

Skive Å- Vådområde

Geoteknisk Projekteringsrapport

19.11.2021

1013671

Dokumenthistorie

Document titel: Geoteknisk Projekteringsrapport

Document reference: 1013671

Revision	Formålsbeskrivelse	Udarbejder	Tjekker	Godkender	Dato
1.0	Første udgave	MSR	AMK	BDR	25.08.2021
3.0	Revideret efter møde	MSR	AMK	BDR	02.09.2021
4.0	Revideret med bemærkninger fra VD	MSR	AMK	BDR	19.11.2021

Indhold

Kapitel	Side
1. Indledning	4
2. Forudsætninger	5
2.1. Normer	5
2.2. Generelle forudsætninger	5
2.3. Laster	6
2.4. Jordbunds- og grundvandsforhold	6
2.5. Vandspejl og grundvandsforhold	7
2.6. Geometri	7
3. Beregningsprincipper	9
3.1. Brudgrænsetilstanden (ULS)	9
3.2. Anvendelsesgrænsetilstanden (SLS)	9
3.3. Ulykkesgrænsetilstand (ALS)	10
4. Resultater	11
4.1. Beskrivelse af løsningsforslag	11
4.2. Brudgrænsetilstanden	14
4.3. Anvendelsesgrænsetilstanden	16
4.4. Negativ overflademodstand på eksisterende pæle	17
5. Anlægsoverslag	18
5.1. Sandsøjlefunderet dige	18
5.2. Spunsløsning	19
5.3. Sanddæmning med kontrabanket	21
Bilag	23
Bilag 1: Brudgrænsestilstand - Stabilitetsberegninger	24
Bilag 2: Dimensionering af spuns og HE-profiler	25
Bilag 3: Fastlæggelse af maksimal negativ overflademodstand	28
Bilag 4: Beregning af sætninger af diget	29
Bilag 5: Beregning af islaster	30

1. Indledning

Skive Kommune ønsker at etablere et vådområde i Skive Ådal mellem Koholm Å og Karup Å. Projektet betyder, at området oversvømmes, hvorved bropillerne for Skive Ådalsbro, som krydser området, kommer til at stå på vand.

Fremtidige vandspejlniveau i vådområdet forventes at ligge i ca. kote +2,0 m som middelvandstand og i +1,5 som minimal vandstand, hvor terræn i dag ligger omkring kote +0,7 m. Det planlagte vådområde kan ses på Figur 1-1.



Figur 1-1 - Oversigt over planlagt vådområde omkring bro

Atkins har i et tidligere notat /7/ vurderet, at islasterne ikke kan optages af den eksisterende konstruktion. Der skal derfor etableres afværgeforanstaltninger til optagelse af de islaster, som vil kunne opstå. Den eksisterende konstruktion er opført i 1995 – 1996 med en levetid på 100 år.

Nærværende rapport omfatter forskellige forslag til afværgeforanstaltninger til optagelse af islasterne i broens resterende levetid. Det forventes at afværgeforanstaltningerne udføres som et dige.

Udover afværgeforanstaltningen skal der ydermere etableres en adgangsvej, som Atkins i nærværende rapport har forudsat efterladt som et permanent dige mellem bropillerne med et enkelt vadested.

Den eksisterende bro er pælefunderet. Der er derfor inkluderet en vurdering af, hvorvidt sætninger af jorden omkring bropillerne kan påvirke de pælefunderede fundamenters bæreevne.

2. Forudsætninger

Grundlag og forudsætninger er sammenfattet herunder.

2.1. Normer

Tabel 2-1 – Relevante normer, projektmateriale og øvrig litteratur

Dokument	ID	Reference
Eurocode 0 - Projekteringsgrundlag for konstruktioner, inkl. DK NA	DS/EN 1990:2007 + DK NA:2017	1.
Eurocode 1 - Last på bygværker, inkl. DK NA	DS/EN 1991-1-1:2007 + DK NA:2015	2.
Eurocode 3: Stålkonstruktioner – Del 5: Pilotering	DS/EN1993-5 2009 + DK NA: 2017	3.
Eurocode 7: Geoteknik – Del 1: Generelle regler	DS/EN 1997-1: 2007 inkl. DK NA:2021	4.
Eurocode 1 Tillæg DK: 2015 Islast	DS/EN 1991 Islast	5.
Petroleum and natural gas industries – Arctic offshore structures	BS EN ISO 19906:2019.	6.
Projektmateriale		
Teknisk notat "Etablering af vådområdeprojekt ved Skive-Karup å ved statsvej 443 Skive Forbindelsesvej-Konsekvensvurdering af eksisterende vejbro", Atkins Danmark, 03.04.2019		7.
Geoteknisk undersøgelse rapport 1, Geo projekt nr. 204141 –Skive, Skive Ådal, Anlæggelse af sø i Skive Ådal, 01.10.2020		8.
Geoteknisk rapport. Vejdirektoratet. Strækning 6818.Forbindelsesvej Skive Syd. Bro 443-0002, Rapport 1, Rambøll Sag 94.3359, 1995-06-09		9.

2.2. Generelle forudsætninger

Beregningerne er foretaget med følgende generelle forudsætninger:

- Koten af afværgeforanstaltningen varierer, men skal minimum være i kote +2,4 m.
- Kronebredden er forudsat lig 12 m ved bropillerne og 5 m mellem disse. Der er derfor i beregningerne regnet med en middel kronebredde på 8,5 m
- Skråningsanlæg af dige er valgt a = 5,0
- Konsekvensklasse = CC2
- I forbindelse med installationen og udlægning af diget (Midlertidige situation) er der regnet med partialkoefficienter svarende til $\alpha = 0,5$ i henhold til /4/.
- Geoteknisk kategori = GK2
- Stålkvalitet = S355
- Rust af spuns i henhold til /3/– Pr. side
 - uforstyret jord = 0,012 mm/år
 - Ferskvand = 0,015 mm/år

- blødbund

= 0,0325 mm/år

Det kan overvejes at installere offeranoder for derigennem at reducere rustfradraget, men det er ikke medtaget i nærværende beregninger.

- Levetid = 1996+100 år – 2022 = 74 år
- Eksisterende pæle regnes uasfalterede
- Sætninger medregnes ned til det niveau, hvor belastningen fra diget giver en tillægsspænding er 20% af insituspændingen.

2.3. Laster

Det fremtidige dige skal dimensioneres for de i nærværende afsnit angivne laster.

2.3.1. Generelle laster

Digerne regnes med følgende karakteristiske laster:

- Midlertidig situation, jævnt fordelt karakteristisk, q_k = 20 kN/m²
- Permanent situation, jævnt fordelt karakteristisk, q_k = 5 kN/m²

2.3.2. Islast

Islast bestemmes i henhold til Eurocode 1 Tillæg DK: 2015 Islast /5/ og ISO 19906 /6/.

Islasten er beregnet i bilag 5. Under de aktuelle forhold vil den maksimale islast på konstruktionen udgøre:

$Q_{h,k}$ = 24,5 kN/m

I beregningerne er følgende forudsætninger anvendt:

- Isens karakteristiske trykstyrke, r_c = 1000 kN/m² (Reduceret iht /5/)
- Isens karakteristiske bøjningsstyrke, r_b = 250 kN/m² (Reduceret iht /5/)
- Isens tykkelse = 0,3 m (Reduceret iht /5/)
- Friktionsforhold is/jord, μ = 0,5
- Digets hældning = 1:5
- Vandspejl = +2,0 m
- Højde af dige = +2,4 m
- Bredde af dige i vandlinje = 12 + 2x0,4x5 = 16 m
- Brede ved kronetop = 12 m

Da Eurocode 1 Tillæg DK: 2015 Islast /5/ ikke skelner mellem islast i et vådområde eller åbent hav, er parametrene for isstyrke samt isens karakteristiske trykstyrke revurderet til de ovenfor beskrevne værdier. Dette er gjort med henblik på at undgå at dimensionere den nye afværgeforanstaltninger for unaturligt store kræfter, som ikke vil finde sted.

2.4. Jordbunds- og grundvandsforhold

Til anvendelse for projektet har Rambøll oprindeligt udført en geoteknisk rapport /9/ i forbindelse med opførelsen af broen. I 2020 er der udført supplerende geotekniske undersøgelser /8/, hvori én boring er relevant for det aktuelle projekt.

Atkins har bestemt styrke- og deformationsparametre for de relevante jordlag. Disse er sammenfattet i Tabel 2-2.

Tabel 2-2 - Anvendte karakteristiske styrke- og deformationsegenskaber i det aktuelle projekt.

Jordtype	Rumvægt γ/γ_m [kN/m ³]	Friktionsvinkel φ'_k [°]	Kohæsion $c'_k/c_{u,k}$ [kN/m ²]	Deformation K/Q [kN/m ² /%/lsc]
Tørv, Pg	11,8/11,8	9*/25	0/12,5	Q = 51%
Gytje, Pg	13/13	12*/25	0/6,0 (for d < 2,3 m) 0/2,6d (for d > 2,3 m)	Q = 40%
Sand, Pg	18/20	34	--	30.000
Skredjord ler, Pg	18/18	23	0/50	Q = 12%
Sand, Sg	18/20	35	--	30.000
Silt, Sg	19/20	35	--	20.000
Ler, Te (glimmer)	18/18	23	0,1 x $c_{u,k}/50 + 10Z^{**}$	12.000 + 300 σ'_a
Nyt sandfyld	18/20	38	-	50.000

* Gælder for passivt brud.

** Z er dybde under den tertiære glimmerlers overflade

I sætningsberegningerne er der for Pg Gytje, Pg Tørv og Pg Skredjord ler anvendt en konsolideringskoefficient på $c_k = 1 \cdot 10^{-8} \text{ m}^2/\text{s}$.

2.5. Vandspejl og grundvandsforhold

I de oprindelige geotekniske undersøgelser for broen er vandspejlet langs broen registreret 0,0-0,3 m.

Middelvandspejlet i det nye vådområde forventes i kote +2,0 m. I brudgrænsetilstanden anvendes derfor et GVS i kote +2,0 m i permanent situation og i kote +0,65 m i udførelsesfasen, svarende til ca. 10 cm under terræn ved de eksisterende borer.

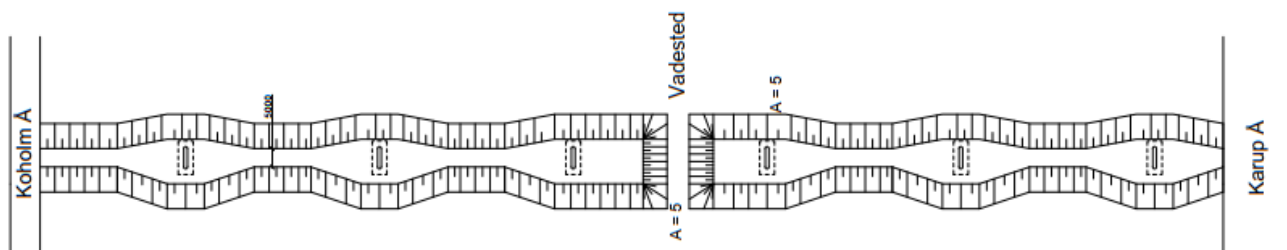
I ulykkesgrænsetilstanden anvendes kote +2,2 m.

2.6. Geometri

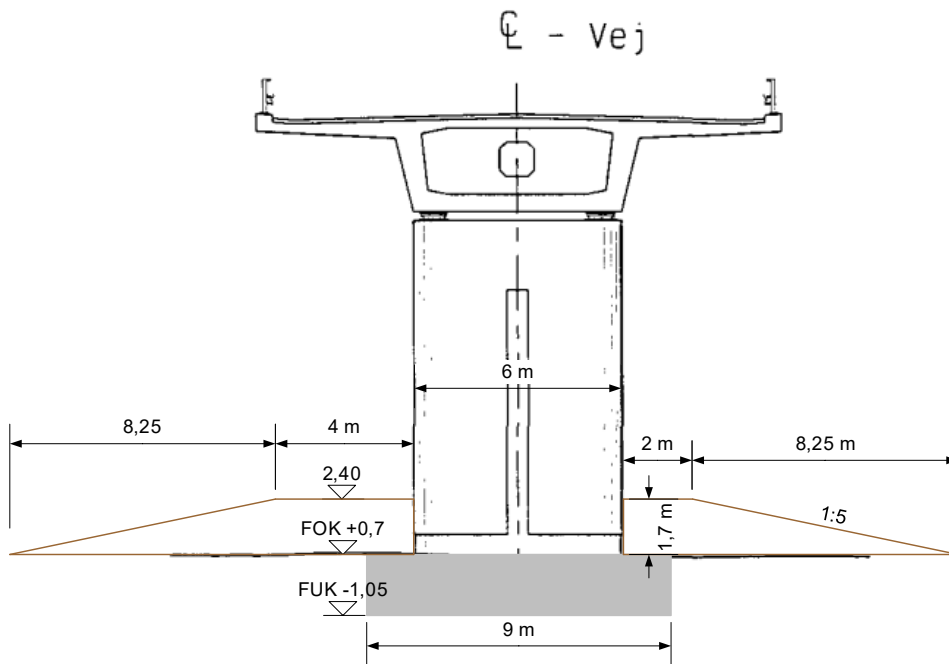
Der etableres et vadested mellem 2 af bropillerne. Figur 2-1 viser en principskitse af det nye dige og principtværsnittet fremgår af Figur 2-2. Som det fremgår af Figur 2-1 er der 6 bropiller i området, som bliver oversvømmet, hvor bropille 2 ligger nærmest Koholm Å og nr. 7 nærmest Karup Å.

Digelængde

= 310 m



Figur 2-1 - Principskitse for dige. Koholm Å ligger mod nord og Bropille 2 nærmest derved.



Figur 2-2 - Geometri for nyt dige ved lavest beliggende eksisterende fundament

3. Beregningsprincipper

3.1. Brudgrænsetilstanden (ULS)

Beregning af det nye diges stabilitet er udført i Geostudio Slope v. 10.0.1.17733. Ved beregningerne anvendes Morgenstern – Price analysemetoden, som sikrer såvel kraft- som momentligevægt.

For totalstabiliteten forudsættes, at brudfigurer først kan starte på digets skråning, hvor islast virker, svarende til i kote +2,0 m. Der benyttes regningsmæssige jordparametre og regningsmæssige laster, hvilket betyder at sikkerhedsfaktoren (FOS) for stabilitetsforholdet skal være, $FOS \geq 1$.

Der regnes i både drænet og udrænet tilfælde.

Til verifikation af dæmningens stabilitet er følgende lastkombinationer undersøgt:

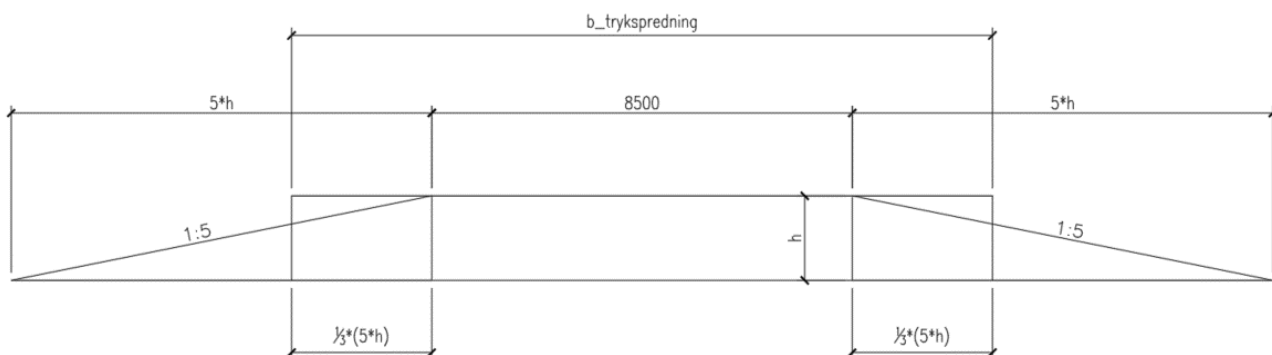
1. Midlertidig situation med en jævnt fordelt karakteristisk overfladelast på $q_k = 20 \text{ kN/m}^2$ ($q_d = 30 \text{ kN/m}^2$)
2. Permanent situation med dominerende islast og samtidig virkende jævnt fordelt karakteristisk overfladelast på $q_k = 5 \text{ kN/m}^2$
3. Permanent situation med dominerende islast uden overfladelast

Spunsberegningerne er regnet i henhold til J. Brinch Hansens jordtryksteori med beregningsprogrammet WinSpooks ver. 2.0.2.29.

3.2. Anvendelsesgrænsetilstanden (SLS)

3.2.1. Sætninger af blødbund

Sætningerne af det nye dige er beregnet ud fra en middel-bredde af diget på 8,5 m. Til beregning af trykspredning gennem jorden regnes der med en fiktiv digebredde i henhold til Figur 3-1.



Figur 3-1 - Princip for fastlæggelse af fiktiv dige bredde

Sætningerne regnes i henhold til gængs sætningsteori.

I én af løsningsforslagene installeres der geonetarmerede sand/stensøjler. Sætningerne vil ved dette tilfælde udelukkende opstå som følge af udvidelsen af geonettet omkring pælene.

3.3. Ulykkesgrænsetilstand (ALS)

Ulykkesgrænsetilstanden med et maksimalt vandspejl i vådområdet i kote +2,2 m er ikke undersøgt, da det ikke vurderes at være kritisk i stabilitetsberegningerne.

4. Resultater

I forbindelse med designet har Atkins undersøgt 4 forskellige løsningsforslag. Disse er:

1. Sandsøjlefunderet dige
2. Sikring af bropillerne med spunsvæg omkring pillerne
3. Sikring af bropillerne med HE-profiler omkring pillerne
4. Sikring med kontrabanket

Diget kan opdeles i 2 dele, hvor forholdene er bedst omkring bropille 2 (nærmest Koholm Å, Se Figur 2-1), mens forholdene for de øvrige bropiller er sammenlignelige.

Ved bropille 2 er der truffet ca. 0,7 m blødbund, mens der ved de øvrige er truffet op til 6,2 m blødbund. Det er derfor forholdene ved bropille 3-7, der beskrives i det efterfølgende.

4.1. Beskrivelse af løsningsforslag

De 4 løsningsforslag er kort beskrevet i nedenstående afsnit, hvor udførelsestakten tillige er beskrevet.

4.1.1. Løsningsforslag 1 - Sandsøjlefunderet dige

Med de store blødbundsmængder er ideen med løsningen, at der etableres sandsøjler i hele digets bredde igennem de bløde aflejringer, som fører lasten fra sanddiget til bæredygtige aflejringer, således diget ikke undergår store deformationer, hvilket vil medføre store omkostninger til vedligeholdelse. Sandsøjlerne armeres med geonet/fiberdug omkring sandet i søjlerne. Søjlerne vil virke som armering af blødbunden, så horisontale brud gennem de bløde aflejringer undgås. Ydermere vil pælene, hvis de etableres løbende fra land kunne anvendes til sikring af en stabil kørevej for sandpælemaskinen.

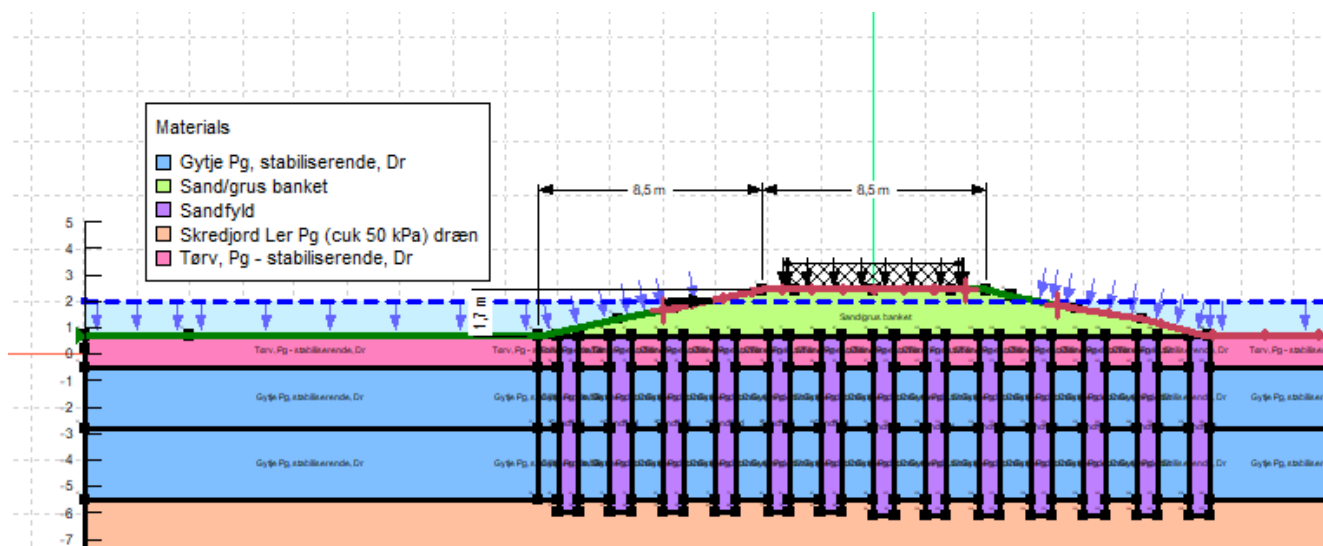
Diget planlægges udført med anlæg 5 for at muliggøre en anvendelse af skråningerne på diget.

Jordbundsforholdene ved omkring bropille 2 er bedre, men det vurderes ikke, at forholdene er så gode, at stensøjlerne kan undlades.

Udførelsesproceduren tænkes udført som:

1. Installer sand/sten søjler i hele digets bredde.
2. Udlæg geonet over sandsøjlerne
3. Opfyld med sand til diget og afdæk med dæksten.

Et principsnit af løsningen fremgår af Figur 4-1.



Figur 4-1 - Skitse af sandsøjlefunderet dige.

4.1.2. Løsningsforslag 2 - Sikring med spunsvæg

Forstærkes bropillerne med spuns skal diget forstærkes med ca. 30 m spuns på hver side omkring hver af bropillerne, svarende til 60 m spuns ved hver af de 6 bropiller. Spunsvæggen installeres i kronetop af diget.

Spunsvæggen anvendes til at optage de horisontale kræfterne fra islasten.

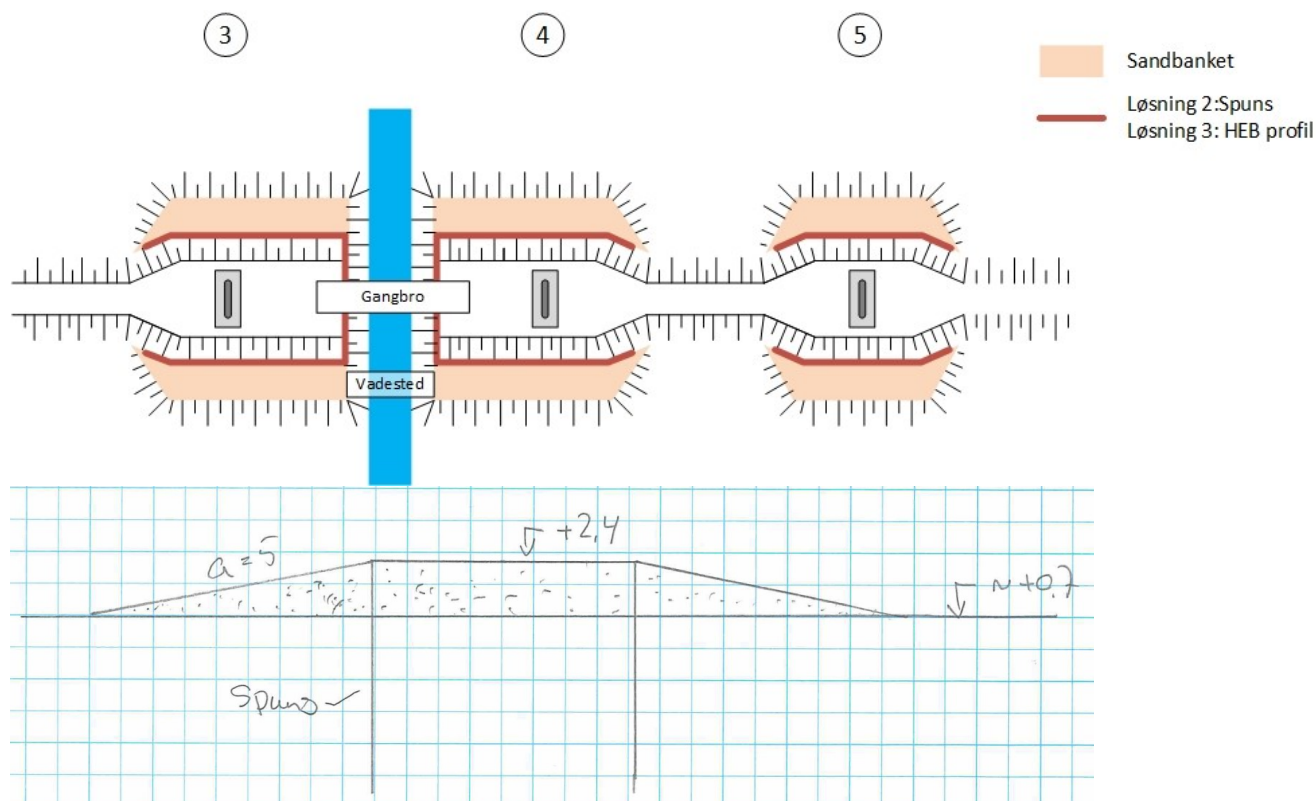
Ulempen ved spunsvægsløsningen er, at der løbende vil forekomme store sætninger af diget, som vil kræve, at arealet/diget skal efterfyldes, hvis der ønskes en konstant kronehøjde. Spunsen sikrer dog, at vedligeholdelsen af selve diget kan foretages når det passer ind i Kommunens øvrige arbejder, hvor der uden spuns skal vedligeholdes løbende over de næste mere end 10-20 år.

Der vil ved udførelsen tillige være usikkerhed omkring stabiliteten af den nødvendige interimsvej i forbindelse med arbejdets udførelse. Det vil derfor være nødvendigt med en kontrabanket i de områder, hvor der ikke er spuns.

Løsningen vil kunne udføres efter følgende udførelsesprocedure:

1. Etabler interimsadgangsvej
2. Opbyg diget til så stor højde som muligt af hensyn til stabilitet.
3. Udlæg banket. Som minimum i de områder uden spuns, men sandsynligvis på det meste af strækningen.
4. Ram spunsvæggene.
5. Opbyg den resterende del af diget såvel mellem spuns som udenfor.
6. Opfyldes jævnlgt i projektets levetid.

Figur 4-2 viser princip plan og tværsnit af løsning 2 og 3.



Figur 4-2 – Plan og principsnit for løsning 2 og 3.

4.1.3. Løsningsforslag 3 -Sikring med HE-profiler

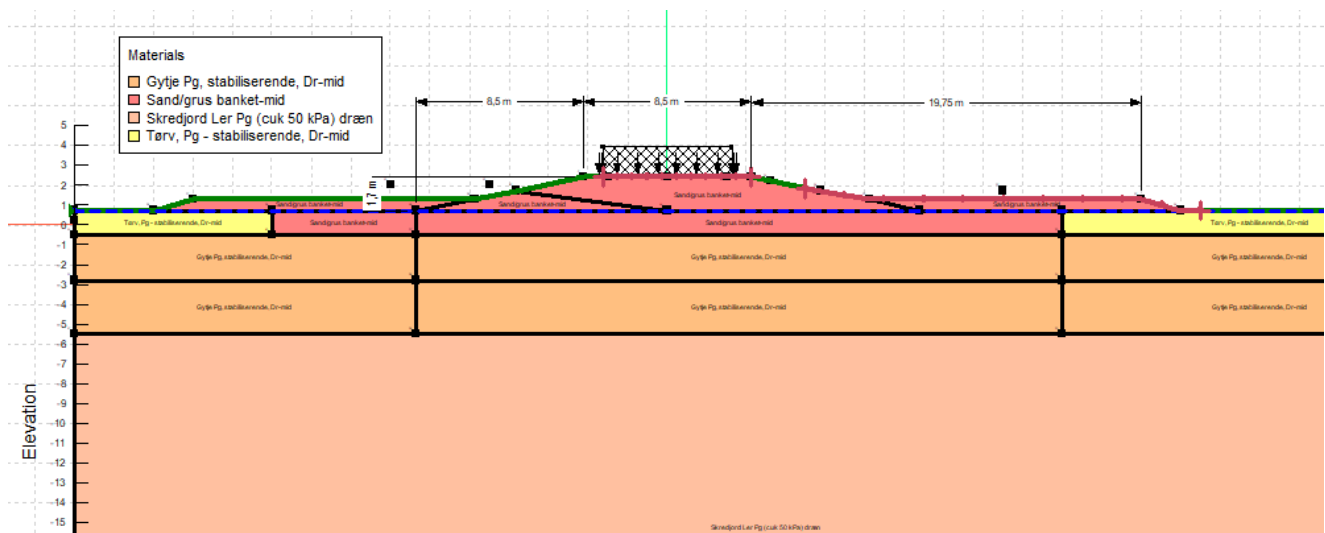
Forslaget er fuldstændig den samme som forslag 2, dog anvendes HE-profiler i stedet for spuns.

Der henvises derfor til udførelsesproceduren i afsnit 4.1.2 og til plan og snit på Figur 4-2.

Der installeres HE140B i S355 ved bropille 2 og HE360B i S355 ved de øvrige 5 bropiller. Fordelen ved HE-profil-løsningen er, at den ikke virker vandafskærende, som tilfældet vil være ved brug af spuns. Samtidig kræver HE-profil-løsningen ikke samme nøjagtighed som spuns-løsningen kræver.

4.1.4. Løsningsforslag 4- Sikring med kontrabanket

Stabiliteten af bropillerne sikres ved at opbygge et dige omkring bropillerne. Dette er kun muligt, hvis tørv under diget fjernes til kote -0,5 under diget og ca. 10 m på hver side af selve diget. Dette er ikke kritisk for bropillerne, da disse er pælefunderet. Herudover skal der udlægges en 0,5 m tyk kontrabanket med en bredde på 15 m udenfor selve diget. Kontrabankettens bredde sikrer, at brud i tørv/gytje undgås. et principsnit er gengivet på Figur 4-3.



Figur 4-3 - Stabilisering med kontrabanket og udskiftning af tørv.

Løsningens force er, at den er billig at etablere. Der skal kun fjernes tørv og tilbagefyldes med sand. Ulempen er til gengæld meget store sætninger af diget, hvorfor løsningen vil være forbundet med store omkostninger til løbende vedligeholdelse.

Løsningen udføres efter følgende metode:

1. Udskift tørv til kote -0,5 til 10 m udenfor foden af diget på begge sider
2. Udlæg banket i lag á ca. 25 cm pr. lag
3. Afvent ca. 1 måned
4. Opbyg diget i lag af ca. 0,5 m til fuld højde med minimum 1 uge mellem hver lagopbygning
5. Opfyldes jævnligt i projektets levetid

På baggrund af resultaterne, som præsenteres i de efterfølgende afsnit og anlægsoverslaget i afsnit 5 anbefaler Atkins, at løsningsforslag 1 – Sandsøjlefunderet dige udføres.

4.2. Brudgrænsetilstanden

Der er udført stabilitetsvurderinger for den midlertidige samt permanente situation for diget for løsningsforslag 1 og 4 for følgende snit:

1. bropille 3-7 med op til 6,2 m blødbund af tørv og gytje (boring 1)
2. bropille 2, hvor der træffes ca. 0,5 m tørv i de øverste lag.

Og efterfølgende er der udført beregninger for totalstabiliteten for løsningsforslag 2 og 3 for et snit ved for bropille 3.

Stabiliteten af løsningsforslaget med sandsøjlerne (Løsning 1) og løsningen med kontrabanketten (Løsning 4) beregnet.

Resultaterne af beregningerne fremgår af bilag 1. Resultaterne er sammenfattet i Tabel 4-1.

Situation	Tilfælde	Beregnet sikkerhedsfaktor [FOS > 1]			
		Løsningsforslag 1 Sandsøjler		Løsningsforslag 4 Kontrabanket	
		Snit ved bropille 2	Snit ved bropille 3-7	Snit ved bropille 2	Snit ved bropille 3-7
Permanent	Drænet	>1,35**	1,35	0,99****	1,30
	Udrænet	>1,35**	>1,35***	>1,12**	1,12
Midlertidig	Drænet	>1,15**	1,15	(0,85)1,23*	(0,98)1,16*
	Udrænet	>1,42**	1,42	1,66	1,12*

*Overfladelast er reduceret til 10 kN/m². Tal i () er for 20 kN/m² overfladelast

**Beregningerne ikke udført, men da jordbundsforholdene er bedre end ved bropille 3-7 er stabiliteten bedre.

***Den udrænedede situation er mindre kritisk end den drænedede ved løsningen med sandsøjlerne

****Der er ved bropille 2 ikke indregnet fjernelse af tørv. Så sikkerheden vurderes ok.

Tabel 4-1 – Resultaterne af stabilitetsberegningerne.

Som det fremgår af resultaterne, er stabiliteten af løsningsforslagene tilstrækkelig. Det kritiske brud for stabiliteten af dæmningsskråningen er med en belastning af is på $q_d = 36,8 \text{ kN/m}$, hvor bruddet kun lige akkurat påvirkes af overfladelasten. Et forskydningsbrud i overgangen mellem dæmning og gytjen er undersøgt i det efterfølgende. Den udrænedede regningsmæssige forskydningsstyrke i gytjen er:

$$c_{u,d} = \frac{6 \text{ kN/m}^2}{1,8} = 3,30 \text{ kN/m}^2$$

Som det fremgår af Figur 4-1 er kronebredden ca. 8,5 m og skråningen cirka samme bredde, svarende til at islasten som minimum optages over en strækning på $2 \times 8,5 \text{ m} = 17 \text{ m}$. Ses der konservativt bort fra den ekstra forskydningskraft, som overlejringstrykket fra dæmning giver anledning til samt den forskydningskraft, som kan optages i sandsøjlerne, vil et udrænet brud i den bløde gytje kunne optage en kraft på:

$$R_d = (\sigma' \cdot \tan(\varphi_d) + c_{u,d}) \cdot L = (0 + 3,33) \cdot 17 = 56,6 \text{ kN/m}^2$$

Dette svarer til at sikkerhedsfaktor, $FOS > \frac{56,6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{36,8 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}} = 1,53$ selv uden at tage sandsøjlerne i regning, hvorfor forskydningsbruddet ikke er kritisk. Det skal nævnes at det drænedede forskydningsbrud i gytjen tillige er undersøgt. Denne situation er mindre kritisk.

For løsningsforslag 2 og 3, hvor bropillen sikres med henholdsvis spuns (løsning 2) eller HE-profil (Løsning 3) sikres totalstabiliteten ved at dimensionere spuns/HE-profil for den fulde islast. Beregningerne af spuns/HE-profil er udført i bilag 2. Beregningerne er kun udført for et snit ved bropille 3. Resultaterne er sammenfattet i Tabel 4-2.

Beskrivelse	Enhed	Spuns (Løsning 2)	HE (Løsning 3)
Topkote	[m]	+2,4	+2,4
Spidskote	[m]	-9,1	-9,7
Væghøjde	[m]	11,5	12,1
C/C-pæl	[m]	--	1,0
Antal pr bropille	[lbm/stk]	60	60
M _{max}	[kNm/m]	172	185
W _{nødv, S355}	[cm ³ /m]	532	588
Rustfradrag total	[mm]	4,81	4,81
Mulig profil	[--]	AZ20-700	HE260B

Tabel 4-2 - Resultaterne af spuns/HE-profil til sikring mod islast.

Det vil være muligt at reducere længden ved bropille 2, men det skønnes, på grund af det store rustfradrag, at forskellen vil være så begrænset, at det ikke er relevant at ændre profil eller længde ved bropille 2.

4.3. Anvendelsesgrænsetilstanden

Sætningerne afhænger af den valgte løsning. Ved løsning 1 vil sætningerne være meget begrænsede og kun svarer til sætningerne af udvidelsen af sand/stenpælene som følge af forøget ringspænding i geonettet omkring pælene.

Der er ikke foretaget beregninger af sætningerne ved sandsøjleløsningen, da disse i stor udstrækning sker i forbindelse med opbygningen og de restsætninger, som kommer efter diget er opbygget vil være mindre end 5 á 10 cm.

Ved de øvrige løsninger vil der med blødbund til kote -6,2 m ske væsentlige sætninger af diget og derfor må der forventes en væsentlig vedligeholdelse. Beregningerne af sætningerne for de øvrige løsninger er vedlagt som bilag 4. Resultaterne er sammenfattet i Tabel 4-3.

Løsningsforslag	Beregnet sætning		
	Primær sætning [cm]	Krybning [cm]	Total sætning [cm]
Etablering af dige med blødbunds-udskiftning	148	3	151

Tabel 4-3 – De beregnede sætninger uden sandsøjler.

Sætningen vil afhænge af konsolideringskoefficienten. I /8/ er konsolideringstiden skønnet til $1 \cdot 10^{-7}$ m²/s for en lidt bedre jord end det vi har set i de oprindelige boringer. Atkins har vurderet konsolideringskoefficienten til $1 \cdot 10^{-8}$ m²/s. GEO har vurderet konsolideringstiden til 12 år, mens Atkins i bilag 4 har bestemt konsolideringstiden til ca. 79 år. Vi forventer, at langt hovedparten af sætningerne vil være overstået indenfor de første 10-20 år. En sætning på ca. 1,5 m vil kræve en løbende vedligeholdelse af diget, således diget til alle tider er højt nok til at sikre, at isen ikke "flyder hen over" dæmningen og påføre brosjølerne en ekstra belastning. Denne vedligeholdelse må forventes at skulle udføres de første 10 á 20 år efter etableringen. Oftest i starten og med aftagende frekvens med årene.

4.4. Negativ overflademodstand på eksisterende pæle

Ved opbygning af dæmningen vil de broens eksisterende pæle blive udsat for last fra jorden omkring pælene i takt med at jorden konsoliderer. Dette svarer til en øget negativ overflademodstand. Den maksimalt mulige negative overflademodstand fastlægges ved geostatisk beregning.

$$F_{neg} = \sum m \cdot r \cdot A_{si} \cdot c_{uk,i}$$

Den maksimalt mulige negative overflademodstand er fastlagt til 78 kN. Se bilag 3.

Pælene med den mindste regningsmæssige bæreevne er i henhold til det oprindelige projekt 950 kN. Med så stor en regningsmæssig bæreevne er en negativ overflademodstand på 78 kN ikke kritisk for den regningsmæssige bæreevne for en pæl og dermed heller ikke for det samlede pæleværk.

5. Anlægsoverslag

For anlægsoverslaget er diget regnet for en middelkronebredde på 8,5 m. Digets længde er regnet til 310 m. Højden af diget regnes i gennemsnit at være 1,7 m over terræn.

Der planlægges et vadested mellem bropille 3 og 4.

Der er anvendt følgende enhedspriser for anlægsoverslaget. Disse skal verificeres:

• Gangbro incl fundering	= kr. 500.000,-
• Etablering af vadested	= kr. 100.000,-
• Levering og indbygning af sand	= 260 kr/m ³
• Levering og indbygning af skråningssikring/dæksten	= 345 kr/m ³
• Bortgravning og bortskaffelse af tørv samt tilbagefyldning med sand	= 460 kr/m ³
• Sandsøjler	= 700 kr/lbm
• Geonet – Stærkt	= 175 kr/m ²
• Geotekstil	= 75 kr/m ²
• Spuns	= 15 kr/kg

Anlægsoverslagene er overslag på anlægsomkostninger samt drift- og vedligeholdelsesomkostninger. Drift- og vedligeholdelsesomkostningerne for nærværende projekt er påfyldning af sand og grus som følge af sætninger af diget.

Det er forudsat, at der genopfyldes når sætningen af diget overstiger 20 cm, hvorfor der for den rene sanddæmning og spunsvægsløsningen er medregnet 8 genopfyldninger over 10-20 år, mens der ikke er medregnet genopfyldning ved sandsøjlerne.

Vi har for overslaget ikke skelnet mellem spuns og HE-profilforstærkningen, hvorfor kun overslag på spuns løsningen er medtaget i nærværende notat.

5.1. Sandsøjlefunderet dige

Det sandsøjlefunderede dige indeholder følgende overslagsmængder:

• Digesand	$= \left(8,5 \cdot 1,7 + \frac{1,7 \cdot (1,7-5)}{2} 2 \right) \cdot 310 \cdot 1,1$	= 9855 m ³
• Sandsøjler	$= 12 \text{ stk pr } 2 \text{ lbm} = 12 \cdot \frac{310}{2,0}$	= 1860 stk
Længde af sandsøjler		≈ 8 m
• 1 lag geonet på top af pæle	$= 310 \times (2 \times 1,7 \times 5 + 8,5)$	= 7905 m ²
• Dæksten udlægges på siderne i 0,5 m lag	$= 0,5 \times 8,5 \times 2 \times 310 \times 1,1$	= 2899 m ³

Tabel 5-1 indeholder groft anlægsoverslag.

Tabel 5-1 - Anlægsoverslag, Sandsøjler

	Enhed	Mængde	Enhedspris	I alt
Mob/demob sandsøjler	SUM	1	750.000	750.000 kr.
Etablering af sandsøjler, 1860 stk a 8 m	lbm	14.880	700	10.416.000 kr.
Etablering af dige til +2,4m med sandfyld, leveret og indbygget, afstand 2 km	m ³	9.855	260	2.563.000 kr.
Gangbro	SUM			500.000 kr.
Etablering af vadested	SUM			100.000 kr.
Skråningssikring - dæksten, d = 300 mm (d _{min} > 250 mm og d _{max} < 400 mm), at levere og indbygge	m ³	2.899	345	1.000.000 kr.
Geonet, leveret og udlagt – 2 lag	m ²	7905	350	2.767.000 kr.
Sum, anlægsarbejder				18.096.000 kr.
<i>Vedligeholdelse</i>				
Ingen vedligeholdelse				0 kr.
Sum inkl. første år vedligeholdelse				18.096.000 kr.
<i>Tillægsudgifter</i>				
Indretning af arbejdsplads og interims arbejdsvej mv.	%	20		3.619.000 kr.
Reetablering og demobilisering	%	5		905.000 kr.
Total sum				22.620.000 kr.

5.2. Spunsløsning

Spunsløsningen indeholder følgende overslagsmæssige mængder:

- 2x30 m spuns ved hver af de 6 fundamenter (Fundament 2 – 7)
- Spunstype og længde iht Tabel 4-2
- Digesand = $\left(8,5 \cdot 1,7 + \frac{1,7 \cdot (1,7 \cdot 5)}{2} \cdot 2\right) \cdot 310 \cdot 1,1$ = 9855 m³
- Banket sand = (2·0,5·15)·310·1,1 på 90% af strækningen = 4600 m³
- Vedligeholdelse med 0,2 m sand udføres = 8 gange
- Mængde pr. gang = (8,5·0,2+2·19,75·0,2·90%)·310 = 2731 m³
- Til kontrol af sætningerne installeres sætningsplader pr. ca. 50 m, i alt 6 stk. Der indregnes kr. 30.000,- til installationen af disse + kr. 30.000,- til opstilling af måleprogram. Opfølgning på sætningerne forventes at skulle følges jævnt over de næste 10 år. Der er her indregnet 2

arbejdsdage 4 gange om året i de næste 10 år til opmåling og opdatering af sætningsobservationerne, svarende til ca. kr. 57.000,- pr år i 10 år = 570.000.

- Dæksten udlægges på siderne i 0,5 m lag + 50% på banket
 $= 0,5 \times 8,5 \times 2 \times 310 + 0,5 \times 2 \times 15 \times 310 \times 1,1 \times 50\% = 5.456 \text{ m}^3$

I Tabel 5-2 er overslaget for spuns/HE-profils løsningen sammenfattet.

Tabel 5-2 - Anlægsoverslag, Spunsløsning

	Enhed	Mængde	Enhedspris	I alt
Etablering af dige til +2,4m med sandfyld, leveret og indbygget, afstand 2 km	m ³	9855	260	2.562.000 kr.
Etablering af kontrabanket med sandfyld, leveret og indbygget, afstand 2 km	m ³	4600	260	1.196.000 kr.
Stålspons [H=11,5 m, ca. 360 lbm] (@119,3 kg/m ²) at levere, ramme og renskære	kg	494.000	15	7.410.000 kr.
Anstilling og afrigning for spunsarbejder samt adgangsvej	%	40		2.964.000 kr.
Sikring af midlertidig arbejdsvej m. køreplader eller tilsvarende over vadested	SUM	1	200.000*	200.000 kr.
Gangbro	SUM			500.000 kr.
Etablering af vadested	SUM			100.000 kr.
Skråningssikring - dæksten, d =300 mm (d _{min} >250mm og d _{max} <400 mm) at levere og indbygge	m ³	5.456	345	1.876.000 kr.
Sum, anlægsarbejder				16.781.000 kr.
<i>Vedligeholdelse for 1 genfyldning, successive udgifter</i>				
Opmålinger af sætninger inkl. levering af opmålingsresultater samt opfølgning i 10 år	SUM			570.000 kr.
Installation og levering af sætningsplader	SUM	1	60.000	60.000 kr.
Vedligeholdelse: 200 mm sandfyld, 2731 m ³ leveret og udlagt (antal genfyldning = 8)	m ³	21.848	260	5.681.000 kr.
Sum inkl. vedligeholdelse				23.092.000 kr.
<i>Tillægsudgifter</i>				
Indretning af arbejdsplads og interims arbejdsvej mv.	%	20		4.618.000 kr.
Reetablering og demobilisering	%	5		1.155.000 kr.
Total sum				28.865.000 kr.

*Der er ved spunsløsningen ikke indregnet fjernelse af tørv under diget. Det kan ikke udelukkes, at dette bliver nødvendigt i et vist omfang og de indsatte 200.000,- til arbejdsvej ikke er tilstrækkelig.

Som det fremgår af overslaget, er spunsløsningen dyrere end sandsøjle løsningen, hvorfor det ikke anbefales, at der arbejdes videre med denne løsning. Fordelen ved løsningen er, at den i modsætning til den rene sanddæmning ikke kræver, at der hele tiden skal genfyldes for at sikre, at dæmningen til

enhver tid kan modstå islasterne. Det sikres af spunsvæggene. Dog skal der foretages en væsentlig løbende vedligeholdelse, hvorfor spunsløsningen ikke vurderes som værende en god løsning.

5.3. Sanddæmning med kontrabanket

Sandopfyldningsløsningen indeholder følgende overslagsmæssige mængder:

- Digesand = $(8,5 \cdot 1,7 + (1,7 \cdot (1,7 \cdot 5)) / 2) \cdot 2 \cdot 310 \cdot 1,1$ = 9.855 m³
- Banket sand = $(2 \cdot 0,5 \cdot 15) \cdot 310 \cdot 1,1$ = 5.115 m³
- Vedligeholdelse med 0,2 m sand udføres = 8 gange
- Mængde = $(8,5 \cdot 0,2 + 2 \cdot 19,75 \cdot 0,2) \cdot 310$ = 2.976 m³
- Udskiftning af tørv = $(0,7 + 0,5) \cdot (8,5 \cdot 3 + 2 \cdot 10) \cdot 310$ = 16.926 m³
- Til kontrol af sætningerne installeres sætningsplader pr. ca. 50 m, i alt 6 stk. Der indregnes kr. 30.000,- til installationen af disse + kr. 30.000,- til opstilling af måleprogram. Opfølgning på sætningerne forventes at skulle følges jævnt over de næste 10 år. Der er her indregnet 2 arbejdsdage 4 gange om året i de næste 10 år til opmåling og opdatering af sætningsobservationerne, svarende til ca. kr. 57.000,- pr år i 10 år = 570.000.
- Dæksten udlægges på siderne i 0,5 m lag + 50% på banket
 $= 0,5 \times 8,5 \times 2 \times 310 + 0,5 \times 2 \times 15 \times 310 \times 1,1 \times 50\% = 5.456 \text{ m}^3$

I Tabel 5-3 herunder kan anlægsoverslaget for denne løsning ses.

Tabel 5-3 - Anlægsoverslag, Sandopfyldningsløsningen

	Enhed	Mængde	Enhedspris	I alt
Etablering af dige til +2,4m med sandfyld, leveret og indbygget, afstand 2 km	m ³	9.855	260	2.562.000 kr.
Etablering af kontrabanket med sandfyld, leveret og indbygget, afstand 2 km	m ³	5.115	260	1.330.000 kr.
Udskiftning og bortskaffelse af tørv samt tilbagefyld med sand	m ³	16.926	500	8.463.000 kr.
Sikring af midlertidig arbejdsvej m. køreplader eller tilsvarende over vadested	SUM	1	50.000	50.000 kr.
Gangbro	SUM			500.000 kr.
Etablering af vadested	SUM			100.000 kr.
Skråningssikring - dæksten, d = 300 mm (d _{min} > 250mm og d _{max} < 400 mm) at levere og indbygge	m ³	5.456	345	1.882.000 kr.
Sum, anlægsarbejder				14.887.000 kr.
<i>Vedligeholdelse for 1 genfyldning, successive udgifter</i>				
Opmålinger af sætninger inkl. levering af opmålingsresultater samt opfølgning i 10 år	SUM			570.000 kr.
Installation og levering af sætningsplader	SUM	1	60.000	60.000 kr.
Vedligeholdelse: 200 mm sandfyld, 2976 m ³ leveret og udlagt (antal genfyldning = 8)	m ²	23808	260	6.190.000 kr.
Sum inkl. vedligeholdelse				21.707.000 kr.

<i>Tillægsudgifter</i>				
Indretning af arbejdsplads og interims arbejdsvej mv.	%	20		4.341.000 kr.
Reetablering og demobilisering	%	5		1.085.000 kr.
Total sum				27.133.000 kr.

Som det fremgår ved at sammenligne sandsøjleløsningen, Tabel 5-1 og den rene sandopfyldningsløsning, Tabel 5-3, så er sandopfyldningen væsentlig billigere (ca. 3,2 mill.), at etablere, men omkostningerne til den løbende vedligeholdelse gør, at sandsøjleløsningen er væsentlig billigere end sandopfyldningen, ca. 4,5 millioner.

Der er stor usikkerhed forbundet med priserne, da en stor del af den samlede pris er prisen for sand, hvilken kan variere væsentligt afhængig af pris på levering og indbygning af sand. Men med så stor forskel skønnes sandsøjleløsningen at være den mest optimale løsning, da der her tillige ikke kræves nogen vedligeholdelse.

Der er i vedligeholdelsesomkostningerne ikke indregnet, at der skal entreses med en entreprenør til udlægning af sand i takt med at diget sætter sig (Evt. udbudsmateriale og forhandlinger). Dette vil have en fordyrende effekt på såvel spuns-løsningen som den rene sandopfyldningsløsning.

Med ovenstående vurderer Atkins, at den mest optimale løsning er Løsningsforslag 1 – Sandsøjlefunderet dige, da denne ikke kræve efterfølgende vedligeholdelse, hvorfor det anbefales, at der arbejdes videre med denne løsning.

Bilag

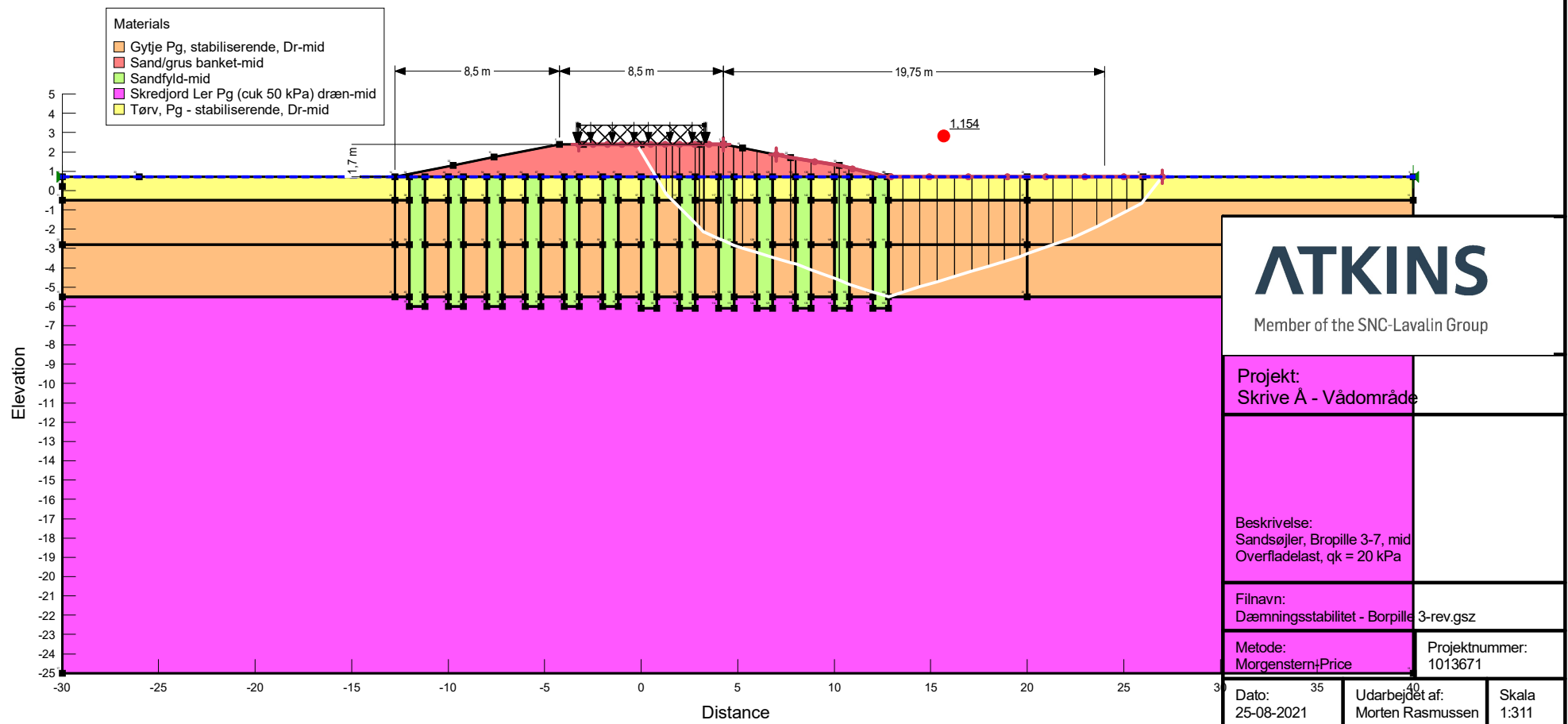


Bilag 1: Brudgrænsestilstand - Stabilitetsberegninger

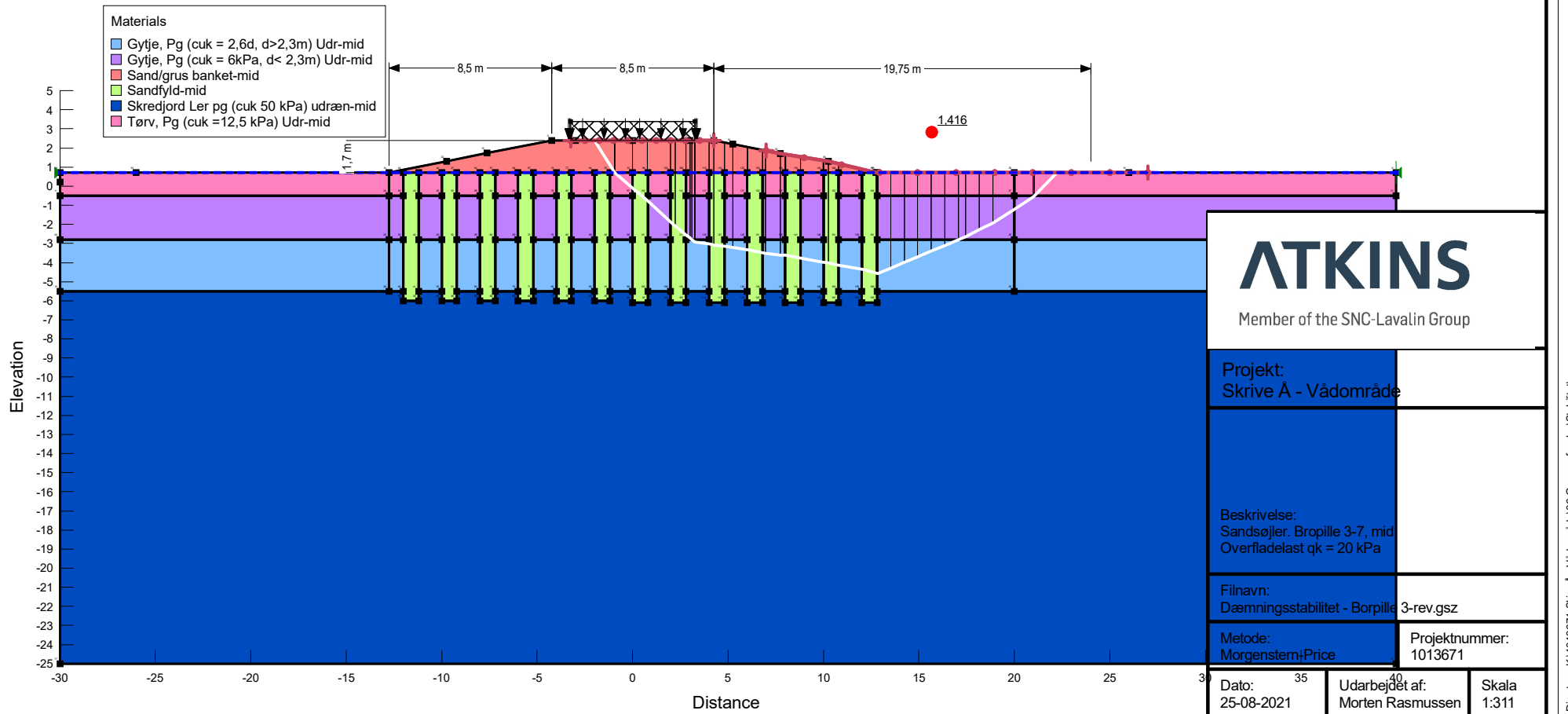
Følgende beregninger er udført:

1. Sandsøjler. Bropille 3-7, Midlertidig, drænet
2. Sandsøjler. Bropille 3-7, Midlertidig, udrænet
3. Sandsøjler. Bropille 3-7, Permanent, drænet
4. Kontrabanket. Bropille 3-7, Permanent, drænet
5. Kontrabanket. Bropille 3-7, Permanent, udrænet
6. Kontrabanket. Bropille 3-7, Midlertidig, drænet, $q_k = 20 \text{ kPa}$
7. Kontrabanket. Bropille 3-7, Midlertidig, drænet, $q_k = 10 \text{ kPa}$
8. Kontrabanket. Bropille 3-7, Midlertidig, udrænet, $q_k = 10 \text{ kPa}$
9. Kontrabanket. Bropille 2, Midlertidig, drænet, $q_k = 20 \text{ kPa}$
10. Kontrabanket. Bropille 2, Midlertidig, drænet, $q_k = 10 \text{ kPa}$
11. Kontrabanket. Bropille 2, Midlertidig, udrænet, $q_k = 20 \text{ kPa}$
12. Kontrabanket. Bropille 2, Permanent, drænet

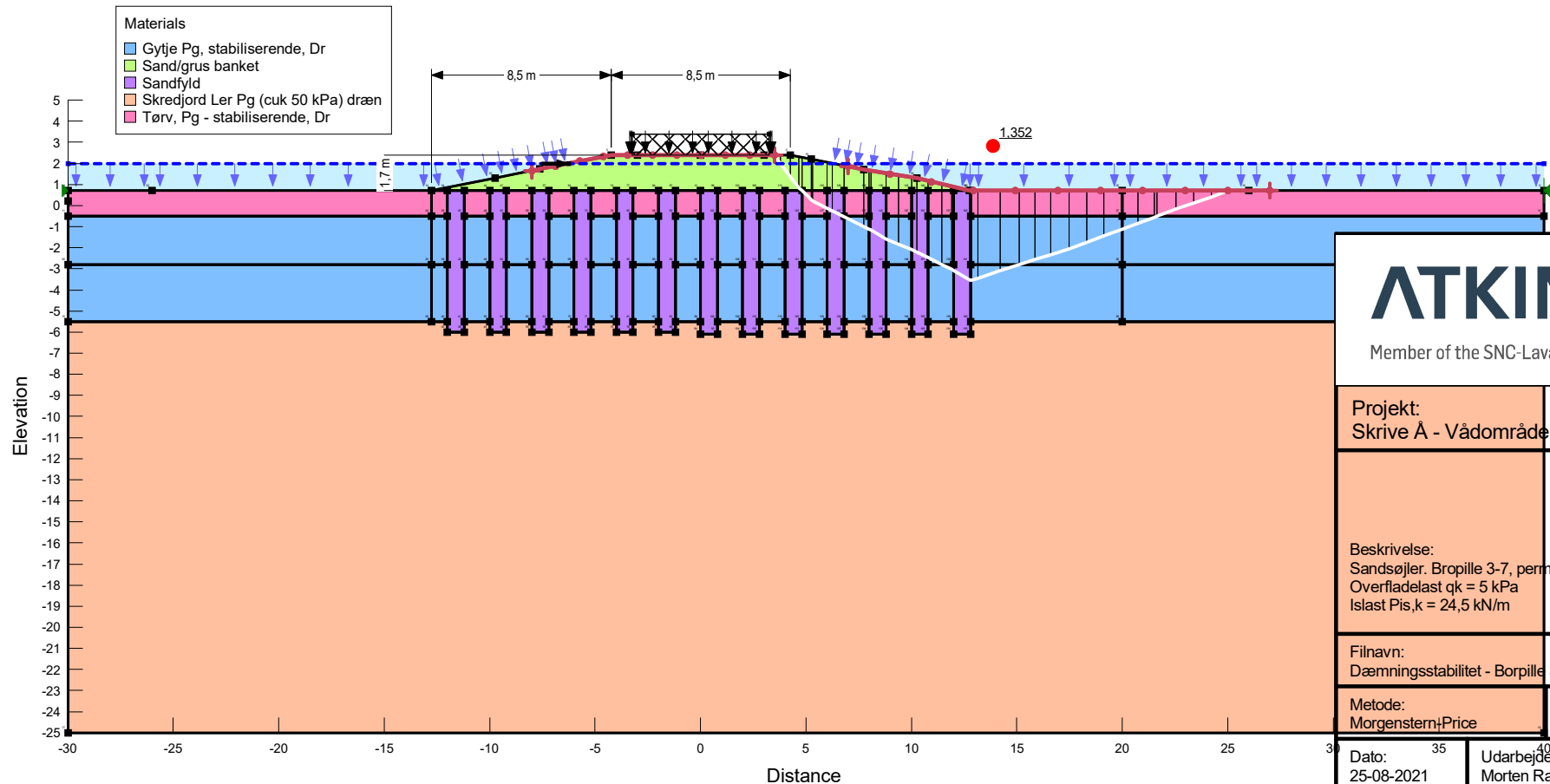
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje Pg, stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	13	0	11	
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Sandfyld-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn-mid	Mohr-Coulomb	18	0	19,5	
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	11,8	0	8,23	



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion (kPa)	Phi (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje, Pg (cuk = 2,6d, d>2,3m) Udr-mid	S=f(depth)	13			
	Gytje, Pg (cuk = 6kPa, d< 2,3m) Udr-mid	Undrained (Phi=0)	13			
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Sandfyld-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler pg (cuk 50 kPa) udræn-mid	Undrained (Phi=0)	18			
	Tørv, Pg (cuk =12,5 kPa) Udr-mid	Undrained (Phi=0)	11,8			



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje Pg, stabiliserende, Dr	Mohr-Coulomb	13	0	10,04	
	Sand/grus banket	Mohr-Coulomb	20	0	33,07	18
	Sandfyld	Mohr-Coulomb	20	0	33,07	18
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn	Mohr-Coulomb	18	0	19,5	
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr	Mohr-Coulomb	11,8	0	7,52	



ATKINS

Member of the SNC-Lavalin Group

Projekt:
Skrive Å - Vådområde

Beskrivelse:
Sandsøjler. Bropille 3-7, perm
Overfladelast $q_k = 5 \text{ kPa}$
Islast $P_{is,k} = 24,5 \text{ kN/m}$

Filnavn:
Dæmningsstabilitet - Bropille 3-rev.gsz

Metode:
Morgenstern+Price

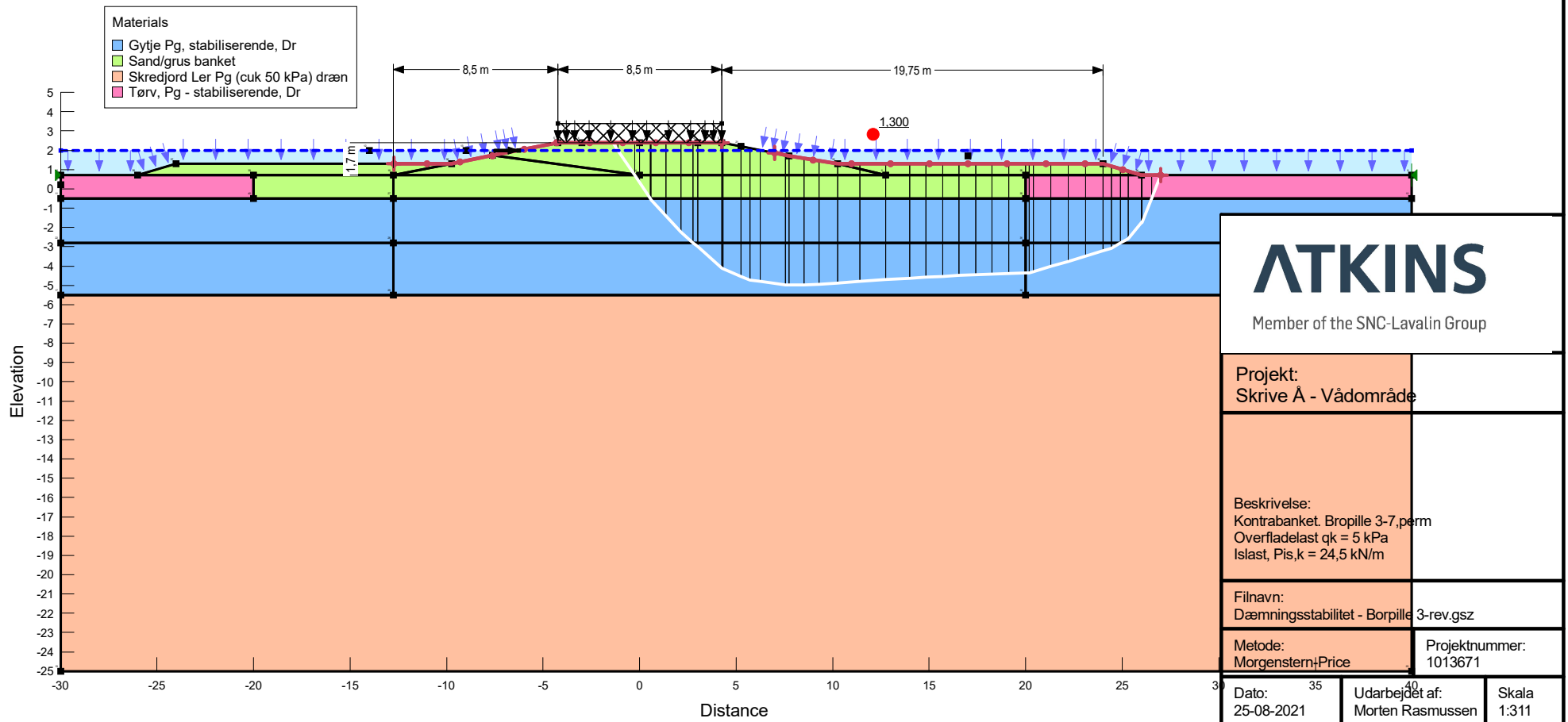
Projektnummer:
1013671

Dato:
25-08-2021

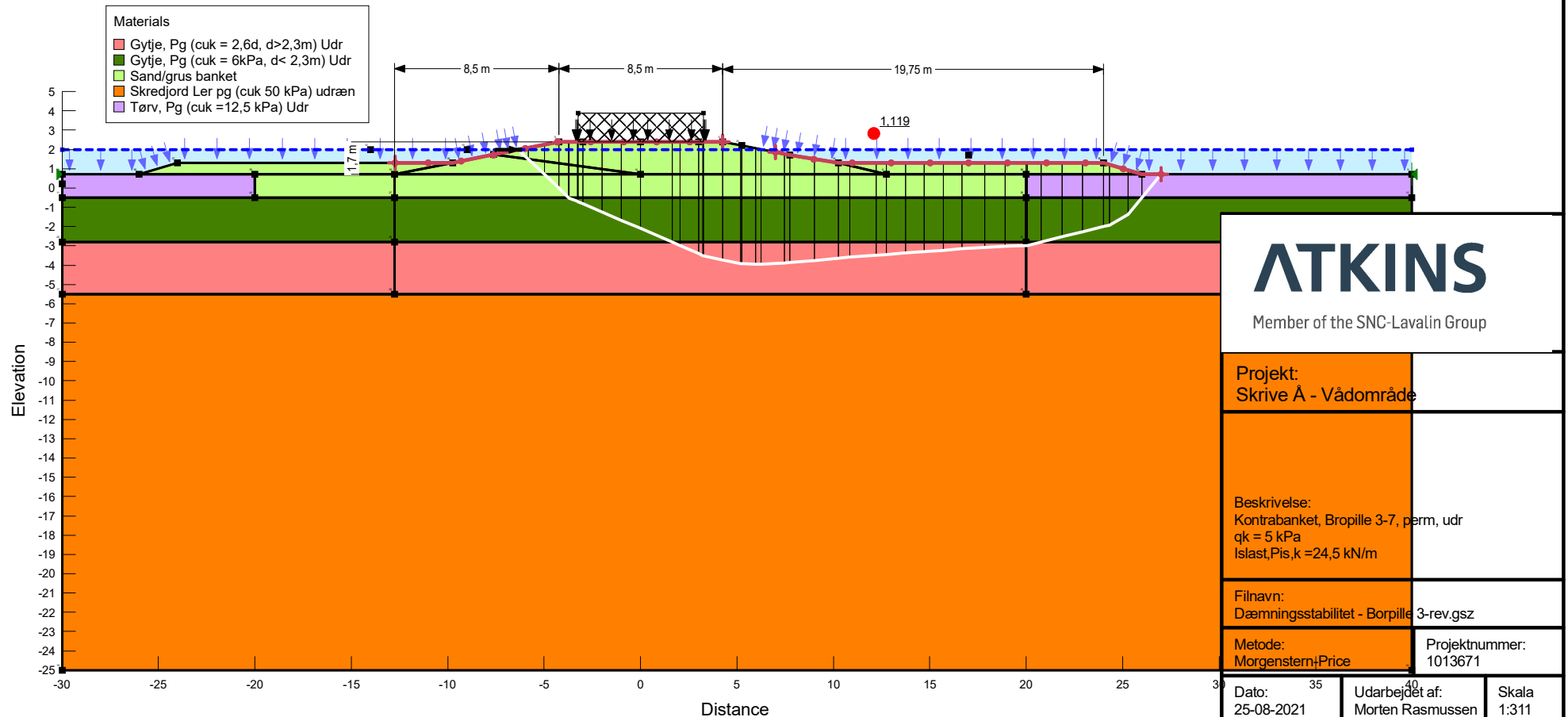
Udarbejdet af:
Morten Rasmussen

Skala
1:311

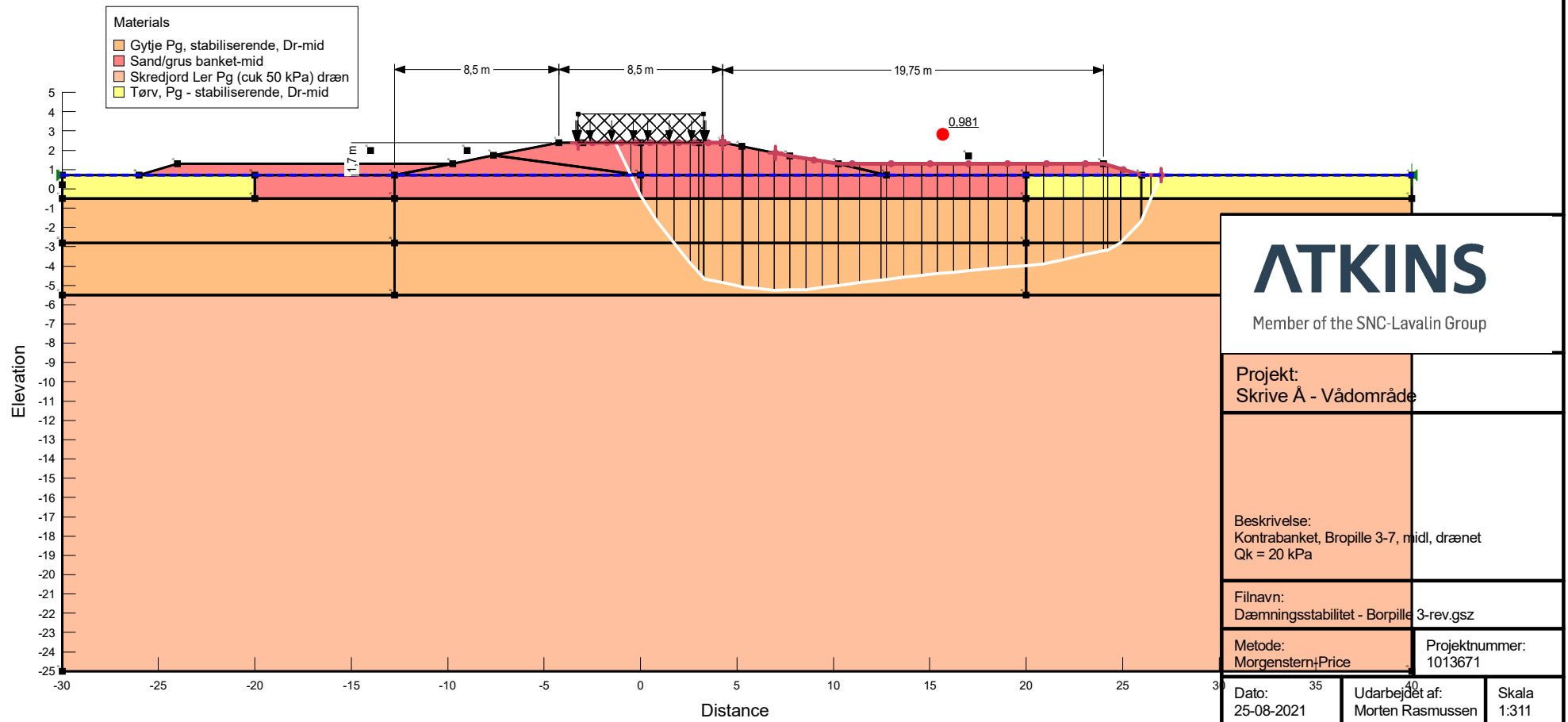
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
Blue	Gytje Pg, stabiliserende, Dr	Mohr-Coulomb	13	0	10,04	
Green	Sand/grus banket	Mohr-Coulomb	20	0	33,07	18
Orange	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn	Mohr-Coulomb	18	0	19,5	
Pink	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr	Mohr-Coulomb	11,8	0	7,52	



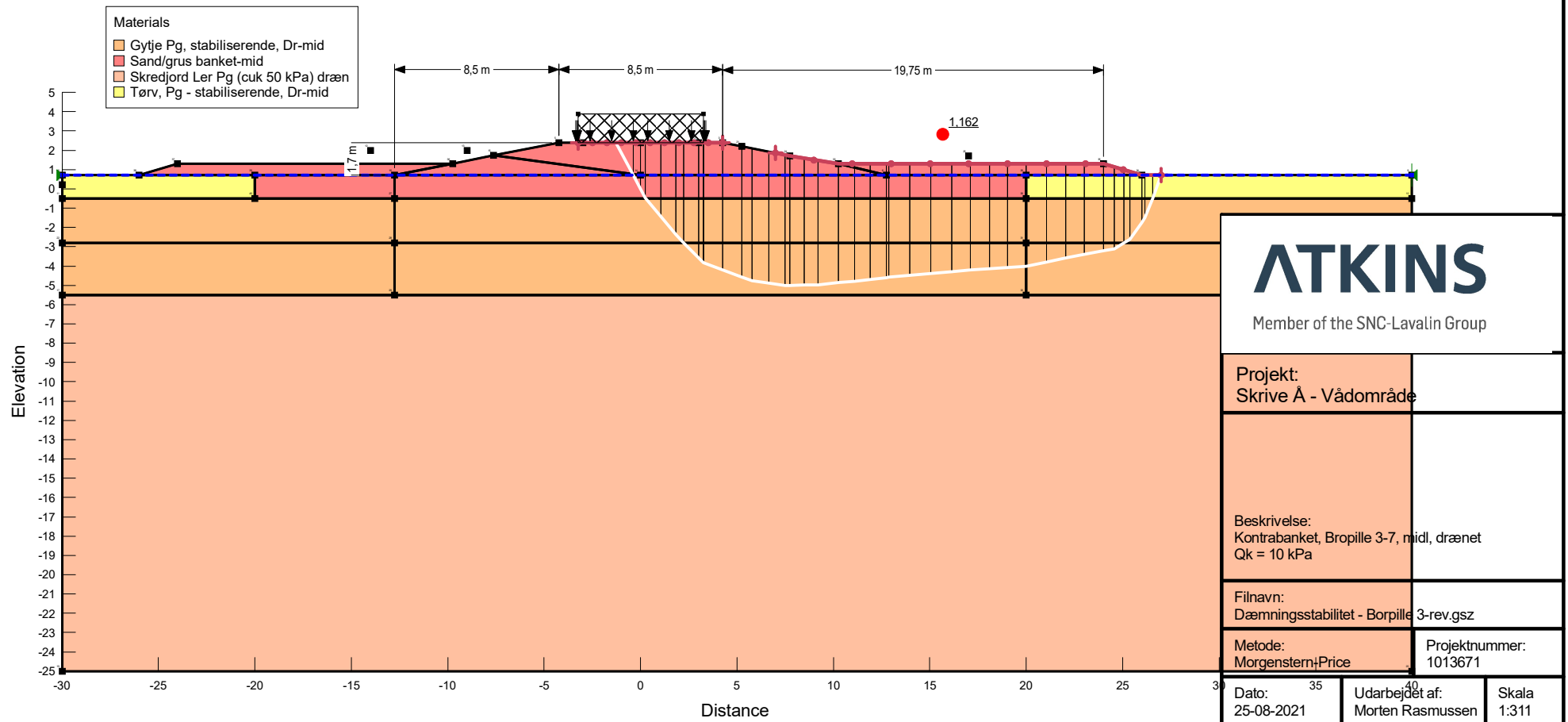
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje, Pg (cuk = 2,6d, d>2,3m) Udr	S=f(depth)	13			
	Gytje, Pg (cuk = 6kPa, d< 2,3m) Udr	Undrained (Phi=0)	13			
	Sand/grus banket	Mohr-Coulomb	20	0	33,07	18
	Skredjord Ler pg (cuk 50 kPa) udræn	Undrained (Phi=0)	18			
	Tørv, Pg (cuk =12,5 kPa) Udr	Undrained (Phi=0)	11,8			



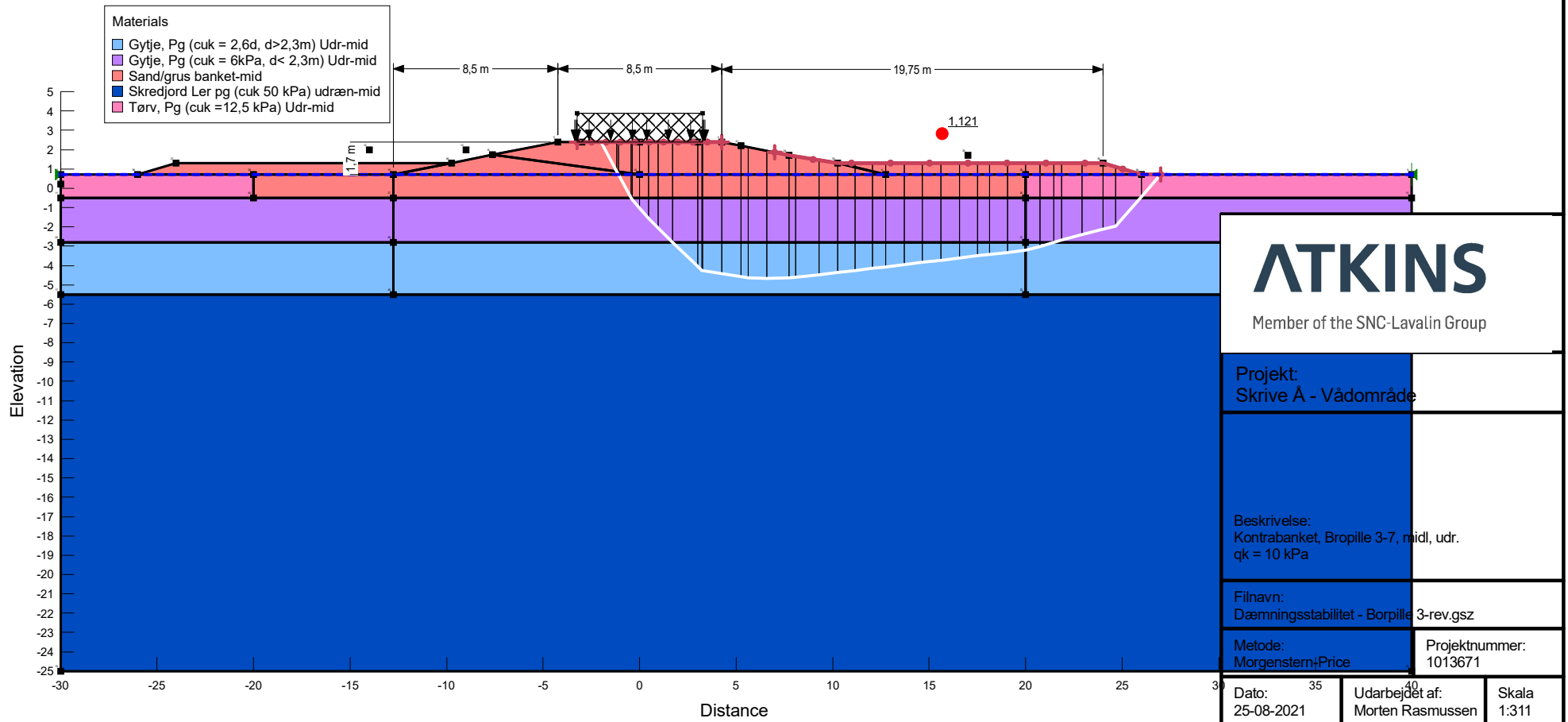
Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje Pg, stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	13	0	11	
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn	Mohr-Coulomb	18	0	19,5	
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	11,8	0	8,23	

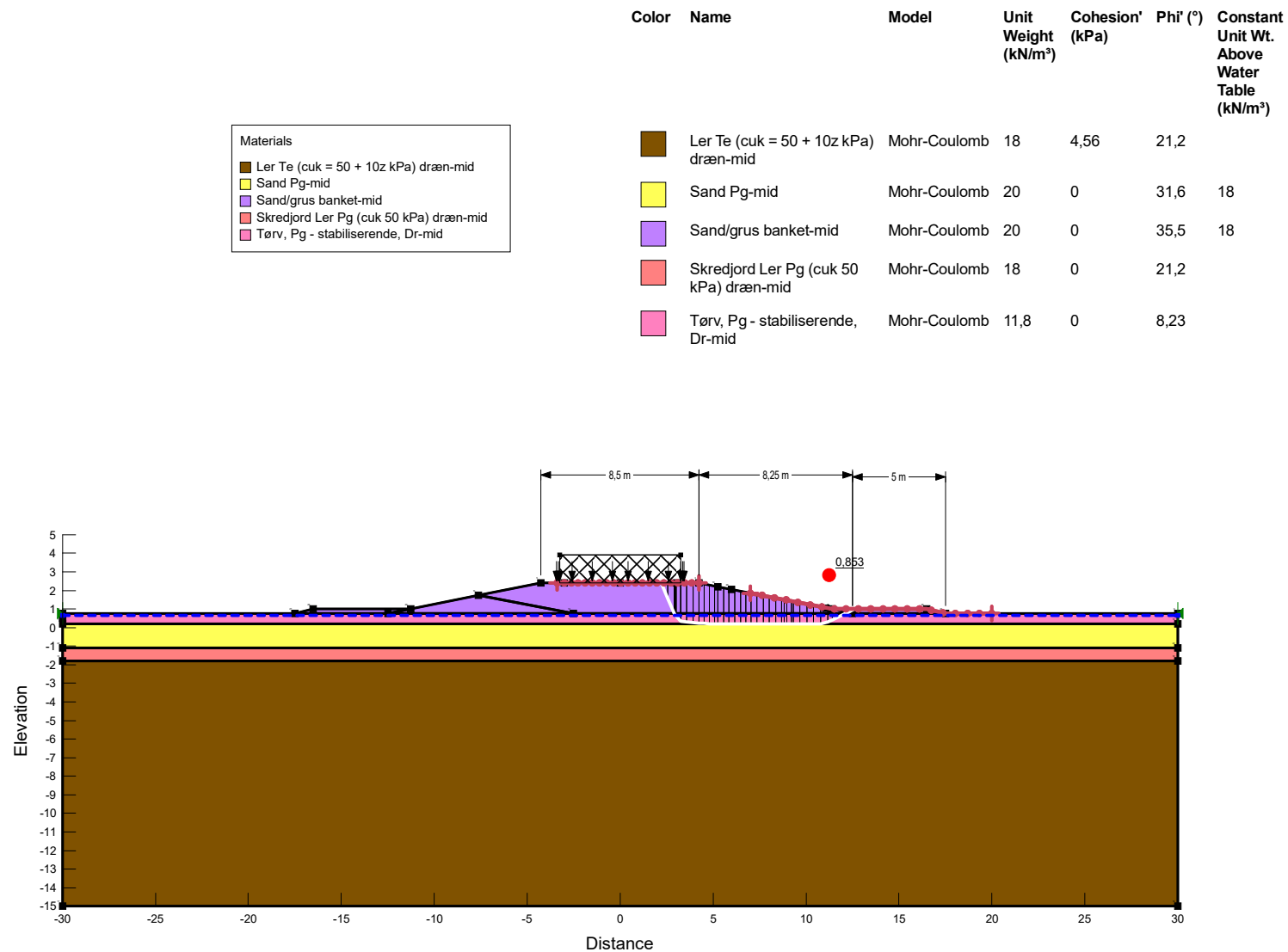


Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje Pg, stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	13	0	11	
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn	Mohr-Coulomb	18	0	19,5	
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	11,8	0	8,23	



Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit W. Above Water Table (kN/m³)
	Gytje, Pg (cuk = 2,6d, d>2,3m) Udr-mid	S=f(depth)	13			
	Gytje, Pg (cuk = 6kPa, d< 2,3m) Udr-mid	Undrained (Phi=0)	13			
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler pg (cuk 50 kPa) udræn-mid	Undrained (Phi=0)	18			
	Tørv, Pg (cuk =12,5 kPa) Udr-mid	Undrained (Phi=0)	11,8			





ATKINS

Member of the SNC-Lavalin Group

Projekt:
Skrive Å - Vådområde

Beskrivelse:
Kontrabanket, Bropille 2, mid, drænet
qk = 20 kPa

Filnavn:
Dæmningsstabilitet - Bropille 2.gsz

Metode:
Morgenstern-Price

Projektnummer:
1013671

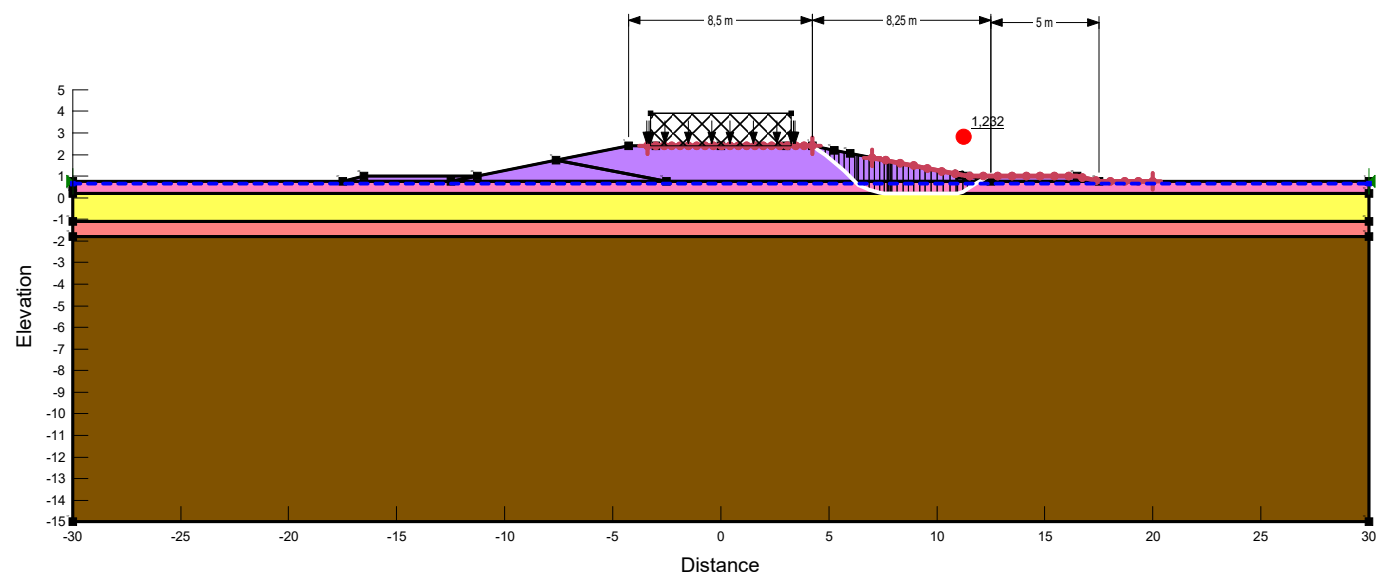
Dato:
25-08-2021

Udarbejdet af:
MDO

Skala:
1:350

Materials	
	Ler Te (cuk = 50 + 10z kPa) dræn-mid
	Sand Pg-mid
	Sand/grus banket-mid
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn-mid
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr-mid

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)
	Ler Te (cuk = 50 + 10z kPa) dræn-mid	Mohr-Coulomb	18	4,56	21,2	
	Sand Pg-mid	Mohr-Coulomb	20	0	31,6	18
	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20	0	35,5	18
	Skredjord Ler Pg (cuk 50 kPa) dræn-mid	Mohr-Coulomb	18	0	21,2	
	Tørv, Pg - stabiliserende, Dr-mid	Mohr-Coulomb	11,8	0	8,23	



ATKINS

Member of the SNC-Lavalin Group

Projekt:
Skrive Å - Vådområde

Beskrivelse:
Kontrabanket, Bropille 2, mid,drænet
qk = 10 kPa

Filnavn:
Dæmningsstabilitet - Bropille 2.gsz

Metode:
Morgenstern-Price

Projektnummer:
1013671

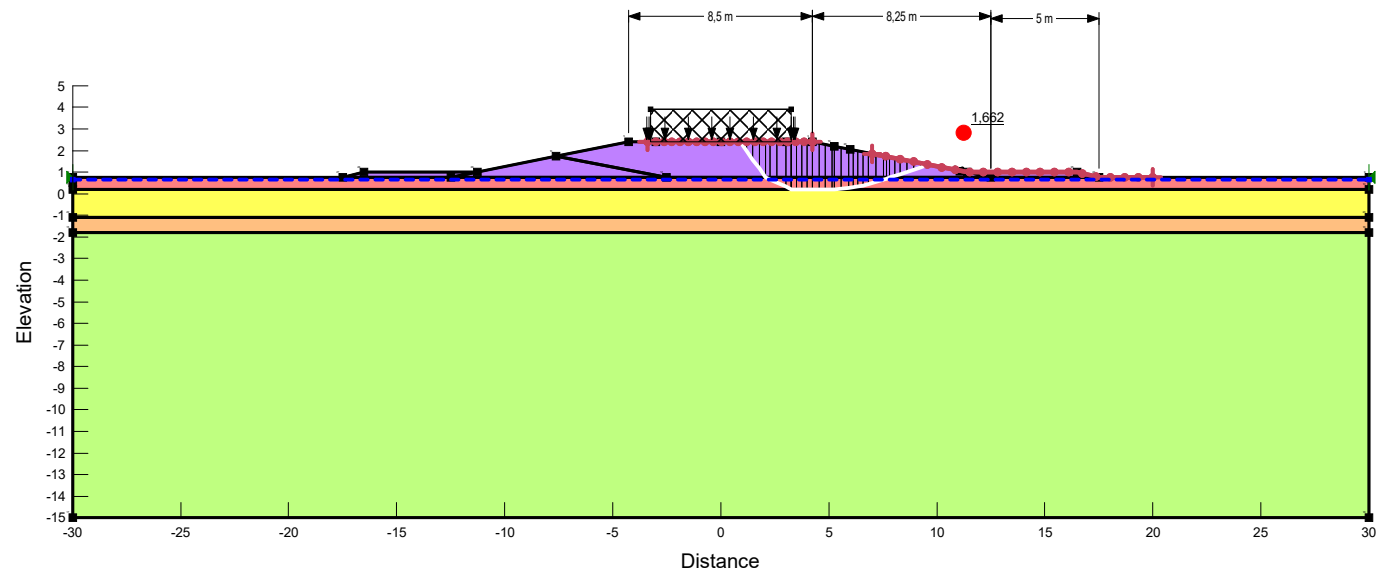
Dato:
25-08-2021

Udarbejdet af:
MDO

Skala
1:350

Materials	
■	Ler Te (cuk = 50 + 10z kPa) udræn-mid
■	Sand Pg-mid
■	Sand/grus banket-mid
■	Skredjord Ler Gc (cuk 50 kPa) udræn-mid
■	Tørv, Pg (cuk =12,5 kPa) Udr-mid

Color	Name	Model	Unit Weight (kN/m³)	Cohesion (kPa)	Cohesion' (kPa)	Phi' (°)	Constant Unit Wt. Above Water Table (kN/m³)	C-Top of Layer (kPa)	C-Rate of Change ((kN/m²)/m)	C-Maximum (kPa)
■	Ler Te (cuk = 50 + 10z kPa) udræn-mid	S=f(depth)	18					37,27	7,45	111,8
■	Sand Pg-mid	Mohr-Coulomb	20		0	31,6	18			
■	Sand/grus banket-mid	Mohr-Coulomb	20		0	35,5	18			
■	Skredjord Ler Gc (cuk 50 kPa) udræn-mid	Undrained (Phi=0)	18	37,27						
■	Tørv, Pg (cuk =12,5 kPa) Udr-mid	Undrained (Phi=0)	11,8	9,3						



ATKINS

Member of the SNC-Lavalin Group

Projekt:
Skrive Å - Vådområde

Beskrivelse:
Kontrabanket, Bropille 2, mid, udr.
qk = 20 kPa

Filnavn:
Dæmningsstabilitet - Bropille 2.gsz

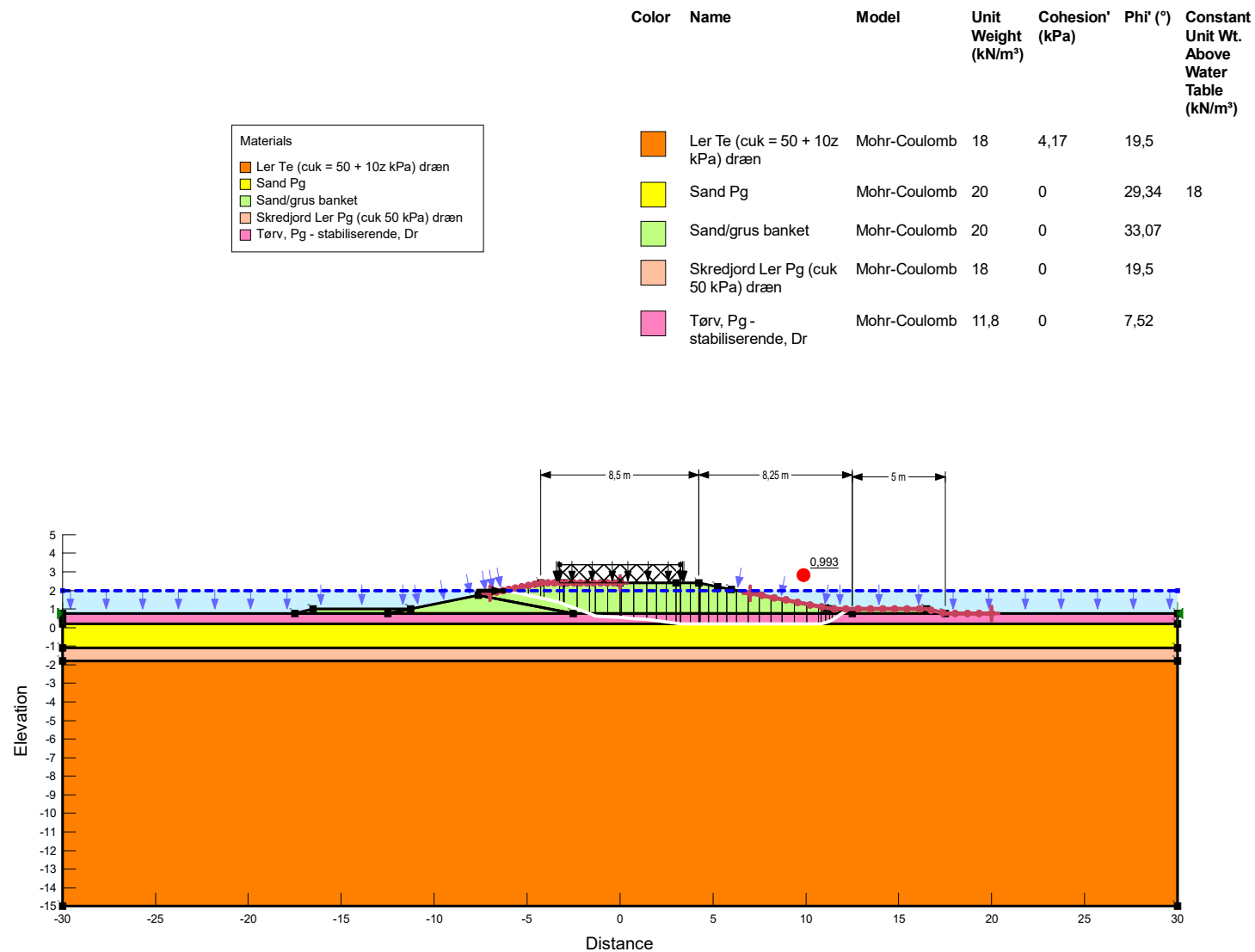
Metode:
Morgenstern-Price

Projektnummer:
1013671

Dato:
25-08-2021

Udarbejdet af:
MDO

Skala:
1:350



ATKINS

Member of the SNC-Lavalin Group

Projekt:
Skrive Å - Vådområde

Beskrivelse:
Kontrabanket, Bropille 2, perm, drænet
qk = 5 kN/m²
Islast, Pis,k = 24,5 kN/m

Filnavn:
Dæmningsstabilitet - Bropille 2.gsz

Metode:
Morgenstern-Price

Projektnummer:
1013671

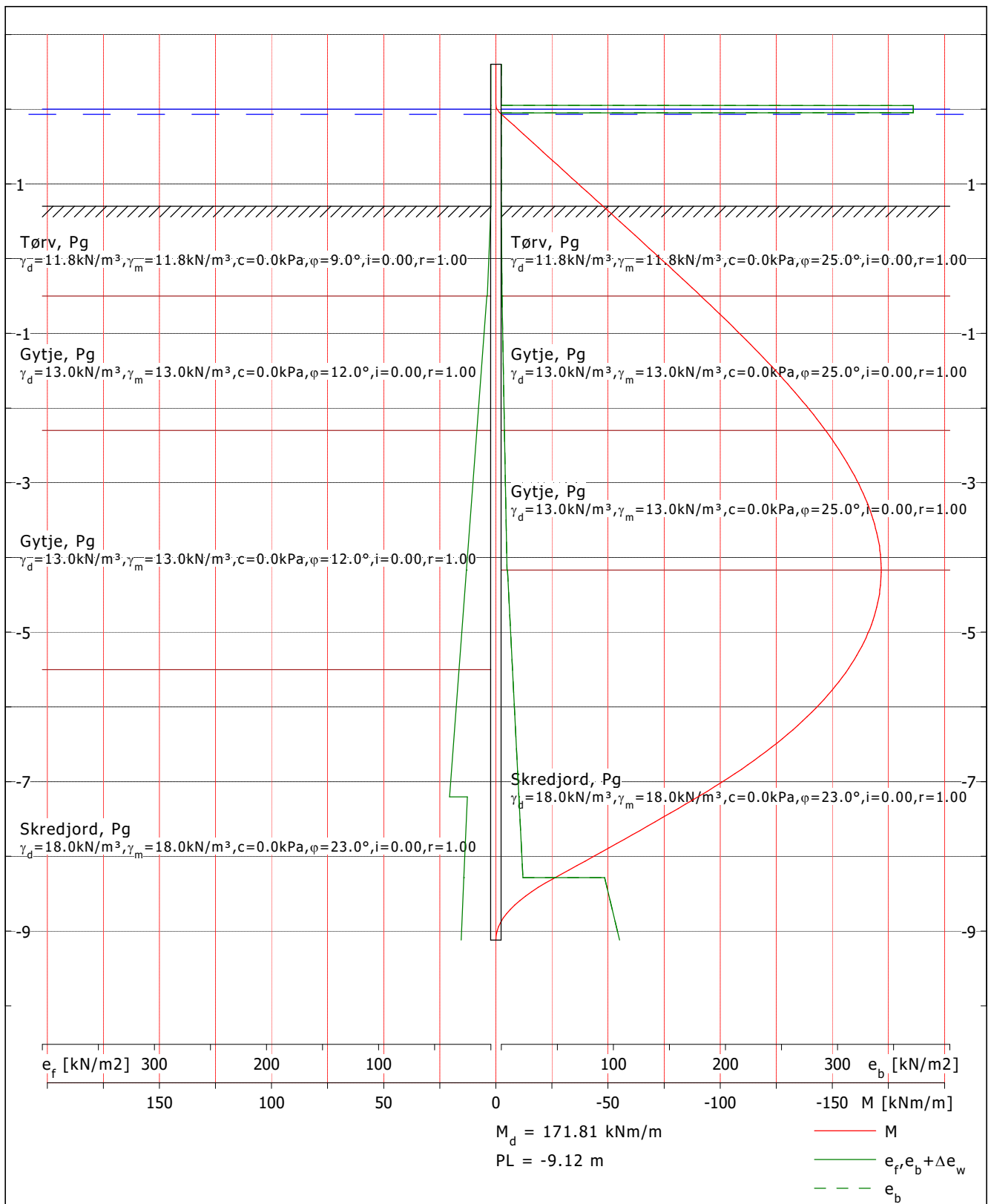
Dato:
25-08-2021

Udarbejdet af:
MDO

Skala
1:350

Bilag 2: Dimensionering af spuns og HE-profiler

2021-08-27 08:10:52 K:\1013671 Skive Å - Vådrområde\06 Gennemførelse\Spooks\old\Skive, drænet- reduceret islast.spooks



EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: Spunsberegning - islast

Checked : Date :

Page 1/5

Approved : Date :

Report 1

Enclosure 2

Rev. 0

Project Data:

File name: Skive, drænet- reduceret islast.spooks
 Project: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde
 Subject: Spunsberegning - islast
 Executed: MSR
 Date: 12.08.2021

Unit weight of water:

Characteristic Design
 10.00 10.00

Failure mode:

0 1 0

Top of Wall 2.60 m

Stratification on back side of wall, characteristic values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	25.00	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	25.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	25.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-4.17	18.00	18.00	0.00	23.00	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Stratification on front side of wall, characteristic values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	9.00	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	12.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	12.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-5.50	18.00	18.00	0.00	23.00	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Stratification on back side of wall, design values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	21.24	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	21.24	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	21.24	0.00	1.00	Gytje, Pg
-4.17	18.00	18.00	0.00	19.48	0.00	1.00	Skredjord, Pg

EX Logo Example
 1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: Spunsberegning - islast

Checked : Date : Page 2/5

Approved : Date : Report 1 Enclosure 2 Rev. 0

Stratification on front side of wall, design values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	7.52	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	10.04	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	10.04	0.00	1.00	Gytje, Pg
-5.50	18.00	18.00	0.00	19.48	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Water levels:

front	back
2.00 m	2.00 m

Loads:

	Characteristic	Design
q_f	0.00 kN//m2	0.00 kN//m2
q_b	0.00 kN//m2	0.00 kN//m2
z_r		2.40 m

Partial factores of safty:

f_{yf}	1.00	f_{yb}	1.00
f_{wat}	1.00		
f_{qf}	1.00	f_{qb}	1.50
f_{cf}	1.20	f_{cb}	1.20
$f_{\phi f}$	1.20	$f_{\phi b}$	1.20

Control Parameters:

SC
s

Additional pressures:

z	ez
m	kN/m ²
2.05	0.00
2.05	367.50
1.95	367.50
1.95	0.00

EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: Spunsberegning - islast

Checked : Date : Page 3/5

Approved : Date : Report 1 Enclosure 2 Rev. 0

** DGI Bulkhead Program Rev 960812, used on 2021, Aug 27 (Fri)
 PC version 7.1.k at 08:10
 1013671 Skive-Karup Å vådrområde
 Spunsberegning - islast
 MSR 12.08.2021

Input no name, plot C:\Users\Rasm3455\AppData\Local\Temp\spooks.plt

	LEVEL	BETA	P	GAMMA	GAMMA	GRA-	PHI	C	ROUGH
				A.GWL	B.GWL	DIENT			-NESS
	m	deg	kN/m2		kN/m3		deg	kN/m2	
FRONT	0.70	0.00	0.00						
				11.80	11.80	0.	7.52	0.00	1.00
	-0.50 /			13.00	13.00	0.	10.04	0.00	1.00
	-2.30 /			13.00	13.00	0.	10.04	0.00	1.00
	-5.50 / #			18.00	18.00	0.	19.48	0.00	1.00
BACK	0.70	0.00	0.00						
				11.80	11.80	0.	21.24	0.00	1.00
	-0.50 /			13.00	13.00	0.	21.24	0.00	1.00
	-2.30 /			13.00	13.00	0.	21.24	0.00	1.00
	-4.17 /			18.00	18.00	0.	19.48	0.00	1.00

WATER (levels : FAILURE MODE :
 front 2.00, back 2.00) 10.00 0 1 0

ADDITIONAL PRESSURE INTENSITIES ON BACK :
 level 2.05 2.05 1.95 1.95
 e-add 0.00 367.50 367.50 0.00

Boundaries below encastre level are disregarded

	LEVEL	EARTH	EARTH	DIFFRNTL
		PRESSURE	PRESSURE	WATER PRS
		ON FRONT	ON BACK	ON BACK
	m	kN/m2	kN/m2	kN/m2
TOP OF WALL	2.60			
(p-vertex)	2.05		0.00	0.00
(p-vertex)	2.05		367.49	0.00
WATER LEVEL	2.00		367.50	0.00
(p-vertex)	1.95		367.50	0.00
(p-vertex)	1.95		0.00	0.00
GROUND LEVEL ON FRONT	0.70	0.00	0.00	0.00
ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-0.50	3.12	0.84	0.00
BELOW "	-0.50	3.55	0.84	0.00
ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-2.30	12.44	2.93	0.00

EX Logo Example
 1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: Spunsberegning - islast
 Checked : Date :
 Approved : Date : Report 1 Enclosure 2

Page 4/5
 Rev. 0

ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-4.17	21.67	5.11	0.00
BELOW "	-4.17	21.67	5.52	0.00
	-7.203	36.65	15.69	0.00
ENCASTRE MOMENT)	-7.20	20.90	15.69	0.00
is -171.81 kN)	-8.28	23.95	19.31	0.00
	-8.285	23.95	92.20	0.00
FOOT LEVEL	-9.120	26.30	105.57	0.00

*

EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: Spunsberegning - islast

Checked : Date :

Page 5/5

Approved : Date :

Report 1

Enclosure 2

Rev. 0

Beregning af mulig Spunsprofil

Beregningerne er udført ved hjælp af Durability og giver følgende resultat:

Durability 3.5.2 | EC3-5

File Units Language Styles About Scale

Charts Data input Corrosion rates Results Uf summary Beta version 3.5.2. Double check the results

Actions. M=172

Sheet pile section: AZ 20-700

SSP: 63 Wel,ini (cm³/m)

3200	AZ 32-750
1405	AZ 14-700
1945	AZ 20-700
2430	AZ 24-700
2600	AZ 26-700
2760	AZ 28-700

ALL

Filter on

Sort criteria of list

catalogue

☐ common interlocks welded / crimped

Steel grade: S 355 GP | $f_y = 355 \text{ N/mm}^2$

Reduction factors for U-type: 1,00 | 1,00

Partial safety factors: 1,10 | 1,35

Service life: 75 years | Loss of steel: 5,00 mm

Notes

Results

Good choice.

Utilization factor Uf: $0,78 \leq 1,0$ (Optimization = 0,46)

AZ 20-700

Classification EC 3-5

ε	0,814
$(b/t_f)/\varepsilon$	43
Class ini.	2
$(b/t_{f,red})/\varepsilon$	87
Class red.	4
$f_y(\text{Class 3})$	208,7 N/mm ²
$\varepsilon(\text{Class 3})$	1,061

Section properties

	ini.	red.
W _{el}	1945	1165 cm ³ /m
W _{pl}	2296	... cm ³ /m
I	40960	24370 cm ⁴ /m
A	152,0	86,7 cm ² /m
t _f	10,00	5,00 mm
t _w	10,00	5,00 mm
h	421,0	416,0 mm
alpha	51,2	... °
b	352,8	... mm
c	527,4	... mm
A _v	58,7	29,4 cm ² /m
S _y	1150	... cm ³ /m
r ₀	15,0	... mm
mass	119,3	... kg/m ²

Loss of steel: 5,00 mm

Front: 2,50 mm

Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat,...)

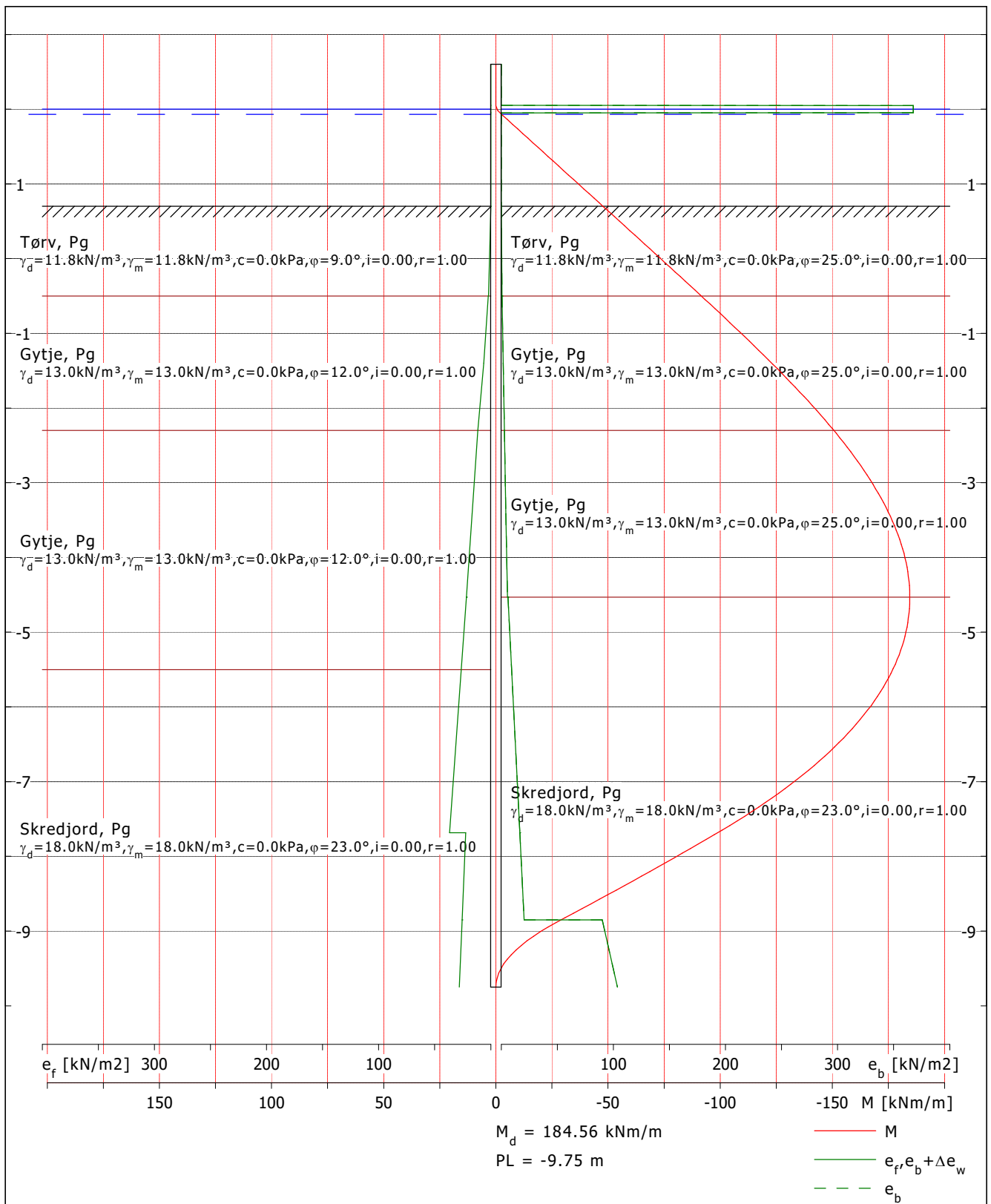
Back: 2,50 mm

Aggressive natural soils (swamp, marsh, peat,...)

Steel quantities

Total	0,0 t
SSP pairs	0
Wall length	0,0 m

2021-08-27 08:24:57 K:\1013671 Skive Å - Vådrområde\06 Gennemførelse\pdf-rapport\Skive, drænet- reduceret islast, HE.spooks



EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: HE-beregning - Islast
Checked : Date :
Approved : Date :

Report 1

Enclosure 2

Page 1/5

Rev. 0

Project Data:

File name: Skive, drænet- reduceret islast, HE.spooks
 Project: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde
 Subject: HE-beregning - Islast
 Executed: MSR
 Date: 12.08.2021

Unit weight of water:

Characteristic	Design
10.00	10.00

Failure mode:

0 1 0

Top of Wall 2.60 m

Stratification on back side of wall, characteristic values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	25.00	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	25.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	25.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-4.53	18.00	18.00	0.00	23.00	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Stratification on front side of wall, characteristic values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	9.00	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	12.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	12.00	0.00	1.00	Gytje, Pg
-5.50	18.00	18.00	0.00	23.00	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Stratification on back side of wall, design values:

z	γ_d	γ_m	c	ϕ	i	r	Desc.
m	kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	deg.			
0.70	11.80	11.80	0.00	21.24	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	21.24	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	21.24	0.00	1.00	Gytje, Pg
-4.53	18.00	18.00	0.00	19.48	0.00	1.00	Skredjord, Pg

EX Logo Example
 1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: HE-beregning - Islast

Checked : Date : Page 2/5

Approved : Date : Report 1 Enclosure 2 Rev. 0

Stratification on front side of wall, design values:

z m	γ_d kN/m ³	γ_m kN/m ³	c kN/m ²	ϕ deg.	i	r	Desc.
0.70	11.80	11.80	0.00	7.52	0.00	1.00	Tørv, Pg
-0.50	13.00	13.00	0.00	10.04	0.00	1.00	Gytje, Pg
-2.30	13.00	13.00	0.00	10.04	0.00	1.00	Gytje, Pg
-5.50	18.00	18.00	0.00	19.48	0.00	1.00	Skredjord, Pg

Water levels:

front	back
2.00 m	2.00 m

Loads:

	Characteristic	Design
q_f	0.00 kN/m ²	0.00 kN/m ²
q_b	0.00 kN/m ²	0.00 kN/m ²
z_r		2.40 m

Partial factors of safety:

$f_{\gamma f}$	1.00	$f_{\gamma b}$	1.00
f_{wat}	1.00		
f_{qf}	1.00	f_{qb}	1.50
f_{cf}	1.20	f_{cb}	1.20
$f_{\phi f}$	1.20	$f_{\phi b}$	1.20

This is a King post wall:

z_B	0.70 m
WD	0.30 m
CC	1.00 m

Control Parameters:

SC
s

Additional pressures:

z m	e_z kN/m ²
2.05	0.00
2.05	367.50
1.95	367.50
1.95	0.00

EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: HE-beregning - Islast

Checked : Date : Page 3/5

Approved : Date : Report 1 Enclosure 2 Rev. 0

** DGI Bulkhead Program Rev 960812, used on 2021, Aug 27 (Fri)
 PC version 7.1.k at 08:24
 1013671 Skive-Karup Å vådrområde
 HE-beregning - Islast
 MSR 12.08.2021

Input no name, plot C:\Users\Rasm3455\AppData\Local\Temp\spooks.plt

	LEVEL	BETA	P	GAMMA A.GWL	GAMMA B.GWL	GRA- DIENT	PHI	C	ROUGH -NESS
	m	deg	kN/m2		kN/m3		deg	kN/m2	
FRONT	0.70	0.00	0.00						
				11.80	11.80	0.	7.52	0.00	1.00
	-0.50 /			13.00	13.00	0.	10.04	0.00	1.00
	-2.30 /			13.00	13.00	0.	10.04	0.00	1.00
	-5.50 / #			18.00	18.00	0.	19.48	0.00	1.00
BACK	0.70	0.00	0.00						
				11.80	11.80	0.	21.24	0.00	1.00
	-0.50 /			13.00	13.00	0.	21.24	0.00	1.00
	-2.30 /			13.00	13.00	0.	21.24	0.00	1.00
	-4.53 /			18.00	18.00	0.	19.48	0.00	1.00

WATER (levels : FAILURE MODE :
 front 2.00, back 2.00) 10.00 0 1 0

ADDITIONAL PRESSURE INTENSITIES ON BACK :
 level 2.05 2.05 1.95 1.95
 e-add 0.00 367.50 367.50 0.00

Boundaries below encastre level are disregarded

	LEVEL	EARTH PRESSURE ON FRONT	EARTH PRESSURE ON BACK	DIFFRNTL WATER PRS ON BACK
	m	kN/m2	kN/m2	kN/m2
TOP OF WALL	2.60			
(p-vertex)	2.05		0.00	0.00
(p-vertex)	2.05		367.49	0.00
WATER LEVEL	2.00		367.50	0.00
(p-vertex)	1.95		367.50	0.00
(p-vertex)	1.95		0.00	0.00
LOWER GROUND & STG LEVEL	0.70	0.00	0.00	0.00
ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-0.50	2.07*	0.84	0.00
BELOW "	-0.50	2.31*	0.84	0.00
(staggering effects)	-1.40	6.29*	1.89	0.00

EX Logo Example
 1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: HE-beregning - Islast
 Checked : Date :
 Approved : Date : Report 1 Enclosure 2

Page 4/5
 Rev. 0

ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-2.30	11.49*	2.93	0.00
(staggering effects)	-3.41	16.57*	4.23	0.00
ABOVE BOUNDARY OF LAYER	-4.53	21.66*	5.53	0.00
BELOW "	-4.53	21.70*	5.97	0.00
ENCASTRE LEVEL	-4.531	21.71*	5.98	0.00
	-7.686	36.78*	16.55	0.00
ENCASTRE MOMENT)	-7.69	22.25	16.55	0.00
is -184.56 kN)	-8.85	25.53	20.46	0.00
	-8.850	25.53	90.09*	0.00
FOOT LEVEL	-9.749	28.06	103.64*	0.00

* Staggering below level 0.70 : 0.300 m piles per 1.00 m

*

EX Logo Example
1 Somewhere Road, DK-1234 Some City

Job: 1013671 Skive-Karup Å vådrområde

Prepared : MSR Date : 12.08.2021 Subject: HE-beregning - Islast

Checked : Date : Page 5/5

Approved : Date : Report 1 Enclosure 2 Rev. 0

Beregning af mulig HE-profil

Profil

= HE260B

t/t_{red}

= 17,5/12,7 mm

d/d_{red}

= 10/5,2 mm

b/b_{red}

= 260/255,2 mm

h/h_{red}

= 260/255,2 mm

Inertimomentet bestemmes herved til:

$$I_{red,y} = \frac{1}{12} 5,2 \cdot (255,2 - 2 \cdot 12,7)^3 + 2 \cdot \left(\frac{1}{12} 255,2 \cdot 12,7^3 + 255,2 \cdot 12,7 \cdot \left(\frac{255,2 - 12,7}{2} \right)^2 \right) = 100,6 \cdot 10^6 \text{ mm}^4$$

$$w_{red,S355} = \frac{100,6 \cdot 10^6}{\frac{255,2}{2}} = 788,7 \cdot 10^3 \text{ mm}^3 > 588 \text{ cm}^3 \rightarrow \text{OK}$$

Bilag 3: Fastlæggelse af maksimal negativ overflademodstand

Beregning af maksimal negativ overflademodstand på eksisterende pæle

De eksisterende pæle er i den statiske dokumentation og på tegningerne angivet som 30x30 pæle.

Den negative overflademodstand bestemmes af følgende formel:

$$F_{\text{neg}} = m \cdot r \cdot c_u \cdot A_s$$

Følgende materialeparametre benyttes til beregning:

$$m_{\text{beton}} := 1$$

$$r := 1$$

For de eksisterende pæle beregnes den maksimalt mulige negative overflademodstand ud fra boring 1, hvor de øverste 1,2 meter er tørv og herunder 5 meter gytje. Gytjens udrænedede forskydningsstyrke er afhængig af dybden, hvorfor denne regnes for to forskellige lag.

Lag 1 - Tørv:

Fra kote +0,7m til kote -0,5 m

$$c_{u,\text{tørv}} := 12.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$A_{s,\text{tørv}} := 0.3\text{m} \cdot 1.2\text{m} \cdot 4 = 1.44 \text{ m}^2$$

Lag 2 - Gytje:

Fra kote -0,5 m til kote -1,6 m

$$c_{u,\text{gytje.1}} := 6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$A_{s,\text{gytje.1}} := 0.3\text{m} \cdot 1.1\text{m} \cdot 4 = 1.32 \cdot \text{m}^2$$

Lag 3 - Gytje:

Fra kote -1,6 m til kote -5,5 m.

Her bestemmes først den udrænedede forskydningsstyrke midt i laget. Til dette skal dybden midt i laget fastlægges.

$$d_3 := 0.7\text{m} - -1.6\text{m} + \frac{(5.5\text{m} - 1.6\text{m})}{2} = 4.25 \text{ m}$$

$$c_{u,\text{gytje.2}} := \left(2.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot d_3 \right) = 11.05 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$A_{s,\text{gytje.2}} := 0.3\text{m} \cdot 3.9\text{m} \cdot 4 = 4.68 \cdot \text{m}^2$$

Herefter kan den maksimale negative overflademodstand fastlægges.

$$F_{\text{neg}} := m_{\text{beton}} \cdot r \cdot c_{u,\text{tørv}} \cdot A_{s,\text{tørv}} + m_{\text{beton}} \cdot r \cdot c_{u,\text{gytje.1}} \cdot A_{s,\text{gytje.1}} \dots = 77.634 \cdot \text{kN} \\ + m_{\text{beton}} \cdot r \cdot c_{u,\text{gytje.2}} \cdot A_{s,\text{gytje.2}}$$

Bilag 4: Beregning af sætninger af diget

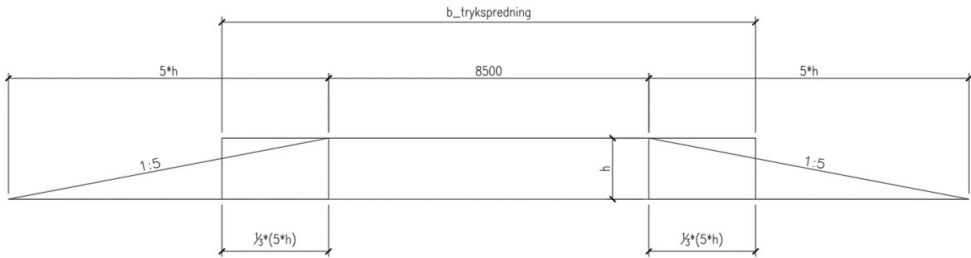
Sætninger og tidsforløb - Boring 1 - Bropille 3

Forudsætninger

Der regnes uden forbelastning af jorden og uden udskiftning af de øverste 1,2 meter tørv
Kote, overside af dæmning: 2,4 m
Kote, eksisterende terræn: 0,7 m svarende til oversiden af udskiftet tørv
VSP efter etablering af vådområde 2 m
Rumvægt af dæmningsfyld (stenfyld): 18 kN/m3
Effektiv rumvægt af dæmningsfyld: 10 kN/m3

Dæmningsbredde = 8,5 meter

Der regnes med en fiktiv dæmningsbredde svarende til følgende forenkling ift. Trykspredning:



b_trykspredning: 14,2 m

Situation 1) Totale sætninger og tidsforløb med overhøjde

$\Delta\sigma_1$ 20,2 kN/m² Tillægsspænding som følge af etablering af dæmning
 $\Delta\sigma_2$ 12 kN/m² Tillægsspænding som følge af udskiftning af tørv til sand
 $\Delta\sigma'$ 32,2 kN/m² Samlet tillægsspænding

Normalkons. organiskholdige aflejringer og blødbund $Q = 60\% ((w-25)/(w+40))$ (sætningsgivende aflejringer)
Aflejringer uden væsentlig organisk indhold $K=(4000/w)\cdot c_v$

Dybde [m]	Kote [m]	Jordlag	Rumvægt [kN/m3]	Lagtyk. [m]	σ_0 [kN/m2]	$\Delta\sigma_0$ [kN/m2]	K [MPa]	Q [%]	ε_k [%]	ε_q [%]	δ [cm]
0	-0,5				2,2	32,2					
		Gytje	3	0,3	2,5	31,9	0	40	0,0	45,3	11,33
0,3	-0,75				2,9						
		Gytje	3	0,5	3,7	31,1	0	40	0,0	39,1	19,55
0,8	-1,3				4,4						
		Gytje	3	0,8	5,5	29,8	0	40	0,0	32,2	24,16
1,5	-2,00				6,7						
		Gytje	3	1,5	8,9	27,8	0	40	0,0	24,6	36,89
3,0	-3,5				11,2						
		Gytje	3	2,0	14,2	25,1	0	40	0,0	17,7	35,44
5,0	-5,5				17,2						
		Skredjord ler, Pg	8	1,0	21,2	23,2	0	12	0,0	3,9	3,86
6,0	-6,5				25,2						
		Skredjord ler, Pg	8	2,0	33,2	21,6	0	12	0,0	2,6	5,22
8,0	-8,5				41,2						
		Skredjord ler, Pg	8	4,0	57,2	18,9	0	12	0,0	1,5	5,95
12,0	-12,5				73,2						
		Skredjord ler, Pg	8	8,0	105,2	15,1	0	12	0,0	0,7	5,60
20,0	-20,5				137,2						
sætning, total											148,0 cm

Tidsforløb

Kons.modul	K	-	kN/m ²
Permeabilitetskoeff.	k	-	m/s
Kons.koeff.	c _k	1,00E-08	m ² /s
Lag (sætningsgivende)	h	5,0	m
Drænej (dobbeltsidig dræning)	d _c	5,0	m
Kons.tid	t	2,50E+09	s
79,6 år			

Total sætninger

Primær, total	148,0 cm
Sekundær, krybning (der regnes med 0,2% pr. tidsdekade for 1, 10 og 100 år med lagtykkelse på 5 m)	3,0 cm
total, primær+sekundær	151,0 cm

Sætninger ønskes vurderet efter 14 måneder

Kons.koeff.	c_k	1,00E-08 m ² /s	
Lag (sætningsgivende)	h	5,0 m	
Drænvej	d_c	5,0 m	
tid, 14 mdr.	t	3,63E+07 s	14 mdr.

Tidsfaktor	T	0,015 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
------------	-----	---------	------	--

Konsolideringsgrad	U	0,14 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
--------------------	-----	--------	------	---

Sætning	δ_t	20,0 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
---------	------------	----------------	------	-----------------------------------

Det ønskes fastlagt hvor lang tids konsolidering der skal ske, for at sætningen er yderligere 20 cm svarende til at dæmningen skal genopfyldes, for at have topkote over det højeste vandspejl

Kons.tid	(efter yderligere 42 mdr.)	t_1+t_2	1,45E+08 s	42 mdr.
			56,0 mdr	

Tidsfaktor	T	0,06 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
------------	-----	--------	------	--

Konsolideringsgrad	U	0,27 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
--------------------	-----	--------	------	---

Sætning inkl. tidligere sætninger	δ_t	40,0 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
-----------------------------------	------------	----------------	------	-----------------------------------

Sætning i denne konsolideringsperiode	$\Delta\delta$	20,0 cm		
---------------------------------------	----------------	----------------	--	--

Restsætninger	$\delta_{tot}-\delta_t$	108,0 cm		
---------------	-------------------------	-----------------	--	--

Det ønskes fastlagt hvor lang tids konsolidering der skal ske, for at sætningen er yderligere 20 cm svarende til at dæmningen skal genopfyldes, for at have topkote over det højeste vandspejl

Kons.tid	(efter yderligere 70 mdr.)	t_1+t_2	3,27E+08 s	70 mdr.
			126,0 mdr	

Tidsfaktor	T	0,13 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
------------	-----	--------	------	--

Konsolideringsgrad	U	0,41 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
--------------------	-----	--------	------	---

Sætning inkl. tidligere sætninger	δ_t	60,0 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
-----------------------------------	------------	----------------	------	-----------------------------------

Sætning i denne konsolideringsperiode	$\Delta\delta$	20,0 cm		
---------------------------------------	----------------	----------------	--	--

Restsætninger	$\delta_{tot}-\delta_t$	88,0 cm		
---------------	-------------------------	----------------	--	--

Det ønskes fastlagt hvor lang tids konsolidering der skal ske, for at sætningen er yderligere 20 cm svarende til at dæmningen skal genopfyldes, for at have topkote over det højeste vandspejl

Kons.tid	(efter yderligere 99 mdr.)	t_1+t_2	5,83E+08 s	99 mdr.
			225,0 mdr	

Tidsfaktor	T	0,23 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
Konsolideringsgrad	U	0,54 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
Sætning inkl. tidligere sætninger	δ_t	79,9 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
Sætning i denne konsolideringsperiode	$\Delta\delta$	19,9 cm		
Restsætninger	$\delta_{tot} - \delta_t$	68,1 cm		

Det ønskes fastlagt hvor lang tids konsolidering der skal ske, for at sætningen er yderligere 20 cm svarende til at dæmningen skal genopfyldes, for at have topkote over det højeste vandspejl

Kons.tid	(efter yderligere 135 mdr.)	$t_1 + t_2$	9,33E+08 s 360,0 mdr	135 mdr.
----------	-----------------------------	-------------	-------------------------	----------

Tidsfaktor	T	0,37 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
Konsolideringsgrad	U	0,67 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
Sætning inkl. tidligere sætninger	δ_t	99,8 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
Sætning i denne konsolideringsperiode	$\Delta\delta$	19,9 cm		
Restsætninger	$\delta_{tot} - \delta_t$	48,2 cm		

Det ønskes fastlagt hvor lang tids konsolidering der skal ske, for at sætningen er yderligere 20 cm svarende til at dæmningen skal genopfyldes, for at have topkote over det højeste vandspejl

Kons.tid	(efter yderligere 200 mdr.)	$t_1 + t_2$	1,45E+09 s 560,0 mdr	200 mdr.
----------	-----------------------------	-------------	-------------------------	----------

Tidsfaktor	T	0,58 -	hvor	$T = \frac{c_k}{H^2} \cdot t = \frac{k \cdot K}{\gamma_w \cdot H^2} \cdot t$
Konsolideringsgrad	U	0,81 -	hvor	$U = (1 + \frac{1}{2} \cdot T^{-3})^{-1/6}$
Sætning inkl. tidligere sætninger	δ_t	119,8 cm	hvor	$\delta_t = U \cdot \delta_{tot}$
Sætning i denne konsolideringsperiode	$\Delta\delta$	20,0 cm		
Restsætninger	$\delta_{tot} - \delta_t$	28,2 cm		
Restsætninger+krybning		31,2 cm		

Bilag 5: Beregning af islast

5.3.1.1. Horizontal islast fra knusning

Den horisontale maksimale islast hidrørende fra knusning af fastfrosset isdække påvirket af vind og strøm eller hidrørende fra drivende isflager, der påvirker en lodretstående stiv konstruktion, kan bestemmes af:

$$Q_{h,k} = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot r_c \cdot e \cdot d \quad [kN]$$

hvor:

formfaktor	$k_1 = \begin{cases} 1,0 \\ 0,9 \end{cases}$	<i>for rektangulære tværsnit for cirkulære tværsnit</i>
kontaktfaktor	$k_2 = \begin{cases} 0,5 \\ 1,0 \\ 1,5 \end{cases}$	<i>for is i bevægelse for is fastfrosset til konstruktion for øget istykkelse omkring konstruktion</i>
dimensionsfaktor	$k_3 = \sqrt{1 + 5 \cdot e/d}$	
isens karakteristiske trykstyrke	$r_c = 1000 \text{ kN/m}^2$	<i>/5/ afsnit 2.11 (reduceret)</i>
isens tykkelse	$e = 0,30\text{m}$	<i>/5/ afsnit 2.11 (reduceret)</i>
konstruktionens bredde	d	<i>bredde i vandlinjen</i>

Ovenstående forudsætninger medfører følgende islast fra knusning:

$$Q_{h,k} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \sqrt{1 + 5 \cdot 0,30\text{m}/16\text{m}} \cdot 1000 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 0,30\text{m} \cdot 1,0\text{m} = 313,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Da den ydre vind og strømlast er væsentlig mindre vil der ikke forekomme knusning.

5.3.1.2. Horizontal islast fra termiske bevægelser

Den vandrette islast fra termiske bevægelser i isdækket, som påvirker afværgekonstruktionen i dens længderetning, kan regnes ensidig og ensformigt fordelt langs afværgekonstruktionen. Lasten bestemmes af:

$$q_{h,t} = 0,04 \cdot r_c \cdot e \quad [kN/m]$$

Der benyttes samme forudsætninger for r_c og e som i foregående afsnit.

$$Q_{h,t,y} = 0,04 \cdot 1000 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,30m = 12,0 \frac{kN}{m}$$

5.3.1.3. Vertikal islast fra vandstandshævninger

Den vertikale opadrettede islast fra en vandstandshævning, der påvirker en lodret væg, regnes ensformigt fordelt og bestemmes af:

$$q_{l,1} = 0,8 \cdot r_b \cdot e^{1,75} \quad [kN/m]$$

hvor:

Isens karakteristiske
bøjningsstyrke

$$r_b = 250 \frac{kN}{m^2} \quad [1] \text{ afsnit 2.11 (reduceret)}$$

Isens tykkelse

$$e = 0,3 \quad \text{Skal regnes lig med } 1,0m$$

Den vertikale opadrettede islast vil virke omkring hele bropillens omkreds, og kan derved fastlægges til:

$$q_{l,1} = 0,8 \cdot 250 \frac{kN}{m^2} \cdot 0,3m^{1,75} = 24,32 \frac{kN}{m}$$

Den vertikale nedadrettet islast er ved lodrette konstruktioner, sædvanligvis mindre end de opadrettede, og kan skønsmæssigt regnes som halvdelen af de opadrettede:

$$q_{l,2} = q_{l,1}/2 = 12,16 \frac{kN}{m}$$

Beregning af islast på skråning.

Beregnet af / dato:

MSR / 03.08.2021

Kontrolleret af / dato:

Nærværende dokument beregner islasten på skrå flader, f.eks. dæmninger. Jf. den norske Vegnormal N400 benyttes metoden i ISO 19906, afsnit A.8.2.4.4.3, dvs. der bruges en model baseret på elastisk bøjning af en bjælke på en elastisk understøtning.

Inputparametre for dæmning:

Dæmningens hældning: $\alpha := 11.3 \cdot \text{deg}$

Bredde af konstruktion ved vandlinje: $D := 16 \cdot \text{m}$

Bredde af konstruktion ved top: $D_{\text{top}} := 12 \cdot \text{m}$

Inputparametre for is (inkl. henvisninger til standarder):

Friktionskoefficient mellem jord og is (sætte mellem 0,1 og 0,5) Valgt:

$$\mu := 0.22$$

Friktionskoefficient mellem is og is (der antages sliding speed mindre end 0,01 m/s jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.8.7):

$$\mu_i := 0.1$$

Isens elasticitetsmodul defineres. Jf. ISO 19906 afsnit A.8.2.8.8 er $E=3 \text{ GPa}$ for saltvand og $E=5 \text{ GPa}$ for ferskvand. Er i anden let bestemt til 9 GPa Laveste værdi vælges (ferskvand):

$$E := 5 \cdot \text{GPa}$$

Isens Poissonforhold defineres jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.8.8 (effektivt Poissonforhold):

$$\nu := 0.42$$

Isens bøjningsstyrke defineres jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.8.3 og Tillæg:2015 til Eurocode 1 - reduceret:

$$\sigma_f := 0.25 \cdot \text{MPa}$$

Isens tykkelse (level ice thickness) defineres ud fra Tillæg:2015 til Eurocode 1, da det vurderes repræsentativt for danske forhold - reduceret:

$$h := 0.3 \cdot \text{m}$$

Massefylde af vand og is er:

$$\rho_w := 1025 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

$$\rho_i := 917 \cdot \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Tyngdeaccelerationen defineres ud fra danske forhold:

$$\frac{g}{m/s^2} := 9.82$$

Der defineres nogle parametre for den knuste is, der ligger foran og på skråningen. Jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.8.8 ligger isens friktionsvinkel i intervallet 25-45 grader. 45 grader vælges, da det giver den største last:

$$\varphi := 45 \cdot \text{deg}$$

Kohæsionen af den knuste is ligger mellem 0 kPa og 100 kPa jf. ISO 19906, afsnit 8.2.8.8. 100 kPa vælges, da det giver den højeste last:

$$c_i := 100 \cdot \text{kPa}$$

Ismassens porøsitet jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.8.8 ligger mellem 30% og 40%, men værdier ned til

10% er opserveret. Det vælges at bruge 10%, da dette er konservativt:

$$e_i := 0.1$$

Vinkel mellem den brudte is' overflade og vandets overflade defineres. Jf. ISO 19906, afsnit A.8.2.4.4.4 vil vinklen for høje bunker af den brudte is være cirka skråningens hældning minus 5 grader. Denne vinkel benyttes derfor i beregningerne:

$$\theta := \alpha - 5 \cdot \text{deg} = 6.3 \cdot \text{deg}$$

Højden, som isen hober sig op på skråningen, defineres herunder. Højden skal være mindst isens tykkelse. Det vurderes, at ophobningen kan ske op til kronetop svarende til 40 cm + isens tykkelse:

$$h_r := h + 0.4 \cdot \text{m} = 0.7 \text{ m}$$

Horisontalt lastbidrag for brud i isen, H_B :

$$\xi := \frac{\sin(\alpha) + \mu \cdot \cos(\alpha)}{\cos(\alpha) - \mu \cdot \sin(\alpha)} = 0.439$$

Karakteristisk længde af isplade på elastisk fundament:

$$L_c := \left[\frac{E \cdot h^3}{12 \cdot \rho_w \cdot g \cdot (1 - \nu^2)} \right]^{\frac{1}{4}} = 6.07 \text{ m}$$

Afstand til første circumferential revne:

$$R_w := \left(\frac{\pi}{4} \right) \cdot L_c = 4.77 \text{ m}$$

Den effektive brudbredde:

$$w_B := \begin{cases} \left(\frac{\pi^2}{4} \cdot L_c \right) & \text{if } 2 \cdot R > D \\ \left(D + \frac{\pi^2}{4} \cdot L_c \right) & \text{if } 2 \cdot R < D \end{cases} = 31 \text{ m}$$

Vertikal last påkrævet til at der opstår brud i ispladen (first break):

$$V_{B1} := 0.68 \cdot \sigma_f \cdot w_B \cdot \left(\rho_w \cdot g \cdot \frac{h^5}{E} \right)^{0.25} = 44 \cdot \text{kN}$$

Nedbøjning af isplade ved ende:

$$y_{\text{crit}} := \frac{\sigma_f \cdot h^2}{0.385 \cdot \rho_w \cdot g \cdot R^2} = 0.256 \text{ m}$$

Vertikal last påkrævet til at der opstår brud i ispladen (second break):

$$V_{B2} := \begin{cases} R \cdot w_B \cdot \rho_w \cdot g \cdot \frac{y_{\text{crit}}}{3} & \text{if } w_B \neq D \\ 1.11 \cdot D \cdot \sigma_f \cdot \frac{h^2}{L_c} & \text{if } w_B = D \end{cases} = 127 \cdot \text{kN}$$

Ny afstand til brud:

$$R_2 := 0.43 \cdot R = 2.05 \text{ m}$$

Horisontale lastbidrag for hhv. first break og second break:

$$H_{B1} := \xi \cdot V_{B1} = 19 \cdot \text{kN}$$

$$H_{B2} := \xi \cdot V_{B2} = 56 \cdot \text{kN}$$

Horisontalt lastbidrag fra lasten, der skubber brudt is (rubble) op ad skråningen, H_R :

$$P := 0.5 \cdot (\mu_i + \mu) \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1 - e_i) \cdot h_r^2 \cdot \cos(\alpha) \cdot \cot(\alpha) \cdot \left(1 - \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)}\right) \dots = 5368 \cdot \frac{\text{N}}{\text{m}} \\ + h_r \cdot h \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1 + \mu \cdot \cot(\alpha))$$

Gennemsnit af bredde ved vandlinje og ved skråningstoppen:

$$w_R := \frac{D + D_{\text{top}}}{2} = 14 \text{ m}$$

Horisontalt lastbidrag fra last, der skubber is op af skråningen:

$$H_R := w_R \cdot P \cdot \frac{1}{\cos(\alpha) - \mu \cdot \sin(\alpha)} = 80 \cdot \text{kN}$$

Horisontalt lastbidrag fra lasten, der skubber en isplade gennem brudt is (rubble), H_P :

Bredden w defineres som bredden af skråningen ved vandlinjen, der bruges som approksimering af den gennemsnitlige bredde af brudt is (rubble) på skråningen:

$$w := D = 16 \text{ m}$$

Horisontalt lastbidrag fra last, der skubber isplade gennem brudt is:

$$H_P := w \cdot h_r^2 \cdot \mu_i \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1 - e_i) \cdot \left(1 - \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)}\right)^2 \cdot \frac{1}{2 \cdot \tan(\theta)} = 5.76 \cdot \text{kN}$$

Horisontalt lastbidrag fra lasten, der løfter en isplade op over brudt is (rubble), inden den selv bryder, H_L :

Der bruges samme bredde som ovenfor, da $w=D$ bruges som approksimering af bredden af den brudte is på skråningen.

Horisontalt lastbidrag fra lasten, der løfter en isplade op over den brudte is:

$$H_L := 0.5 \cdot w \cdot h_r^2 \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1 - e_i) \cdot \xi \cdot \left(\frac{1}{\tan(\theta)} - \frac{1}{\tan(\alpha)}\right) \cdot \left(1 - \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)}\right) \dots = 248 \cdot \text{kN} \\ + 0.5 \cdot w \cdot h_r^2 \cdot \rho_i \cdot g \cdot (1 - e_i) \cdot \xi \cdot \tan(\varphi) \cdot \left(1 - \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)}\right)^2 + \xi \cdot c_i \cdot w \cdot h_r \cdot \left(1 - \frac{\tan(\theta)}{\tan(\alpha)}\right)$$

Horisontalt lastbidrag fra lasten, der vælter en isplade, når den når den lodrette del af konstruktionen, H_T :

Parameteren n defineres:

$$n := \frac{R_2}{h} = 6.83$$

H_T er lastbidraget fra lasten, der vender ispladerne, når de rammer den lodrette del af konstruktionen. Da der er tale om en dæmning, er der ingen lodret del, og H_T må derfor være 0.

$$H_T := 0 \cdot \text{N}$$

Korrektionsfaktorer for in-plane kompression af isplader pga. F_H, I_p :

Længde af circumferential crack sættes til effektiv brudbredde:

$$l_c := w_B = 31 \text{ m}$$

Korrektionsfaktorerne for first break og second break bestemmes:

$$I_{p1} := \frac{1}{1 - \frac{H_{B1}}{l_c \cdot h \cdot \sigma_f}} = 1.008$$

$$I_{p2} := \frac{1}{1 - \frac{H_{B2}}{D \cdot h \cdot \sigma_f}} = 1.05$$

Horizontal last på konstruktion, F_H :

Den horisontale last på konstruktionen kan bestemmes for hhv. first break og second break:

$$F_{H1} := (H_{B1} + H_R + H_P + H_L + H_T) \cdot I_{p1} = 356 \cdot \text{kN}$$

$$F_{H2} := (H_{B2} + H_R + H_P + H_L + H_T) \cdot I_{p2} = 409 \cdot \text{kN}$$

Deles lastbidragene ud på de bredder, de virker over, fås følgende for hhv. first break og second break (H_T tages ud af beregningerne, da den ikke bidrager). Bemærk, at følgende formler ikke er medtaget i ISO 19906:

$$F_{H1.o.w} := \left(\frac{H_{B1}}{w_B} + \frac{H_R}{w_R} + \frac{H_P}{w} + \frac{H_L}{w} \right) \cdot I_{p1} = 22.4 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$F_{H2.o.w} := \left(\frac{H_{B2}}{w_B} + \frac{H_R}{w_R} + \frac{H_P}{w} + \frac{H_L}{w} \right) \cdot I_{p2} = 24.5 \cdot \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

Der skal dimensioneres ud fra den største af de to ovennævnte belastninger.