Het uitgangspunt bij deze faaldefinitie is dat eventuele instroom door golfoploop tot aan de drempelhoogte door de achterliggende kom geborgen kan worden en de achterliggende bestrating (bodembescherming) niet bezwijkt. Het drempelniveau van de bestaande coupures is ca. NAP+9,50 m tot NAP+9,75 m. De coupures hebben een relatief lang (ca. 30 m tot 90 m) voorland. Dit voorland verloopt vrijwel horizontaal en bevindt zich op ca. NAP+9,50 m (= ca. het drempelniveau van de coupures). Door dit voorland blijft de instroom door golven beperkt.

Voor de nieuwe coupures wordt het aantal sluitvragen bepaald door uit te gaan van een waterstand bij sluiting die 50 cm onder het drempelniveau ligt. Bij een waterstand van 50 cm onder het drempelniveau dienen de coupures gesloten te zijn. De nieuwe coupures bevinden zich in de buitenkruinlijn van de waterkering. Het drempelniveau van deze coupures ligt tussen de ca. NAP+11,65 m en ca. NAP+11,98 m. Bij een dergelijke hoge waterstand is de waterdiepte in het voorland ca. 2 tot 2,5 m. Het voorland heeft bij deze waterstand niet of nauwelijks invloed op de golven. Hierdoor wordt voor de nieuwe coupures rekening gehouden met de instroom ten gevolge van golfoploop. Er wordt voor het bepalen van het aantal sluitvragen 50 cm marge aangehouden t.o.v. het drempelniveau.

Onderstaand worden de invoerparameters voor het bepalen van de faalkans van de bestaande coupures toegelicht.

P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-]



De coupures hebben als functie om de waterkering passeerbaar te maken onder normale omstandigheden. Vanuit deze functie zijn de coupures dus altijd geopend, $P_{open} = 1 \text{ per jaar}$.

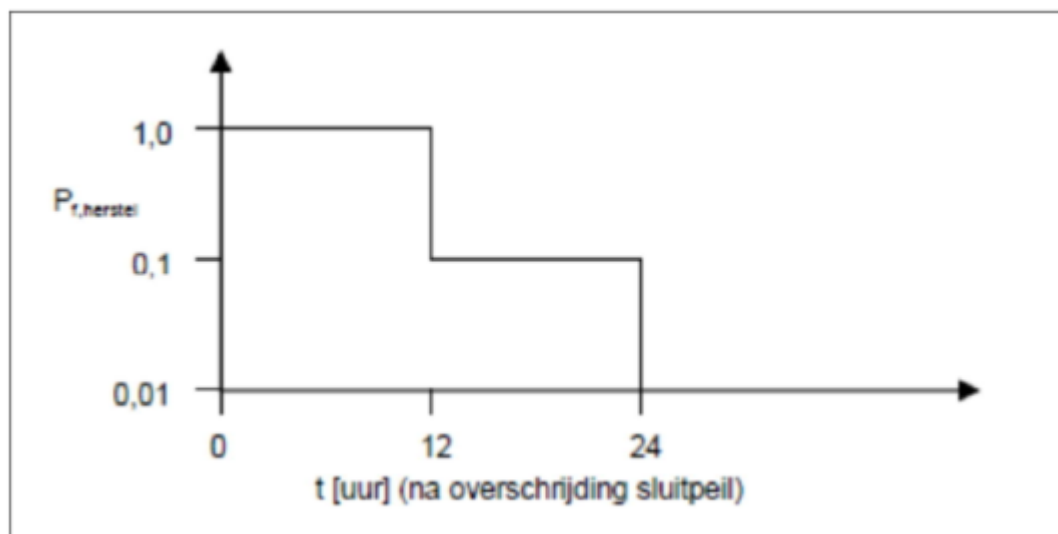
$P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-]

In overleg met de dijkbeheerder en assetmanager van het Waterschap Rivierenland is het plaatsen van big bags opgenomen als herstelmaatregel. Voor deze herstelmaatregel is een protocol beschikbaar en daarnaast wordt deze sluiting geoefend. Door de beheerder is aangegeven dat het stapelen van big bags 3 hoog (=3 m) niet eerder gedaan is. Om deze herstelmaatregel voor de bestaande coupures in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig en beschikbaar te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.
- Onderzoeken of de big bags ook voor de demontabele kering in deeltraject 4C als herstelmaatregel van toepassing kan zijn

Het uitgangspunt in deze analyse is dat aan bovenstaande voorwaarden voldaan wordt. De sluiting met big bags is daarmee uitvoerbaar. Daarnaast is onderzocht of er voldoende tijd beschikbaar is om deze alternatieve sluiting uit te kunnen voeren. Uit de sluitingsprotocollen van de bestaande coupures volgt dat overgegaan wordt tot sluiting van de coupures bij een waterstand van NAP+9,15 m. Dit is ca. 0,50 m onder het drempelniveau van de coupures. In bijlage A is het waterstandsverloop t.p.v. Tiel onderzocht. Er is ca. 25 uur beschikbaar tussen het overschrijden van het sluitpeil en het overschrijden van het drempelniveau. Conform Figuur 2, overgenomen uit de schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting [3], mag in dit geval een faalkans van herstel van $P_{f,herstel} = 0,01$ in rekening gebracht worden.

Voor de nieuwe coupures is minimaal eenzelfde of een grotere tijdsperiode beschikbaar om de sluiting te herstellen. Daarnaast is de kerende hoogte van deze coupures maximaal 1,0 m waardoor herstel eenvoudiger uitvoerbaar is. De $P_{f,herstel} = 0,01$ kan daarom ook toegepast worden voor de nieuwe coupures. Vanwege het hoge drempelniveau van de nieuwe coupures is deze herstelkans pas vereist vanaf het zichtjaar 2100 om te voldoen aan de faalkanseis.



Figuur 2: Faalkans van herstel op basis van beschikbare tijd conform WBI2017 [3]

N het aantal sluitvragen per jaar betreft [1/jaar].

Voor de bestaande coupures is het aantal sluitvragen per jaar bepaald door de overschrijdingsfrequentie van een waterstand gelijk aan drempelniveau te bepalen. Voor de nieuwe coupures is uitgegaan van een waterstand van 50 cm onder het drempelniveau. Deze overschrijdingsfrequenties zijn gelijk aan het aantal sluitvragen per jaar vanuit de hoogwaterkerende functie. In Hydra-NL is de overschrijdingsfrequentie van dit niveau bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van de aangepaste hydraulische database ter plaatse van Tiel [11]. Hierin zijn meerdere randvoorwaardepunten² beschikbaar waardoor er per coupure een overschrijdingsfrequentie van het drempelniveau is bepaald.

Tabel 1: Aantal sluitvragen per jaar per coupure

Coupures:	Drempelniveau [m+NAP]	Aantal sluitvragen [1/jaar]			
		2050	2075	2100	2125
DT3: Groene krib (nieuw)	11,48*	1/2.479	1/999	1/468	1/266
DT3: Nieuwe Havendijk (nieuw)	11,32*	1/1.359	1/570	1/287	1/169
DT4a: Waalkade (nieuw)	11,15*	1/693	1/302	1/173	1/93
DT4a: Havendijk (nieuw)	11,46*	1/2.261	1/950	1/442	1/253
Waterpoort (bestaand)	9,75	1/17	1/12	1/8	1/6
DT4c1 Demontabele kering (nieuw)	11,35*	1/1.571	1/673	1/318	1/184
Waalstraat (bestaand)	9,75	1/18	1/13	1/9	1/6
DT4c2 en 4c3 Demontabele kering (nieuw)	11,35*	1/1.571	1/673	1/318	1/184
Bellevue (bestaand)	9,50	1/12	1/8	1/6	1/5

* Voor de nieuwe coupures wordt uitgegaan van sluiting bij een waterstand van 50 cm onder drempelniveau. Het weergegeven niveau betreft dus drempelniveau – 50 cm.

² In de OI-database zijn slechts twee uitvoerpunten beschikbaar ter plaatse van Tiel.



P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [-]

De kans op falen van de sluiting bij een sluitvraag wordt bepaald op basis van de 'standaard' scoretabellen.

De kans op falen sluiting bij een sluitvraag is bepaald voor de toekomstige situatie.

Voor het bepalen van P_{ns} in de huidige situatie is gebruik gemaakt van de volgende referenties:

- Sluiting Coupure Waalstraat (034852); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- Sluiting Coupure Waterpoort (034853); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- Invullingscoretabellen beoordelingsrapportages Movares:³
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW11, Coupure Waterpoort, 17-04-19, versie 2.0
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW17, Coupure Waalstraat, 12-03-19, versie 2.0
 - Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW20, Coupure Bellevue, 04-02-19, versie 2.0

Hierin is aangenomen dat de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraaiboek op een aantal aspecten aangescherpt is. Op basis van de huidige situatie kan er geen voldoende lage faalkans met de scoretabellen behaald worden. Er wordt daarom voorgesorteerd op aanpassingen in het hoogwaterdraaiboek. Deze aanpassingen dienen met Waterschap Rivierenland (en gemeente Tiel) afgestemd te worden. Voorgestelde maatregelen om de faalkans te verlagen zijn:

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem;
- Beschikbaarheid van OTO-Plan;
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure);
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen;
Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek.

Indien bovenstaande wijzigingen worden doorgevoerd in het hoogwaterdraaiboek neemt de faalkans per sluitvraag af tot 1 x per 8.327 sluitvragen, zie Tabel 2. De invulling van de scoretabellen in de nieuwe situatie is opgenomen in bijlage B.

³ Movares heeft voor de invulling van de scoretabellen een beheerdersinterview afgenomen. Hierin is aanvullende informatie t.o.v. de sluitingsprotocollen beschikbaar. Voor het ontwerp dient de informatie uit het interview nog geverifieerd te worden.



Tabel 2: Faalkans per sluitvraag met aangenomen aanscherpingen in hoogwaterdraaiboek

Element	Symbol	Faalkans	
Faalkans falen alarmering	$P_{ns,alarmering}$	0.0000001	1/ 1E+07
Faalkans falen mobilisatie	$P_{ns,mobilisatie}$	0.00001	1/ 100000
Faalkans falen bediening	$P_{ns,bediening}$	0.00001	1/ 100000
Faalkans technisch falen	$P_{ns,technisch\ falen}$	0.0001	1/ 10000
Totale faalkans niet sluiten	P_{ns}	0.000120098	1/ 8327

Resultaten

In deze analyse is de faalkans voor het faalmechanisme bepaald met de onderstaande formule:

$$P_{f,KW,NS} = P_{open} * P_{ns} * P_{f,herstel} * N$$

Waarin de volgende componenten bepaald zijn:

- P_{open} Kans op open kering bij een sluitvraag [-] $P_{open} = 1$
- P_{ns} Kans op falen sluiting bij een sluitvraag [1/vraag] $P_{ns} = \frac{1}{8327}$ per vraag
- $P_{f,herstel}$ Kans op falen herstel van gefaalde sluiting [-] $P_{f,herstel} = 0,01$
- N aantal sluitvragen per jaar [1/jaar], N is verschillend per coupure en is opgenomen in Tabel 1.

In Tabel 3 is per coupure de berekende faalkans voor het zichtjaar 2125 weergegeven. De faalkansen voor alle coupures zijn lager dan de faalkanseis (1/2.500.000 per jaar). De coupures voldoen hiermee aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting. Deze conclusie is geldig mits voldaan wordt aan de aanbevelingen die zijn opgenomen onder Tabel 3. De mogelijkheid tot het herstellen van de sluiting met big bags dient voor de bestaande coupures (Waterpoort, Waalstraat en Bellevue) vanaf zichtjaar 2023 beschikbaar te zijn. Voor de nieuwe coupures dient deze herstelmogelijkheid vanaf zichtjaar 2100 beschikbaar te zijn.

Tabel 3: Faalkans per coupure voor het zichtjaar 2125

Coupures	Aantal sluitvragen 2125 [1/jaar]	Faalkans herstel [-]	Faalkans* [1/jaar]
DT3: Groene krib (nieuw)	1/289	0,01	1/221.288.386
DT3: Nieuwe Havendijk (nieuw)	1/197	0,01	1/140.858.598
DT4a: Waalkade (nieuw)	1/111	0,01	1/77.282.045
DT4a: Havendijk (nieuw)	1/277	0,01	1/210.554.143
Waterpoort (bestaand)	1/6	0,01	1/5.166.921
DT4c1 Demontabele kering (nieuw)	1/659	1,00	1/153.331.655
Waalstraat (bestaand)	1/6	0,01	1/5.374.700
DT4c2 en 4c3 Demontabele kering (nieuw)	1/659	1,00	1/153.331.655
Bellevue (bestaand)	1/5	0,01	1/4.006.465

* Product van aantal sluitvragen en faalkans per sluitvraag

** De faalkanseis gedeeld door de faalkans



Aanbevelingen

Om te voldoen aan de faalkanseis voor betrouwbaarheid sluiting dienen de volgende aspecten te worden opgenomen in de sluitingsprotocollen en het hoogwaterdraaiboek.

- Jaarlijks oefenen van de mobilisatie en sluiting coupures. Hierbij hoeven niet jaarlijks alle coupures gesloten worden. Er kan volstaan worden met het sluiten van één van de kunstwerken die een vergelijkbaar sluitproces hebben. Als voorbeeld zou jaarlijks: één van de bestaande coupures, één van de nieuwe coupures en één sectie van de demontabele kering gesloten moeten worden en dient jaarlijks de sluiting met de big bags geoefend te worden. Er dient wel jaarlijks een ander kunstwerk (met een vergelijkbaar sluitproces) gesloten te worden. Daarnaast is het een vereiste dat ieder kunstwerk in ieder geval één keer per vijf jaar gesloten wordt.
- Tweemaal per jaar de coupures en keermiddelen inspecteren en waar nodig maatregelen nemen.
- De keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen opslaan.

Voor de bestaande coupures is vanaf het zichtjaar 2023 een herstelmogelijkheid nodig om te voldoen aan de faalkanseis voor het faalmechanisme betrouwbaarheid sluiting: Om deze herstelmaatregel voor de bestaande coupures in rekening te brengen dient het Waterschap Rivierenland de volgende aspecten verder uit te werken:

- De procedure voor het sluiten met big bags tot 3 rijen hoog dient bekend te zijn, bijvoorbeeld door de procedure uit te werken in een werkinstructie.
- De procedure dient periodiek geoefend te worden.
- Het materiaal en materieel voor de sluiting dient voorradig te zijn. In eerst instantie alleen voor de coupures Waterpoort, Waalstraat en Bellevue. Voor de nieuwe coupures dient vanaf het zichtjaar 2100 ook een herstelmaatregel beschikbaar te zijn.
- Onderzoeken of de big bags ook onder storm (hoge windsnelheden) geplaatst kunnen worden.
- Onderzoeken of de big bags ook voor de demontabele kering in deeltraject 4C als herstelmaatregel van toepassing kan zijn

In het bepalen van de sluitvraag zijn daarnaast de volgende aannames gedaan. Deze zijn gebaseerd op de invulling van de scoretabellen in de beoordelingsrapportages. Deze aannames dienen geverifieerd te worden:

- Beschikbaarheid van mobilisatieregeling, stand-by regeling en terugmeldingssysteem
- Beschikbaarheid van OTO-Plan
- 2 of meerdere aannemers beschikbaar voor sluiting coupures. (Of een andere herstel mogelijkheid in de mobilisatie en bedieningsprocedure)
- Beschikbaarheid onderhoudsplan voor de keermiddelen
- Vastleggen resultaten van proefsluitingen in logboek

Referenties

- [1] Werkwijzer ontwerpen van waterkerende kunstwerken, RWS, 2018
- [2] Handreiking ontwerpen met overstromingskansen (OI2014v4), RWS, status Definitief, februari 2017
- [3] Schematiseringshandleiding betrouwbaarheid sluiting kunstwerk, Rijkswaterstaat, status Definitief, 28 november 2019

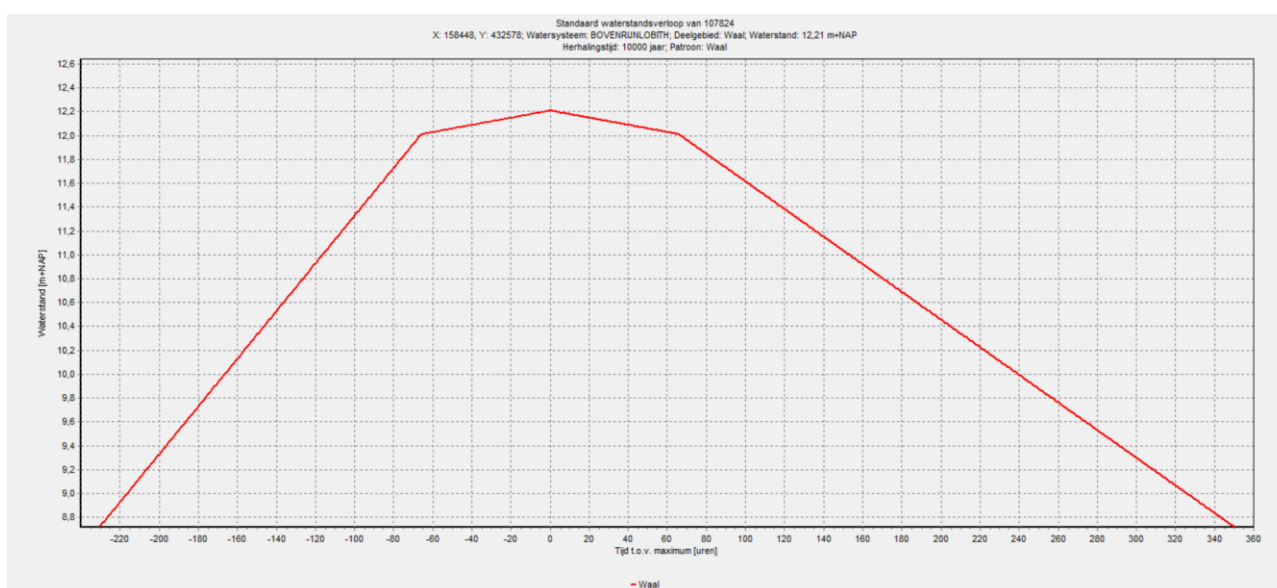


- [4] Sluiting Coupure Waalstraat (034852); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- [5] Sluiting Coupure Waterpoort (034853); d.d. 14-07-2017, Waterschap Rivierenland
- [6] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW11, Coupure Waterpoort, 17-04-19, versie 2.0, Movares
- [7] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW17, Coupure Waalstraat, 12-03-19, versie 2.0, Movares
- [8] Veiligheidsanalyse stad Tiel, Beoordelingsrapportage KW20, Coupure Bellevue, 04-02-19, versie 2.0, Movares
- [9] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Berkelkade, status: Definitief, 1 november 2017, Rijkswaterstaat
- [10] Betrouwbaarheidsanalyse coupure Den Oever, status: Definitief, 1 november 2017, Rijkswaterstaat
- [11] Hydraulische randvoorwaarden Stadshart Tiel (HKV), 01-12-2018

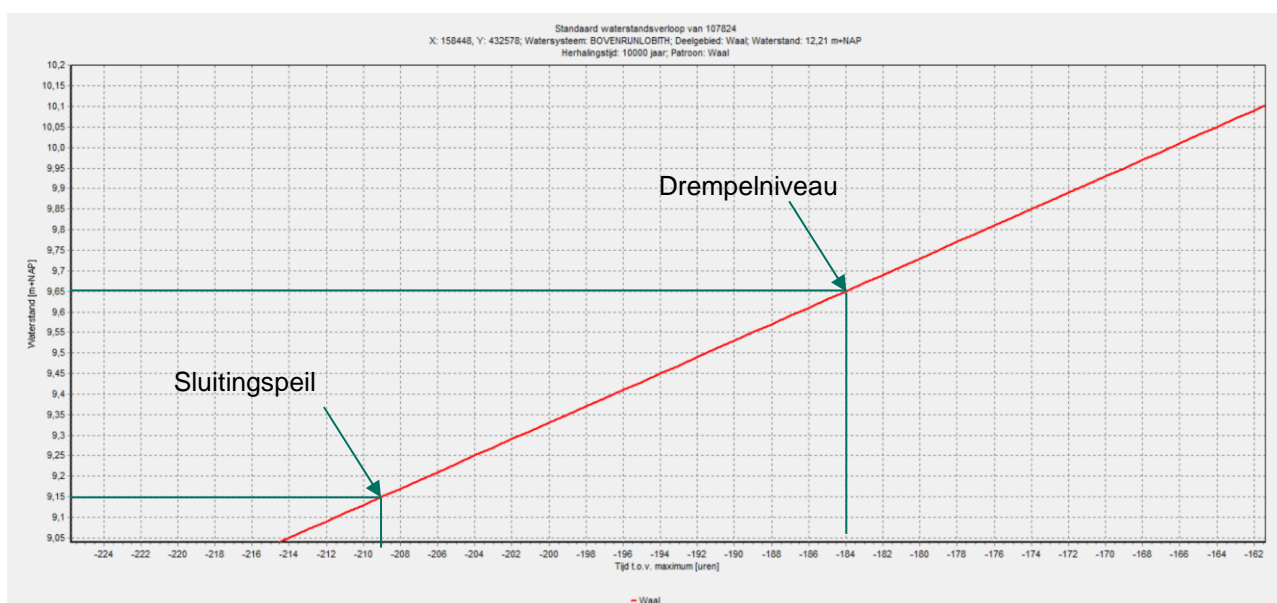


A. Waterstandsverlooptool

In Figuur 1 is een screenshot van het waterstandsverloop t.p.v. Tiel weergegeven. Het verloop is bepaald o.b.v. de overschrijdingsfrequentie van 1/10.000 per jaar en een waterstand van NAP+12,21 m. In Figuur 4 is een vergrote versie van het waterstandsverloop tussen NAP+9,00 en NAP+10,0 m weergegeven. Uit Figuur 4 volgt dat het sluitingspeil (NAP+9,15 m) overschreden wordt op uur -209. Het drempelniveau (NAP+9,65 m) wordt overschreden op uur -184. Er is dus 25 uur beschikbaar tussen het sluitingspeil en het overschrijden van het drempelniveau.



Figuur 3: Screenshot Waterstandsverlooptool voor waterstand bij zichtjaar 2125



Figuur 4: Vergroting van waterstandsverloop tussen NAP+9,00 m en NAP+10,0 m



B. Invulling scoretabel coupures nieuwe situatie

Scoretabellen BSKW

Alarmering					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a	Wordt het contact met Rijkswaterstaat tenminste jaarlijks geverifieerd?	Ja	4	Uit de beoordelingsrapportage volgt dat er een jaarlijkse controle is van het contact met Rijkswaterstaat over de (hoog)waterstanden.
	b	Is er een tweede methode voor hoogwateralarmering?	Ja	2	Ja, in het sluitprotocol is als tweede methode een visuele waarneming vermeld.
	c	Is er een mogelijkheid dat de bevolking tijdig waarschuwt?	Ja	1	Alle coupures liggen in bebouwd gebied, dus het is aannemelijk dat bewoners tijdig waarschuwen.
E1	Kunstwerk niet sluiten door falen Alarmering		a+b+c	7	
Mobilisatie					
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting	
	a1	Is er een schriftelijk vastgelegde up-to-date mobilisatieregeling inclusief stand-by regeling en terugmeldingssysteem?	Ja		Ja, het uitgangspunt is dat er een mobilisatieregeling aanwezig is. Voor de nieuwe coupures en demontabele kering dient deze nog opgesteld te worden. Het uitgangspunt is dat dit gereed is voordat de coupures gerealiseerd zijn. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	a2	Wordt de mobilisatie jaarlijks geoefend?	Ja		Uitgangspunt is in de toekomstige situatie in ieder geval jaarlijks één van de coupures met een vergelijkbaar sluitproces te sluiten. Bijvoorbeeld jaarlijks sluiten van één bestaande coupure, één nieuwe coupure en een sectie van de demontabele kering. Hierbij wordt de mobilisatie en bediening van de kunstwerken geoefend.
	a3	Worden de ervaringen van de oefening en mobilisaties teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatieregeling?	Ja		Het waterschap heeft (OTO-plan) logboek waarin ervaringen opgenomen worden. De resultaten van de mobilisatieoefening worden geëvalueerd en waar nodig wordt de mobilisatieregeling aangepast. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	a4	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	Ja	4	
	b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de mobilisatieregeling? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk. NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.	Ja	1	Er zijn in ieder geval twee waakvlamcontracten afgesloten. Hierdoor kan er een tweede ploeg gemobiliseerd worden. (bron: beoordelingsrapportage, nader te verifiëren in PU-fase)
	c	Indien coupure zonder permanent keermiddel: zijn de kerende elementen op dezelfde plaats opgeslagen als de reserve elementen?	Nee	0	Uitgangspunt is in de toekomstige situatie de keermiddelen en reserve elementen op twee verschillende plaatsen worden opgeslagen.
E2	Kunstwerk niet sluiten door falen Mobilisatie		a4+b+c	5	

Bediening				
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting
	a1	Is een sluitprocedure aanwezig? Wordt de sluitprocedure minstens eenmaal per jaar geoefend?	Ja	Ja, zie antwoord vraag Mobilisatie 1.
	a2	Worden de ervaringen van de oefening en bediening teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de sluitprocedure?	Ja	Uitgangspunt is in de toekomstige situatie in ieder geval jaarlijks één van de coupures met een vergelijkbaar sluitproces te sluiten. Bijvoorbeeld jaarlijks sluiten van één bestaande coupure, één nieuwe coupure en een sectie van de demontabele kering. Hierbij wordt de mobilisatie en bediening van de kunstwerken geoefend.
	a3	Tussenscore: Zijn de vragen a1 - a3 allemaal met ja beantwoord?	Ja	3
	b	Zijn er mogelijkheden tot herstel en zijn die opgenomen in de sluitprocedure? NB1: als vraag a1, a2 of a3 met 'nee' is beantwoord dan is ook geen herstel mogelijk. NB2: voor een kunstwerk in het kust- of merengebied alleen van toepassing als er een permanent keermiddel aanwezig is.	Ja	2
	E3	Kunstwerk niet sluiten door falen Bediening	a4+b	5
Technisch falen				
Onderdeel	Vraag	Antwoord	Score	Toelichting
A	a1	Is er een onderhoudsplan voor het keermiddel en wordt dat nageleefd?	Ja	0.5
A	a2	Wordt het primaire en indien van toepassing het secundaire keermiddel minstens tweemaal per jaar gecontroleerd en de sluiting minstens eenmaal per jaar getest, inclusief alle behorende 'aandrijfmechanismen'.	Ja	1.5
A	a3	Worden de ervaringen van de controles, test en daadwerkelijke sluitingen teruggekoppeld en verbeteringen doorgevoerd in de mobilisatiemaatregeling en bedieningsprotocol of zodanig aan het sluitmiddel zelf?	Ja	0.5
Aandrijving	c	Is het afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Ja	0.5
Aandrijving	b1	Is er een tweede aandrijfsysteem?	Ja	1
Aandrijving	d	Aandrijving faalt (tussen score)	c+b1	1.5
Aandrijving	e	Is er een risico van merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	1.5
Aandrijving	f	Is er een risico van niet-merkbaar falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	1.5
Aandrijving	g	Is er een risico van betekenis op belemmering waardoor de sluiting faalt?	Nee	1
Aandrijving	b2	Is er een sluitprotocol geanticipeerd op dit risico van belemmering?	Ja	0.5
Aandrijving	h	Falen tijdens sluiten: belemmering (tussenscore)	g+b2	1.5
Aandrijving	i	Keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(e,f,h)	1.5
Sluiting 1e keermiddel	j	Sluiting keermiddel 1 faalt (tussenscore)	min(d,i)	1.5
Sluiting 2e keermiddel	b3	Is er een tweede onafhankelijk keermiddel, dat operationeel is indien het eerst keermiddel niet gesloten kon worden? Indien ja: beantwoord de vragen k en l voor het tweede keermiddel.	Nee	0
Keermiddel	k	Is er een risico van falen van het keermiddel van betekenis?	Nee	0,25
Aandrijving	l	Is dit tweede afsluitmiddel op handkracht te sluiten?	Nee	0
Sluiting 2e keermiddel	m	Keermiddel 2 faalt (tussenscore)	min(b3+k,b3+l)	0
	E4	Kunstwerk niet sluiten door technisch falen en falen herstelactie.	a1+a2+a3+j+m	4

Resultaten

Element	Symbool	Faalkans	
Faalkans falen alarmering	Pns.alarmering	0.0000001	1/ 1E+07
Faalkans falen mobilisatie	Pns.mobilisatie	0.00001	1/ 100000
Faalkans falen bediening	Pns.bediening	0.00001	1/ 100000
Faalkans technisch falen	Pns.technisch falen	0.0001	1/ 10000
Totale faalkans niet sluiten	Pns	0.000120098	1/ 8327



Waarderweg 40
2031 BP Haarlem
Nederland

Pettelaarpark 10-15
5216 PD 's-Hertogenbosch
Nederland

Nevelgaarde 10
3436 ZZ Nieuwegein
Nederland

iv-Infra b.v.
Trapezium 322
3364 DL Sliedrecht
Nederland

Telefoon +31 88 943 3200

Trompstraat 36a
9190 Stekene
België

Westervoortsedijk 73
Gebouw CB
6827 AV Arnhem
Nederland

Postbus 135
3360 AC Sliedrecht
www.iv-infra.nl