

Datum:

8 juli 2020

Auteur:

Milan Hinborch

Bestemd voor:

Betuwse Waard

Referentie:

1218-0024-001.R62

Controle: Werner Halter



Titel:

Constructieve toets heavescherm Dijkversterking Wolferen - Sprok

1. Inleiding

Ten behoeve van het ontwerpspoor piping en heave zijn in ontwerploop 3 van Dijkversterking Wolferen – Sprok de dimensies van de heaveschermen bepaald [4]. Voor het ontwerp zijn analyses uitgevoerd met Plaxis 2D (Flow-module). Hierbij zijn alleen de grondwaterstroming en het mechanisme heave beschouwd, waaruit de benodigde lengte en diepte in het zand en vereiste waterdichtheid van de heaveschermen volgt. De constructieve sterkte van de heaveschermen is niet beschouwd, aangezien dit niet relevant is voor het ontwerpspoor piping.

De heaveschermen worden deels uitgevoerd in de vorm van kunststof damwanden, die onder de berm worden aangebracht. Om de functie als heavescherm te kunnen vervullen, dienen de damwanden waterdicht te zijn. Dit betekent onder meer dat de damwanden niet mogen bezwijken onder maatgevende omstandigheden. Om dit te verifiëren is een analyse gemaakt, waarin de constructieve sterkte en de vervormingen van het heavescherm zijn beschouwd.

De sterkte en stijfheid van kunstdamwanden zijn zeer gering in vergelijking met de stalen damwanden die elders in de dijkversterking als langconstructie worden toegepast. Daar staat tegenover dat de damwanden geen bijdrage hoeven te leveren om de macrostabiliteit van de dijk te garanderen. Er ontstaan na installatie echter wel degelijk krachten op de kunststof damwanden door ongelijke waterdrukken aan weerszijden, door een niet-horizontaal maaiveldverloop en door zettingen door grondophogingen.

2. Aanpak

De kunststofdamwanden dienen onder alle omstandigheden waterdicht te zijn. Concreet betekent dit het volgende:

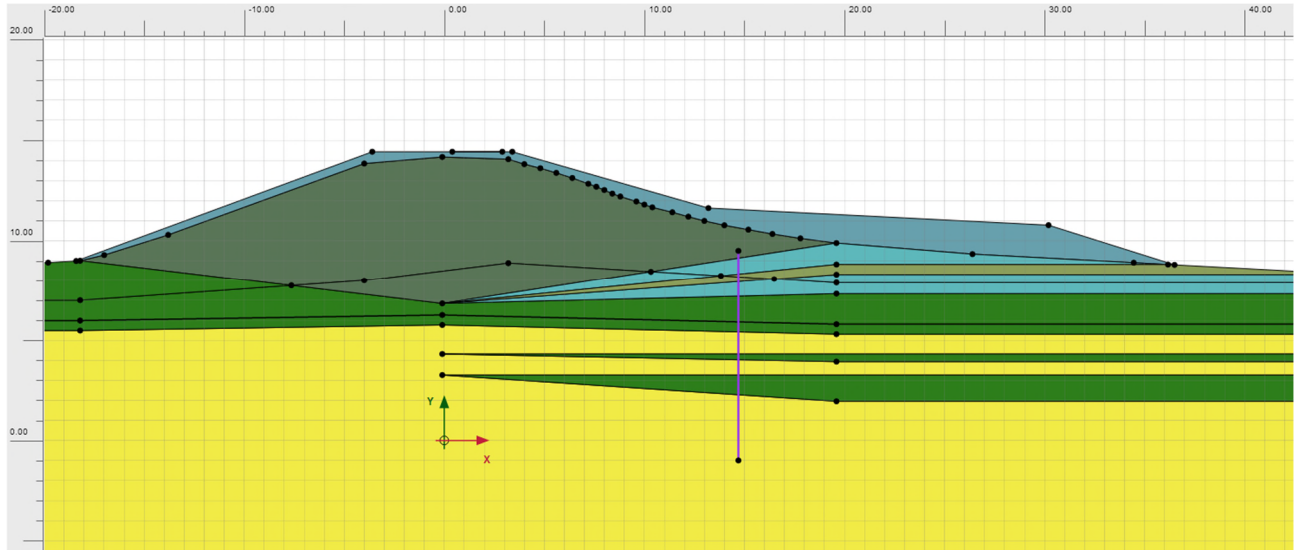
- De damwanden dienen met de sloten aan elkaar verbonden te blijven. Tijdens installatie van de damwanden moet dit worden aangetoond. Daarna mogen er geen grote vervormingen optreden waardoor de damwanden uit het slot kunnen schieten.
- De damwanden dienen constructief voldoende sterk te zijn, zodat de damwanden niet scheuren of breken.
- De vervormingen van de grond rondom de damwand dienen voldoende klein te zijn, zodat er geen scheuren of spleten ontstaan waardoor een kwelweg langs de damwand kan ontstaan.
- De installatiediepte dient op hetzelfde niveau te blijven, dus de damwand mag niet wegzakken ten gevolge van negatieve kleef in de deklaag.

Om bovenstaande voorwaarden te controleren, is een Plaxis 2D-analyse uitgevoerd, waarin de sterkte van het heavescherm en de vervormingen van de damwand en grond berekend zijn. Hierbij is de aanpak van de constructieve schermen (stalen damwanden) gevolgd, met een fasering bestaande uit de modellering van de huidige dijk, aanleg van het heavescherm en de berm en de hoogwatersituatie.

3. Uitgangspunten

Bij de berekeningen van het heavescherm zijn de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Algemene uitgangspunten met betrekking tot grondparameters, waterstanden, stijghoogte en Plaxisparameters op basis van de uitgangspuntennotitie [1] en constructief ontwerp casussen [2].
- Profiel DD282+070 in sectie 17 is als representatief profiel beschouwd (zie figuur 1), omdat hier relatief veel zettingen optreden door het dikke pakket slappe lagen in de ondergrond. De bodemopbouw en geometrie zijn overgenomen uit de ontwerpberekening van de berm met D-Stability [3].
- De positie van het heavescherm is op 1,5 m uit het knikpunt binnentalud-berm. De bovenkant ligt op NAP +9,5 m en de onderkant op NAP -1,0 m [4].
- De onderstaande fasering is aangehouden. Hierbij is het uitgangspunt dat eerst de damwand wordt aangebracht en vervolgens de ophoging van de berm.
 - Huidige dijk onder dagelijkse omstandigheden
 - Aanbrengen heavescherm
 - Aanbrengen ophoging kruin en berm
 - Zetting en bodemdaling gedurende 100 jaar (levensduur constructie)
 - Maatgevend hoogwater (onverzadigde situatie zonder en verzadigde situatie met significante overslag)
- Voor de kunststof damwand is uitgegaan van het middelste type qua zwaarte dat bij de inbrengproef van het heavescherm is toegepast, omdat dit tijdens de proef het meest geschikt bleek. Dit is een type CL-9000 (zie bijlage) met de volgende eigenschappen:
 - Buigstijfheid: $EI = 261,19 \text{ kNm}^2/\text{m}$
 - Rekestijfheid: $EA = 31800 \text{ kN/m}$
 - Rekenwaarde opneembaar moment: $M_{r,d} = 19,22 \text{ kNm/m}$



Figuur 1: Dwarsprofiel DD282+075 met geometrie, bodemopbouw en locatie heavescherm (paars)

4. Resultaten analyse

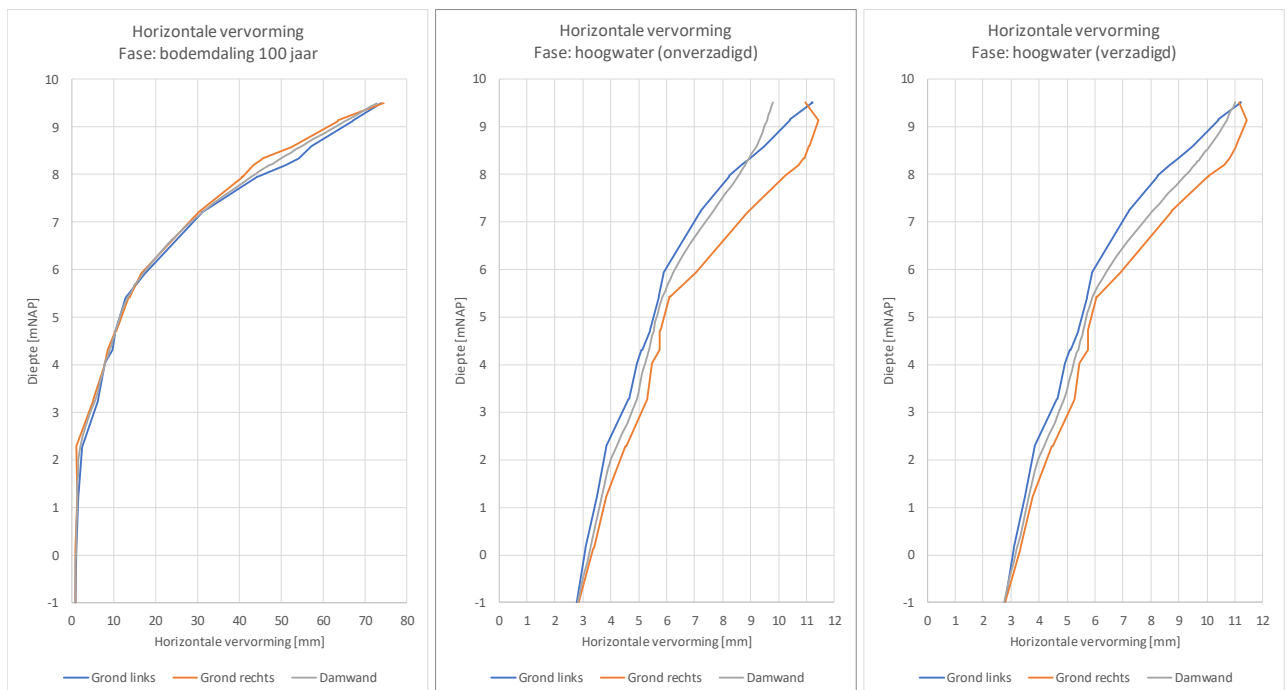
In de Plaxisanalyse zijn de grondvervormingen, vervormingen van de damwand en krachten in de damwand berekend. De resultaten met de maximum uitbuiging, het moment per fase en de zakking van de damwand bij de voet zijn samengevat in onderstaande tabel. Voor de momenten in de hoogwaterfasen zijn zowel de karakteristieke als de rekenwaarden gegeven. De rekenwaarden zijn bepaald met de veiligheidsfactoren die gelden voor het ontwerp van de stabiliteitsschermen. De output van de Plaxisberekening met de vervormingen en momenten is opgenomen in de bijlage.

Tabel 1: Resultaten Plaxisanalyse heavescherm

Fase	Uitbuiging damwand per fase (totaal) [mm]	Maximum moment (rekenwaarde) [kNm/m]	Zakking voet damwand per fase (totaal) [mm]
Aanbrengen heavescherm	< 1	0,1	< 1
Aanbrengen berm	5	0,2	5
Bodemdaling 100 jaar	67 (72)	1,6	2 (7)
Maatgevend hoogwater (onverzadigd)	10 (82)	1,7 (1,8)	0 (7)
Maatgevend hoogwater (verzadigd)	11 (83)	1,7 (1,8)	0 (7)

Uit de berekening blijkt dat de grootste vervormingen en toename van het moment optreden in de fase met de bodemdaling. Aan de bovenzijde van het heavescherm treedt een zakking op van ca. 15 cm. Aan de onderzijde van de deklaag is de zakking nog maar 1 à 2 cm. Deze zakking treedt echter geleidelijk op gedurende meerdere jaren door zetting en inklinking van de ondergrond. De zakking van de damwand bij de voet is beperkt en bedraagt maximaal ca. 1 cm. De toename van het moment en de vervorming tijdens de hoogwatersituatie is zeer gering. De grootste vervormingen in de hoogwaterfase treden op aan de binnendijkse rand van de berm, waar de oprijf/opbarstzone zich bevindt. De vervormingen rondom het heavescherm beperken zich tot ca. 2 à 3 cm.

In figuur 2 zijn de horizontale vervormingen aan weerszijden van de damwand en de uitbuiging van de damwand uitgezet in de diepte langs het heavescherm. Dit is gedaan voor de fase met de bodemdaling en de hoogwatersituatie (onverzadigd en verzadigd). Uit de grafieken blijkt dat de verschilverplaatsing aan weerszijden van de wand beperkt is tot maximaal ca. 10 mm in de fase met de bodemdaling en maximaal ca. 2 mm in de hoogwaterfasen. Dit treedt op op ca. 1 m onder de bovenzijde van het heavescherm. Aan de bovenzijde is de vervorming kleiner en ook op het niveau van onderkant deklaag (NAP +5,4 m) is de verschilvervorming heel klein (ca. 1 mm).



Figuur 2: Horizontale vervormingen grond en damwand

5. Conclusies en aanbevelingen

Om de constructieve sterkte en vervormingen van het heavescherm te toetsen, is een Plaxisanalyse uitgevoerd met een kunststof damwand voor een representatieve situatie. De vervormingen en kracht in de grond en damwand zijn berekend voor een fasering van aanleg tot hoogwater gedurende de levensduur van het heavescherm. Op basis van de analyse kunnen de volgende conclusies worden getrokken:

- Een kunststof damwand heeft een dusdanig lage stijfheid, dat deze goed in staat is de grondvervormingen te volgen en nauwelijks kracht naar zich toe trekt.
- De grootste grondvervormingen in de dijk treden op rond het uiteinde van de berm en de kruin van de dijk. De vervorming rondom het heavescherm zijn beperkt. Dit komt ook doordat de bovenkant van het heavescherm op enkele meters onder maaiveld wordt afgewerkt.
- Het maximum moment dat optreedt in het heavescherm bedraagt ca. 2 kNm/m in de maatgevende hoogwatersituatie. Dit is veel minder dan de toelaatbare waarde van 19 kNm/m bij het type heavescherm dat waarschijnlijk toegepast gaat worden (CL-9000). Het risico op bezwijken of breken van de damwand is dus voldoende klein.
- De horizontale vervorming van de kunststof damwand kan oplopen tot ca. 5 à 10 cm gedurende de levensduur van het heavescherm (100 jaar). Deze vervormingen treden echter geleidelijk op in de tijd. De vervormingen die tijdens een hoogwatersituatie optreden zijn beperkt tot ca. 1 cm. Deze vervormingen worden niet als een probleem gezien voor het functioneren van het heavescherm.
- De verschilvervormingen van de grond aan weerszijden van het heavescherm bedragen maximaal ca. 10 mm in de fase met de bodemdaling. In de hoogwaterfase is de verschilvervorming maximaal ca. 1 mm aan de bovenzijde van het heavescherm. Ter hoogte van de onderzijde van de deklaag zijn de vervorming zeer klein. De optredende vervormingen zijn zo klein, dat het risico van uit het slot springen van de damwand gedurende de levensduur voldoende klein wordt geacht. De vervormingen zijn ook zo klein, dat het niet waarschijnlijk is dat er een doorgaande spleet langs het heavescherm ontstaan waardoor kortsluiting en kwel langs de damwand kunnen ontstaan. De waterdichtheid van een zorgvuldig in de sloten geïnstalleerd heavescherm is op basis van de berekende vervormingen dus voldoende klein.
- Door de zakking van grond langs de damwand en negatieve kleef kan de damwand gaan meezakken. De zakking van de damwand bij de voet in het zand bedraagt maximaal ca. 1 cm en treedt grotendeels op door de zetting van de berm. De zakking is dusdanig beperkt dat het installatieniveau van de damwand gegarandeerd blijft.

De volgende aanbevelingen worden gedaan:

- Ondanks het zeer lage berekende moment in het heavescherm wordt aanbevolen een kunststof damwand toe te passen met een opneembaar moment van minimaal 10 kNm/m (rekenwaarde) om te voorkomen dat het heavescherm bezwijkt.
- In de analyse is gerekend met een kunststof (vinyl) damwand type SL-9000 met een weerstandsmoment van $W_x = 871 \text{ cm}^3/\text{m}$, traagheidsmoment van $I_x = 9969 \text{ cm}^4/\text{m}$ en buigstijfheid $EI = 261,19 \text{ kNm}^2/\text{m}$. Om grote afwijkingen van de analyseresultaten in de praktijk te voorkomen, wordt aanbevolen een damwand te gebruiken die niet meer dan +/-50% van deze waarden afwijkt.

6. Referenties

Voor dit document is gebruik gemaakt van de volgende informatie:

- [1] Dijkversterking Wolferen-Sprok Technische Uitgangspunten Notitie Planuitwerkingsfase, versie 6, 1218-0024-001.R08, 14 november 2019
- [2] Ontwerp langconstructies, Ontwerp constructies bij casussen, Ontwerpteam De Betuwse Waard, 1218-0024-001.R33, versie 2.0, 26 juni 2020
- [3] Dijkversterking WoS Macrostabieliteit, Ontwerploop 3, Ontwerpteam De Betuwse Waard, 1218-0024-001.R10, versie 1.0, 12 mei 2020
- [4] Ontwerp STPH, Ontwerpteam De Betuwse Waard, 1218-0024-001.R03, versie 1, 26 juni 2020

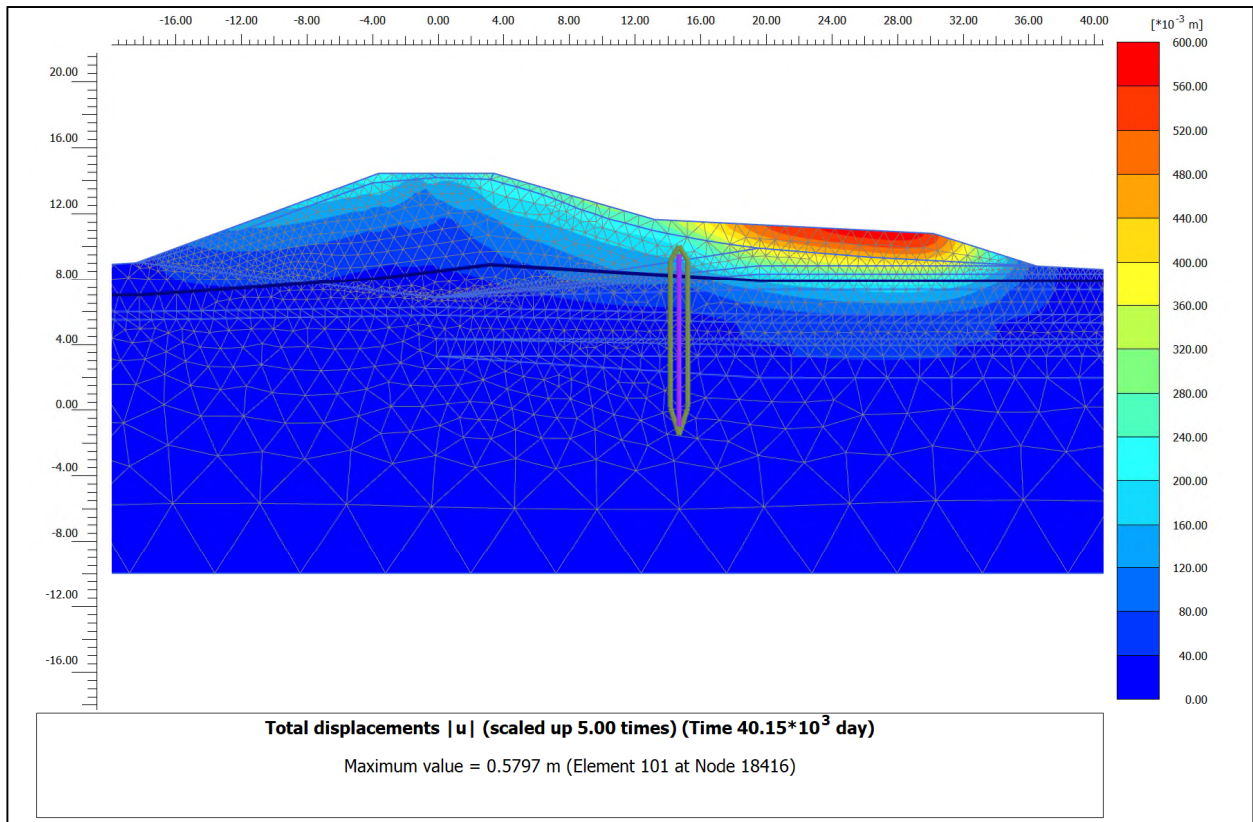
7. Bijlage

Eigenschappen kunststof SPS-damwanden (type CL-9000 toegepast in berekening)

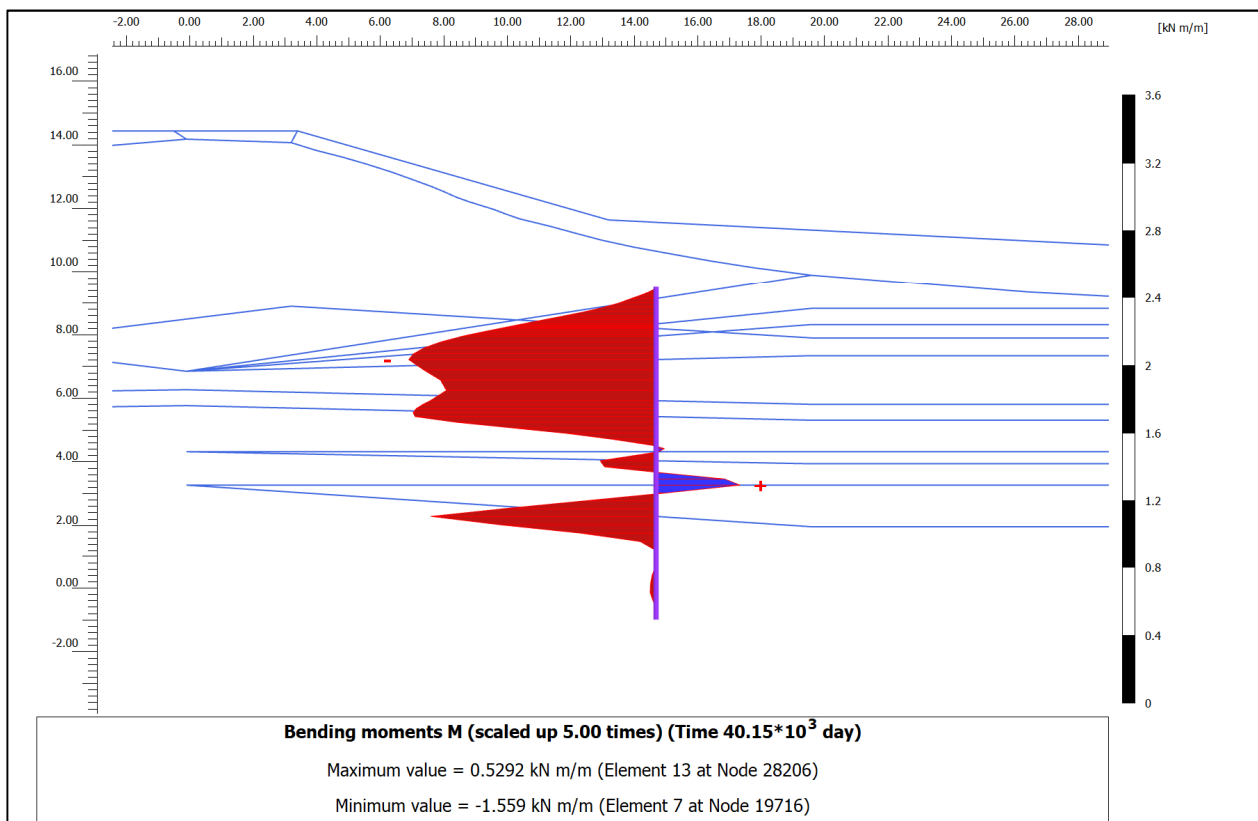
Type	Opneembaar	Opneembaar	Weerstands	Traagheids	Buig	Dikte	Hoogte	Breedte	Profiel	Gewicht per plank	Gewicht per m2	Doorsnede	Omtrek	Hardhout (nieuw Azobé)		
	Moment rep.	Moment rek.	Moment	Moment	Stijfheid							A		$f_{m,0,2,rep}$ [N/mm ²]	$E_{0,047,rep}$ [N/mm ²]	
	[kNm/m]	[kNm/m]	[cm ³ /m]	[cm ³ /m]	[kNm ² /m ³]							enkelzijdig		60	17000	
	A	B										Dikte		t_{min} [mm]	t_{min} [mm]	
Shore Guard																
V	SG-225	17,08	8,54	387	2.458	64,40	5,7	127	457	Ω	6,02	13,17	91,47	1,60	41,33	35,69
	SG-325	26,34	13,17	597	5.326	139,54	6,4	178	610	Ω	8,99	14,74	102,41	1,57	51,32	46,18
	SG-425	33,92	16,96	769	7.784	203,94	7,2	203	610	Ω	10,38	17,02	118,26	1,64	58,24	52,41
	SG-550	46,26	23,13	1.048	10.652	279,08	9,4	203	305	Z	7,42	24,33	169,05	1,83	68,01	58,19
	SG-625	57,88	28,94	1.312	16.660	436,49	9,8	254	762	Ω	17,86	23,44	162,86	1,67	76,08	67,54
N	SG-650	70,22	35,11	1.591	20.212	529,55	9,8	254	457	Z	11,8	25,82	179,45	1,80	83,80	72,04
	SG-750	86,36	43,18	1.957	24.854	651,17	11,7	254	305	Z	10,86	35,61	247,48	2,17	92,93	77,17
	SG-825	87,05	43,53	1.973	30.043	787,12	12,2	305	762	Ω	23,21	30,46	211,70	1,73	93,30	82,21
Y	SG-850	88,24	44,12	2.000	25.400	665,48	13,1	254	457	Z	15,44	33,78	231,00	1,80	93,94	77,74
L	SG-950	134,74	67,37	3.054	46.567	1.220,06	16,5	305	457	Z	20,76	45,43	315,60	1,99	116,08	95,14
	C-Lock															
	CL-9000	38,44	19,22	871	9.969	261,19	7,1	229	610	Ω	10,72	17,57	121,39	1,70	62,00	56,92
	CL-9900	47,44	23,72	1.075	12.290	322,00	8,9	229	610	Ω	13,31	21,82	151,62	1,72	68,88	61,03
	Flat Panel															
	FP-475	48,64	24,32	1.102	6.145	161,00	6,4/6,1	178	610	FP	11,75	19,27	79,57	2,03	69,74	48,44
	FP-575	74,02	37,01	1.677	12.430	325,67	7,4/12,1	229	610	FP	14,31	23,46	163,00	2,06	86,03	61,26
	Ultra Composite															
compo	UC-30	96,38	48,19	698	7.101	1.958,38	6,4/6,7	203	457	Z	9,2	20,13	99,58	1,44	98,17	111,4
	UC-50	154,20	77,10	1.118	14.200	3.916,22	8,3/9,0	254	914	Ω	22,99	25,15	130,39	1,48	124,18	140,35
Siet	UC-75	281,70	140,85	2.043	36.325	10.018,07	10,2/10,9	356	610	Z	19,88	32,59	173,13	1,60	167,84	191,94
	UC-95	433,68	216,84	3.145	67.870	18.717,87	13,7	432	762	Z	31,37	41,17	218,70	1,56	208,25	236,41
Opmerkingen:																
Kolom A: Opneembaar moment / spanning zonder veiligheidsfactor																
Kolom B: Opneembaar moment / spanning met veiligheidsfactor 2*																
* veiligheidsfactor (2); o.b.v. levensduur 100 jaar.																
Materiaal modulus "Hard PVC"; $\sigma_s = 22,06$ N/mm ²																
Materiaal modulus "Ultra Composite"; $\sigma_s = 68,95$ N/mm ²																
Elasticiteit modulus "Hard PVC"; $E = 0,02620 \cdot 10^9$ N/mm ²																
Elasticiteit modulus "Ultra Composite"; $E = 0,27579 \cdot 10^9$ N/mm ²																
Vergelijk met hout o.b.v. representatieve waarden; vergelijk alléén mogelijk voor nieuw materiaal!																
Voor een vergelijk met staal en/ of aluminium damwand profielen verzoeken wij u contact met ons op te nemen.																



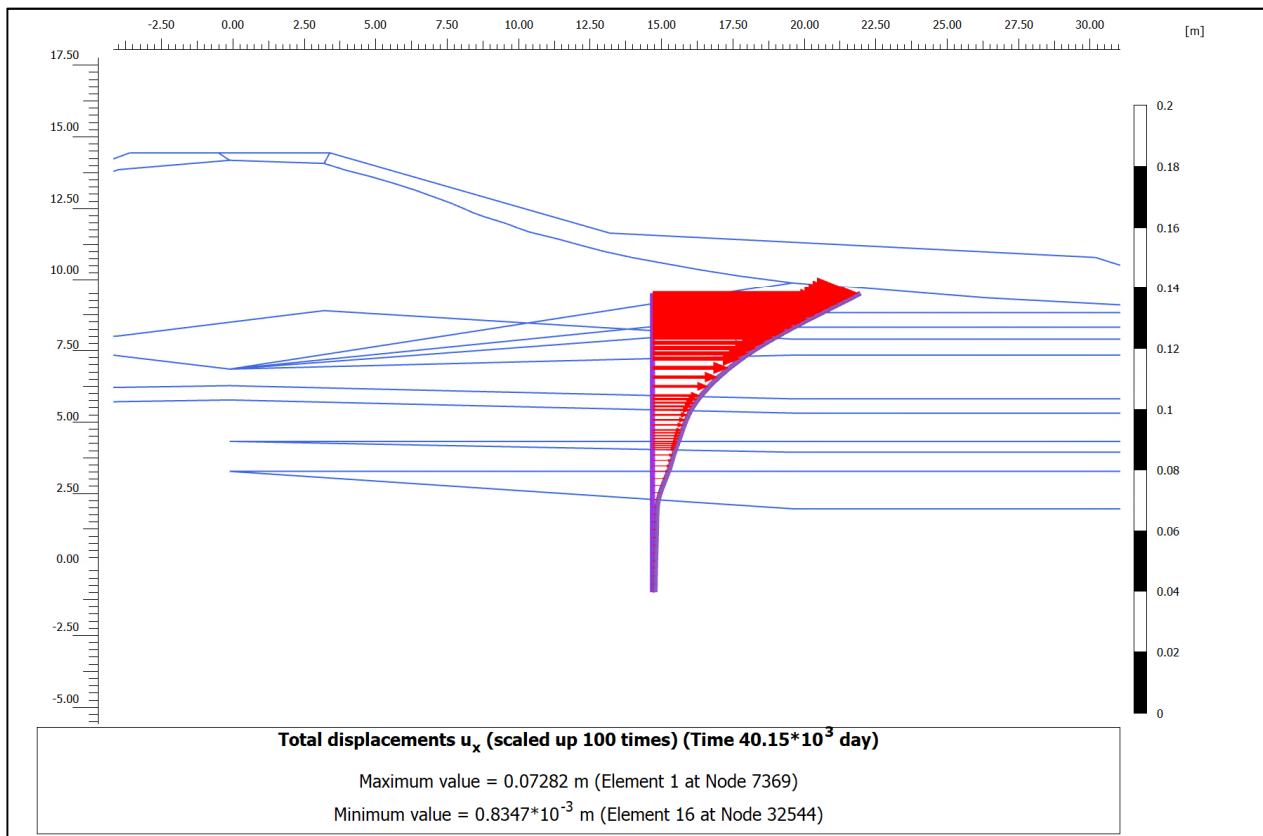
Resultaten Plaxisanalyse



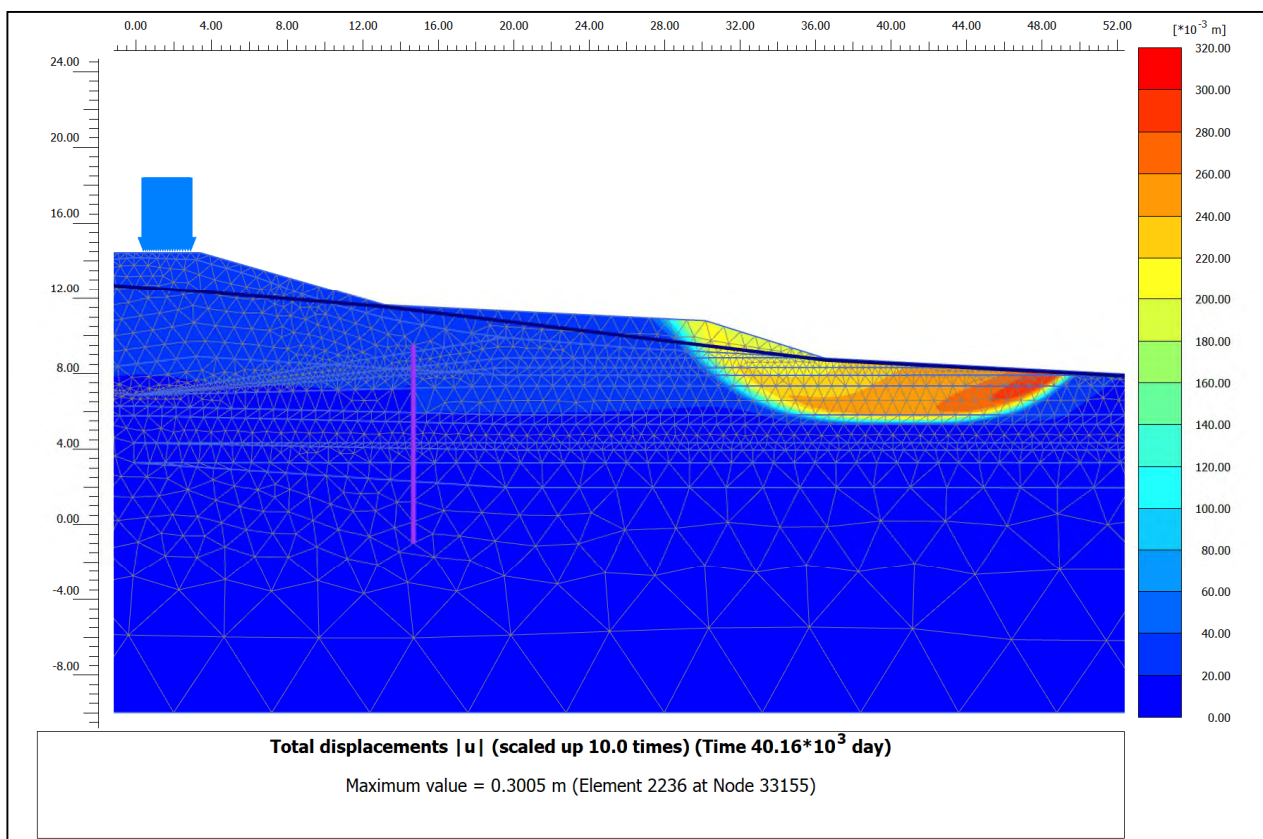
Figuur 3: Grondvervorming in de fase met bodemdaling (100 jaar)



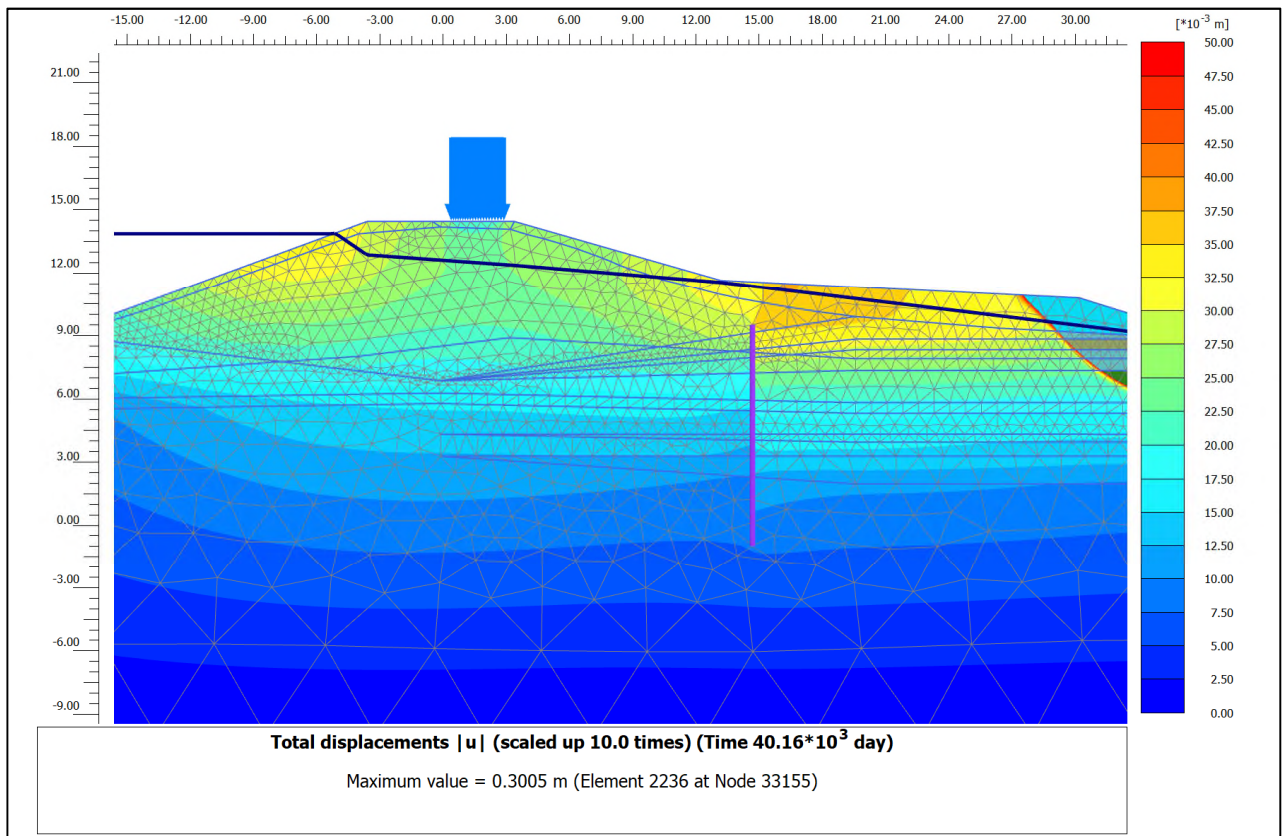
Figuur 4: Moment in de damwand in de fase met bodemdaling (100 jaar)



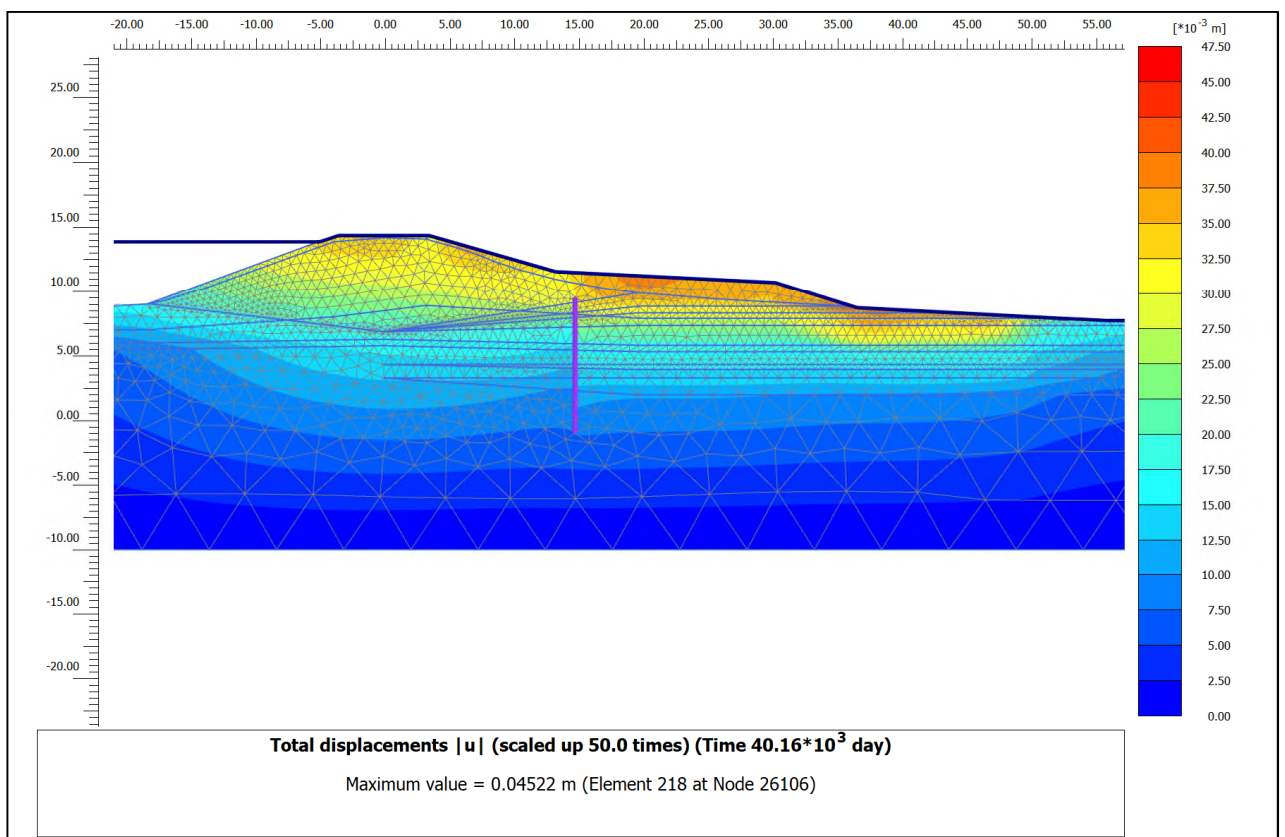
Figuur 5: Uitbuiging damwand in de fase met bodemdaling (100 jaar)



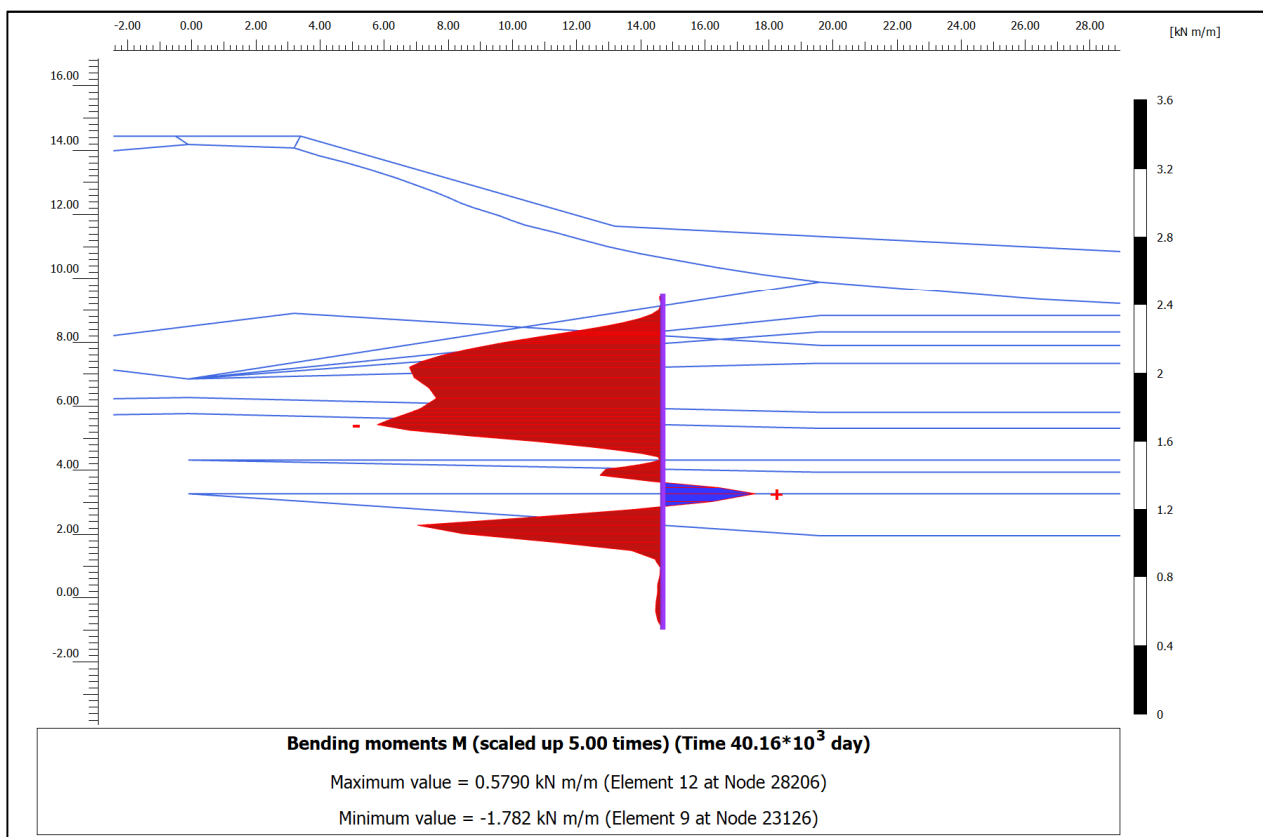
Figuur 6: Grondvervorming in de fase met hoogwater (onverzadigd) bij de berm



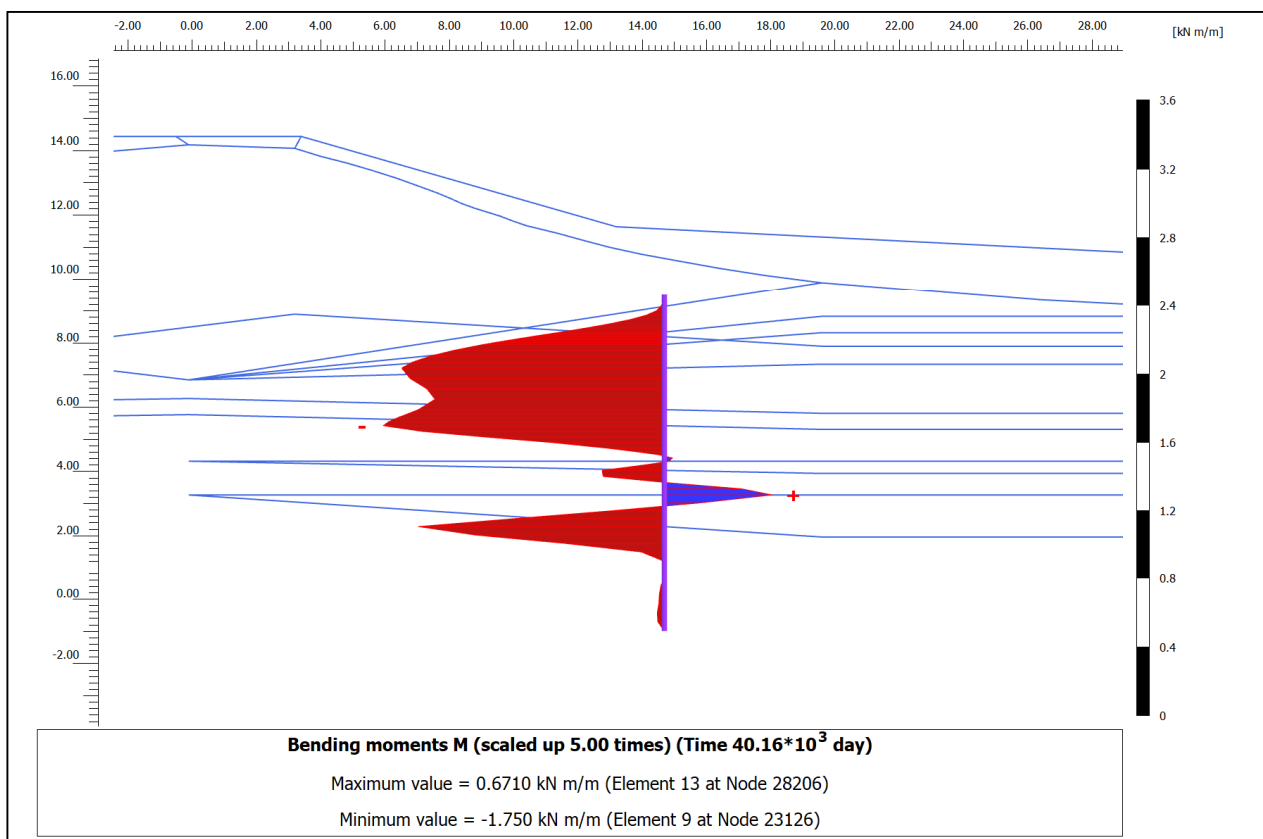
Figuur 7: Grondvervorming in de fase met hoogwater (onverzadigd) bij de damwand



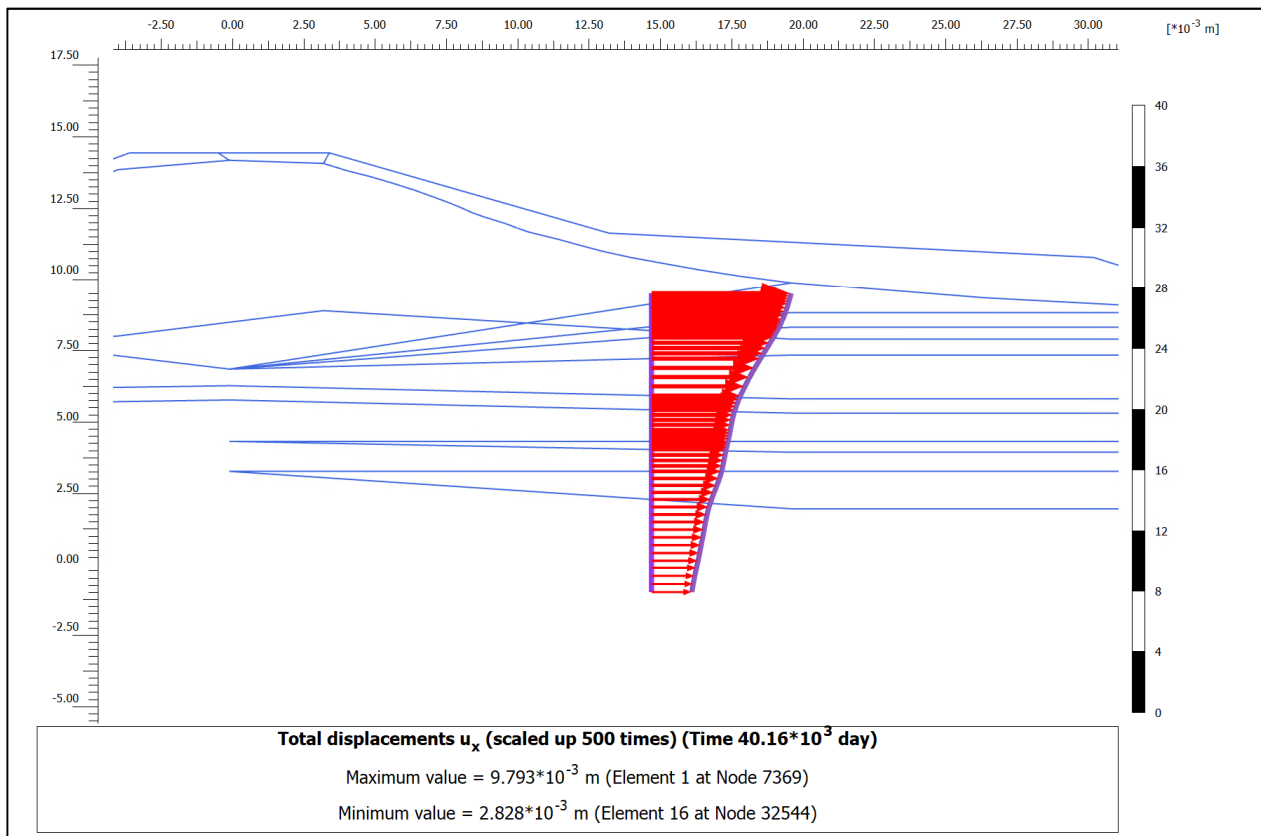
Figuur 8: Grondvervorming in de fase met hoogwater (verzadigd)



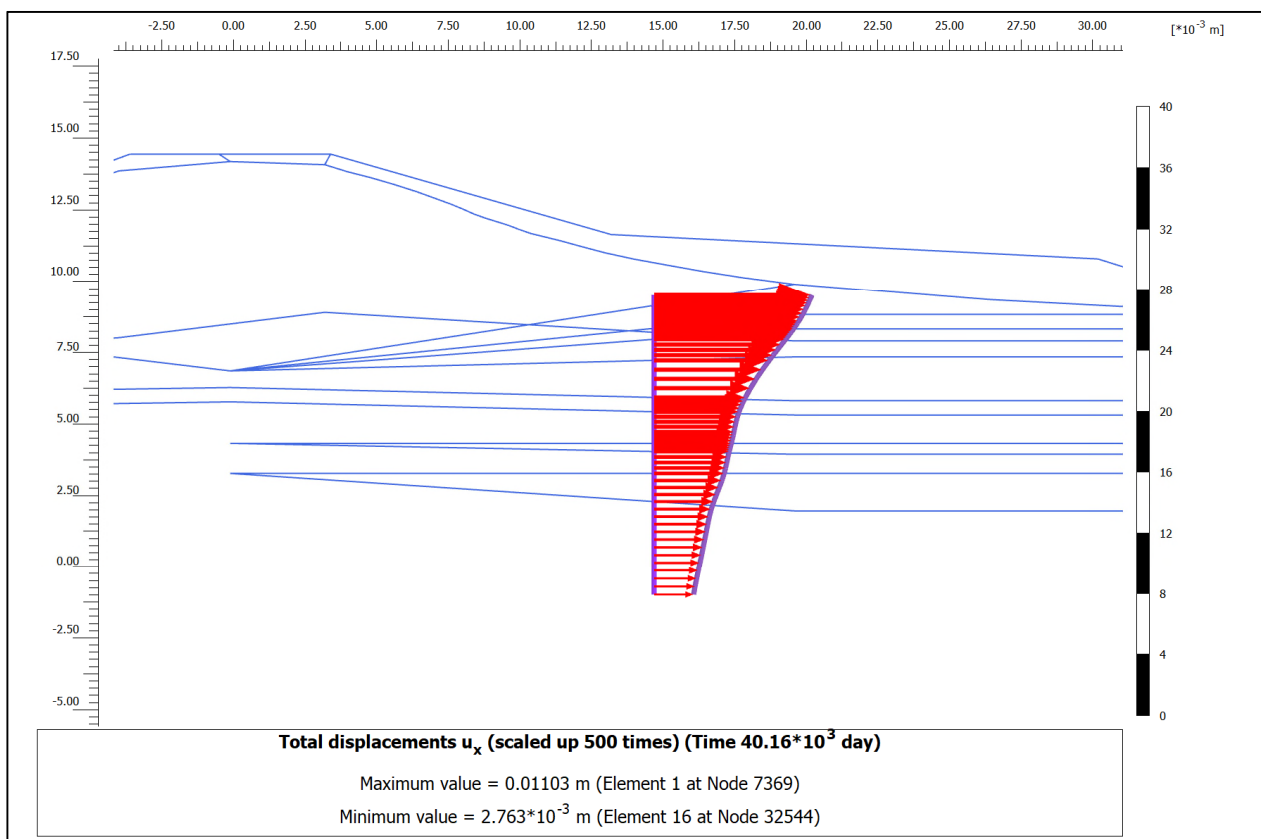
Figuur 9: Rekenwaarde moment in de damwand in de fase met hoogwater (onverzadigd)



Figuur 10: Rekenwaarde moment in de damwand in de fase met hoogwater (verzadigd)



Figuur 11: Uitbuiging damwand in de fase met hoogwater (onverzadigd)



Figuur 12: Uitbuiging damwand in de fase met hoogwater (verzadigd)