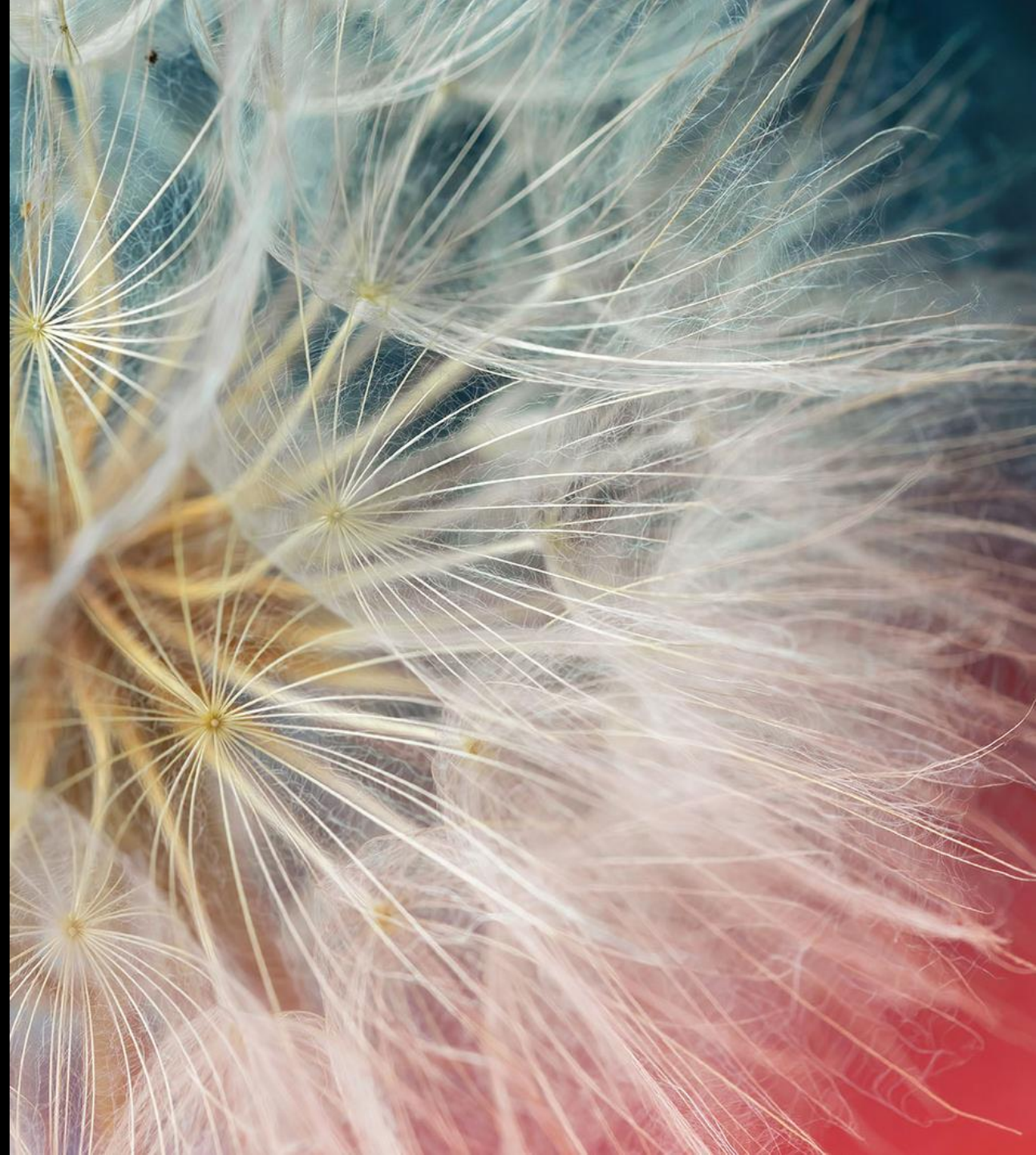




DIEPER GRAVEN IN DE TUNNEL VAN DE OOSTERWHEELKNOOP

LANGSANALYSE EN TECHNISCHE UITDAGINGEN

Oosterweelknoop, Antwerp België | 18-09-2025 | Bram Erkelens



Inhoud

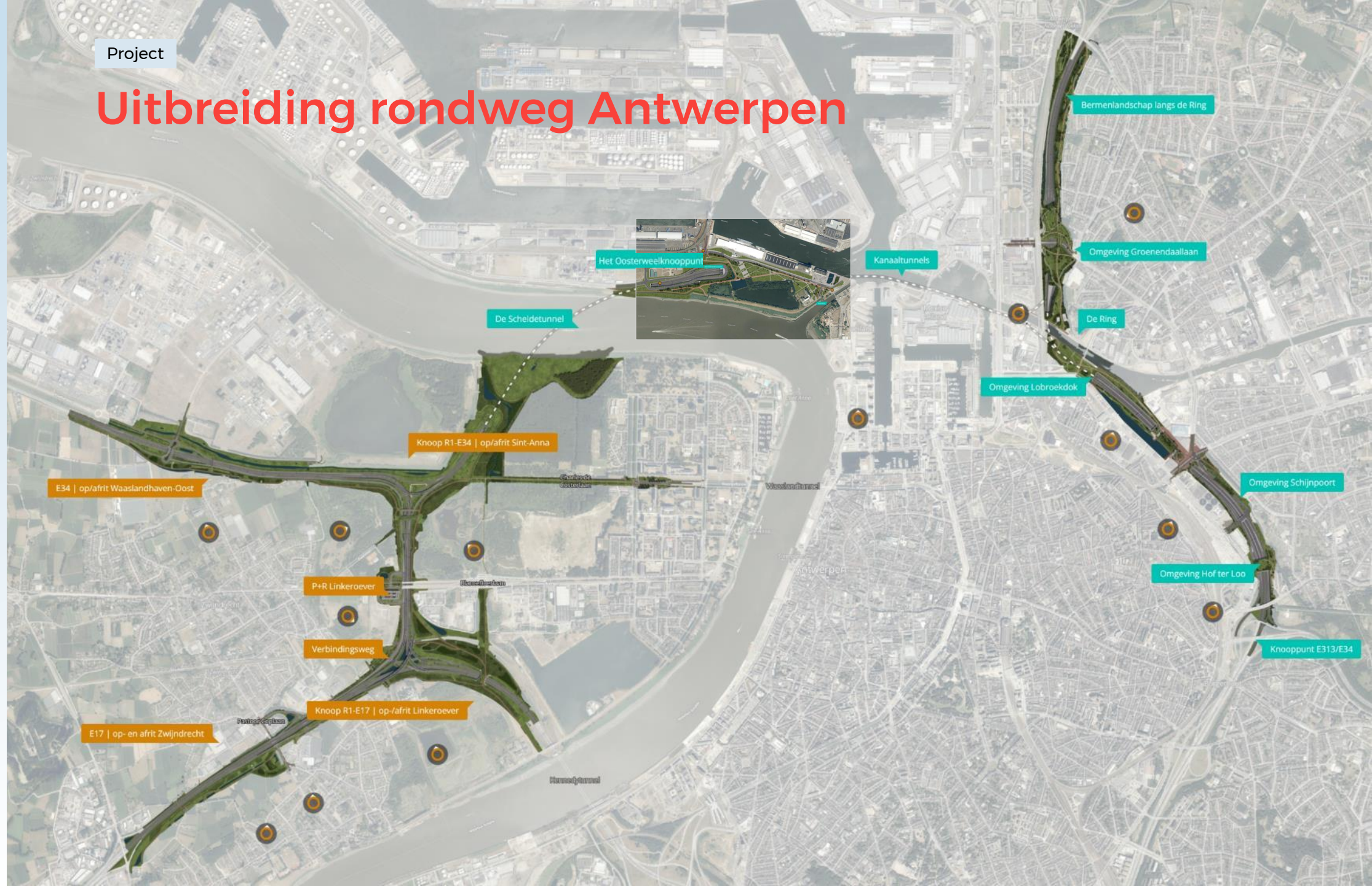
- **Introductie in het project**
- **Activiteit WSP**
- **Langsanalyse**
- **Verbindingen**

2



Project

Uitbreiding rondweg Antwerpen





Het Oosterweelknooppunt

Roverssluis

Waterbus Schelde

Waterbus Schelde

Waterbus Schelde

Waterbus Schelde

Waterbus Schelde

Waterbus Schelde

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Havenrondvaart

Amstel-Scheldt kanaal

Roosendaalseweg

Amstel-Scheldt kanaal

Roosendaalseweg

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Amstel-Scheldt kanaal

Project

Oosterweelknoop





Scope and Contract – Rinkoniën

Scope

- 1.700 m verdiepte ligging
- Gebouwd tussen Diepwanden
- Diepte 15-30 meter (Boomse klei vanaf -20m)
- Civiel en Infra, exclusief VTTI (apart contract: LOT4)
- Ontwerp / Engineering

Contract

- Waarde : nader te bepalen met huidige inschatting 500 à 700 mio euro.
- Vorm : NEC4 – Target Cost

Hoeveelheden

- 3.500 m diepwand
- 4.200 st grondankers
- 10.000 ton damwanden
- 300.000 m³ beton
- 2.000.000 m³ grond ontgraven
- 350.000 m³ grond aanvullen



mobilis | TBI



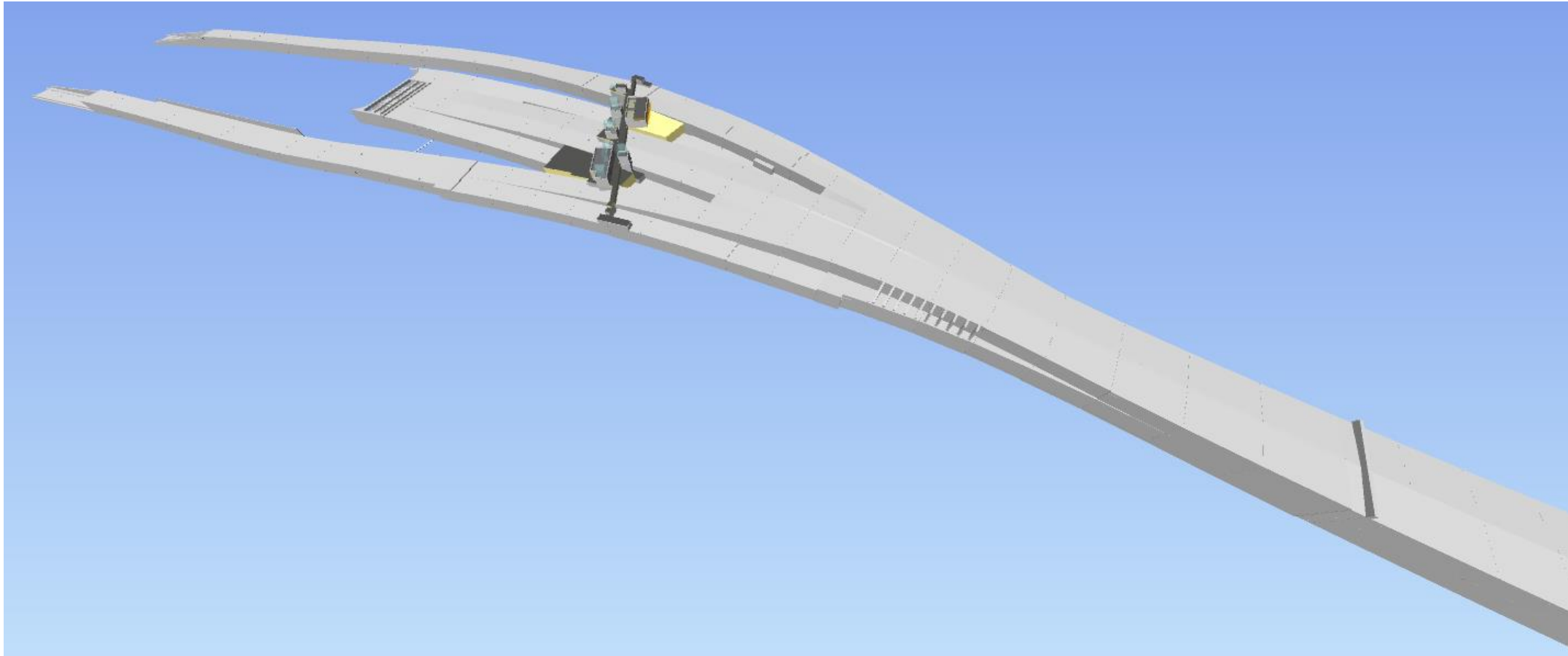
Boskalis

STADSBADER



ACTIVITEIT WSP

WP 7 – Samengestelde- en Vlechtunnel



Engineering team WSP

Ontwerpleiders / coördinator

- 4 ontwerp coördinatoren

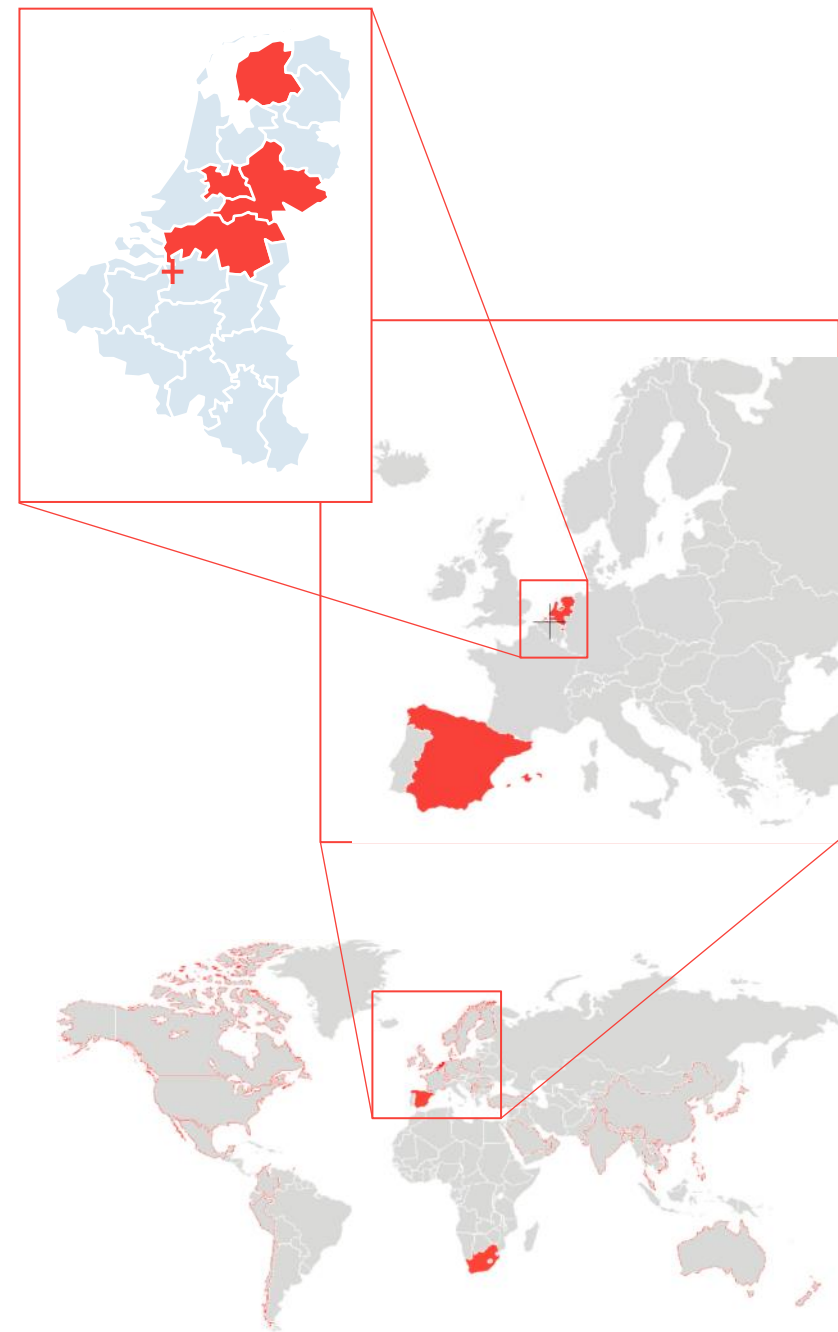
Constructeurs

- 12 constructeurs

Modelleurs

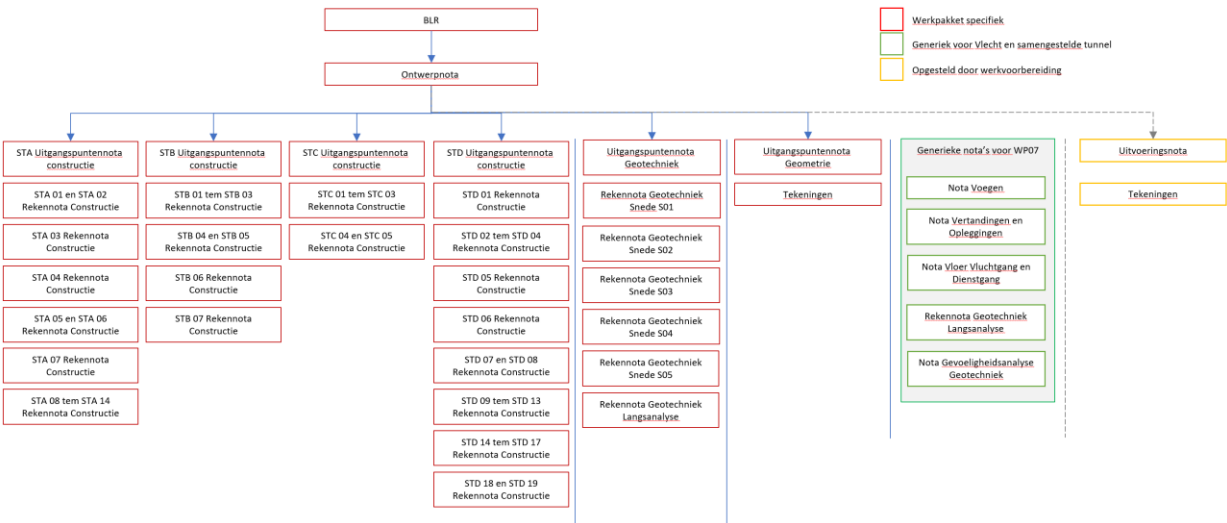
- 35 modelleurs

Uit diverse landen

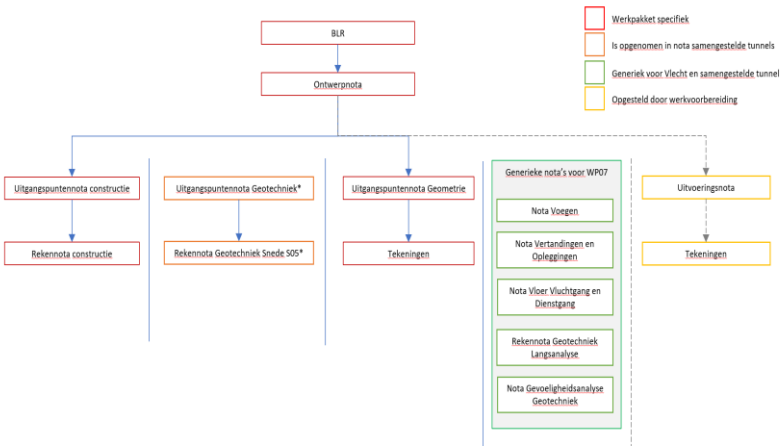


WP 7 – Samengestelde- en Vlechtunnel

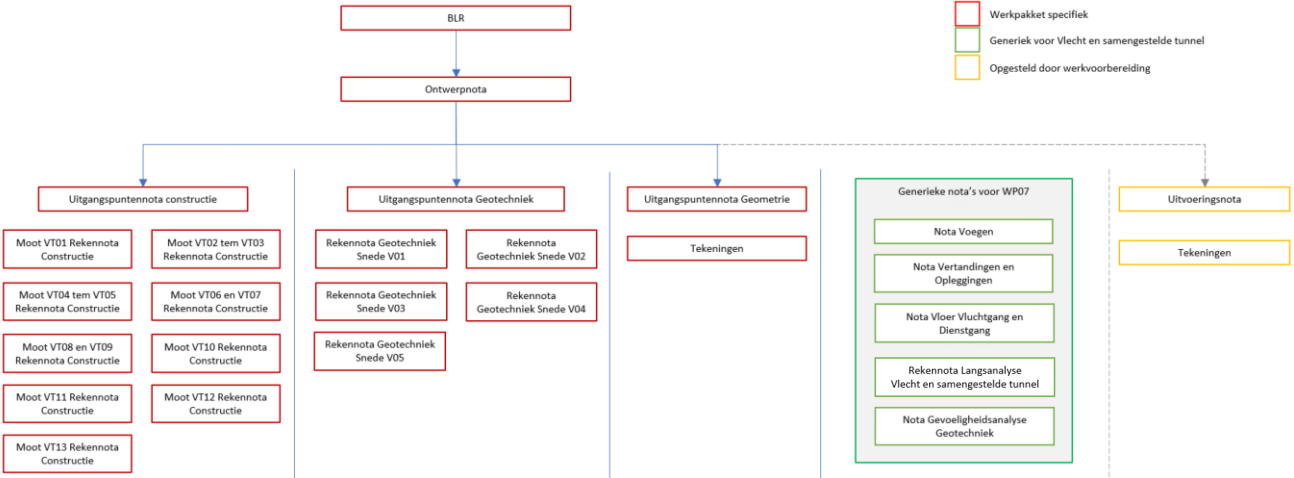
Documenten Samengestelde tunnel



Documenten Waterkelder

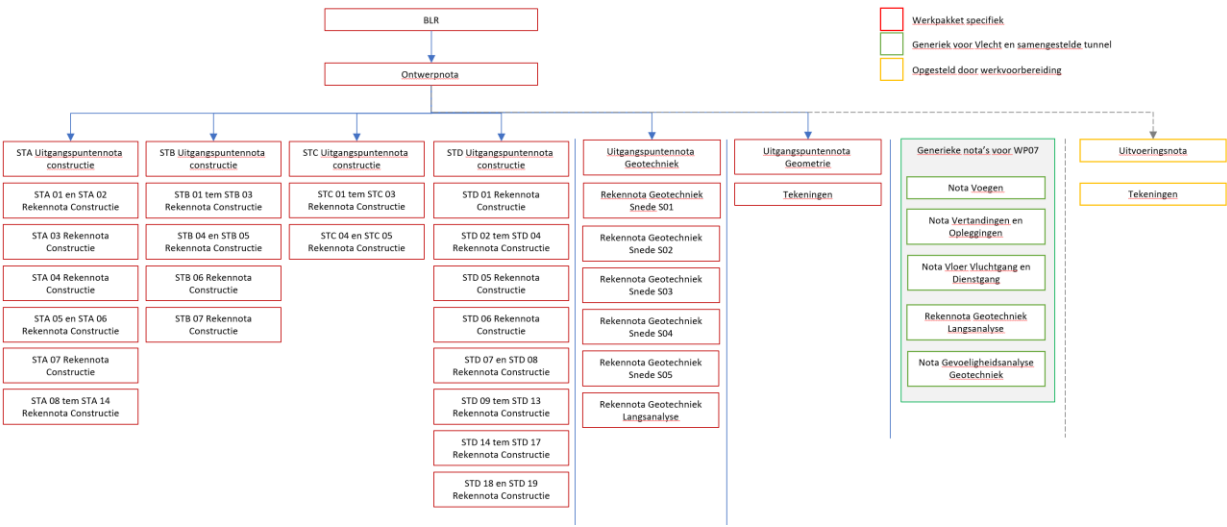


Documenten Vlechtunnel

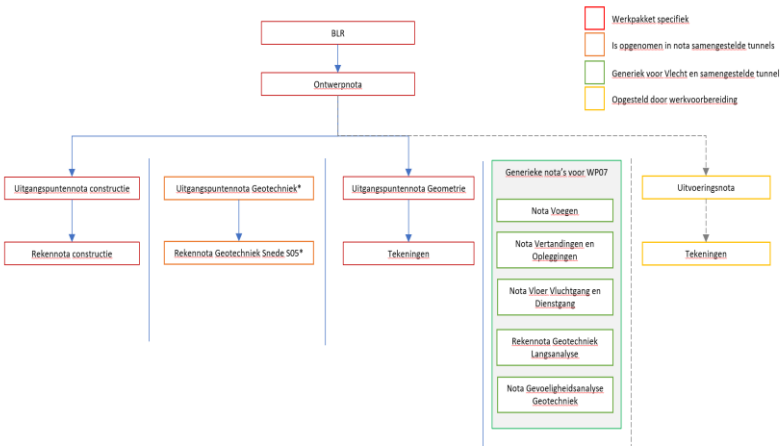


WP 7 – Samengestelde- en Vlechtunnel

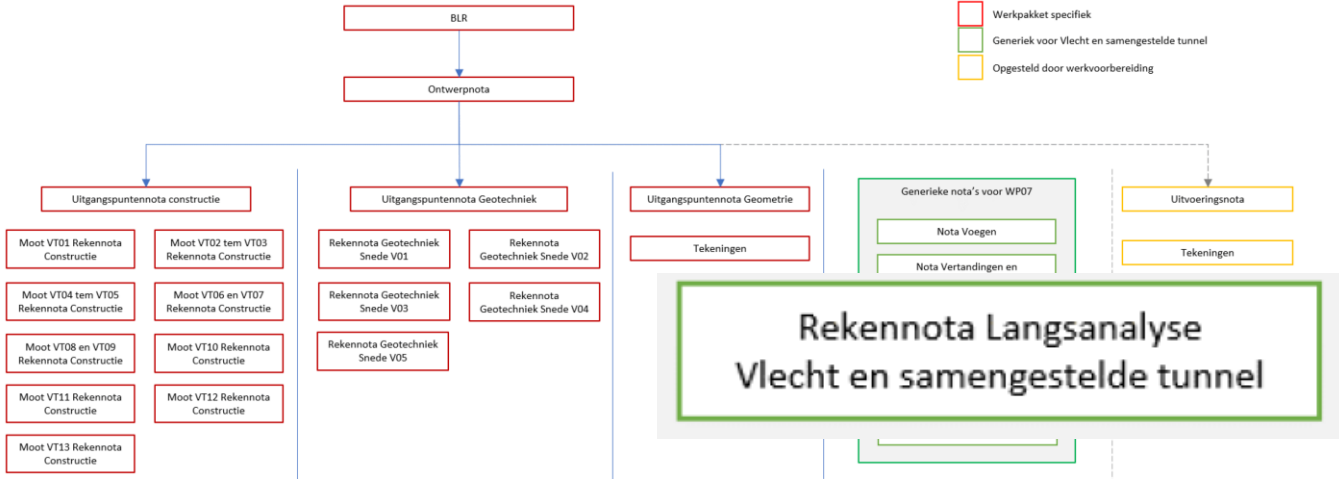
Documenten Samengestelde tunnel



Documenten Waterkelder



Documenten Vlechtunnel

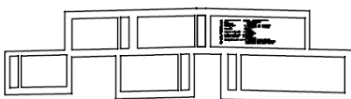


Eerste beschouwing langs effecten

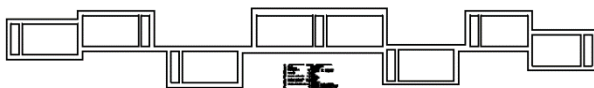
- Variatie in geometrie (stijfheid)
- Variatie in beddingen
- Zorgen voor pieken in dwarskracht



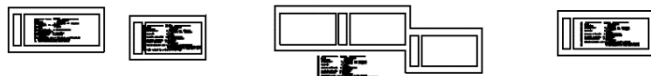
VT-1



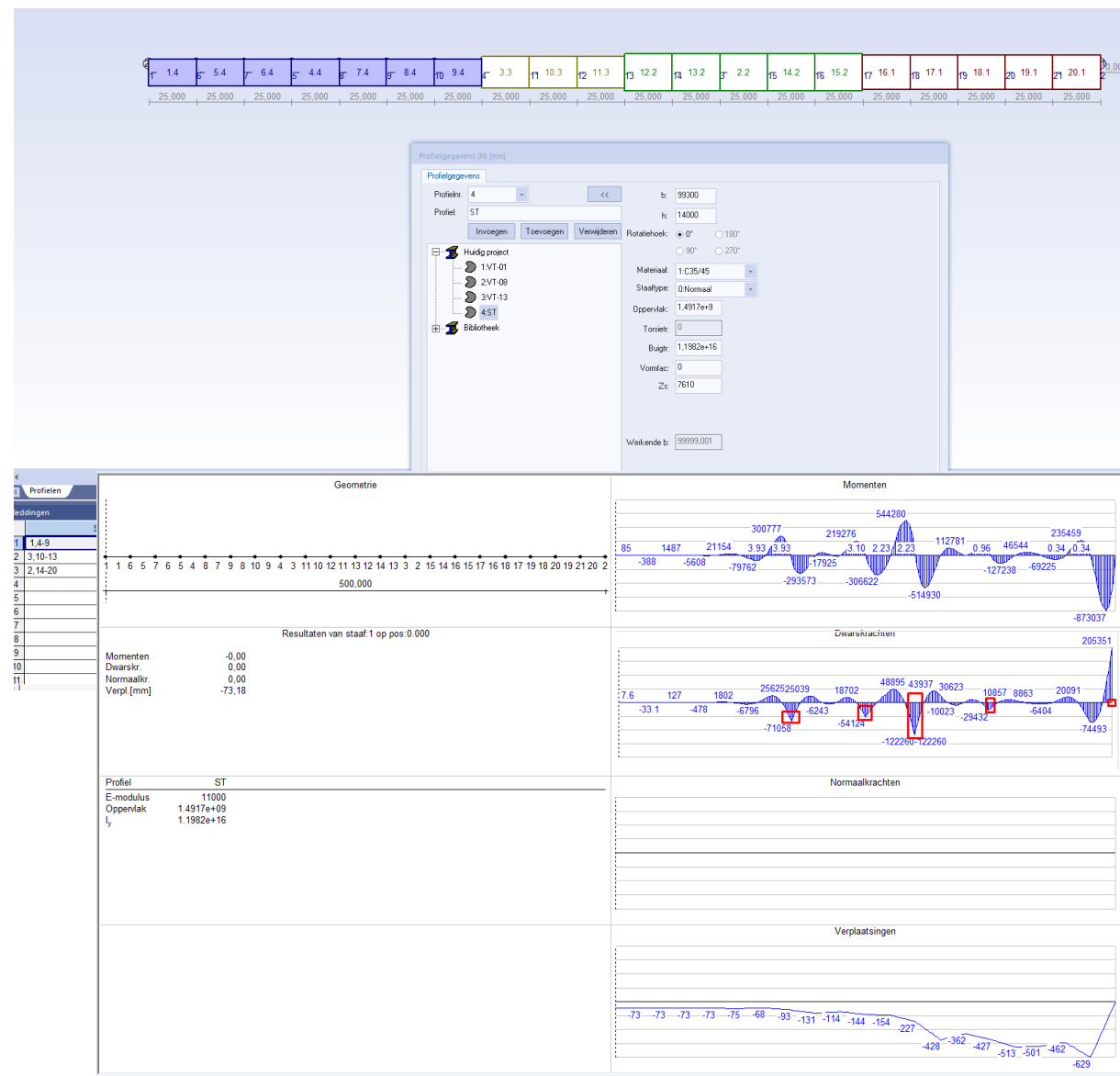
VT-8



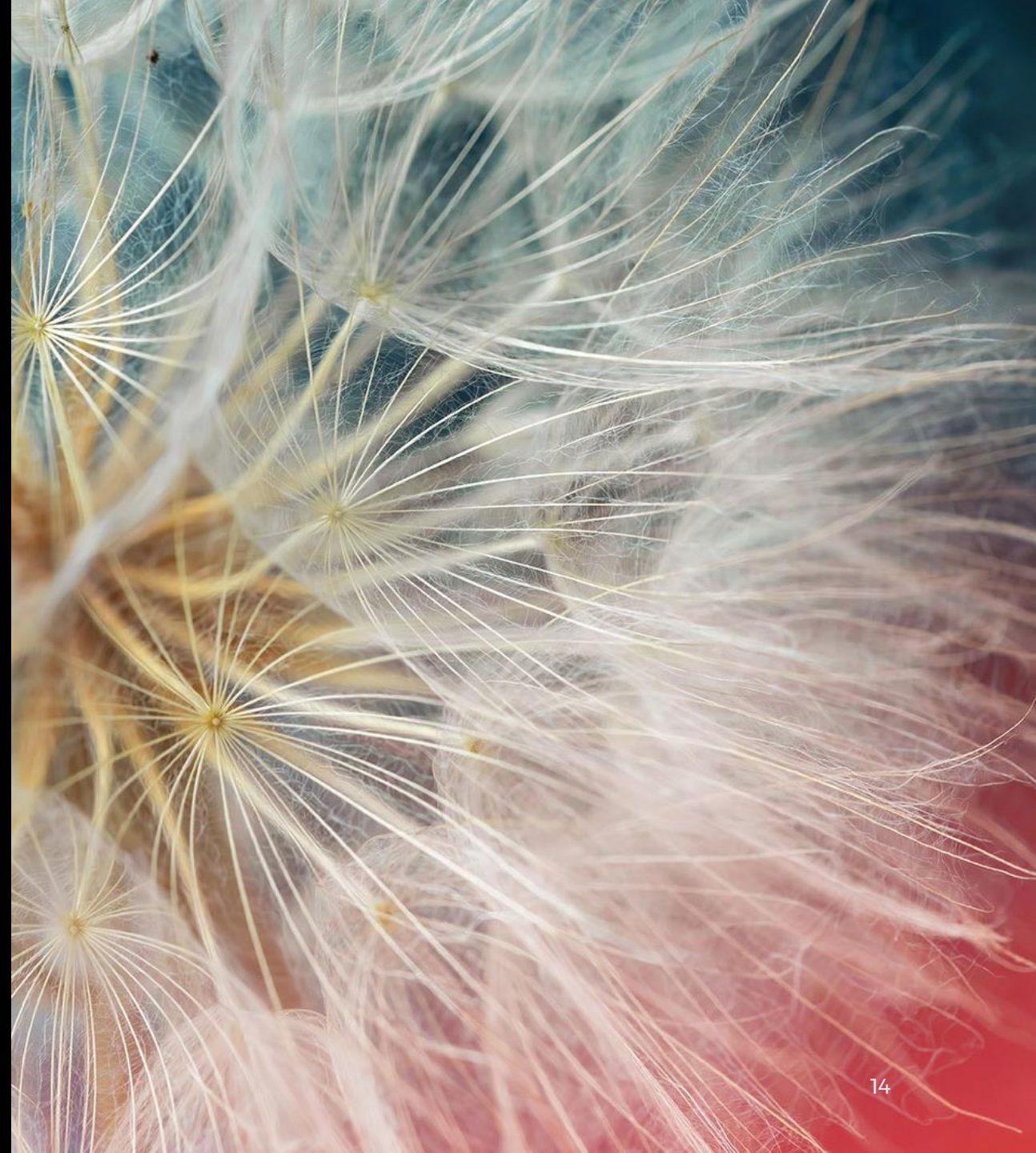
VT-13



ST

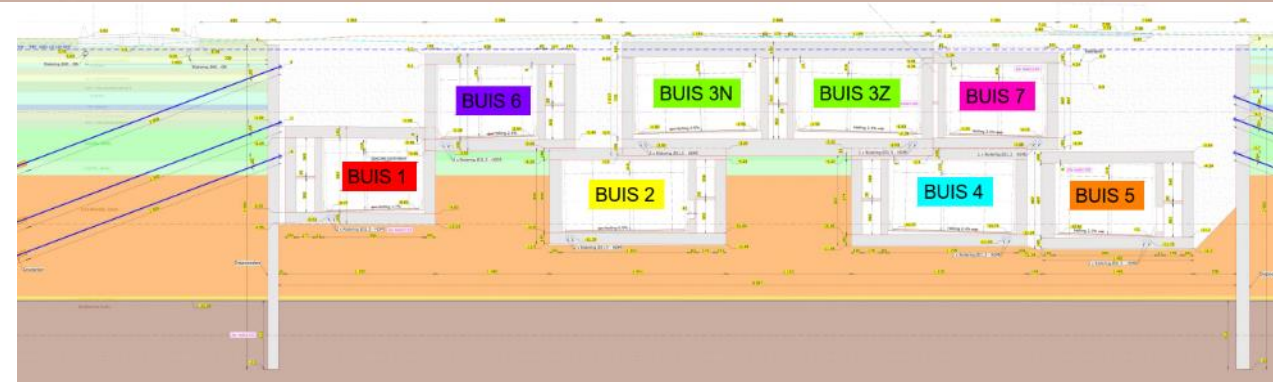
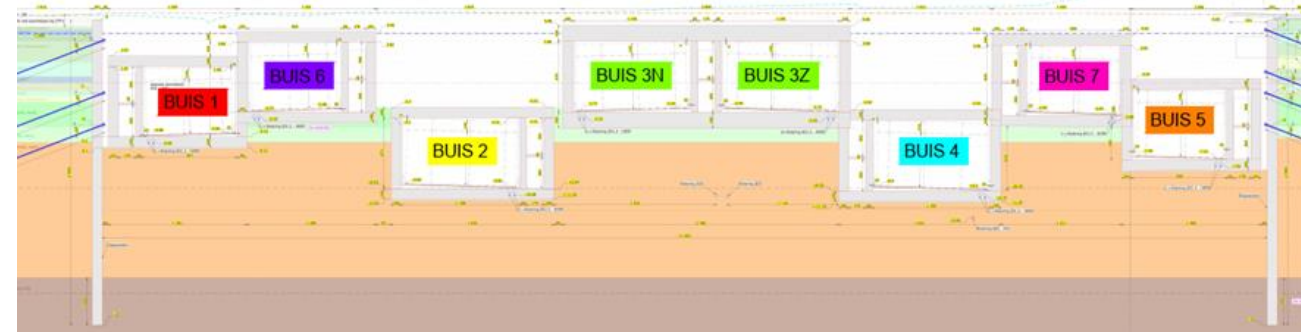
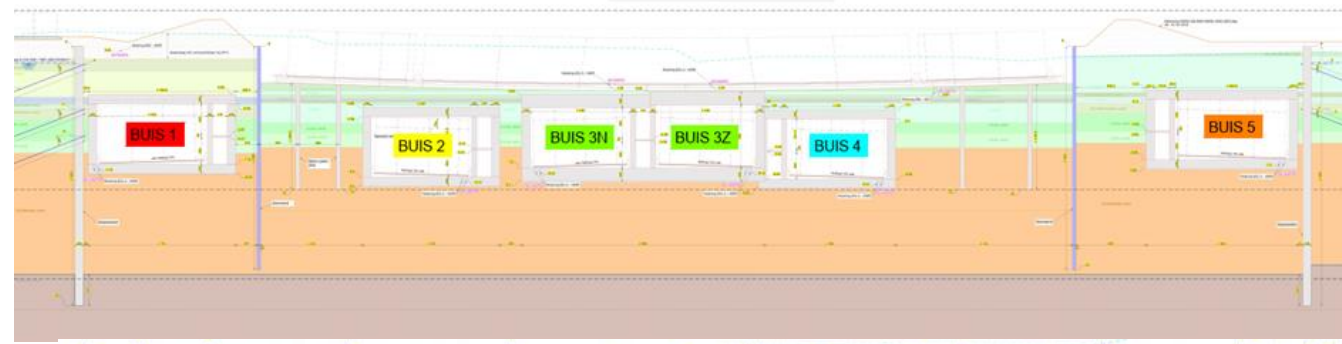


LANGSANALYSE



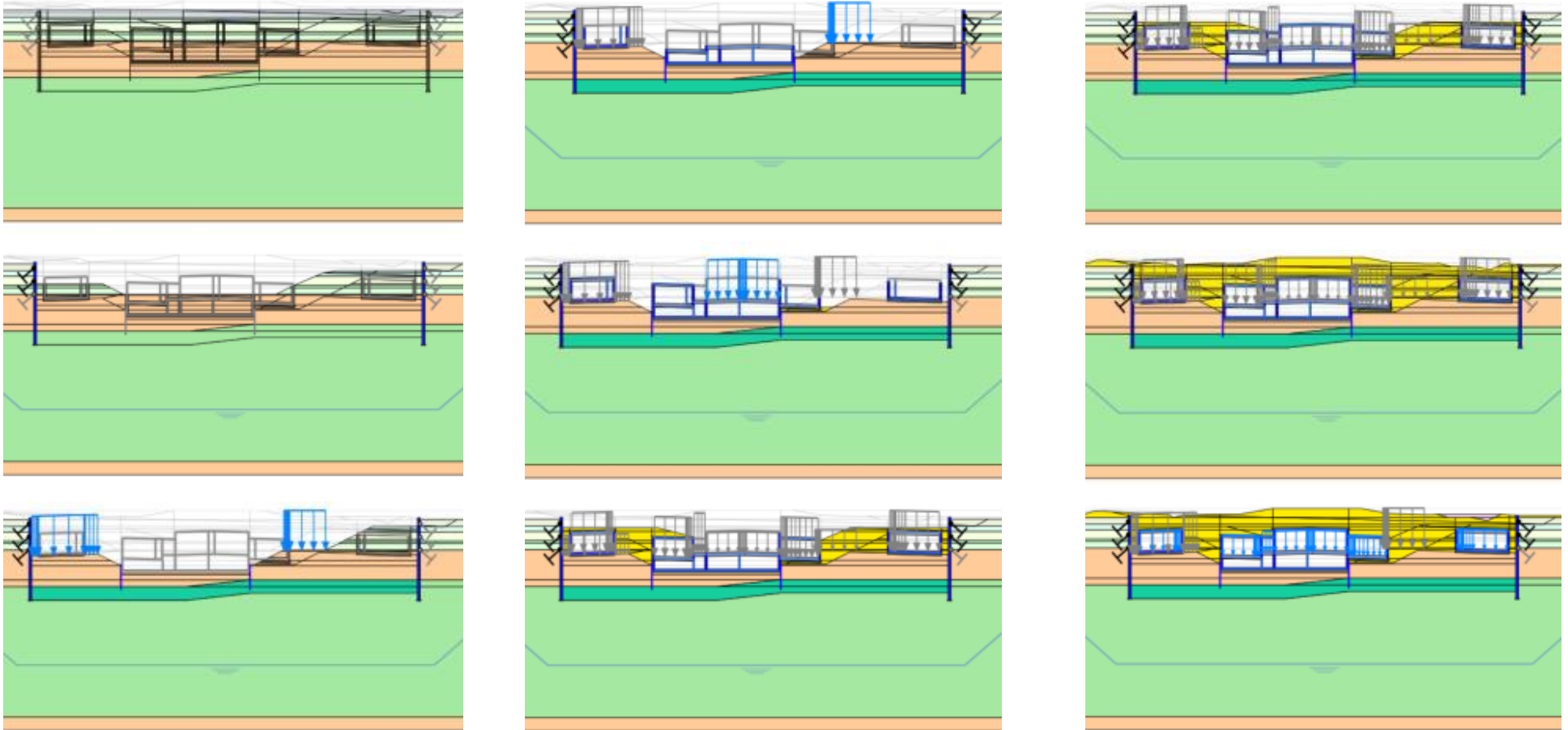
Geotechniek

- Zachte klei lagen
- Verschil in segmenten
- Zetting en zwel



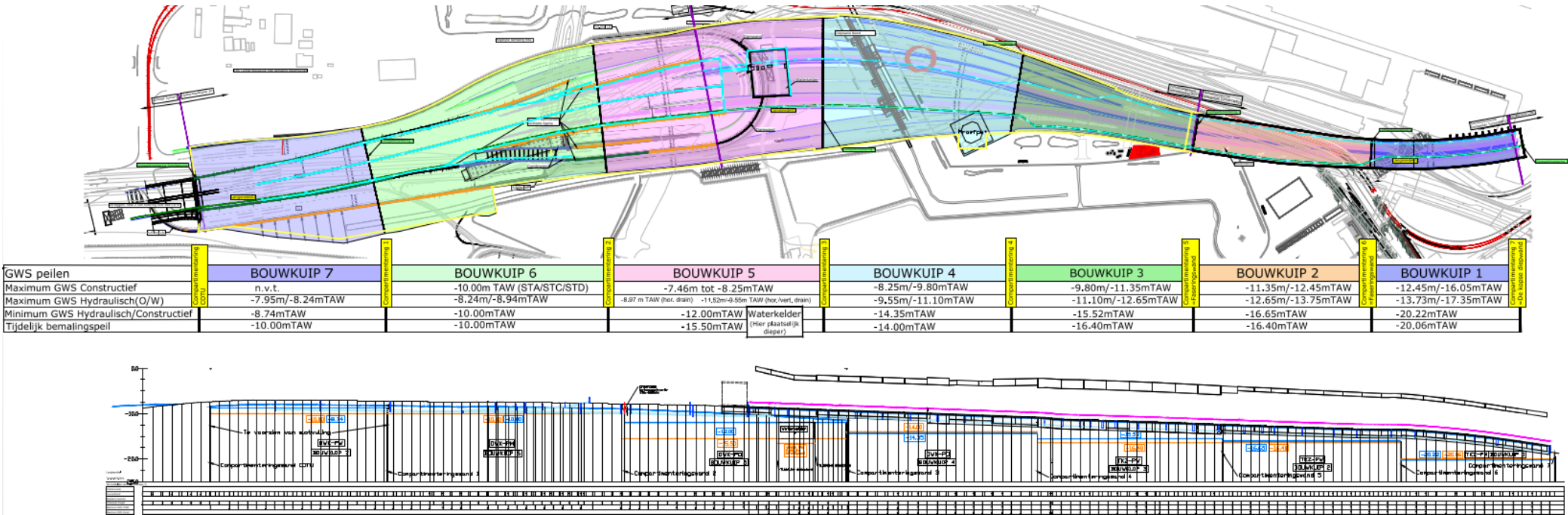
Geotechniek

- Bouwfasering / ongelijke belastingen



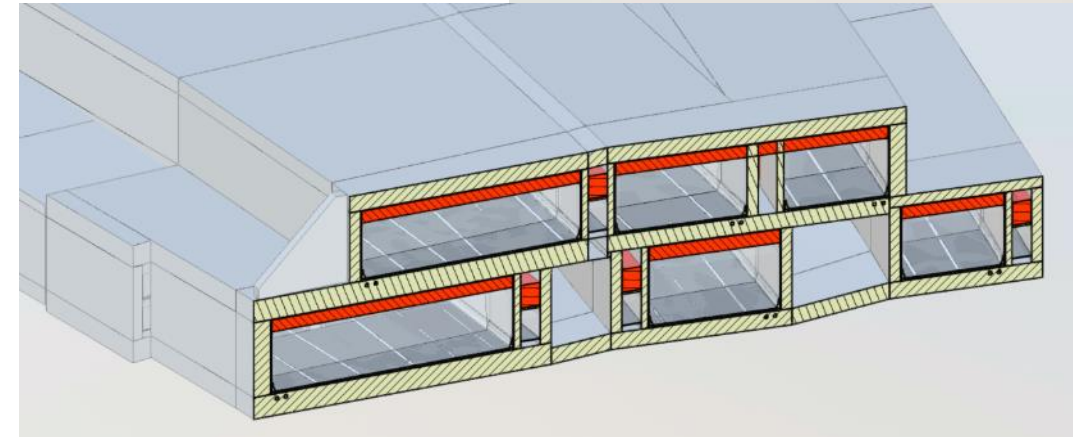
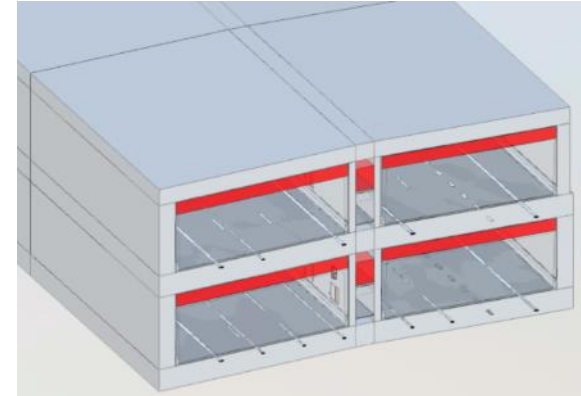
Geotechniek

- Verschil in grondwater



Constructie

- Complexe geometrie, van 2x2 gestapelde buizen naar 8 buizen parallel
- Segmenten met een lengte van 25m en een breedte tussen de 14 - 120m
- Segmenten worden onderling verbonden ivm verschil zetting
- Beperkte ruimte beschikbaar in de polder
- Proefput
- Waterkelder
- Verbinding met gestapelde tunnel
- Verbinding met Dienstbouwwerk



Constructie

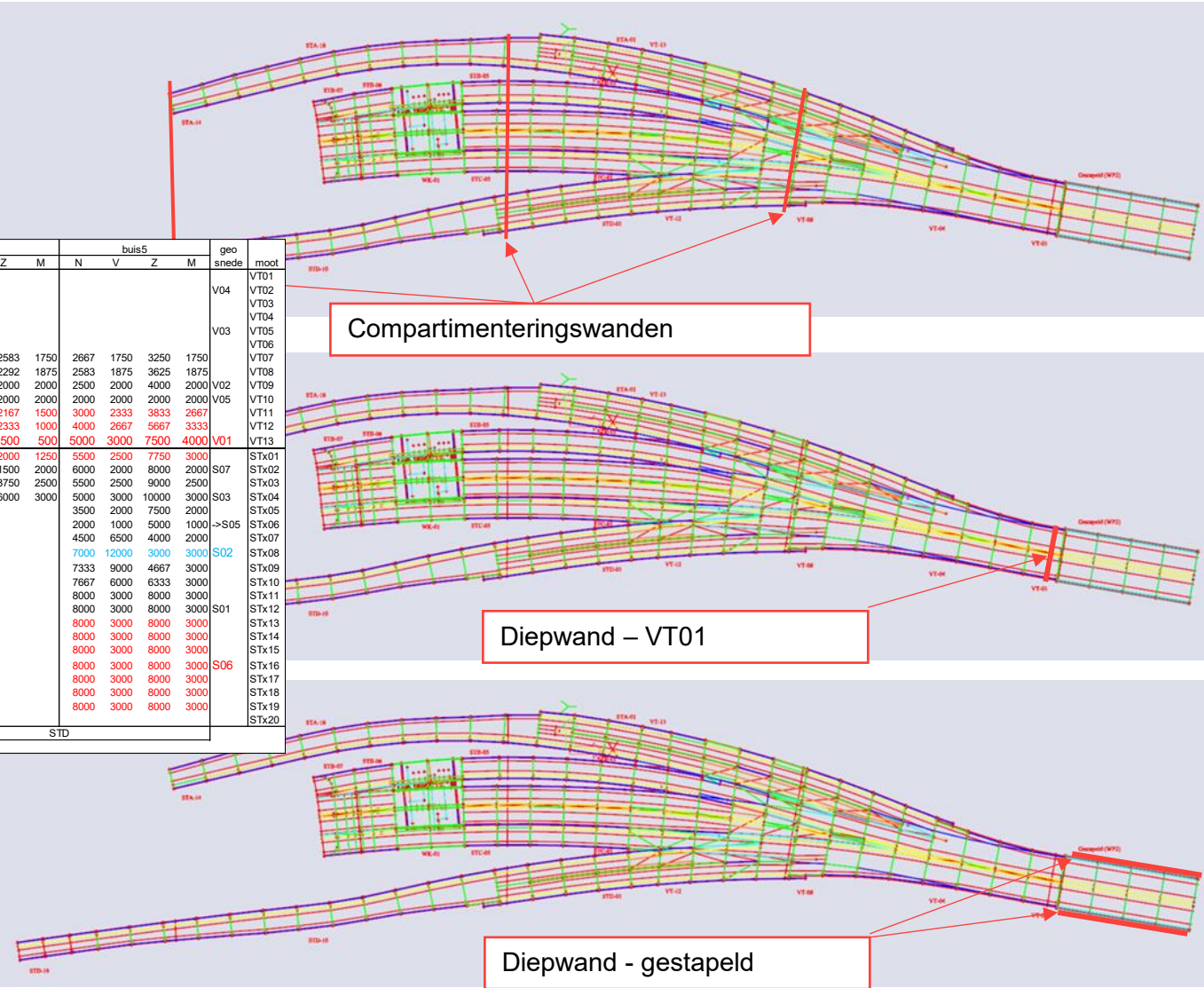
- Geotechnische gegevens verwerken in constructieve model
- Beddingen
- Diepwanden
- Damwanden

Beddingen Vlecht en samengestelde moten

moot	geo snede	buis1				buis6				buis2				buis3				buis4				buis7				buis5				geo snede	moot		
		N	V	Z	M	N	V	Z	M	N	V	Z	M	N	V	Z	M	N	V	Z	M	N	V	Z	M	N	V	Z	M				
VT01	V04																	3000	2000	3000	2000										VT01		
VT02																		3000	2000	3000	2000										VT02		
VT03																		2800	1800	3000	1800										VT03		
VT04			3000	2000	2500	2000												2600	1600	3000	1600										VT04		
VT05	V03	3000	2000	2500	2000													2500	1500	3000	1500										VT05		
VT06		3750	2125	2875	2125													2250	2875	1750	3250	1750									VT06		
VT07		4500	2250	3250	2250													2500	3250	2000	3500	2000									VT07		
VT08		5250	2375	3625	2375													2750	3625	2250	3750	2250									VT08		
VT09	V05	6000	2500	4000	2500													3000	4000	2500	4000	2500									VT09		
VT10		8000	3000	5000	3000	4000	2500	5000	4000	4000	3000	4000	3000	3000	2000	2000	2500	3000	1500	2000	1500									VT10			
VT11		6333	3000	4333	3000	2767	1767	3367	2833	3667	2333	3333	2667	2167	1833	1500	2200	3000	1667	2667	2000	1833	2000	2167	1500	3000	2333	3833	2667		VT11		
VT12		4667	3000	3667	3000	1533	1033	1733	1667	3333	1667	2667	2333	1333	1667	1000	1800	3000	1833	3333	2500	1667	2000	2333	1000	4000	2667	5667	3333		VT12		
VT13	V01	3000	3000	3000	3000	300	300	100	500	3000	1000	2000	2000	500	1500	500	800	3000	2000	4000	3000	1500	2000	2500	500	5000	3000	7500	4000	V01	VT13		
STx01	S07	7000	2500	5000	2500	1400	400	800	500	5500	2500	4000	3000	2000	1750	1000	2900	4000	2000	5000	3000	2250	2250	2000	1250	5500	2500	7750	3000		STx01		
STx02		7000	2500	5000	2500	2500	500	1500	500	8000	4000	6000	4000	3500	2000	1500	5000	5000	2000	6000	3000	3000	2500	1500	2000	6000	2000	8000	2000		S07		
STx03		9500	2750	5000	2750	2500	1750	3250	1750	8000	3500	4000	3500	2250	1750	1250	3750	5000	5000	3000	2500	3000	3500	2750	3750	2500	5500	2500	9000	2500		STx03	
STx04		12000	3000	5000	3000					8000	3000	5000	3000	2000	1500	1000	2500	5000	3000	8000	3000	4000	3000	6000	3000		5000	3000	10000	3000		S03	
STx05	S05	10000	2300	4200	2300					5000	2500	3500	2500	2000	1750	1500	2250	2750	1750	4750	1750					3500	2000	7500	2000				STx05
STx06		8000	1650	3350	1650					WK01	S05			2000	2000	2000	2000	500	500	1500	500					2000	1000	5000	1000				STx06
STx07		6000	1000	2500	1000					WK01	S05			2000	2000	2000	2000	500	500	1500	500					4500	6500	4000	2000				STx07
STx08		9000	2000	5250	2000					STB06	S02			3000	2000	2500	2000	500	1500	2000	2000	2500	1500	2500	1500		7000	12000	3000	3000		S02	STx08
STx09	-> S02	12000	3000	8000	3000					STB07				3000	2000	2500	2000	500	1500	2000	2000	2500	1500	2500	1500		7333	9000	4667	3000		STx09	
STx10		12000	3667	7667	3667																					7667	6000	6333	3000			STx10	
STx11		12000	4333	7333	4333																					8000	3000	8000	3000				STx11
STx12		12000	5000	7000	5000																					8000	3000	8000	3000				STx12
STx13	S01	12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx13	
STx14		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx14	
STx15		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx15	
STx16		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx16	
STx17	S06	12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx17	
STx18		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx18	
STx19		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx19	
STx20		12000	5000	7000	5000																				8000	3000	8000	3000				STx20	
		STA				STB				STB				STC				STD															

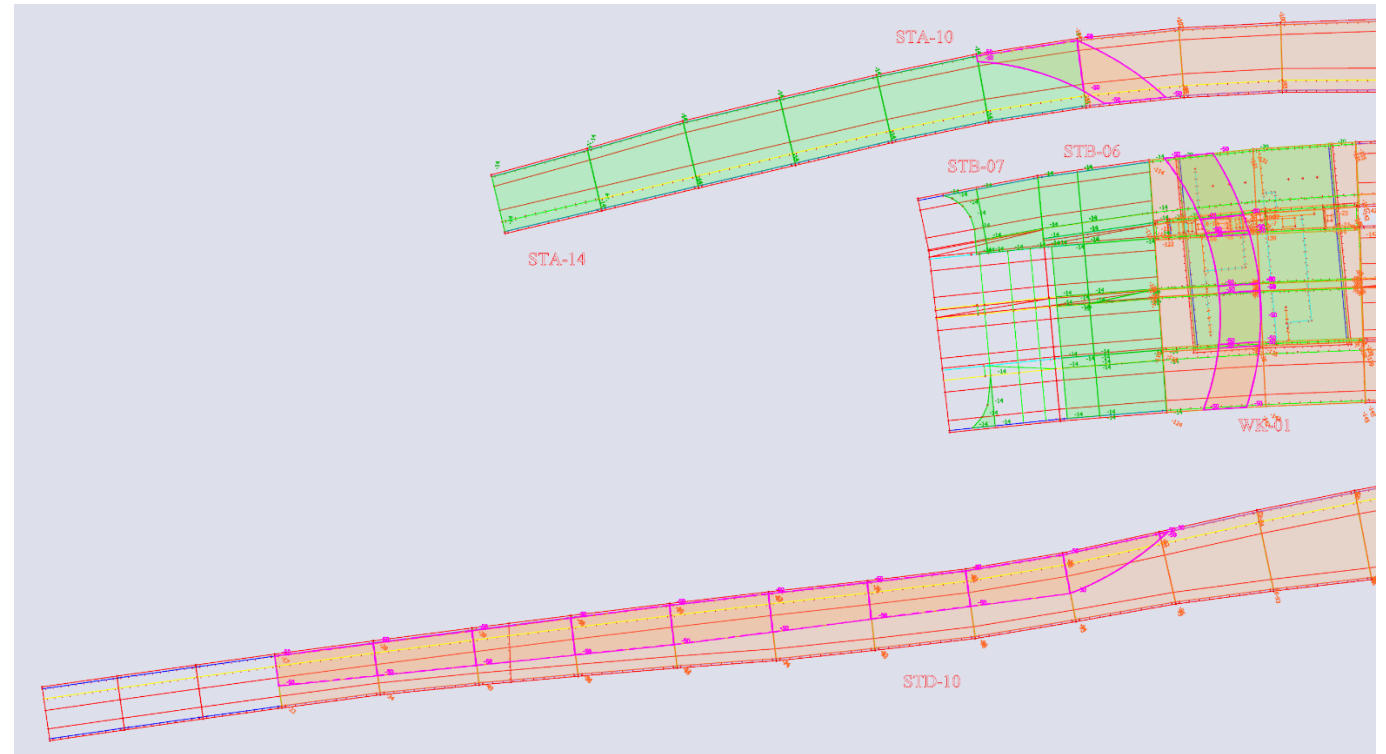
Beddingen gestapelde tunnel (constructief verbonden met de diepwanden)

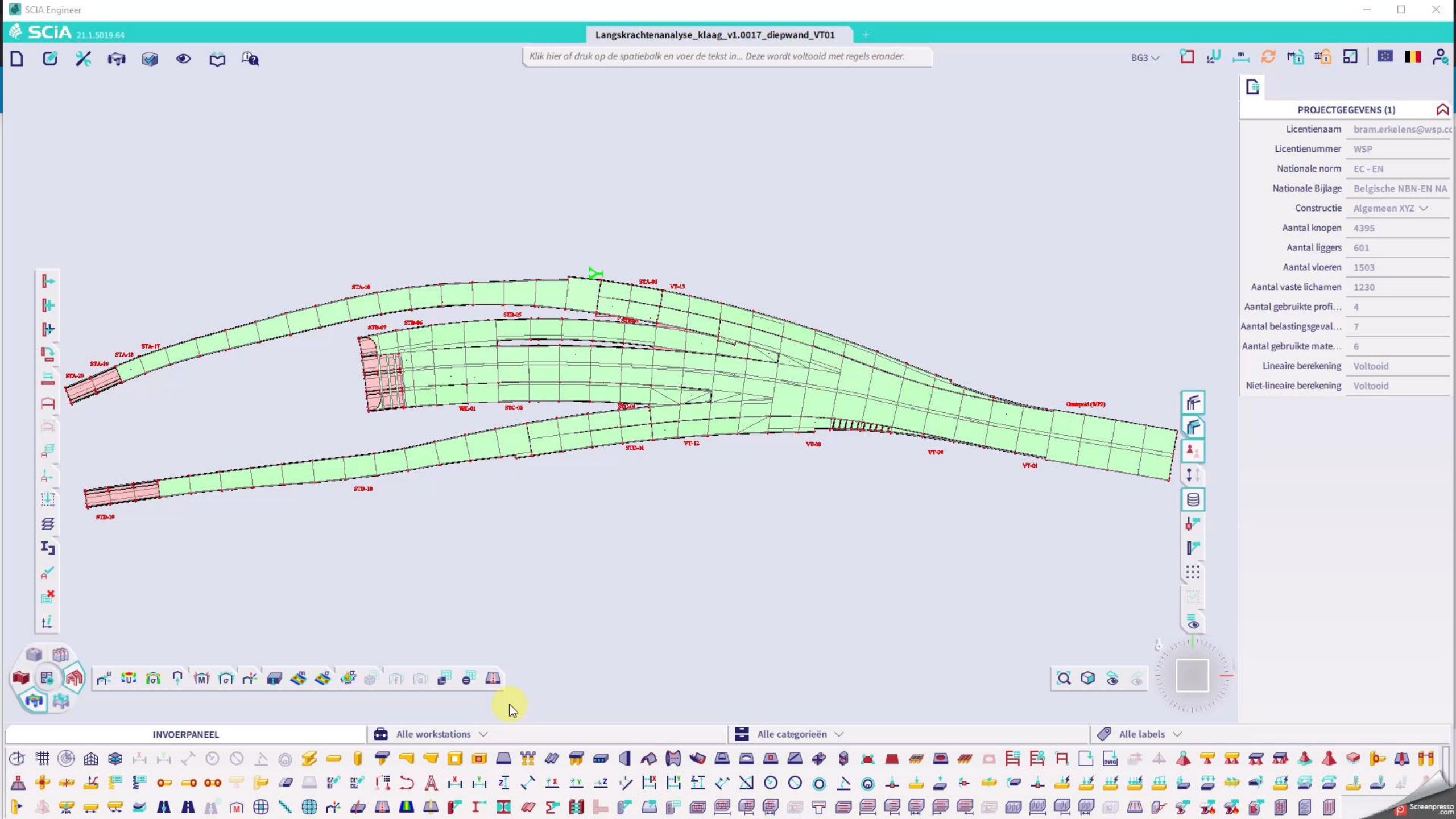
	Rand			Veld			Midden		
	breedte [m]	k _v [MN/m ³]		breedte [m]	k _v [MN/m ³]		breedte [m]	k _v [MN/m ³]	
Laag-los	2 x 4,4	9,4		10	5,0		10	7,2	
Hoog-los	2 x 4,4	15,9		10	8,1		10	12,1	
Laag-vast	2 x 4,4	7,0		10	5,1		10	7,4	
Hoog-vast	2 x 4,4	12,2		10	8,3		10	12,4	



Constructie

- Belastingen op de tunnel:
 - Eigengewicht
 - Grond
 - Dienstbouwwerk





Scripts opbouwen modellen:

- Stijfheden
- Verkeer
- Bouwfasering

88 Modellen

Scripts verwerken info:

- Modellen berekenen
- Resultaten uit SCIA halen
- Resultaten filteren en exporteren naar Excel

Excel sheet voor het visualiseren van de gegevens.

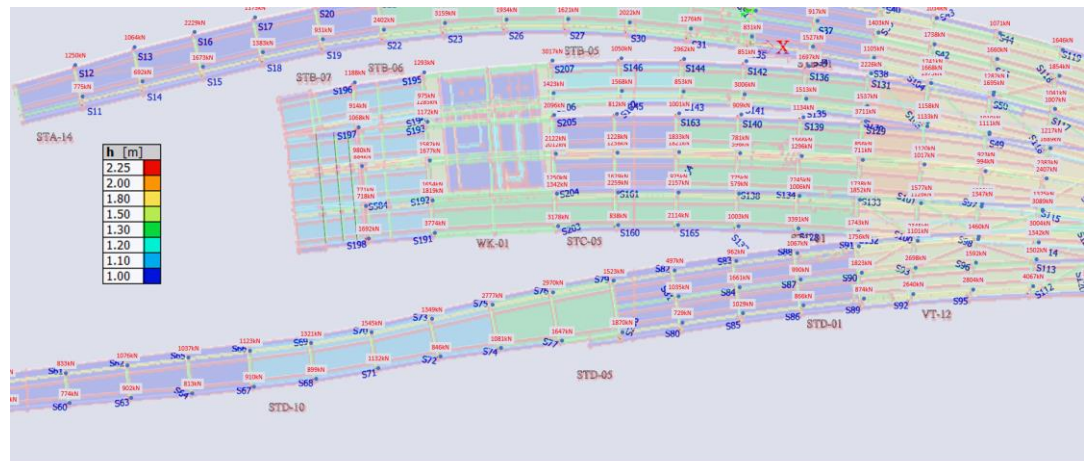
Nr.	naam	Beddingen WP7	Stijfheid vloer tand	Stijfheid wand console	Doel
1	Langskrachtanalyse_klaag-vast_tand_laag-console_hoog_v2.1048_update tanden VT09	Lage	Lage	Hoge	Console krachten
2	Langskrachtanalyse_klaag-vast_tand_hoog-console_laag_v2.1048_update tanden VT09	Lage	Hoge	Lage	Vloertand krachten, Verplaatsingen
3	Langskrachtanalyse_khoog-vast_tand_laag-console_hoog_v2.1048_update tanden VT09	Hoge	Lage	Hoge	Console krachten
4	Langskrachtanalyse_khoog-vast_tand_hoog-console_laag_v2.1048_update tanden VT09	Hoge	Hoge	Lage	Vloertand krachten
5	Langskrachtanalyse_klaag-vast_tand_laag-console_hoog_phase_#_v2.1048_update tanden VT09	Lage	Lage	Hoge	Effect bouwfasering, console krachten
6	Langskrachtanalyse_klaag-vast_tand_hoog-console_laag_phase_#_v2.1048_update tanden VT09	Lage	Hoge	Lage	Effect bouwfasering, vloertand krachten
7	Langskrachtanalyse_k20-vast_tand_laag-console_hoog_verkeer_*_v2.1048_update tanden VT09	Dynamisch 20 MN/m3	Lage	Hoge	Console krachten tgv verkeer
8	Langskrachtanalyse_k20-vast_tand_hoog-console_laag_verkeer_*_v2.1048_update tanden VT09	Dynamisch 20 MN/m3	Hoge	Lage	Vloertand krachten tgv verkeer

#) Bouwfaseringnummer
*) locatie verkeer

```

1 # extract_params.py
2 #!/usr/bin/env python
3
4 # Regular imports
5 import tkinter as tk
6 from tkinter import filedialog
7 from pathlib import Path
8 import os
9 import time
10 import re
11
12 # Third party imports
13
14
15 # WSP imports
16 from scia_calculation import scia_calculation
17
18 # -----Set verbose-----
19 set_verbose = False # set True if you want to print input commands
20
21 # -----get parameters from file-----
22 # Function op basis van de naam van de scia file de verschillende parameters te bepalen
23 def extract_parameters(file_name):
24     # Define the regular expression pattern to match the parameters
25     pattern = {
26         r"(\bmodel\b):[-_ ]+",
27         r"(\bbedding\b):[-_ ]+[-_ ]+_tand_",
28         r"(\btand\b):[-_ ]+console_",
29         r"(\bconsole\b):[-_ ]+",
30         r"(\bphase\b):[-_ ]+",
31         r"(\bverkeer\b):[-_ ]+[-_ ]+",
32         r"(\bverkeer\b):[-_ ]+",
33         r"(\bverkeer\b):[-_ ]+",
34         r"(\bverkeer\b):[-_ ]+"
35     }
36
37     # Match the pattern with the file name
38     match = re.match(pattern, file_name)
39
40     # Extract the parameters if the pattern matches
41     if not match:
42         # Als de naam niet overeenkomt met het patroon, geef een foutmelding
43         raise ValueError(
44             f"The name '{file_name}' does not match the expected format."
45         )
46
47     parameters = match.groupdict()
48
49     # If 'extra' is None, set it to 'update loads paperclip_new'
50     if parameters['extra'] is None:
51         parameters['extra'] = "update loads paperclip_new"
52
53     # Define the new supparameter based on previous parameters (can't use "-" or "+" because not supported in Excel table)
54     if 'lag' in parameters['bedding']:
55         support = "sup_lag"
56     elif 'hong' in parameters['bedding']:
57         support = "sup_h"
58     else:
59         support = f"Sup_{parameters['bedding'][:-1]}"
60
61     tand = f"tand" if "lag" in parameters['tand'] else "t_u"
62     console = f"console" if "lag" in parameters['console'] else "c_u"
63     phase = f"p_{parameters['phase']}" if parameters['phase'] else ""
64     verkeer = f"v_{parameters['verkeer']}" if parameters['verkeer'] else ""
65
66     # make an abbreviation from the parameters
67     new_abb = f"({support})_{tand}_{console}_{phase}_{verkeer}"
68     parameters['new_abb'] = new_abb
69
70     return parameters

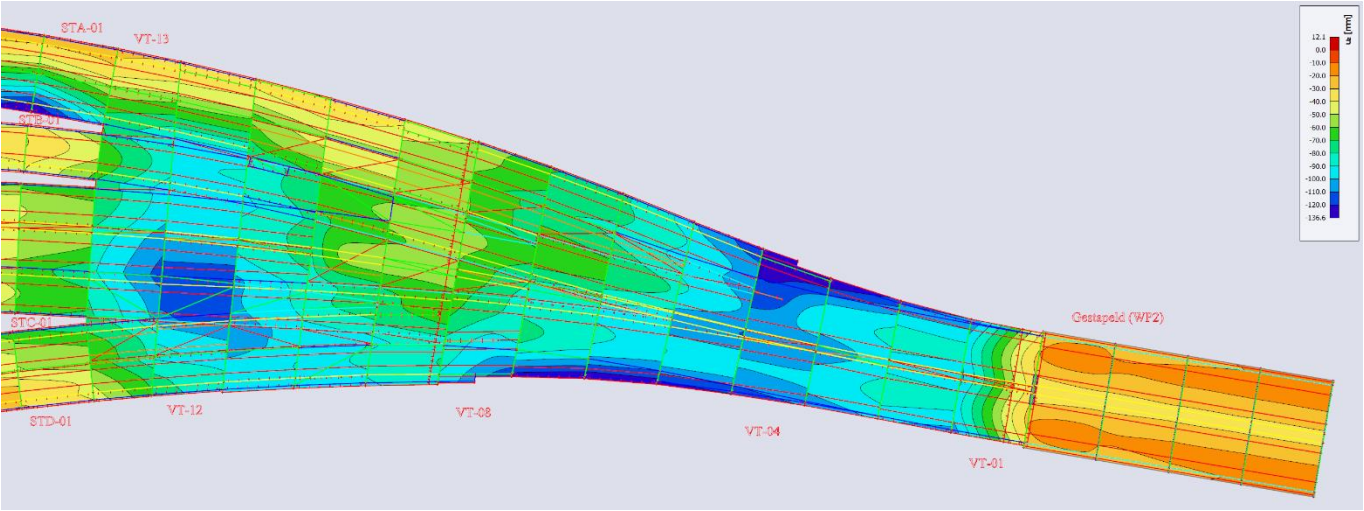
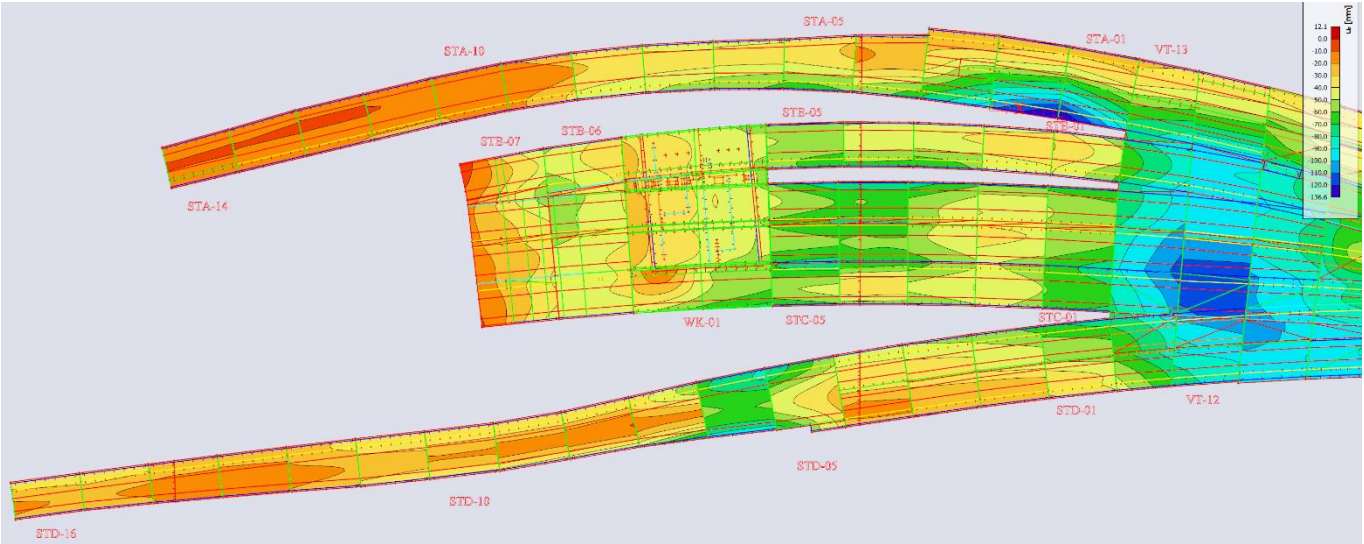
```



name	Yrmax	Yrmin	count	YrAve	altitude	name	Yrmax	Yrmin	count	YrAve	alt	Yr	Yrmax	Yrmin	count	name	Yrmax	Yrmin	count	
512	174.99	-129.94	1280	0.56	512	Shearley	478.99	-400.32	500	-273.572	-7.92277	0	0			512	125048		-273.572356	-7.92279405
513	445.42	-106.14	1064	4.47	513	Shearley	417.88	-415.54	34	-290.499	-1.00147	0	0			513	106448		294.509335	-1.05147301
514	418.28	-221.18	2218	418.28	514	Shearley	418.28	-422.84	200	-225.482	-8.22848	0	0			514	229848		418.28	-8.22848
515	1172.47	-174.63	1717	-8.93	517	Shearley	417.88	-417.63	500	-290.503	-1.7281	0	0			517	107648		-200.505541	-10.57181143

Constructie

- Verplaatsingen (o.a. voor voegbeweging)



Gemiddelde van uz [mm]

Rijlabels	buis1	buis6	buis2	buis3	buis4	buis7	buis5
as01							
as02	0,0	0,0	-2,5	2,5	-2,7	0,0	0,0
as03							
as04	0,0	0,0	9,2	11,7	8,0	0,0	0,0
as05							
as06	0,0	0,0	1,3	9,6	3,1	0,0	0,0
as07							
as08	0,0	0,0	-0,5	1,3	0,1	0,0	0,0
as09							
as10	-1,2	0,0	-7,5	-14,5	-4,2	0,0	0,0
as11							
as12	4,6	-0,4	9,5	19,3	-1,0	0,0	0,0
as13							
as14	0,7	0,0	2,8	3,2	2,2	0,0	0,0
as15							
as16	3,6	3,5	1,9	4,6	8,4	0,0	0,0
as17							
as18	2,5	1,7	1,4	0,6	12,7	0,0	3,4
as19							
as20	7,7	3,9	5,4	-18,5	-12,1	-4,9	-5,2
as21							
as22	-1,0	-4,7	0,1	28,0	11,0	10,0	15,8
as23							
as24	3,9	-7,6	-9,6	-8,3	-7,0	-0,4	7,3
as25							
as26	-6,3	-7,8	0,6	-8,8	6,9	2,2	4,0
as27							
as28							
as29							
as30							
as31							
as32							

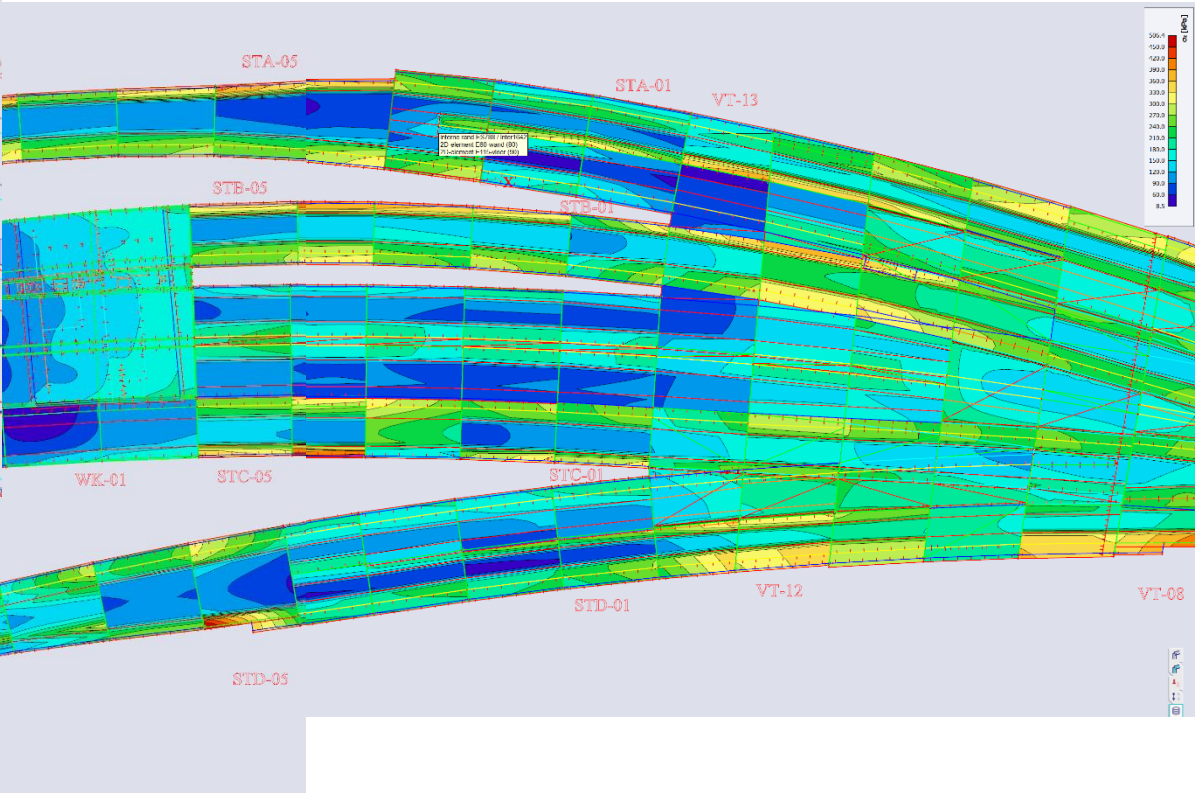
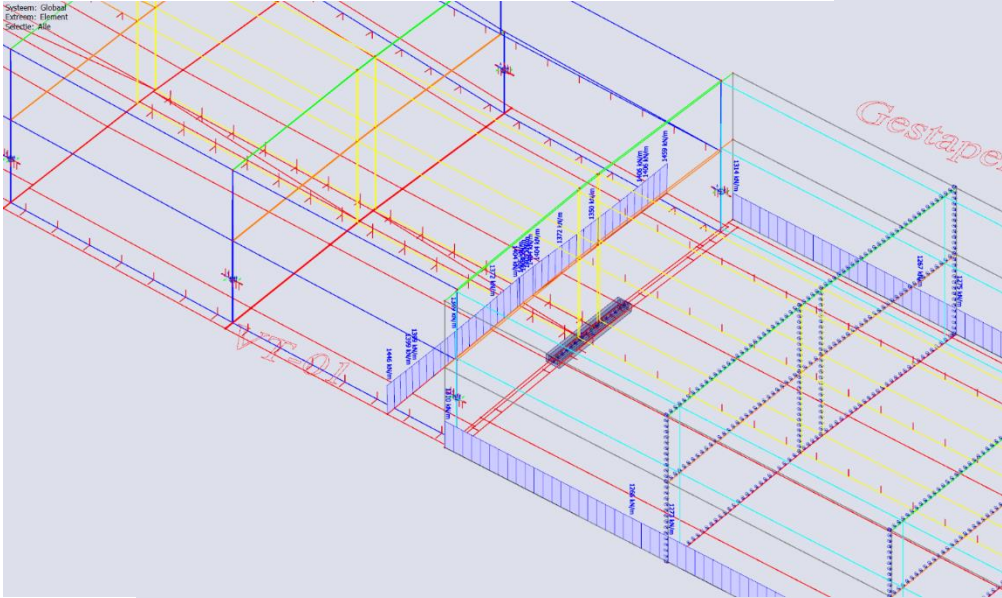
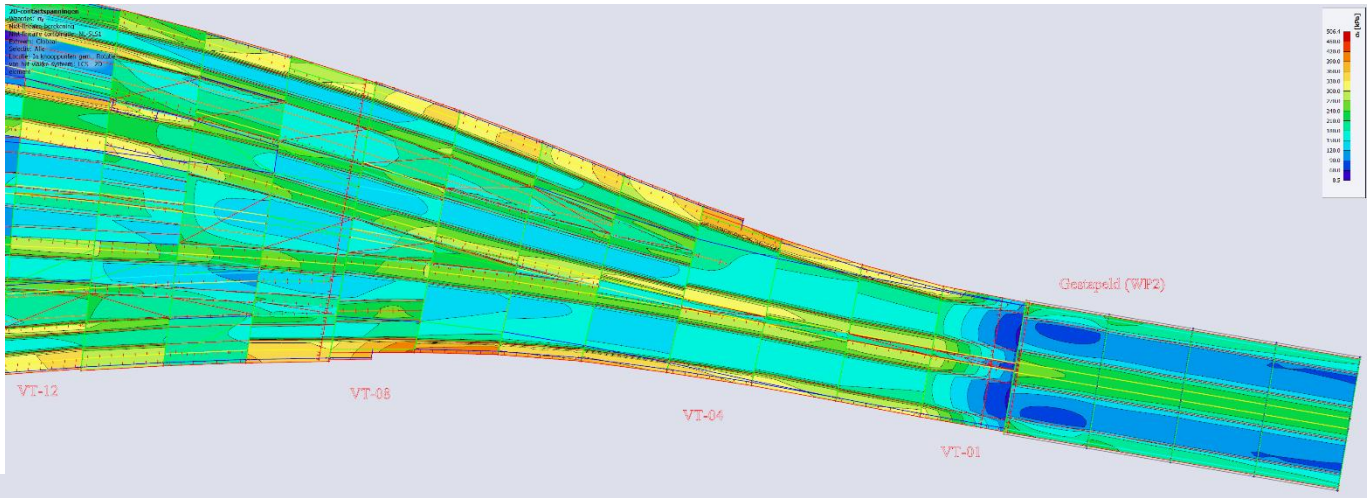
hoekrotatie per as per buis

	buis1	buis6	buis2	buis3	buis4	buis7	buis5
as01			-3,7	-3,7	-3,5		
as02			-3,4	-3,5	-3,0		
as03			-0,9	-1,0	-0,4		
as04			-0,5	-0,7	-0,7		
as05	0,9		1,3	0,4	-0,3		
as06	1,9	1,8	1,3	0,6	0,0		
as07	0,8	0,5	0,3	0,1	0,1		
as08	0,7	0,7	0,7	0,8	1,2		
as09	0,8	0,4	0,1	0,1	0,2		
as10	0,3	-0,3	-1,1	-1,2	-1,3	-1,8	-1,1
as11	-0,6	-1,0	-1,3	-1,1	-0,7	-0,3	0,2
as12	-1,4	-1,9	-1,8	-0,9	-0,3	0,0	0,9
as13	0,1	-0,1	0,3	0,8	1,1	1,2	1,5
as14	1,5	0,2	3,6	1,8	1,8	1,7	1,5
as15	0,5	-0,1	1,9	0,6	0,8	0,8	0,5
as16	-1,2	2,8	-0,6	-0,4	-0,3	0,6	0,3
as17	0,0		0,1	-0,6	-0,2	0,4	-0,2
as18	0,5		-0,1	-0,3	-0,9		-2,0
as19	-1,2		-0,2	0,0	-1,1		-1,5
as20	-0,1		1,1	1,4	1,9		1,4
as21	1,2		1,1	1,4	1,9		1,3
as22	1,3						0,2
as23	0,7						0,3
as24	0,1						0,2
as25	0,1						0,2
as26	0,0						0,3
as27	0,1						0,3
as28							0,2
as29							0,3
as30							0,6
as31							0,4
as32							0,1

Resultaten

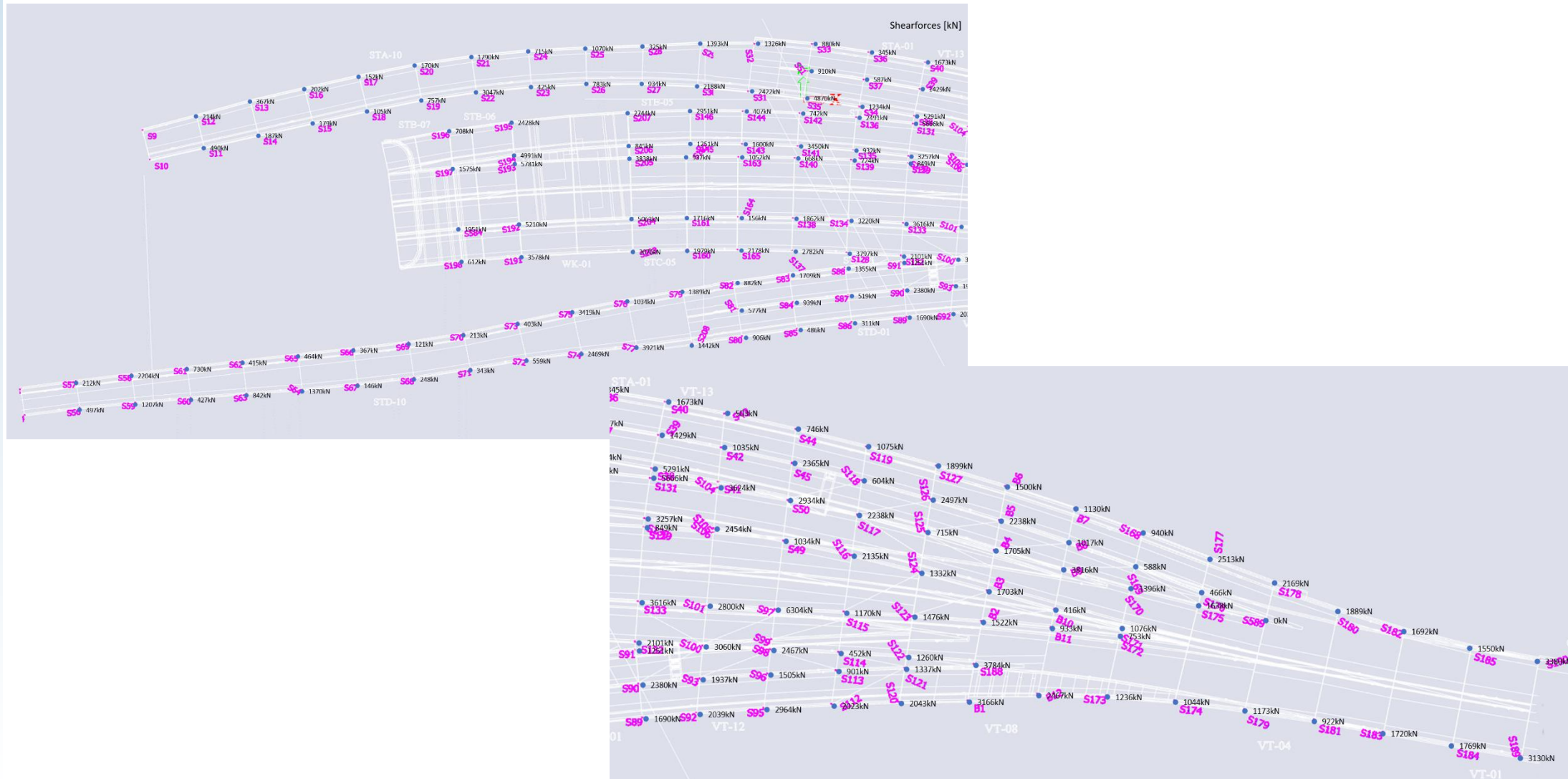
Constructie

- Reacties:
- Contactspanningen
- Reacties op diepwanden



Constructie

- Krachten in de consoles
- kracht in console van 20.000 kN terug naar 6.000 kN door diverse optimalisaties / afstemming geo



Optimaliseren

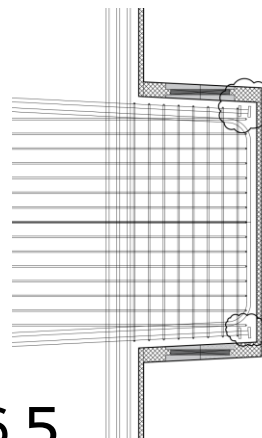
- Gewichtbesparingen op de tunnel
- Bouwfasering
- Moment van verbinden van de console
- Voorbelasting
- Grondverbetering



VERBINDINGEN

Console / wandtand

- Staafwerkmodel EC2 art. 6.5
- Controle IDEA Detail CSFM
- Schaduw controle DIANA
- T-heads conform 2nd gen EC2



Controle oplegvlak

Controle afmeting voor trek-, drukknop (EC2-1, art. 6.5.4 (4)b):

$$L > (l/2 + 2 \times S_0 + c) \times 2 + v$$

$$1200 \text{ mm} \geq 1140 \text{ mm}$$

$$L - a - l > 2 \times S_0 + c$$

$$290 \text{ mm} \geq 260 \text{ mm}$$

$$a - v > 2 \times S_0 + c$$

$$290 \text{ mm} \geq 260 \text{ mm}$$

Controle drukspanning oplegvlak (EC2-1, formule (6.61):

$$v' = 1 - f_{ctd} / 250 \quad 0,86 -$$

$$k_2 = 0,85 -$$

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \times v' \times f_{ctd} \quad 18,8 \text{ MPa} \quad (+10\% \text{ cf. EC2-1 art. 6.5.4 (5)})$$

$$\sigma_{Rd,max} = \sigma_{Rd} \times \sqrt{(A_{c,1} / A_{c,0})} \quad 22,7 \text{ MPa} \quad (\text{incl. gedeeltelijk belaste gebieden cf. EC2-1 art. 6.7})$$

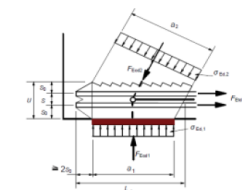
$$f_{Rd} = f_{bed} \leq 0,85 \times f_{ctd} \quad \text{not MPa} \quad (\text{druksterkte oplegmateriaal minimaal gelijk aan 21,7 MPa})$$

$$F_{Rd,max} = \sigma_{Rd} \times l \times b \quad 5315 \text{ kN} > F_{t,Ed} = 5085 \text{ kN}$$

Voldoet

Voldoet

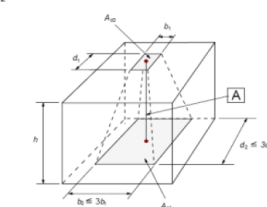
Voldoet



$$h = 100 \text{ mm (spreiding tot 1e laag wapening)}$$

$$b_2 = 490 \text{ mm} \leq 550 \text{ mm}$$

$$d_2 = 700 \text{ mm} \leq 1180 \text{ mm}$$



Voldoet

Controle drukdiagonaal

Controle hoek drukdiagonaal (EC2-1 art. 1.3)

$$\theta \quad 66,6^\circ \leq 68,2^\circ$$

Voldoet

Afmetingen drukdiagonaal

$$l_1 = 770 \text{ mm}$$

$$h = 707 \text{ mm}$$

$$b = 490 \text{ mm}$$

Controle drukspanning drukdiagonaal (EC2-1, formule (6.61):

$$v' = 1 - f_{ctd} / 250 \quad 0,86 -$$

$$k_2 = 0,85 -$$

$$\sigma_{Rd,max} = k_2 \times v' \times f_{ctd} \quad 18,8 \text{ MPa} \quad (+10\% \text{ cf. EC2-1 art. 6.5.4 (5)})$$

$$F_{Rd,max} = \sigma_{Rd} \times b \times h \quad 6502 \text{ kN} > F_{t,Ed} / \sin(\theta) = 5540 \text{ kN}$$

Voldoet



Controle trekstaaf

Afmeting trekband

$$l_{c,eff} = 394,3571 \text{ mm} \quad A_s = A_{s,eff} = 12643 \text{ mm}^2$$

$$b = 600 \text{ mm} \quad f_{yd} = 435 \text{ MPa}$$

Capaciteit trekband

$$F_{Rd} = A_s \times f_{yd} \quad 5497 \text{ kN} > F_{t,Ed} / \tan(\theta) + F_{t,Ed} = 2549 \text{ kN}$$

Voldoet

Controle scheurwijdte (EC2-1, art. 7.3.4)

$$A_{c,eff} = l_{c,eff} \times b \quad 236614,23 \text{ mm}^2 \text{ (trekband)}$$

$$\rho_{eff} = A_{s,eff} / A_{c,eff} \quad 0,05 -$$

$$\phi_{eq} = \sqrt{(n \times \phi_1^2) / (n_1 \times \phi_1)} \quad 37,0 \text{ mm}$$

$$F_{t,SL5} = F_t / \tan(\theta) + F_h \quad 1699 \text{ kN}$$

$$\sigma_t = F_{t,SL5} / A_s \quad 134 \text{ MPa}$$

$$S_{t,max} = k_3 c + k_1 k_2 k_3 \phi_{eq} / \rho_{eff} \quad 474 \text{ mm}$$

$$1,3 \times (h - x_e) \quad 3250 \text{ mm}$$

$$f_{ct,eff} = f_{ctm} \quad 3,2 \text{ MPa}$$

$$\alpha_1 = E_t / E_{cm} \quad 5,87 -$$

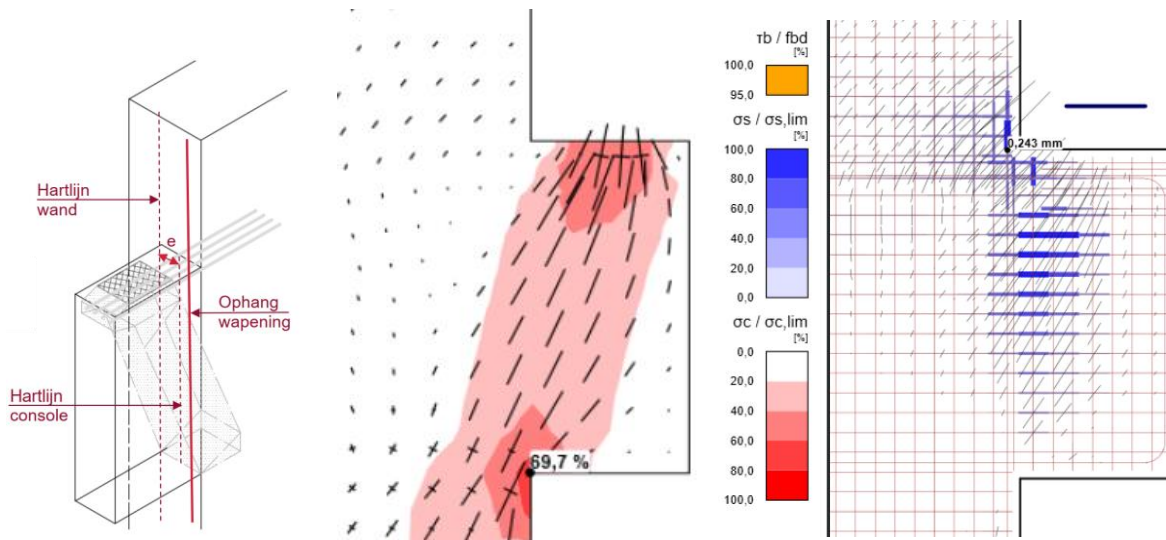
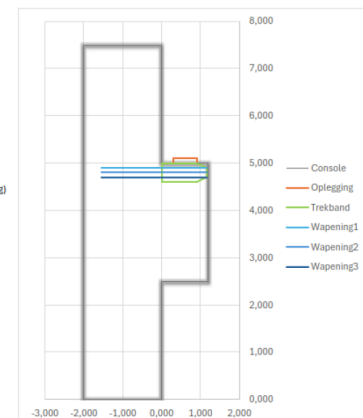
$$C_{min} \quad 50 \text{ mm}$$

$$\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm} = (\sigma_t - k_f f_{ct,eff} / \rho_{eff} (1 + \alpha_1 \rho_{eff})) / E_s = 5,1E-04 -$$

$$0,6 \sigma_t / E_s = 4,0E-04 -$$

$$w_1 = S_{t,max} \times (\epsilon_{sm} - \epsilon_{cm}) = 0,24 \text{ mm} \leq 0,25 \text{ mm}$$

Voldoet

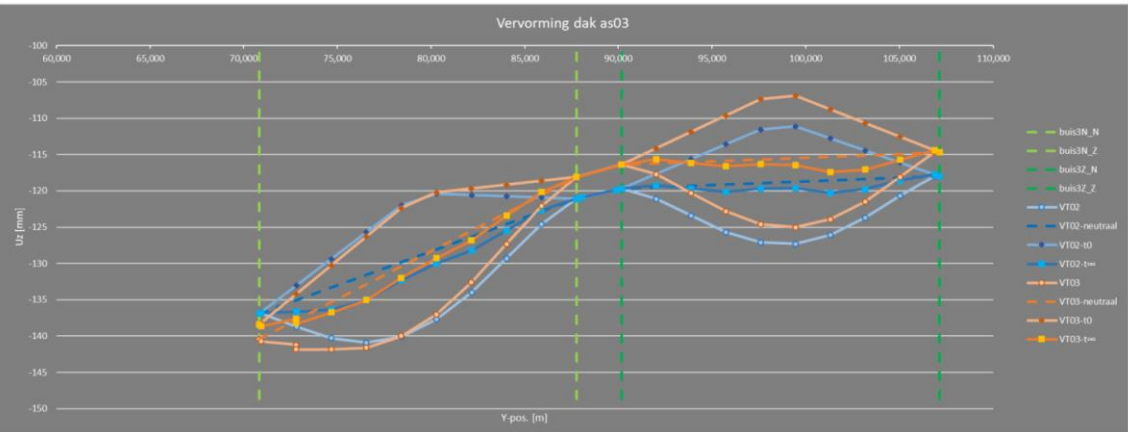
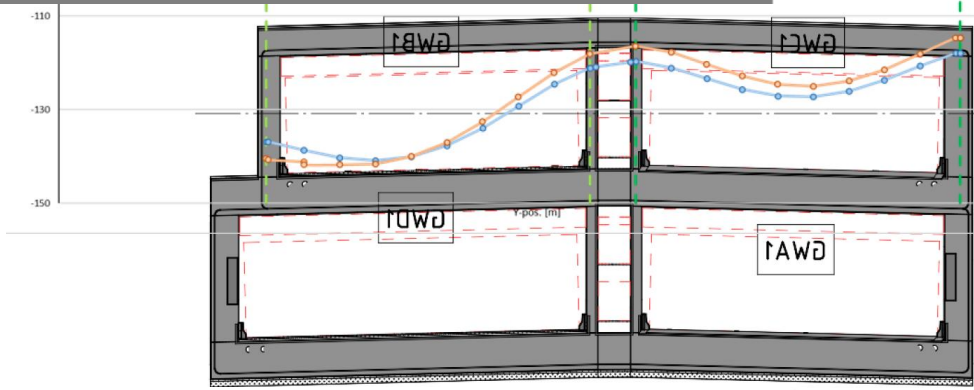
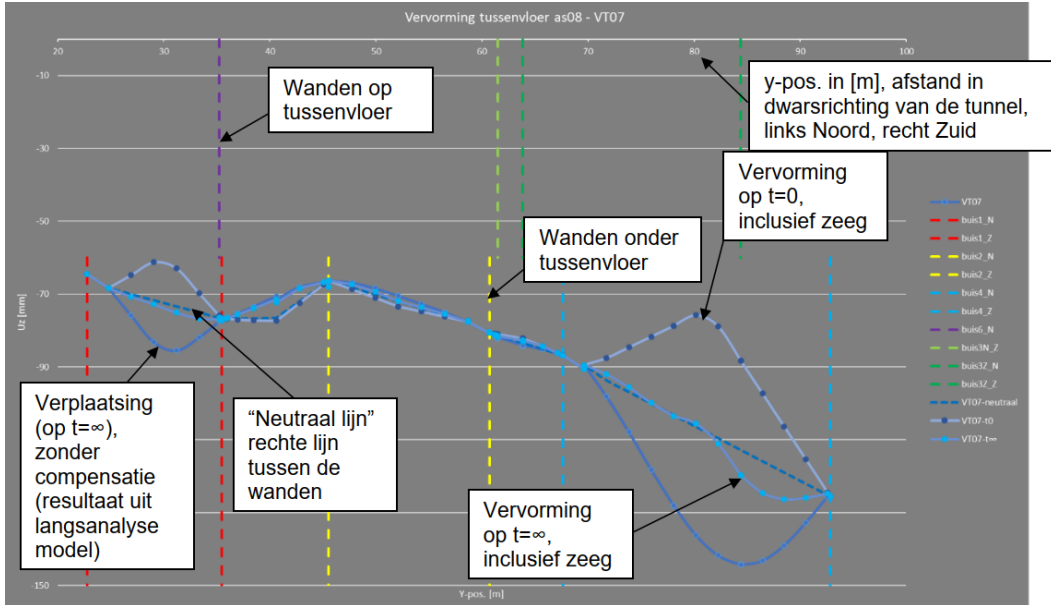
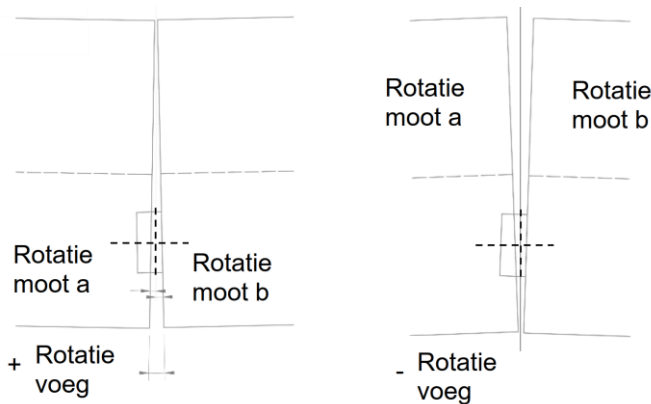


Voegen

Aanpak:

- Lokale effecten
- Globale effecten

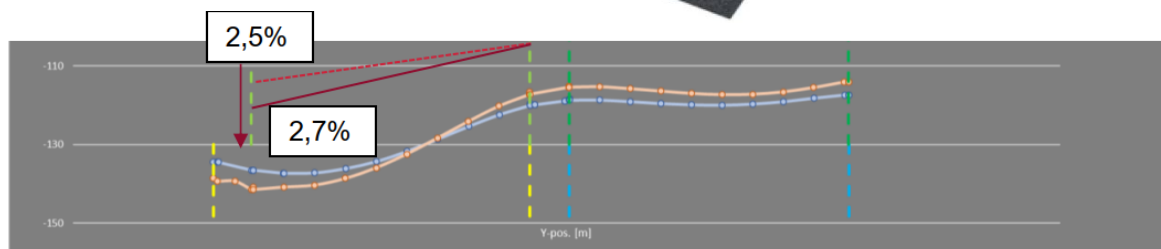
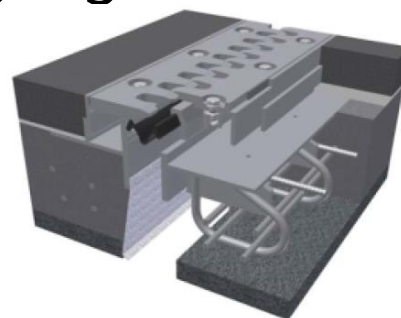
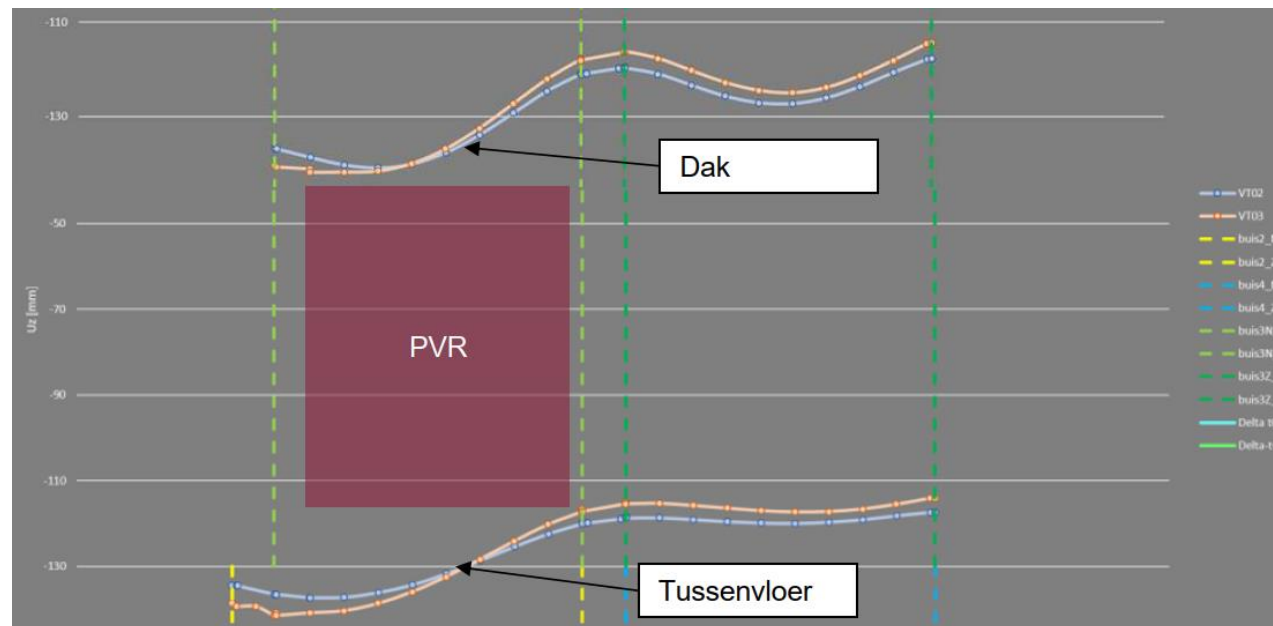
29



Voegen

Toetsingen:

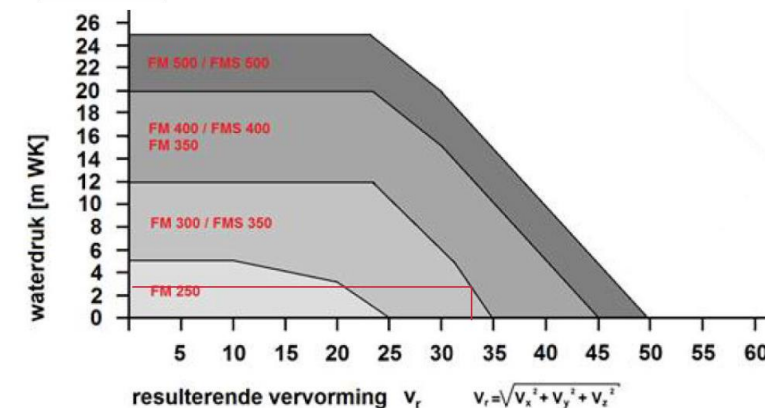
- PVR
- Dilatatieprofiel
- Dwarsverkanting*
- Voegovergang**



*) zonder correctie met uitvulling

**) Voegovergang later vervangen voor een vloertand

Dilatatieprofiel



$$U_{SLS,K,\Sigma} = 32,7 \text{ mm} < 35 \text{ mm}$$

voldoet

Gebruik situatie

$$WK = h_{\text{water}} = 1,5 \text{ m (waterkolom)} < \text{ca. } 2,5 \text{ m}$$

voldoet



Vragen?

