

Analyse aanleghoogte en controle stabiliteit

Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145



Lijst met aanpassingen

Versie	Datum	Beschrijving van de wijziging	Herzien	Vrijgegeven door
C1.0	09-10-2023	Eerste versie uitgangspunten		
C2.0	03-11-2023	Resultaten zettingsberekeningen		
C3.0	12-01-2024	Resultaten stabiliteitsberekeningen		
D1.0	31-10-2024	Definitieve versie met inpassing ontwerp		

Sweco Nederland B.V.
Onderwerp
Projectnummer
Klant
Auteur

30129769
INGD Dijkverbetering Rondehoep Oost en West
51016261
Waterschap Amstel, Gooi en Vecht

Gecontroleerd door

Vrijgegeven door
Datum
Versie
Document referentie

31-10-2024
D1.0
NL42-648800269-108353_Analyse aanleghoogte en controle stabiliteit_Rondehoep Oost 2e fase, traject A145

Inhoudsopgave

1	Inleiding	5
1.1	Aanleiding	5
1.2	Doel	5
1.3	Projectlocatie	5
1.4	Scope	6
1.5	Leeswijzer	6
2	Algemene uitgangspunten	7
2.1	Planperiode en IPO-klasse	7
2.2	Vakindeling	7
2.3	Geometrie en bodemschematisering	8
2.4	Grondparameters	9
2.4.1	Sterkteparameters	9
2.4.2	Zettingsparameters	10
2.5	Hydraulische randvoorwaarden	10
2.5.1	Freatische lijn	10
2.5.2	Stijghoogte	11
2.5.3	Opdrijven en opbarsten	11
2.6	Uitgangspunten constructie	11
2.7	Programmatuur	13
3	Uitgangspunten faalmechanismen	14
3.1	Hoogte	14
3.2	Macrostabiliteit binnenwaarts	14
3.2.1	Veiligheidsfilosofie	15
3.2.2	Verkeersbelasting	16
4	Geotechnisch ontwerp	17
4.1	Aanleghoogte	17
4.2	Controle op stabiliteit na kruinverhoging	17
4.2.1	Dijkvak 7 (metrering 2250-2450)	18
4.2.2	Dijkvak 8 (metrering 2450-2650)	18
4.2.3	Dijkvak 9 (metrering 2850-3150)	18
4.2.4	Dijkvak 12 (metrering 3650-3700)	18
4.2.5	Dijkvak 14 (metrering 4000-4350)	19
4.2.6	Overzicht resultaat	19
5	Conclusie en aanbevelingen	20
5.1	Hoogte	20
5.2	Stabiliteit na kruinverhoging	20

Referenties	21
Bijlage A Grondopbouw	22
Bijlage B Stabiliteitsberekeningen	25
Bijlage C Sterktesheet houten palen	35

1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In 2021 zijn binnen de afdeling Projecten van Waternet de projecten dijkverbetering de Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 (ten zuiden van A9 tot Stokkelaarsbrug) en Rondehoep West, traject A148 (ten zuiden van Achterdijk 21 tot de Waver) gestart.

In deze rapportage wordt verder ingegaan op de Rondehoep Oost, traject A145 welke een lengte heeft van 3.014 meter. Uit toetsing en nadere geotechnische beschouwingen blijkt dat het gehele dijktraject niet op hoogte is voor de komende 30 jaar en dus opgehoogd moet worden [2]. Bovendien voldoet 950 meter niet qua binnenwaartse stabiliteit. Voor de stabiliteitsopgave zijn reeds ontwerpen gemaakt door Waternet [4]. Deze ontwerpen worden als uitgangspunt gebruikt worden voor de controleberekeningen.

1.2 Doel

Het doel van dit rapport is het vaststellen van de aanleghoogte voor dijktraject A145. Dit wordt gedaan met behulp van 8 zettingsberekeningen. Bovendien worden ter controle 6 stabiliteitsberekeningen uitgevoerd op 3 locaties (met teensloot dicht bij de waterkering) uitgaande van de bepaalde aanleghoogte.

1.3 Projectlocatie

De dijk langs Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145, beschermt de polder Rondehoep tegen de rivieren de Waver en de Bullewijk. De dijk ligt in de provincie Noord-Holland, in de gemeente Ouder-Amstel. In Figuur 1-1 is de ligging van de Rondehoep Oost 2^e fase weergegeven.



Figuur 1-1: Ligging de Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 [1]

1.4 Scope

In dit rapport wordt de aanleghoogte bepaald voor dijkverbetering Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 vanaf metrerings 1.730 m. Dit wordt gedaan op basis van zettingsberekeningen. Bovendien is er voor 4 dijkvakken een stabiliteitsopgave. Hiervoor zijn ontwerpprofielen aangeleverd door Waternet. Als controleberekening op stabiliteit wordt na het bepalen van de aanleghoogte de stabiliteit van deze ontwerpprofielen berekend.

1.5 Leeswijzer

In deze rapportage komen de volgende hoofdstukken naar voren:

- Hoofdstuk 2: Algemene uitgangspunten
- Hoofdstuk 3: Uitgangspunten faalmechanismen
- Hoofdstuk 4: Geotechnisch ontwerp
- Hoofdstuk 5: Conclusie en aanbevelingen

2 Algemene uitgangspunten

In dit hoofdstuk zijn de algemene geotechnische uitgangspunten gegeven. De geotechnische uitgangspunten worden gebruikt worden voor het bepalen van de aanleghoogte en de controleberekeningen op stabiliteit.

Voorafgaand aan de huidige technische uitwerking van de aanleghoogte is door Waternet een scopebepaling uitgevoerd en zijn uitgangspunten voor de dijkverbetering vastgesteld door Waternet [5]. Ten behoeve van de continuïteit sluiten de uitgangspunten hier zoveel mogelijk op aan.

2.1 Planperiode en IPO-klasse

De waterkering dient na oplevering een restlevensduur te hebben van 30 jaar. Het dijktraject is opgenomen in de Provinciale Verordening. De vastgestelde veiligheidsnorm is veiligheidsklasse III (IOP-Klasse) met de bijhorende overschrijdingskans van 1/100 per jaar [5].

2.2 Vakindeling

De dijkvakindeling is in de scopebepaling gebaseerd op de geometrie van het dijktraject wat geresulteerd heeft in 15 dijkvakken [5]. Deze dijkvakindeling wordt aangehouden. Echter vallen de dijkvakken 1 tot en met 4 (tot en met metrerings 1730) buiten de scope van deze analyse. In Tabel 2-1 is de dijkvakindeling van traject A145 weergegeven met metrerings en in Figuur 2-1 een kaart.



Figuur 2-1: Metrering dijktraject Rondehoep Oost

2.3 Geometrie en bodemschematisering

Voor alle dijkvakken zijn maatgevende dwarsprofielen gegenereerd door Waternet met behulp van het AHN4 [3]. De grondopbouw is met behulp van archiefgegevens, sonderingen, boringen en geotechnische lengteprofielen per dijkvak bepaald. In zijn algemeenheid is vastgesteld dat het dijklichaam grotendeels uit zand bestaat (met een dikte van circa 2,5 m) met taluds van zware klei. Vanaf het rivierbed (rond NAP -3 m) tot circa NAP -7,5 m is veen te vinden met hieronder een wat lichtere kleilaag tot circa NAP -9 m. Vanaf NAP -10 m is het pleistocene zandpakket aanwezig. Tussen de kleilaag en pleistocene zandlaag is een dunne veenlaag aanwezig.

In Tabel 2-1 is een overzicht van de maatgevende dwarsprofielen met maatgevende boringen en sonderingen weergegeven. Met de maatgevende bodemopbouw en het maatgevende dwarsprofiel zijn modelschematiseringen opgesteld door Waternet.

Tabel 2-1: Vakindeling en bijbehorende boringen en sonderingen maatgevende dwarsprofielen [5]

Dijkvak [-]	Metrering [m]		Metrering van de maatgevende dwarsprofielen	Maatgevende sondering/boring	
	Van	Tot		Kruin	Buitentalud
5	1730	2000	1950	(B)J6-153	(B)J6-146
6	2000	2250	2100	(B)J6-161	(S)J6-120
7	2250	2450	2350	(B)J6-156	(S)J6-126
8	2450	2650	2550	(B)J6-156	(S)J6-126
9	2650	3150	2900	(B)K7-60	(B)K6-1
10	3150	3350	3260	(B)K7-62	(B)K7-46
11	3350	3650	3600	(S)K7-47	(B)K7-48
12	3650	3700	3675	(S)K7-51	(B)K7-48
13	3700	4000	3850	(S)K7-51	(B)K7-48
14	4000	4350	4200	(S)K7-57	(S)K7-58
15	4350	4474	4420	(S)K7-57	(S)K7-66

2.4 Grondparameters

2.4.1 Sterkteparameters

In Tabel 2-2 zijn de sterkteparameters (rekenwaarden) opgenomen van de verschillende grondsoorten, gebaseerd op de AGV-proevenverzameling van Waternet uit 2019 [6].

Tabel 2-2: Grondparameterset (gebaseerd op 5% rek) [5]

Grondsoort	Volumiek gewicht		Rekenwaarde	
	Range	γ_d / γ_n [kN/m ³]	c' [kN/m ²]	ϕ [°]
Klei	13,5-15,0	13,90	4,20	25,38
Klei	15,0-17,0	16,00	3,34	26,78
Veen	10,0-10,8	10,50	1,44	26,11
Zand, los	17,0	17,0/19,0	0,0	30,0
Zand, pleistoceen	19,0	18,6/20,0	0,0	30,0

Waarvoor geldt:

γ_d	Volumegewicht van de grond bij natuurlijk watergehalte
γ_n	Volumegewicht van verzadigde grond
c'	Effectieve cohesie (rekenwaarde)
ϕ'	Effectieve hoek van inwendige wrijving (rekenwaarde)

2.4.2 Zettingsparameters

Om de aanleghoogte te bepalen en uitspraak te doen over eventueel benodigde uitvoeringsfasering is het belangrijk om rekening te houden met optredende zettingen en consolidatiesnelheid. De zettingsparameters die gebruikt worden zijn gegeven in Tabel 2-3. Deze zijn overgenomen uit de proevenverzameling van Waternet [7]. Klei antropogeen zal het materiaal zijn waarmee de ophoging uitgevoerd wordt. Voor deze grondsoort is alleen het volumieke gewicht van belang.

Tabel 2-3: Rekenwaarden zettingsparameters AGV 2015 [7]

Grondsoort	Range	γ_d / γ_n [kN/m ³]	C_p / C_p' [-]	C_s / C_s' [-]	C_v [m ² /s]	OCR [-]	POP [kN/m ²]
Klei	13,5-15,0	13,90	53,10/12,04	404,64/134,58	$4,30 \cdot 10^{-7}$		10
Klei	15,0-17,0	16,00	47,98/14,21	396,57/146,59	$3,30 \cdot 10^{-7}$	-	10
Veen	10,0-10,8	10,50	44,22/6,58	246,96/94,46	$3,91 \cdot 10^{-6}$	-	5
Zand, los	17,0/19,0	17,0/19,0	$4,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	Gedraineerd	1,3	[-]
Zand, pleistoceen	19,0/20,0	18,9/21,0	$4,0 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	Gedraineerd	1,3	[-]
Klei antropogeen		16,20	-	-	-	-	-

Waarvoor geldt:

γ_d / γ_n	Volumegewicht van aardvochtig/verzadigde grond
C_p	Primaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning
C_s	Secundaire samendrukkingsconstante voor de grensspanning
C_p'	Primaire samendrukkingsconstante na de grensspanning
C_s'	Secundaire samendrukkingsconstante na de grensspanning
C_v	Consolidatie coëfficiënt
OCR	Over Consolidation Ratio
POP	Pre-Overburden Pressure

2.5 Hydraulische randvoorwaarden

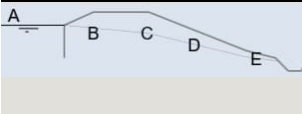
De polder aangrenzend aan de Rondehoep Oost 2^e fase, traject A145 heeft een zomerpeil tussen NAP -2,88 en NAP -2,99 m. Het streefpeil in de boezem is vastgesteld op NAP -0,40 m.

De hydraulische randvoorwaarden worden 2 situaties vastgesteld. Voor de zettingsberekeningen wordt uitgegaan van een dagelijkse condities waarbij de buitenwaterstand gelijk aan het streefpeil van de boezem. Voor de stabiliteitsberekeningen wordt rekening gehouden met maatgevende buitenwaterstandcondities. Voor beide situaties wordt een gelijke waarde aangehouden voor de binnenwaterstand (gelijk aan streefpeil polder). In de volgende alinea's worden de freatische lijnen voor de verschillende situaties toegelicht.

2.5.1 Freatische lijn

De schematisering van de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden is weergegeven in Tabel 2-4.

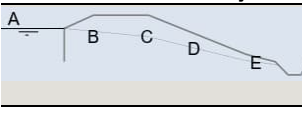
Tabel 2-4: Freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden [5]



	A Boezem-peil [m+NAP]	B Buiten-kruinlijn [m+NAP]	C Binnen-kruinlijn [m+NAP]	D Binnen talud [m+NAP]	E Teen = Polderpeil/slootpeil [m+NAP]
1730-4000	-0,40	-0,80	-0,90	Interpolatie	-2,88
4000-4474	-0,40	-0,80	-0,90	Interpolatie	-2,99

De schematisering van de freatische lijn onder maatgevende omstandigheden is weergegeven in Tabel 2-5.

Tabel 2-5: Freatische lijn onder maatgevende omstandigheden [5]



	A Boezem-peil [m+NAP]	B Buiten-kruinlijn [m+NAP]	C Binnen-kruinlijn [m+NAP]	D Binnen talud [m+NAP]	E Teen [m+NAP]	Polderpeil/slootpeil [m+NAP]
1730-4000	+0,00	-0,20	-0,60	Interpolatie	MV	-2,88
4000-4474	+0,00	-0,20	-0,60	Interpolatie	MV	-2,99

2.5.2 Stijghoogte

De dagelijkse stijghoogte in het eerste watervoerende pakket varieert tussen NAP -3,75 m en NAP -4,00 m (isohypsenkaart 2019) [8]. Dit is overgenomen uit de scopebepaling [5]. De onderverdeling van de stijghoogte over de metring is weergegeven in Tabel 2-6.

Tabel 2-6: Dagelijkse stijghoogte in eerste watervoerende pakket [5]

Metrering [m]	Stijghoogte 1 ^e watervoerende pakket [m NAP]	Polderpeil huidige toetsing) [m NAP]
1730-2850	-4,00	ZP -2,88, WP -3,03
2850-4000	-3,75	ZP -2,88, WP -3,03
4000-4474	-3,75	ZP -2,99, WP -3,14

2.5.3 Opdrijven en opbarsten

De waterremmende lagen onder de teensloot bestaan grotendeels uit kleilagen met een volumegewicht van circa 15,0 kN/m³ en veenlagen van circa 11,0 kN/m³. Door de dikke waterremmende lagen van circa 6 meter is de neerwaartse druk veel groter dan de opwaartse druk. Het quotiënt van de neerwaartse gronddruk en de opwaartse waterdruk is groter dan de vereiste opbarstveiligheid van 1,2. Bij dit dijktraject kan het fenomeen opbarsten/opdrijven worden uitgesloten.

2.6 Uitgangspunten constructie

De constructie bestaat uit een palenrij. Voor deze palenrij is er uitgegaan van gezaagd loofhout klasse D70. De sterkteparameters zijn weergegeven in Figuur 3-1. Als veiligheidsklasse is er uitgegaan van RC1, welke overeen komt met de gevolgklasse (consequence class) CC1. De vervormingen worden getoetst in de bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT). De toelaatbare horizontale verplaatsing in de BGT voor de palenrij is op 50 mm gesteld. Doordat de afzonderlijke palen samen dienen te werken als doorgaande wand is een gording nodig.

Bij een afwerking van de palen boven de grond in combinatie met een tussenruimte tussen de palen is een 'plank' nodig die doorpersen kan voorkomen. De gording wordt in deze notitie verder niet gedimensioneerd.

Karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd loofhout									
	D18	D24	D30	D35	D40	D50	D60	D70	
$f_{m,k}$	18	24	30	35	40	50	60	70	N/mm ²
$E_{0,mean}$	9,5	10	11	12	13	14	17	20	kN/mm ²
ρ_{mean}	570	580	640	650	660	750	840	1080	kg/m ³
ρ_k	475	485	530	540	550	620	700	900	kg/m ³
$f_{t,0,k}$	11	14	18	21	24	30	36	42	N/mm ²
$f_{t,90,k}$	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	N/mm ²
$f_{c,0,k}$	18	21	23	25	26	29	32	34	N/mm ²
$f_{c,90,k}$	7,5	7,8	8,0	8,1	8,3	9,3	10,5	13,5	N/mm ²
$f_{v,k}$	3,4	4,0	4,0	4,0	4,0	4,0	4,5	5,0	N/mm ²
$E_{0,05}$	8,0	8,5	9,2	10,1	10,9	11,8	14,3	16,8	kN/mm ²
$E_{90,mean}$	0,63	0,67	0,73	0,80	0,86	0,93	1,13	1,33	kN/mm ²
G_{mean}	0,59	0,62	0,69	0,75	0,81	0,88	1,06	1,25	kN/mm ²
$G_{0,05}$	0,50	0,53	0,58	0,63	0,68	0,74	0,89	1,05	kN/mm ²

Tabel 2. Karakteristieke eigenschappen en sterkteklassen van gezaagd loofhout

Figuur 2-2: Sterkteparameters gezaagd loofhout [12]

De dimensionering van de palen is weergegeven in Tabel 2-7. Het betreft palen van 150 mm in doorsnede, welke met even grootte tussenruimte naast elkaar worden gezet.

Tabel 2-7: Dimensionering palenrij

Kop	Punt	Houtsoort	Diameter paal	Palen/m	H.o.H.
[m t.o.v. NAP]	[m t.o.v. NAP]		[mm]	[-]	[mm]
-2,6	-10,6	D70	150	3,33	300

De palenrij wordt nog verder uitgewerkt. Dit kan leiden tot andere dimensies van de palenrij in het bestek.

Tabel 2-8: Rekenwaardes houtsterkte - en stijfheid

	Per paal	Per m ¹
Momentencapaciteit $M_{u,d}$	5,94 kNm	19,80 kNm/m
Dwarskrachtcapaciteit $V_{u,d}$	18,12 kN	60,35 kN/m
Buigstijfheid EI (BGT)	84,96 kNm ²	282,91 kNm ² /m ¹
Buigstijfheid EI (UGT)	71,37 kNm ²	237,65 kNm ² /m ¹

Tabel 2-9 geeft een overzicht van de relevante karakteristieke sterkteparameters van de ondergrond. Waarbij de wandwrijvingshoek gelijk is aan $2/3 \phi$. De stijfheid van de ondergrond komt uit CUR 166 tabel 3.3 en is voor elke ondergrond aangenomen als gemiddeld.

Tabel 2-9: Karakteristieke sterkteparameters bodem

Grondsoort	γ	C_{kar}	ϕ_{kar}
	[kN/m ³]	[kN/m ²]	[°]
Klei	13,90	4,20	28,62
Klei antropogeen	16,00	3,34	35,52
Veen	10,50	1,44	29,41
Zand	19,00	0,00	29,00

Voor de belastingsituatie tijdens hoogwater dient een afschuifkracht van een potentieel glijvlak te worden meegenomen op de palenrij. Wanneer met het rekenmodel Bishop een glijvlakberekening in D-GeoStability wordt gemaakt kan zowel het aandrijvend als tegenwerkend moment worden afgelezen.

Het verschil hiertussen moet door de palenrij worden opgevangen. Binnen D-Sheet Piling kan er geen uniforme horizontale kracht op de palenrij worden gezet. Daarom wordt het tegenwerkend moment middels het draaipunt van de glijcirkel omgezet in 8 individuele horizontale krachten op de palenrij.

Het totale aandrijvend moment is 2577,18 kNm/m, het tegenwerkend moment is 2286,68 kNm/m. Dit geeft een tekort van 290,47 kNm/m. De straal van de maatgevende glijcirkel is 10,13 m. Dit geeft een totale kracht op de palenrij van 28,67 kN. Wanneer dit over 8 individuele puntlasten wordt verdeeld geeft dit 3,58 kN per puntlast.

2.7 Programmatuur

Voor de berekeningen wordt gebruikt gemaakt van de D-Series van Deltares:

- Zettingsberekeningen worden uitgevoerd in D-Settlement versie 21.2.1. Hierbij is de methode van NEN-Koppejan, natural strain toegepast met het consolidatie model volgens Darcy.
- De stabiliteitsberekeningen worden uitgevoerd in D-geo Stability versie 18.2.
- Constructieberekeningen worden uitgevoerd in D-Sheet Piling versie 24.1.

3 Uitgangspunten faalmechanismen

Na de algemene uitgangspunten zijn in dit hoofdstuk de specifieke uitgangspunten per faalmechanisme opgenomen.

3.1 Hoogte

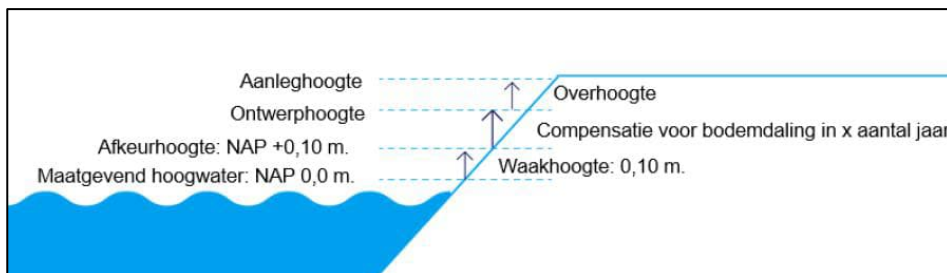
De ontwerphoogte wordt bepaald door de afkeurhoogte in combinatie met de autonome bodemdaling.

Bij het ontwerp wordt uitgegaan van een Maatgevend Hoog Water (MHW) op NAP +0,00 m en een waakhoogte van 0,10 m. De afkeurhoogte is daarmee NAP +0,10 m [5].

Voor de achtergrondzetting wordt een vaste waarde van 9 mm/jaar aangehouden voor het hele traject. Deze waarde is vastgesteld door het waterschap. Voor de planperiode van 30 jaar resulteert dit in 27 cm in totaal.

In Figuur 3-1 is een overzicht van de bepaling van de ontwerphoogte en aanleghoogte illustratief weergegeven. De ontwerphoogte is vastgesteld op NAP +0,37 m (afkeurhoogte + compensatie bodemdaling). Met behulp van zettingsberekeningen wordt de benodigde overhoogte bepaald om over 30 jaar aan de afkeurhoogte te voldoen.

De aanleghoogte wordt bepaald voor dijkvakken 5, 7, 8, 9, 12 en 15. Deze dijkvakken zijn gekozen omdat ze een lage huidige hoogte hebben en/of een bepaalde (afwijkende) geometrie hebben dat meer invloed kan hebben op de optredende zetting na ophoging. Voor de dijkvakken 7, 8, 9 en 12 geldt dat de aanleghoogte bepaald wordt omdat ze (bovendien) maatgevende profielen zijn voor binnenwaartse stabiliteit [3].



Figuur 3-1: Bepaling aanleghoogte dijk

3.2 Macrostabiliteit binnenwaarts

Tabel 3-1 presenteert de resultaten van STBI-berekeningen uit verkenningsberekeningen van Waternet [9]. Er is gerekend op dijkverhoging tot NAP +0,45 m en voor lageregelegen delen van de dijk (tussen 3620-3650 en 4420-4475) een ophoging tot NAP +0,55 m.

Tabel 3-1: Resultaten STBI-toetsing (A145) Rondehoep Oost uit rapport [9]

Dijkvak /Metreering [m]	Bishop Nat Scope-bepaling [-]	Bishop Nat ophogen 30 jaar [-]	Spencer Nat Scope-bepaling [-]	Spencer Nat ophogen 30 jaar [-]	Eindoordeel V/ OV
DV4/800	0,98	0,95	0,99	0,95	V
DV7/2350	0,82	0,81	0,90	0,87	OV
DV8/2550	0,87	0,85	0,90	0,87	OV
DV9/2900	0,90	0,87	0,98	0,92	OV
DV10/3260	1,02	0,98	1,01	0,95	V
DV11/3600	1,01	0,97	1,06	0,98	V
DV12/3675	0,85	0,83	0,89	0,87	OV
DV14/4200	0,95	0,93	1,11	0,98	OV

De dijkvakken 7,8, 9, 12 en 14 voldoen niet bij een ophoging van NAP +0,45 m of NAP +0,55 m. Daarom worden deze dijkvakken in deze analyse met de nieuwe ophoging nader bekeken. Indien de ophoging lager is dan tot NAP +0,45 m is geen nadere analyse benodigd van de overige dijkvakken.

3.2.1 Veiligheidsfilosofie

Het ontwerp ten aanzien van de macrostabiliteit wordt uitgewerkt conform de LTRVW [10] aan de hand van vereiste veiligheidsfactor. De veiligheidsfactor is het product van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. Bovendien wordt voor het ontwerpen van de berm nog een robuustheidsfactor opgeteld bij de schadefactor. Allen zijn hieronder beschreven.

3.2.1.1 Schadefactor

De waarde van de schadefactor is afhankelijk van de IPO-klasse van de kering en bedraagt 0,90 voor een IPO-klasse III kering [10].

3.2.1.2 Modelfactor

De modelfactor wordt bepaald door het rekenmodel. Omdat er geen sprake is van opbarsten wordt de methode Bishop gebruikt en Spencer-Van der Meij als controle. Bishop is geschikt als model aangezien een cirkelvormig glijvlak wordt verwacht. Grote afwijkingen tussen de berekende resultaten van de gehanteerde rekenmodellen geven een indicatie dat het maatgevende glijvlak nog niet is gevonden. Een overzicht van de modelfactoren per rekenmodel en voor wel en niet opbarsten is weergegeven in Tabel 3-2.

Tabel 3-2: Modelfactoren per rekenmodel

Rekenmodel	Modelfactor (niet opbarsten)
Bishop	1,00
Spencer-Van der Meij	0,95

3.2.1.3 Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor is afhankelijk van de mate van onzekerheid in de schematisering. Voor de stabiliteitsberekening die Waternet reeds uitgevoerd heeft zijn schematiseringsfactoren zoals in Tabel 3-3 toegepast [5]. Deze wordt bij de controle berekeningen op stabiliteit ook aangehouden worden.

Tabel 3-3: Schematiseringsfactoren per rekenmodel

Rekenmodel	Schematiseringsfactor
Bishop	1,06
Spencer-Van der Meij	1,09

3.2.1.4 Vereiste veiligheidsfactor ontwerp

In Tabel 3-4 is de vereiste veiligheidsfactor afgeleid. De veiligheidsfactor voor het ontwerp is het product van de schadefactor, modelfactor en schematiseringsfactor. De robuustheidsfactor wordt hierbij opgeteld.

Tabel 3-4: Vereiste stabiliteitsfactor

Model	IPO-klasse	Schematiseringsfactor	Model-factor	Schade-factor	Robuustheids-factor	Vereiste stabiliteits-factor (F)
Bishop	III	1,06	1,00	0,90	0,05	1,00
Spencer-Van der Meij	III	1,09	0,95	0,90	0,05	0,98

3.2.2 Verkeersbelasting

Voor het gehele dijktraject is een weg aanwezig op de kruin van 4 of meer meter. Om dit verkeer mee te nemen wordt een verkeersbelasting van 14,3 kN/m² meegenomen in de berekeningen. Dit is in lijn met de Memo verkeersbelasting van Waternet [11].

Voor de cohesieve grondsoorten wordt als gevolg van de verkeersbelasting een aanpassingspercentage van 50% aangehouden [11]. Voor zandlagen geldt een aanpassingspercentage van 100%. Als spreiding in de ondergrond wordt een hoek van 0° aangehouden [5].

4 Geotechnisch ontwerp

4.1 Aanleghoogte

De aanleghoogte is bepaald voor dijkvakken 5, 7, 8, 9, 12 en 15. Dit is gedaan door de zetting behorende bij de ophoging (bepaalt door de benodigde kruinhoogte aan het eind van de planperiode plus de aanwezige achtergrondzetting over de planperiode) op te tellen bij de ontwerphoogte. Vervolgens is de aanleghoogte naar boven afgerond op 5 cm. De aanleghoogte is aanwezig over een breedte van 3 meter over de kruin. In Tabel 4-1 zijn de resultaten van de zettingsberekeningen en uiteindelijke aanleghoogte te vinden.

Tabel 4-1: Aanleghoogte bepaling maatgevende dijkvakken

Dijkvak/ metreering	Benodigde kruinhoogte einde planperiode [m NAP]	Bodemdaling over planperiode [m]	Optredende zetting planperiode [m]	Aanleghoogte [m NAP]
DV5/1950	+0,10	-0,27	-0,01	+0,40
DV7/2350	+0,10	-0,27	-0,02	+0,40
DV8/2550	+0,10	-0,27	-0,01	+0,40
DV9/2900	+0,10	-0,27	-0,01	+0,40
DV12/3675	+0,10	-0,27	-0,02	+0,40
DV15/4420	+0,10	-0,27	-0,02	+0,40

De bovenstaande zetting is met gemiddelde zettingsparameters berekend. Dit betekent dat in praktijk dat dit waarschijnlijk de gemiddelde zetting over het traject zal zijn. Door te rekenen met karakteristieke waarden, kan de optredende zetting tweemaal zo groot zijn¹. Doordat de berekende zetting beperkt is zal dit niet leiden tot een andere aanleghoogte/ significant verschil in aanleghoogte. Daarom wordt een aanleghoogte voor de oostzijde van de Rondehoep van **NAP +0,40 m** geadviseerd.

4.2 Controle op stabiliteit na kruinverhoging

De stabiliteit van de dijk na het verhogen van de dijk tot NAP +0,40 m is gecontroleerd met STBI berekeningen. De berekening is gemaakt voor de dijkvakken: 7, 8, 9, 12 en 14, omdat deze vakken voorheen niet of net aan de stabiliteitseis voldeden en een berm benodigd is [2]. De overige dijkvakken voldoen conform een eerdere analyse van Waternet [9].

Het principe van de berm is een helling van 1:20 en het behoud van de huidige sloot. De bermen worden aangelegd met klei. De bermontwerpen zijn in onderstaande paragrafen weergegeven.

¹ Op basis van enkele gevoeligheidsanalyses op diverse berekeningen van de Rondehoep oost

4.2.1 Dijkvak 7 (metrering 2250-2450)

In dijkvak 7 wordt er niet voldaan aan de stabiliteitseis na ophoging van de kruin. Daarom is voor dit dijkvak een berm ontworpen.

De berm is 4,6 m breed met een talud van circa 1:20 met een insteekhoogte van NAP -1,3 m. Het ondertalud van de berm heeft een helling van 1:2. Bij metrering 2380 (over een strekking van circa 30 m) past het voorgestelde ontwerp niet zonder de teensloot te dempen. Op deze locatie volstaat ook een ondertalud van de berm van 1:1,5. Hiermee is het ontwerp wel inpasbaar.

4.2.2 Dijkvak 8 (metrering 2450-2650)

Dijkvak 8 komt grotendeels overeen met dijkvak 7 en voldoet na ophoging niet aan de stabiliteitseis. De grondopbouw en geometrie zijn grotendeels overeenkomstig, daarom lijkt het ontwerp redelijk op dijkvak 7. Er is voor dit dijkvak wel een aparte berm ontworpen.

De berm heeft een breedte van 4,5 m met een talud van circa 1:20 met een insteekhoogte van NAP -1,5 m. Het ondertalud van de berm heeft een helling van 1:2. Enkel bij metrering 2600 is deze berm over een strekking van enkele meters niet inpasbaar. Op deze locatie wordt het ondertalud van de berm steiler gemaakt. Deze afwijking is zeer lokaal, waardoor dit (vanwege 3D-werking) geen gevolgen heeft voor de stabiliteit.

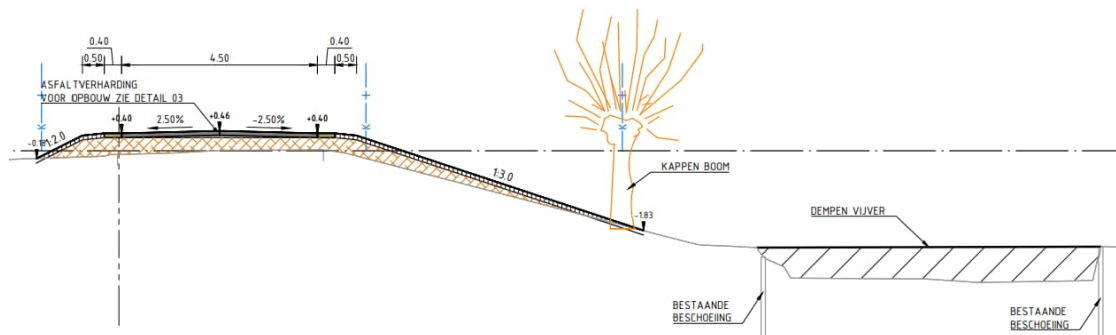
4.2.3 Dijkvak 9 (metrering 2850-3150)

Dijkvak 9 bestaat uit twee delen; hoog gelegen deel zonder een sloot bij de teen (metrering 2650 tot 2850) en een deel met teensloot (metrering 2850 tot 3150). Voor het deel met teensloot wordt niet direct voldaan aan de stabiliteitseis, waardoor een berm benodigd is.

De berm is 4,5 m breed met een talud van 1:20. De insteekhoogte van de berm is NAP -1,5 m. Het ondertalud van de berm is 1:1,5 zodat de berm aansluit op de insteek van de sloot.

4.2.4 Dijkvak 12 (metrering 3650-3700)

In dijkvak 12 is een vijver aanwezig van maximaal een meter diep en circa 7 m breed. De combinatie van ophoging en aanwezigheid van de vijver zorgt ervoor dat er niet wordt voldaan aan de stabiliteitseis. Door het dempen van de vijver (zie Figuur 4-1) wordt er wel aan deze eis voldaan. De demping van de vijver dient te gebeuren door zand aan te brengen tot het waterpeil. Daarboven dient de grond aangevuld te worden met klei tot maaiveldhoogte.



Figuur 4-1: Demping vijver dwarsprofiel m3675

Het dempen van de vijver met zand zal niet resulteren in een verhoogd risico op piping, omdat er een dik veenpakket aanwezig is. Op dit moment (zonder het extra gewicht van het zand) is er geen pipingopgave.

4.2.5 Dijkvak 14 (metrering 4000-4350)

In dijkvak 14 is ook een teensloot aanwezig. Er wordt niet voldaan aan de stabiliteitseis waardoor een berm benodigd is.

De berm is 8,5 m breed en circa 0,25 m dik met een hellingsgraad van 1:20. De insteekhoogte van de berm bedraagt NAP -1,8 m. Het ondertalud van de berm bedraagt 1:1,7. Er is een lange berm nodig om ervoor te zorgen dat er voldoende tegendruk is voor de stabiliteit. Een hogere smalle berm (dus met minder ruimtelijke impact) voldoet niet en is het risico op een afschuiving te hoog.

Het ontwerp is echter niet inpasbaar bij metrering 4060 en 4200. Een optimalisatie van de berm is hier echter niet mogelijk, waardoor een constructieve oplossing toegepast wordt. Vanaf metrering 4045 tot 4105 en van metrering 4190 tot 4235 is een palenrij ter plaatse van de insteek van de sloot. Vanwege de dikke slappe laag is een palenrij met diepte van 8 m benodigd. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 4-1 en Bijlage C. Er wordt voldaan aan de maximale vervormingseis van 50 mm.

Tabel 4-2 Resultaat palenrij dijkvak 14

Opneembaar moment	Veldmoment	U.C. Moment	Opneembare dwarskracht	Veld Dwarskracht	U.C. Dwarskracht	Vervorming
[kNm/m]	[kNm/m]	[-]	[kN/m]	[kN/m]	[-]	[mm]
19,80	16,28	1,22	60,35	12,34	4,89	33,1

De palenrij wordt nog verder uitgewerkt. Dit kan leiden tot andere dimensies van de palenrij in het bestek.

4.2.6 Overzicht resultaat

Zoals te zien is in Tabel 4-3 voldoen de dijkvakken 7,8, 9, 12 en 14 aan de stabiliteitseisen voor STBI na aanleg van een berm of demping van de vijver (DV12). Voor DV14 is een constructie (palenrij) benodigd voor de strekking waar de berm niet past. De stabiliteitsberekeningen voor Bishop en Spencer zijn weergegeven in de Bijlage B.

Tabel 4-3 Resultaat STBI berekening na verhoging van de kruin met stabiliteitsmaatregel

Dijkvak/ metrering	STBI-berekeningen waarbij de dijk wordt opgehoogd tot NAP +0,40 m (voor een levensduur van 30 jaar)		Eindoordeel Voldoende (V)/ Onvoldoende (OV)
	Bishop veiligheidseis: 1,00	Spencer veiligheidseis: 0,98	
DV7/ 2350	1,01	1,06	V
DV8/ 2550	1,00	1,01	V
DV9/ 2900	1,10	1,11	V
DV12/ 3675	1,01	1,04	V
DV14/ 4200	1,04	1,06	V

5 Conclusie en aanbevelingen

5.1 Hoogte

Op basis van de resultaten van de hoogteanalyse weergegeven in Tabel 4-1 wordt een aanleghoogte van NAP +0,40 m geadviseerd. Deze hoogte geldt voor de gehele lengte van de Rondehoep Oost. De kruinophoging leidt tot beperkte zetting, omdat ter plaatse van de dijk een groot zandlichaam aanwezig is.

5.2 Stabiliteit na kruinverhoging

Na verhoging van de kruin inclusief weg van het dijkvak naar NAP +0,40 m voldoen de dijkvakken 7, 8, 9, 12 en 14 niet aan de stabiliteitseis. Hierdoor worden deze delen versterkt door het aanbrengen of ophogen van de berm. In dijkvak 12 is het daarnaast nodig om de huidige te dempen.

Referenties

Gebruikte gegevens

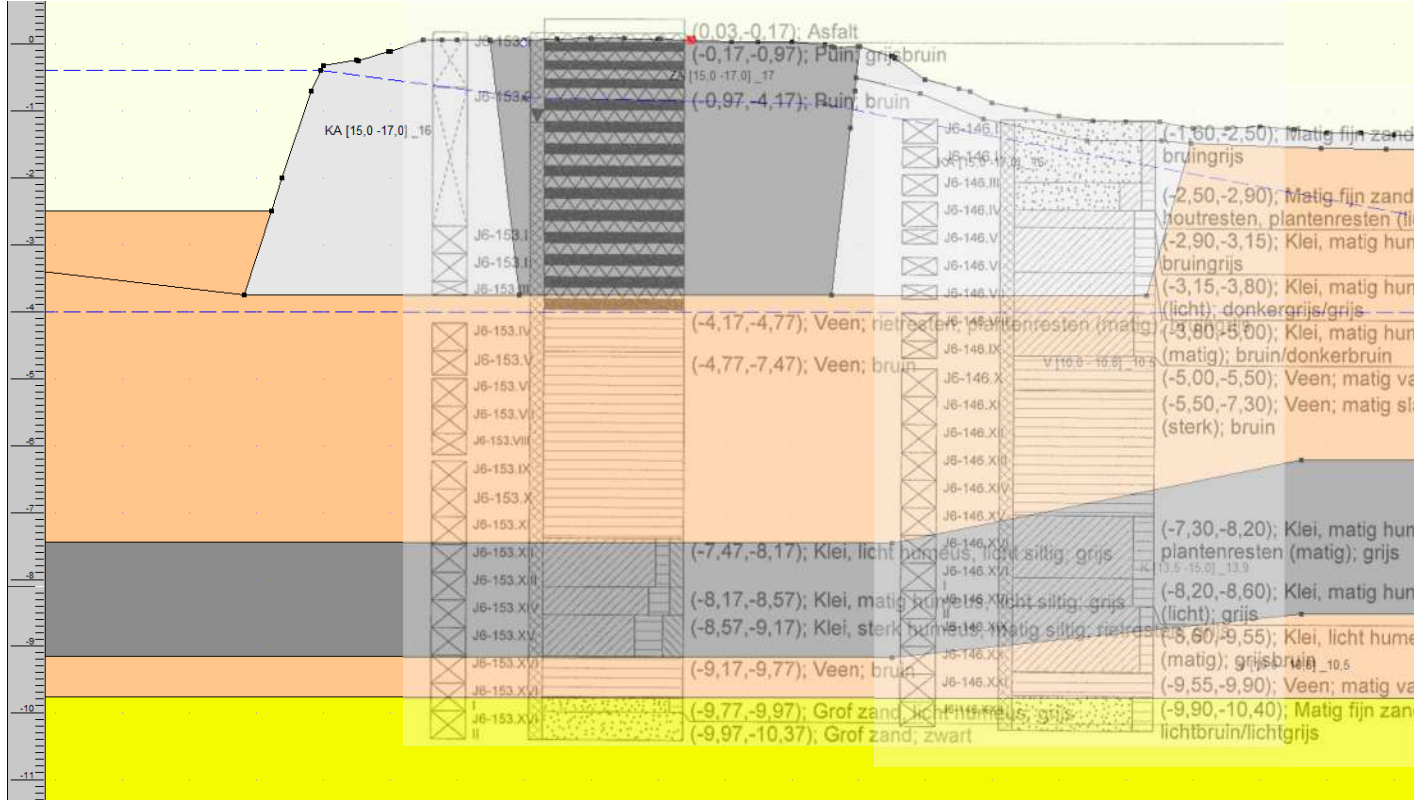
- [1] PVE / Opdrachtschrijving t.b.v. ingenieursdiensten DVB Rondehoep Oost en West, Waternet, 1 juni 2023.
- [2] Memo aanleghoogte en toets STBI dijktraject A145 Rondehoep Oost, Waternet, 28 februari 2022.
- [3] Optimalisatie berekeningen A145 Rondehoep Oost, Waternet, 17 december 2021.
- [4] Voorlopig ontwerp stabiliteitsmaatregelen Rondehoep Oost A145, Waternet
- [5] Technische scopebepaling A145 Rondehoep Oost, Waternet, 20 oktober 2022.
- [6] Regionale proevenverzameling; Sterkteparameters ondergrond beheergebied AGV, Rapportnummer 16.083578, Waternet, 1 september 2016.
- [7] Review AGV en Omegam proevenverzameling (samendrukkingsparameters), Waternet, 30 april 2015.
- [8] Isohypsenaart (stijghoogte 1e WVP AGV-gebied) (2019), Waternet
- [9] Aanleghoogte en toets STBI dijktraject A145 Rondehoep Oost

Normen en richtlijnen

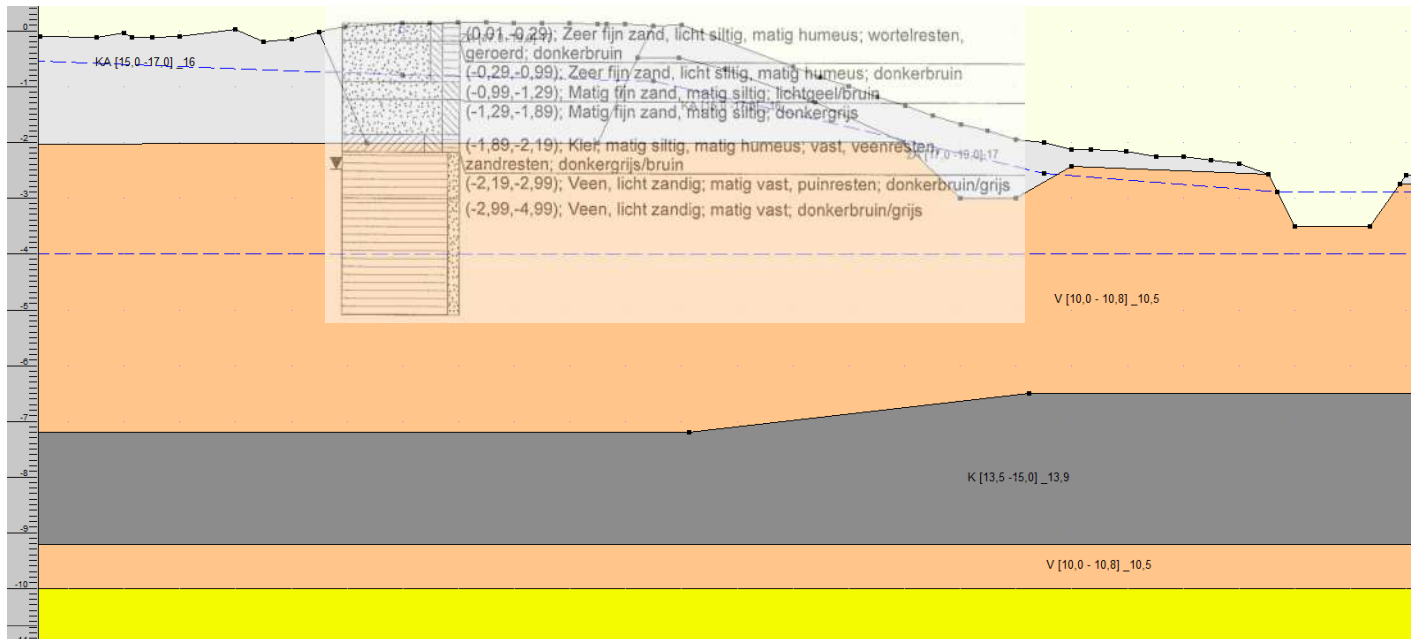
- [10] Leidraad Toetsen op Veiligheid Regionale Waterkeringen, STOWA, 2015.
- [11] Memo verkeersbelasting voor handboek, Waternet, 4 november 2020.
- [12] Sterktegegevens van hout. Centrum hout, 2007

Bijlage A Grondopbouw

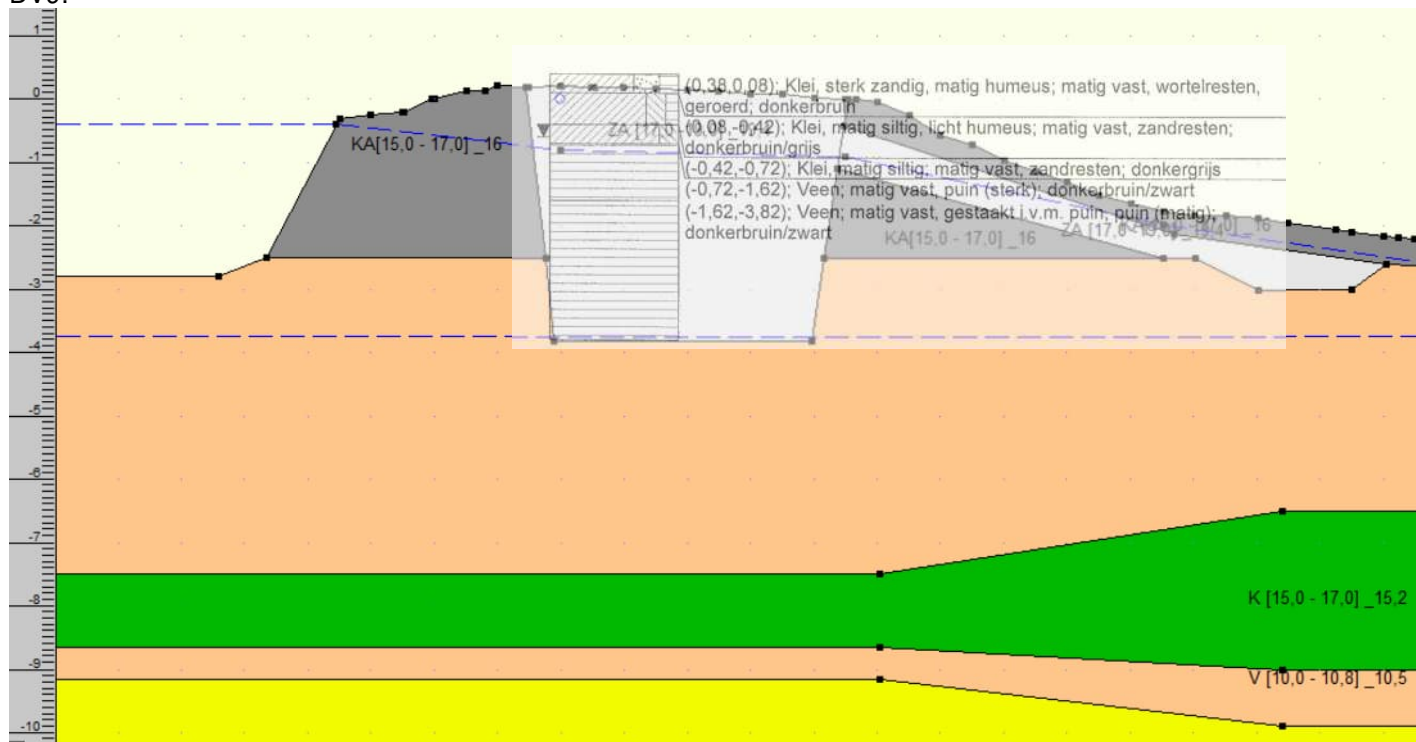
DV5:



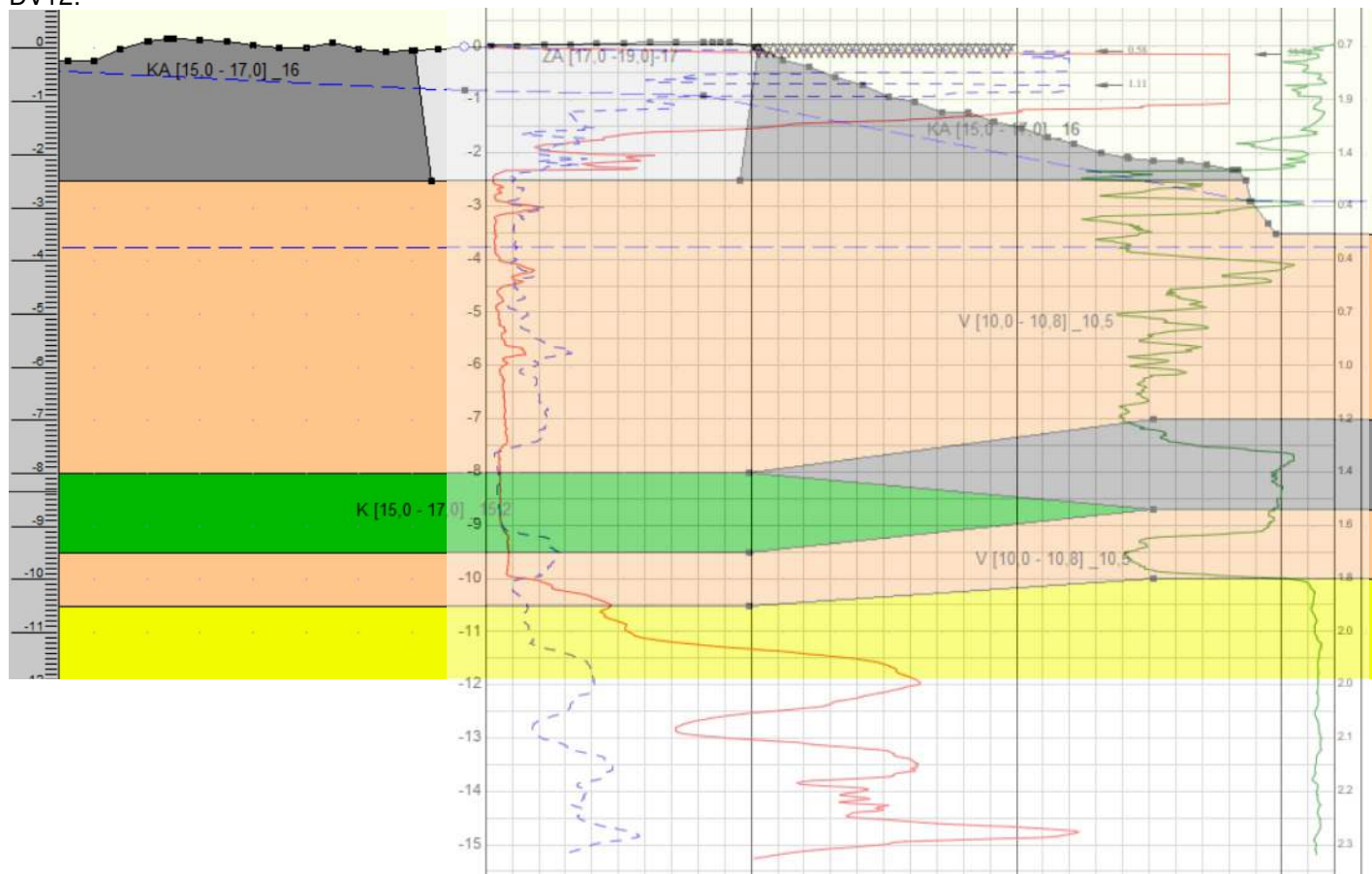
DV7:



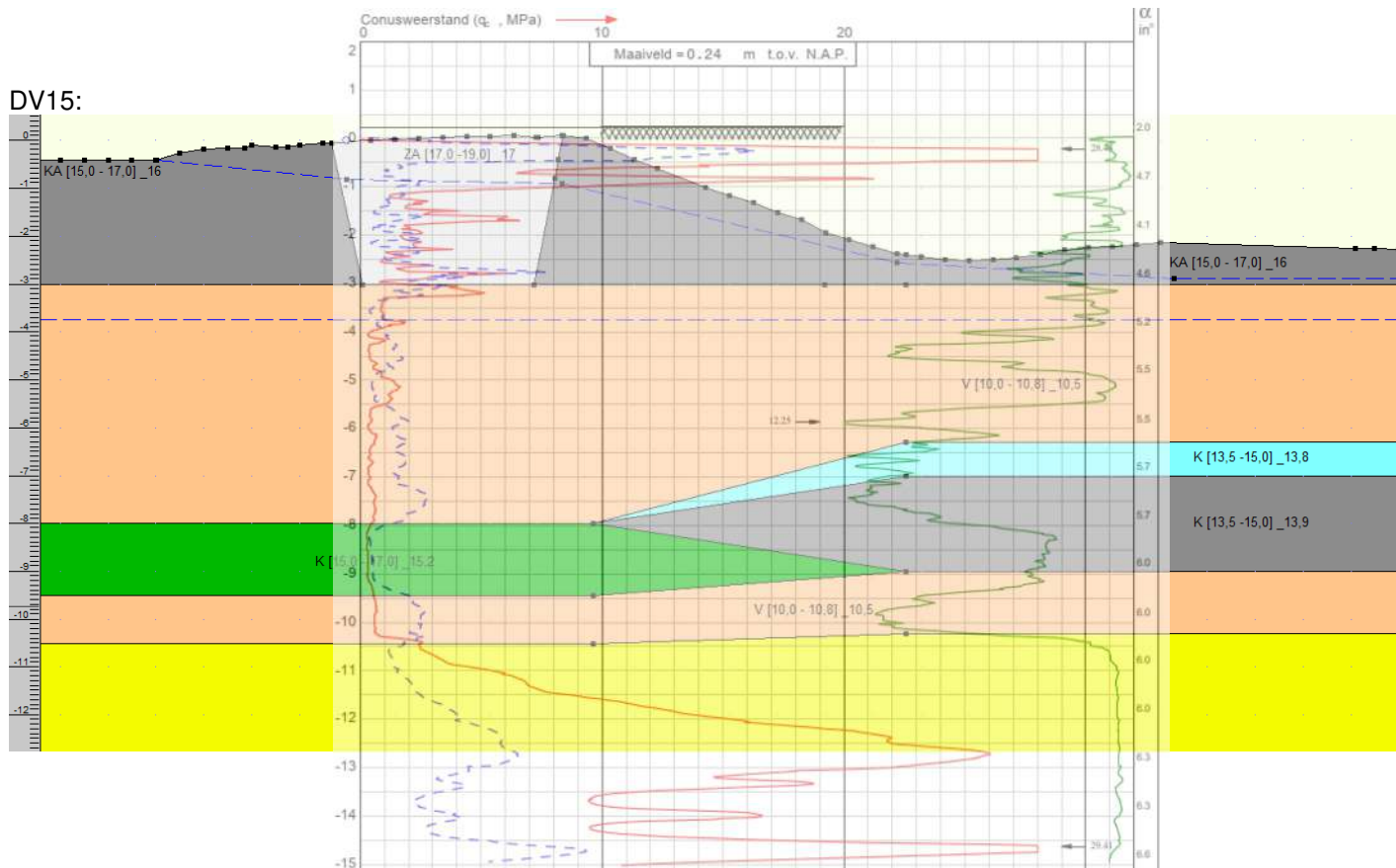
DV9:



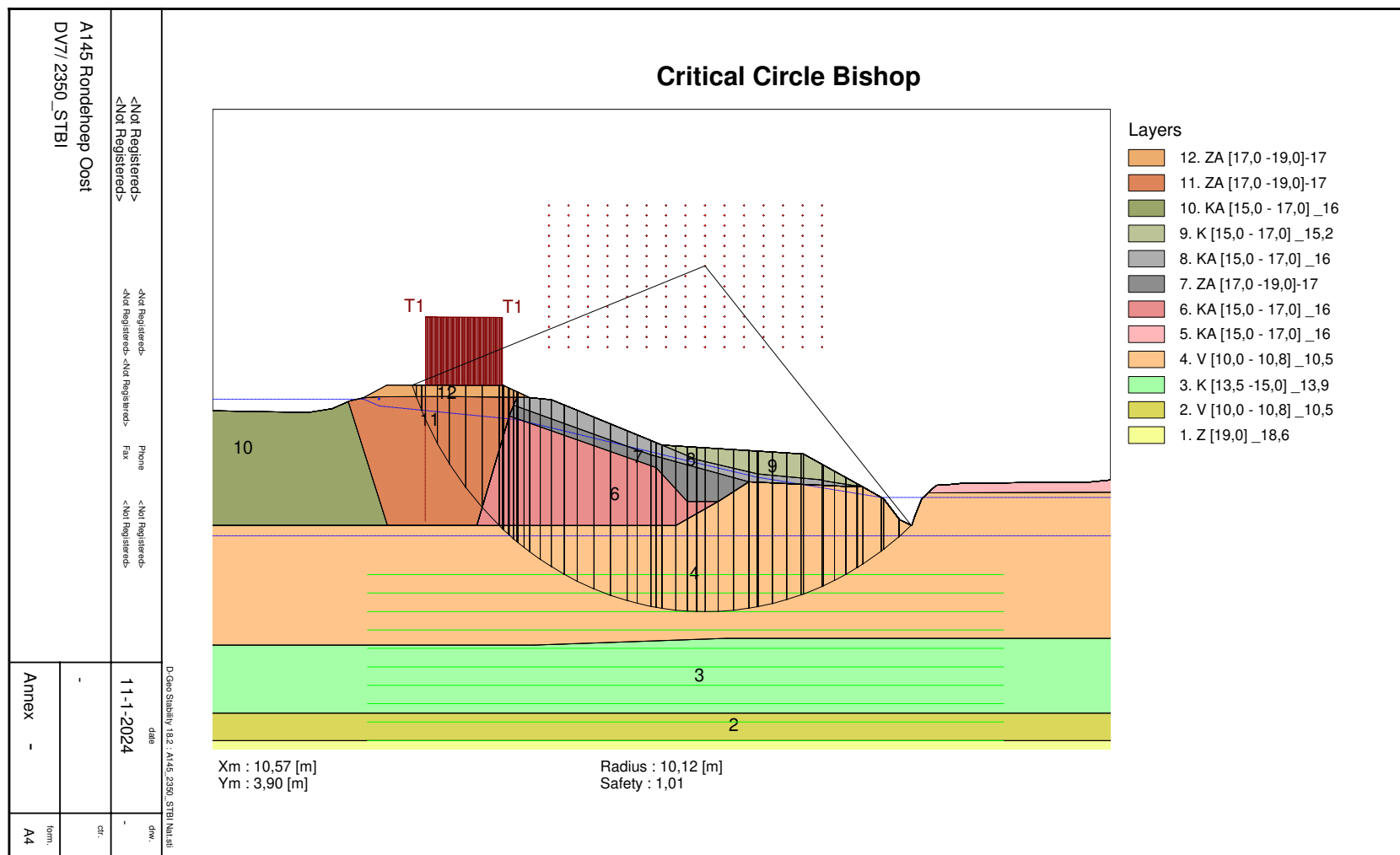
DV12:

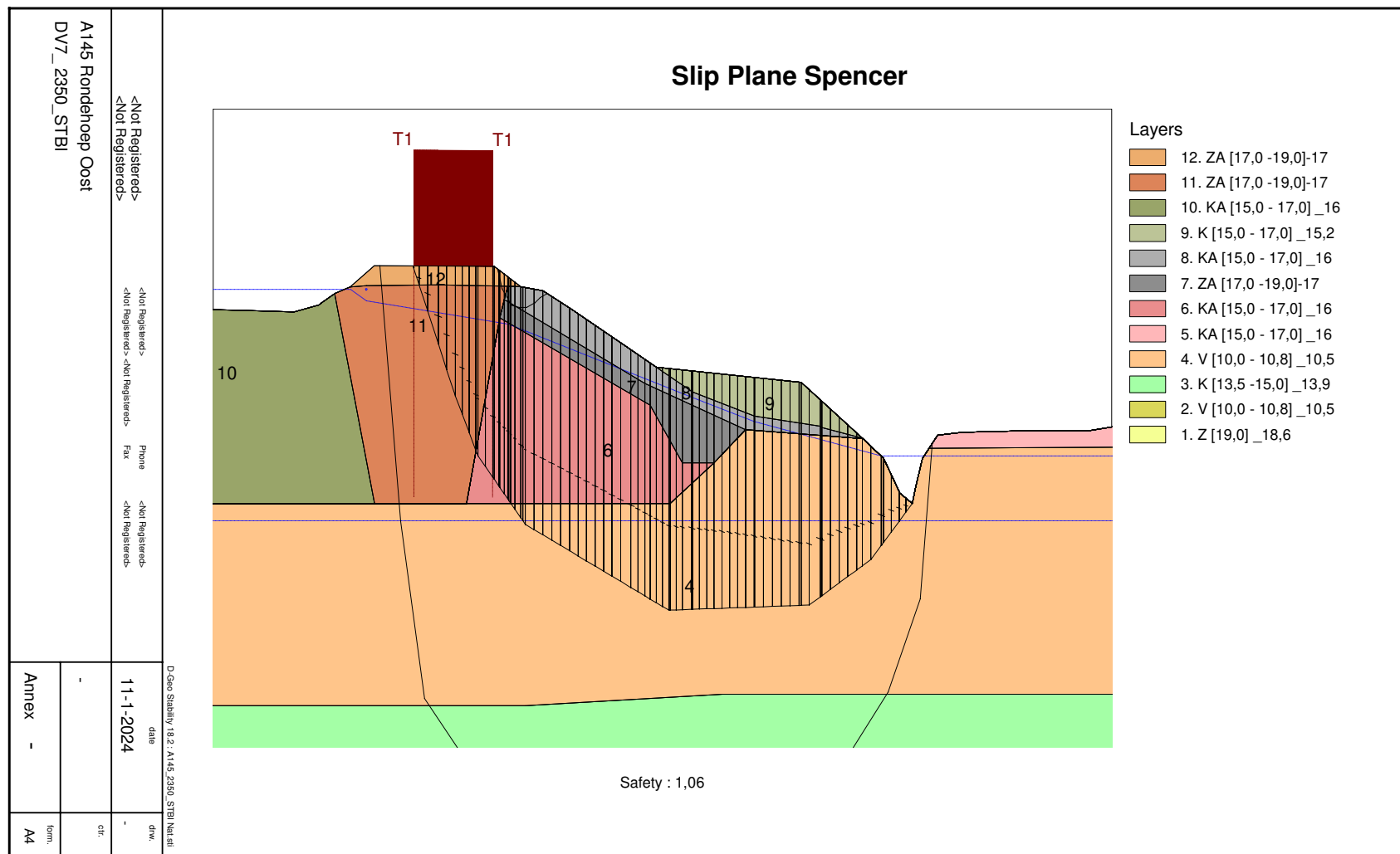


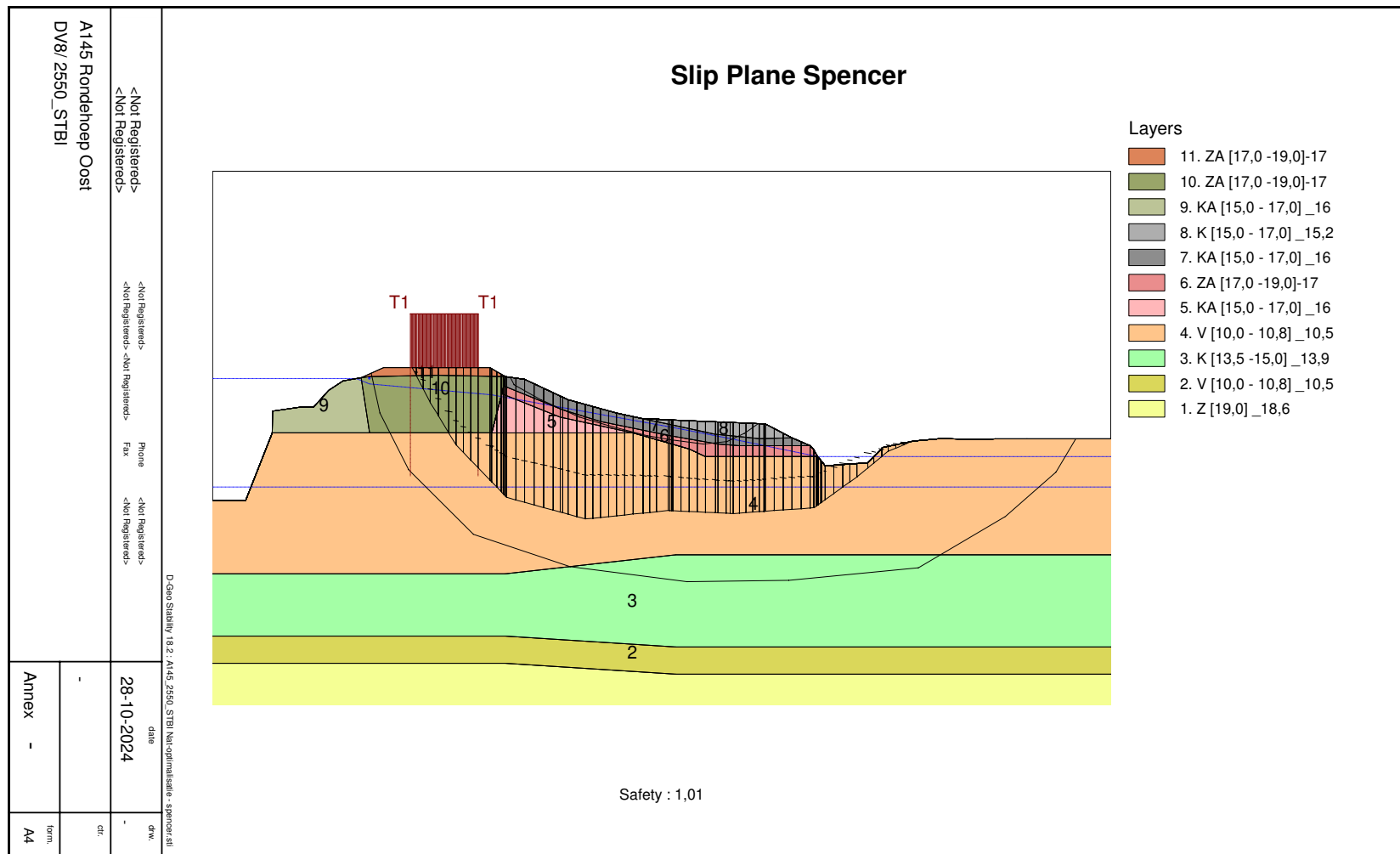
DV15:

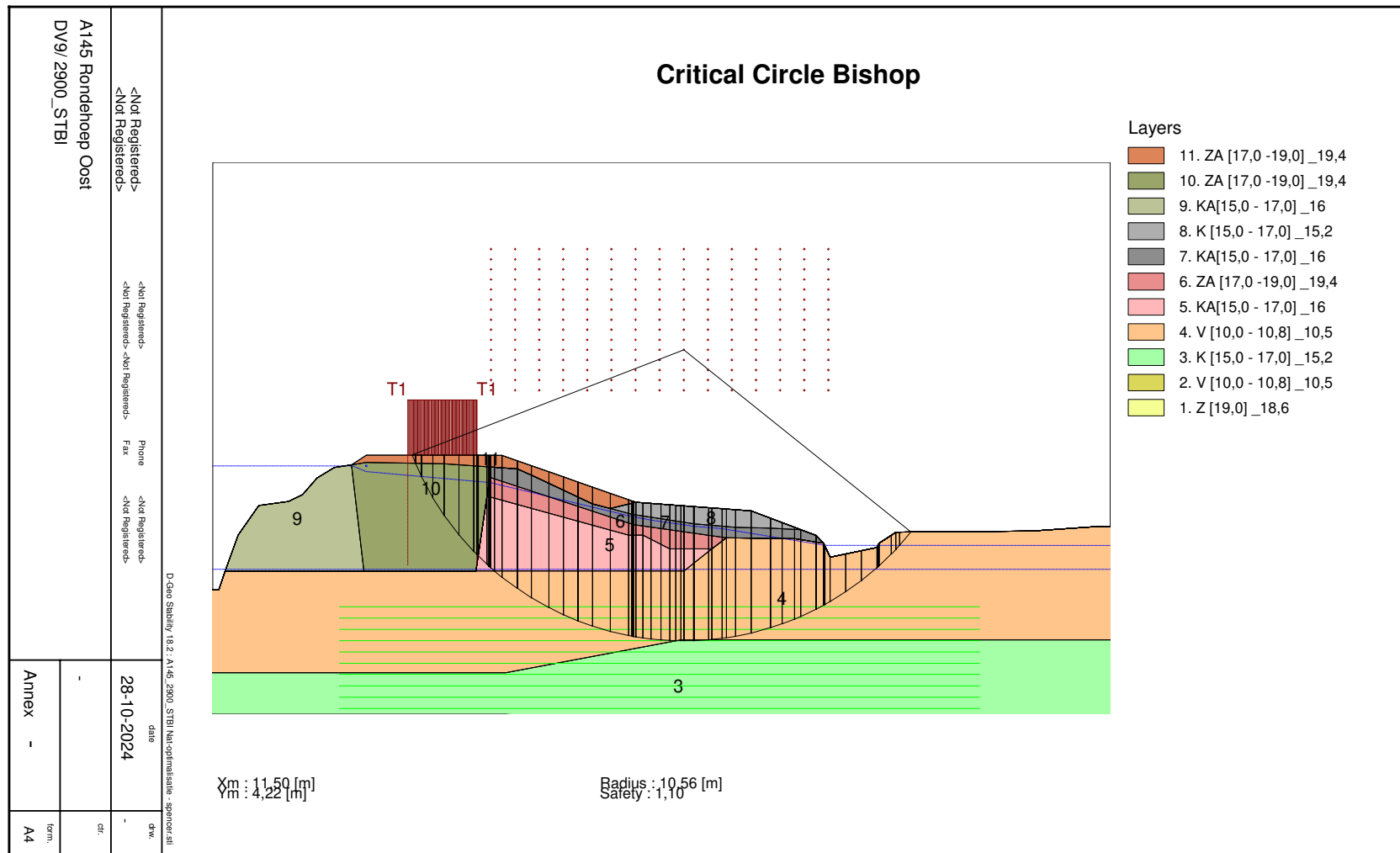


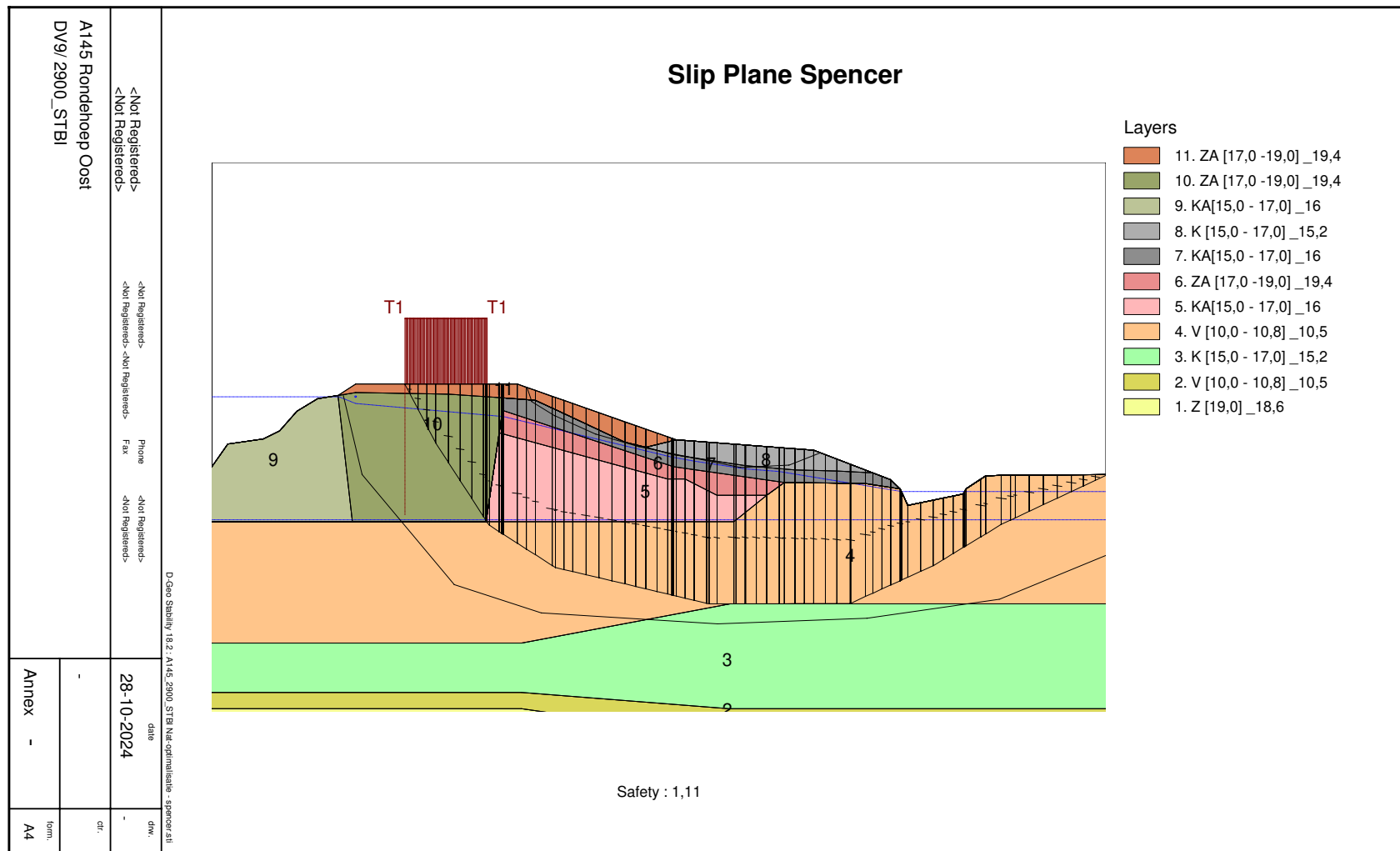
Bijlage B Stabiliteitsberekeningen

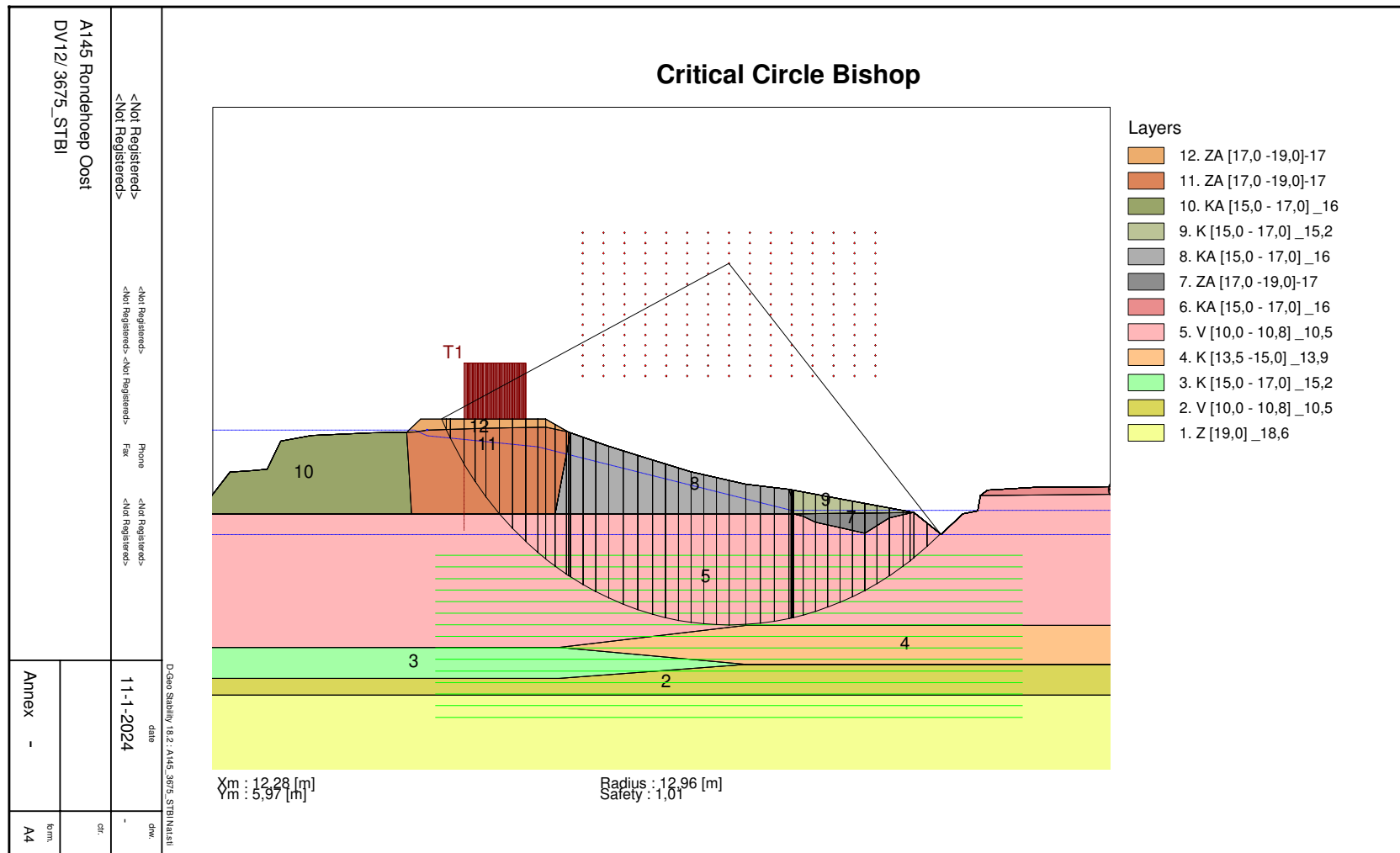






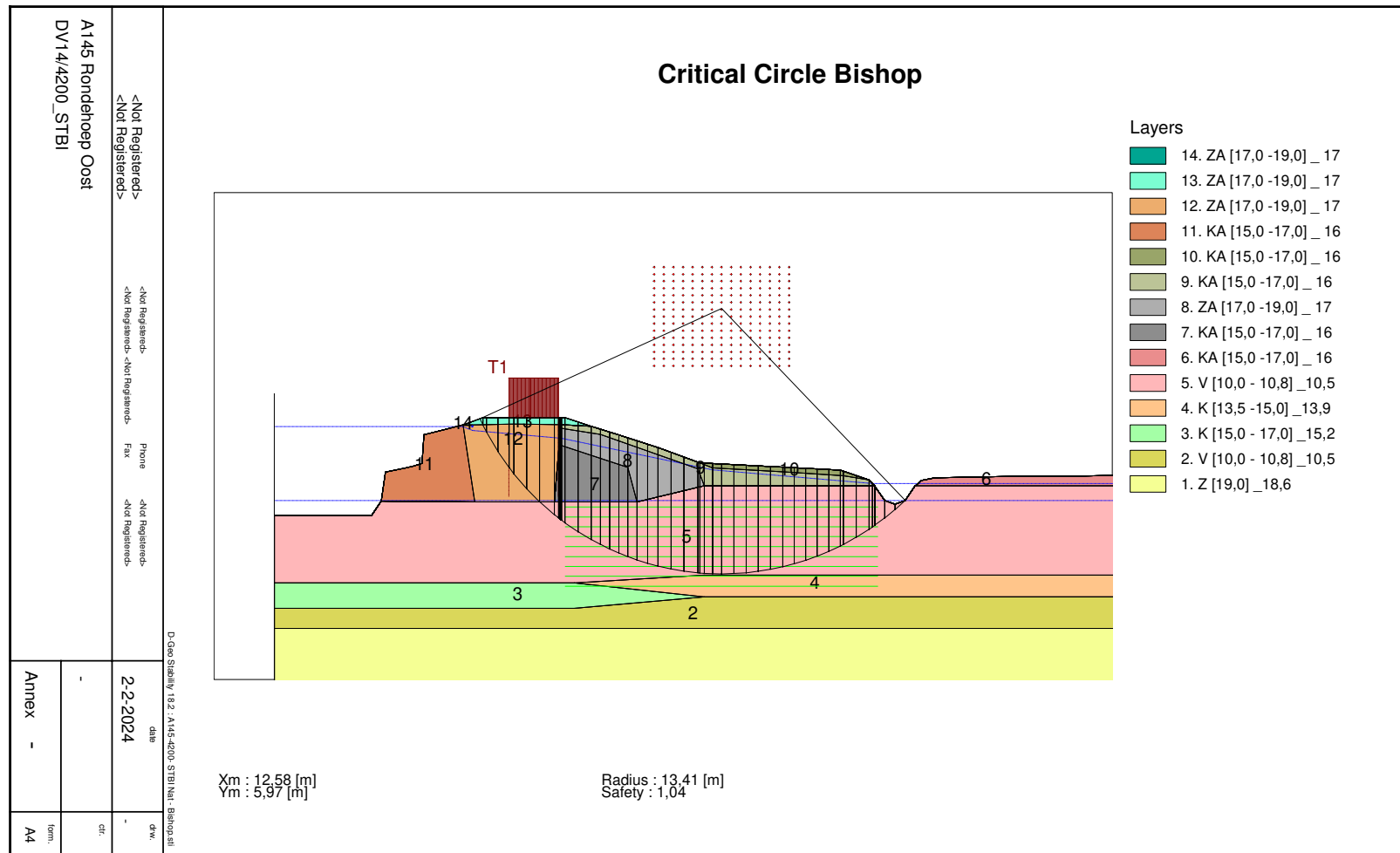


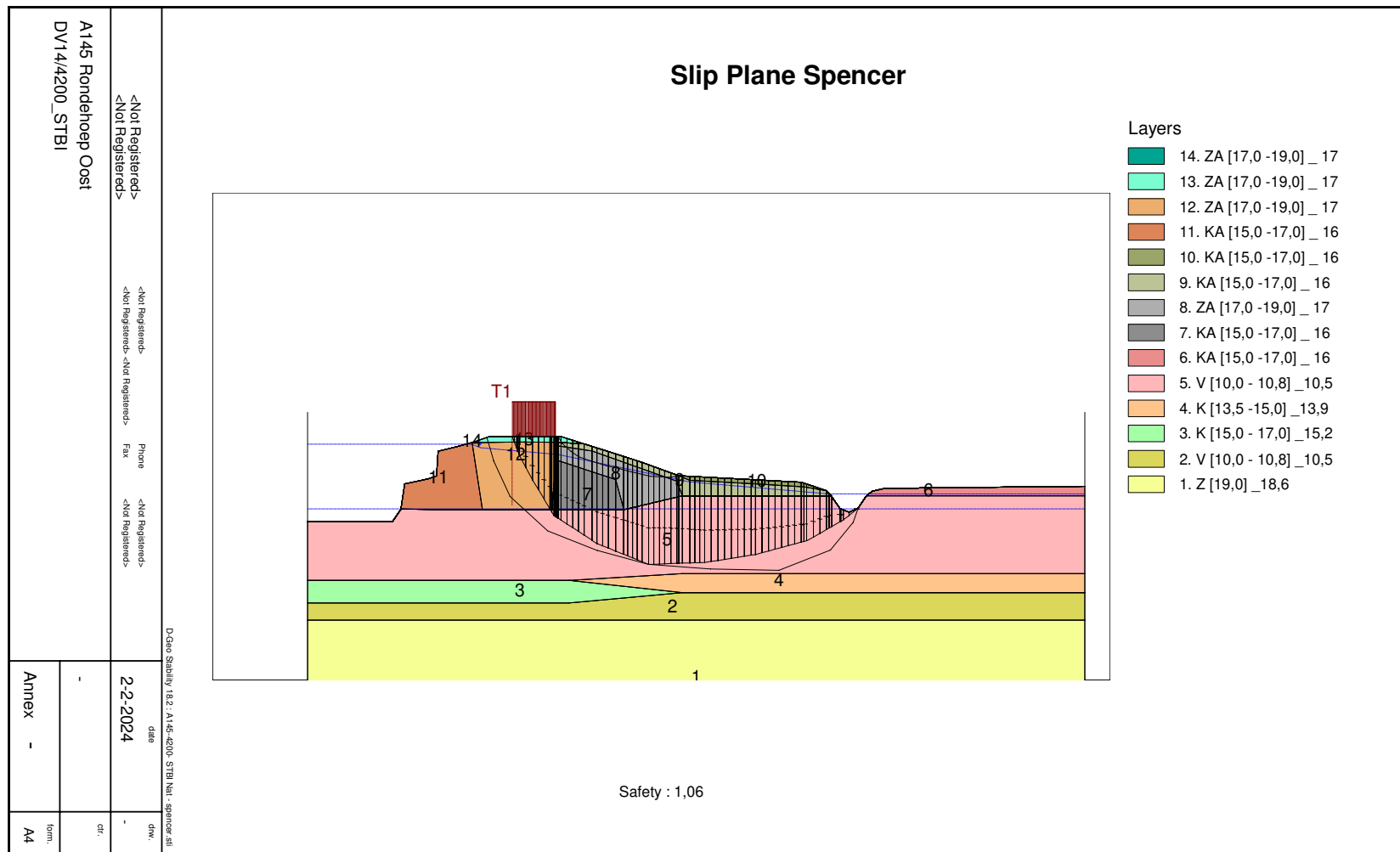






Safety : 1,04





Houteigenschappen (representatieve waarden)				
Sterkteklasse	070	is meest sterke klasse, bijvoorbeeld Azobé		
$f_{m,0.05}$	70 N/mm ²	Karakteristieke buigsterkte evenwijdig aan vezel	=	7.00E+04 kN/m ²
$f_{0.05}$	4 N/mm ²	Karakteristieke schuifsterkte evenwijdig aan vezel	=	4.00E+03 kN/m ²
$E_{0.05,k}$	16800 N/mm ²	Karakteristieke elasticiteitsmodulus evenwijdig aan vezel, UGT	=	1.68E+07 kN/m ²
$E_{0.05,k}$	20000 N/mm ²	Karakteristieke elasticiteitsmodulus evenwijdig aan vezel, BGT	=	2.00E+07 kN/m ²
E-modulus (rekenwaarden)				
$E_{0.05,d}$	4,308 N/mm ²	Na vgl 2.10 en vgl 2.15 NEN-EN 1995	=	4.31E+06 kN/m ²
$E_{0.05,d}$	5,128 N/mm ²	Na vgl 2.07 en 2.15 NEN-EN 1995	=	5.13E+06 kN/m ²
Toelaatbare spanningen (rekenwaarden)				
$f_{0.05,d}$	26.92 N/mm ²	Na vgl 2.14 NEN-EN 1995	=	2.69E+04 kN/m ²
$f_{0.05,d}$	1.54 N/mm ²	Na vgl 2.14 NEN-EN 1995	=	1.54E+03 kN/m ²
Sterkte één paal (rekenwaarden)				
$M_{0.05,d}$	8,920,688 Nmm	Toelaatbaar moment	=	8.92 kNm
$V_{0.05,d}$	27,187 N	Toelaatbare dwarskracht	=	27.19 kN
Sterkte wand (rekenwaarden)				
$M_{0.05,d}$	19,803,928 Nmm/m	Toelaatbaar moment	=	19.80 kNm/m
$V_{0.05,d}$	60,355 N/m	Toelaatbare dwarskracht	=	60.35 kN/m
Buigsterkte				
<u>Één paal</u>				
EI (UGT)	1.07048E+11 Nmm ²		=	107.05 kNm ²
EI (BGT)	1.27438E+11 Nmm ²		=	127.44 kNm ²
<u>Palen/wand</u>				
EI (UGT)	2.37647E+11 Nmm ² /m ³		=	237.65 kNm ² /m ³
EI (BGT)	2.82913E+11 Nmm ² /m ³		=	282.91 kNm ² /m ³