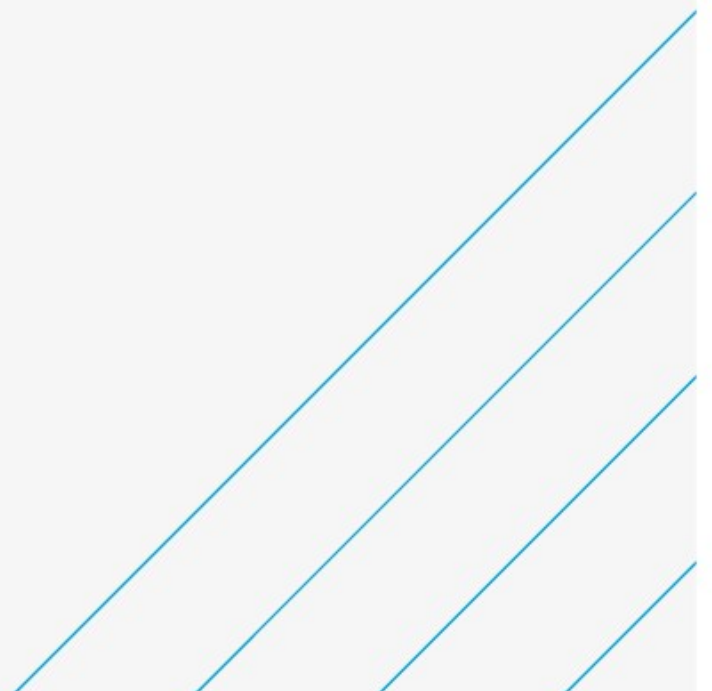


Nørgaard Koloniens Grundejerforening

Stabilisering af skrænt

4 juli 2023



Dokumenthistorie

Revision	Formålsbeskrivelse	Udarbejder	Gransker	Godkender	Dato
1.0	Første udgave	BER	MSR	MFO	22.06.2023
2.0	Tilføjelser efter møde	MSR	MHK	MSR	04.07.2023

Indhold

Kapitel	Side
1. Sammenfatning	4
2. Baggrund og formål	5
3. Design Basis	7
3.1. Normer, grundlag og litteratur	7
3.2. Generelt forudsætninger	7
3.3. Vandstand og bølgeforhold	8
3.4. Jordbundsforhold og parametre	8
4. Tekniske Løsninger	10
5. Beregningsprincipper	11
5.1. Dæklag design	11
5.2. Filter lag design	11
5.3. Sandfyld og geotekstil	11
5.4. Design af tå	12
5.5. Bølgeoverskyl	12
5.6. Sten graderinger.	12
5.7. Geoteknisk stabilitet af skråning	12
6. Resultater	14
6.1. Geoteknisk stabilitet	14
6.2. Kystsikring - stenstørrelser og geometri	15
7. Prisestimat	18
8. Alternative løsninger	19
8.1. Skrå front	19
8.2. Udlægning af dæksten – uden bagopfyldning	21
Bilag	23
Bilag A. Slopeberegninger	24
Bilag B. Design af stenkastning	25
Bilag C. Skitser	26

1. Sammenfatning

Den nuværende skrænt ved sommerhusområdet Nørregaard Kolonien ved Nørregaard strand er ustabil og bør sikres.

Da der samtidig bliver spist af den nuværende kystlinje skal en sikring udformes således det sikres, at der ikke spises mere af kystlinjen for derigennem at sikre, at de nærmeste sommerhuse ikke kommer i fare for at skride ned af skråningen.

Atkins har foretaget en vurdering af forskellige løsninger og anbefaler, at der etableres en "hård" kystsikring op til kote +2,5 m med en bagvedliggende repos. Den hårde kystsikring, som foreslås udført i 1-3 T dæksten over 10-60 kg filtersten, skal flyttes 15 m ud fra den nuværende kystlinje, svarende til kystlinjen nord for den eksisterende badebro.

Tiltaget vil ikke sikre den nødvendige sikkerhed af den nuværende skrænt, men vil sikre, at de nærmeste sommerhuse ikke ad åre vil blive "spist" af skrænten.

Bag den hårde kystsikring opfyldes med friktionsmateriale, som adskilles fra filterstenene med en geotekstil for at sikre, at der ikke sker en udvaskning.

Der er desuden undersøgt forskellige alternativer og deres konsekvenser for området.

2. Baggrund og formål

Ved sommerhusområdet Nørgaard Kolonien ved Nørgaard Strand, nord for Juelsminde, ønsker grundejerforeningen at stabilisere skrænten ned mod vandet. Skrænten viser i dag tydelige tegn på en række stabilitetsbrud. Ud over stabilitetsbrudene viser historiske kort, at foden af skråningen i dag "spises" af fjorden. Der ønskes derfor etableret en kystsikring og en stabilisering af skrænten, således de nærmeste sommerhuse ikke ad åre bliver spist af skrænten. Den del af skrænten der skal sikres er vist på Figur 2-1 (situationsplan for området) og Figur 2-2 (skråfoto af skrænten). Som det fremgår af såvel Figur 2-1 og Figur 2-2 er der tydelige tegn på brud i skråningen.



Figur 2-1 - Situationsplan for området med markering af skrænt, ca. 100 m strækning



Figur 2-2 - Skrænten, der ønskes kystsikret

Som det fremgår af Figur 2-1, er kysten i dag lokalt tilbagetrukket på den strækning, som planlægges forstærket.

Der foreligger en tidligere tilladelse fra Hedensted Kommune på et kystsikringsprojekt, ref. [A].

Nordøst for projektområdet er der etableret stensætning langs stranden og hører ud i vandet, som kan medføre læsideerosion ved skrænten med stabilitetsproblemer.

Formålet med nuværende notat er at fastlægge den optimale tekniske løsning, udføre skitsedesign samt udarbejde et prisoverslag.

3. Design Basis

3.1. Normer, grundlag og litteratur

3.1.1. Normer og litteratur

- [0] Eurocode 0: Projekteringsgrundlag for konstruktioner, inkl. DK NA
- [1] Eurocode 7: Geoteknik, inkl. DK NA
- [2] DS/EN 13383-1. Tilslagsmaterialer - Vandbygningssten - Del 1: Specifikation
- [3] DS/EN 13383-2. Tilslag - Vandbygningssten - Del 2: Prøvningsmetoder
- [4] CIRIA/CUR C683 - "The Rock Manual 2012, The use of rock in hydraulic engineering" (2nd edition), CIRIA C683, London

3.1.2. Grundlag - Projektmateriale

- [A] Tilladelse til at etablere kystbeskyttelsesanlæg på matr.nr. 3n Sønderby By, Hedensted Kommune, dateret 15.04.2021
- [B] Rådgiver projektbeskrivelse, Kystsikringsudvalget, dateret 19.12.2022
- [C] Bilag 1 Kystsikringsudvalget egne idegrundlag og løsningsforslag, dateret 19.12.2022
- [D] Geoteknisk rapport, Parameterundersøgelse, Franck Geoteknik AS, dateret 20.11.2022
- [E] 3D-model af skrænten ud fra højdekurver pr. 0,5m

3.2. Generelt forudsætninger

- Geoteknisk kategori = GK2
- Konsekvensklasse = CC2
- Skrænten er ubelastet.
- Geometri af skrænten baseres på de 3 snit præsenteret i [D], bilag 2 til bilag 4. Det kan bemærkes, at skråningsanlæg i disse 3 tværsnit er stejlere end skråningsanlæg beregnet ud fra Danmarks højdemodels højdekurver, præsenteret på Figur 3-1.



Figur 3-1 – Geometri af skrænten, Danmarks højdemodel

Det skal i den forbindelse bemærkes, at opmålingerne i [D] blev udført 2022 og derfor kan være ændret grundet den fortsatte skredaktivitet i området.

Det er desuden forudsat, at der kan opnås tilladelse ved de respektive myndigheder til det foreslåede projekt.

3.3. Vandstand og bølgeforhold

Der er for beregning af vandstand og bølgeforhold forudsat følgende:

- Havbund niveau: -1,5 m i 25 meters afstand fra nuværende kystlinje
- Middelvandstand, MHWS: +0,0 m
- Havstigning over 50 år: 0,5 m
- Middelvande, højvande, og lavvande baseres på data i den danske havnelods for de 3 nærtliggende havne; Endelave, Juelsminde og Hjørnø og er præsenteret i Tabel 3-1.

Tabel 3-1 – Vandstande, den danske havnelods

	Endelave Havn	Juelsminde Havn	Hjørnø Havn
Forskellen mellem middelhøjvande og middellavvande [m]	0,4	0,4	0,5
Højvande [m]	1,3	1,5	1,0
Lavvande [m]	1,0	1,0	1,0

- Nominalvandstand, NWL: MHWS + middelhøjvande + havstigning
NWL: 0,0 m + 0,25 m + 0,4 m = 0,65 m
- Designvandstand, DWL: Højvande+ havstigning
DWL: 1,5 m + 0,5 m = 2,0 m
- Design bølgehøjde, H_{design} forudsættes som 0,7 x vanddybde som svarer til den maksimale bølgehøjde før bølgebrydning, dog maks. 2,0 m
- Peak bølgeperiode, $T_p=5,5$ s
- Mean bølgeperiode $T_m = T_p/1.1$
- Spectral bølgehøjde H_{m0} = Signifikant bølgehøjde H_s
- Storm varighed: 6 timer

3.4. Jordbundsforhold og parametre

Franck geoteknik har udført 1 boring på skråningstop og udarbejdet en geoteknisk rapport, ref. [D]. I boringen er der truffet moræneler indtil kote +7,5 (6 m under terræn), som underlejres af meget fedt glacialt og tertiært ler til endt boreddybde 15 m under terræn.

Der er ikke foretaget boringer i selve skråningen. Det er derfor på den sikre side valgt, at den meget fede tertiære ler træffes i terræn i samme kote, som bestemt i boringen. Dette er en konservativ vurdering.

På baggrund af anbefalingerne i den geoteknisk rapport, og vores erfaringstal i øvrigt, anvendes de i Tabel 3-2 angivne karakteristiske styrkeparametre for de forskellige jordtyper.

Tabel 3-2 - Anvendte karakteristiske styrkeparametre

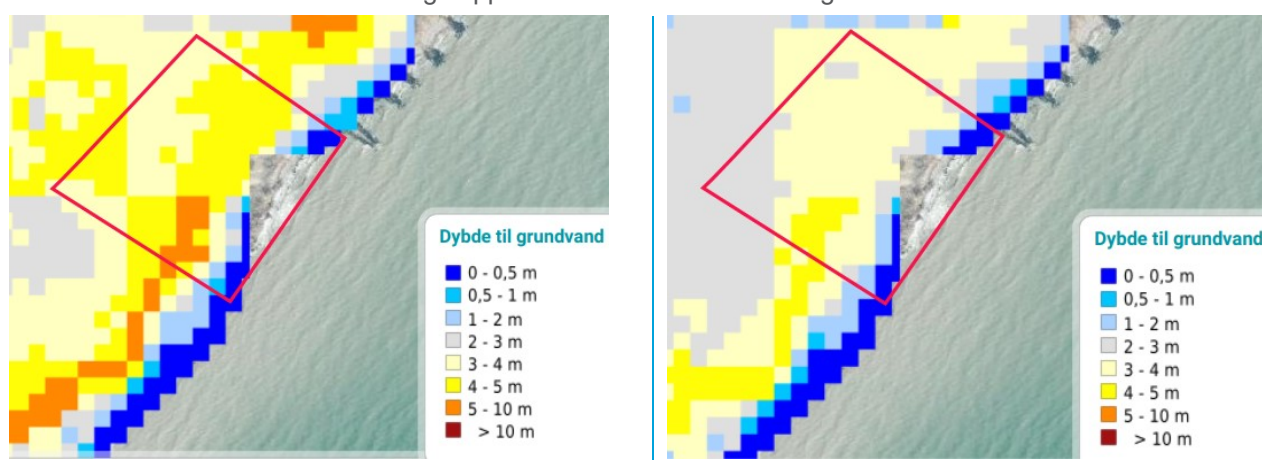
Jordart	γ/γ_m [kN/m ³]	$c_{u,k}$ [kN/m ²]	ϕ_k' [°]	c'_k [kN/m ²]
Moræneler, Gc	20/10	540	30	20
Moræneler, Gc, sprækket**	20/10	180*	30	0
Tertiært ler, meget fedt	20/10	80*	15	8

* $c_{u,k} = 1/3 \times c_v$

** Øverste 1 meter i moræneler forudsættes som sprækket.

Grundvand

Der er ikke registeret vandspejl i det etablerede pejlerør. Figur 3-2 viser dybden til terrænnært grundvand baseret på Hydrologisk informations- og prognosesystem (HIP). Her kan der ses, at dybden til terrænnært grundvand ved skråningstoppen varierer mellem 3m til 5m under terræn. I beregninger er grundvandsspejlet sæt til 4 m under terræn ved skråningstoppen i det drænedde tilfælde og i terræn i det udrænedde tilfælde.



Figur 3-2 – Dybden til det terrænnære grundvand (HIP). Sommerperiode til venstre og vinterperiode til højre. Projektområdet markeret med rødt.

4. Tekniske Løsninger

Der er tidligere arbejdet med forskellige løsningsmuligheder, som er præsenteret i projektbeskrivelsen, ref. [B]. Disse løsninger består af:

- Sandfodring
- Etablering af dræn
- Hård skræntbeskyttelse med repos
- Etablering af skråningsbeskyttelsen ved skræntfoden samt etablering af to T-høfder, hvilket der foreligger en tilladelse fra Hedensted Kommune, ref. [C].

Sandfodring er efter Atkins vurdering ikke en optimal løsning, da en sandfodring vil skulle foretages løbende og løsningen vil ikke kunne sikre stabiliteten af selve skråningen. Der skal således fortsat skulle leve med, at skrænten ikke er stabil og der løbende vil ske en læsideerosion, hvis der ikke foretages yderligere tiltag. Vedligeholdelsesudgiften vil således være meget stor ved en sådan løsning.

Af disse årsager finder Atkins ikke, at en sandfodring er den optimale løsning.

Et dræn ved toppen af skrænten vil efter Atkins vurdering være mere skadelig end gavnlig for skråningens stabilitet. Et dræn vil sikre, at det er lettere for vandet at løbe på tværs af skråningen og derigennem sikre, at alle revner bliver vandfyldte. Et dræn vil således sikre, at hele skråningen vil være vandfyldt, hvilket vil reducere skræntens sikkerhed. Det er derfor Atkins vurdering, at etablering af et dræn ikke vil være en reel løsning.

Udover det vil en drænløsning ikke stoppe erosionen ved skræntfoden.

For at stoppe erosionen ved skræntfoden og for at sikre stabiliteten af skrænten er det Atkins klare holdning, at der skal udføres en "hård" skræntbeskyttelse, som sikrer, at der ikke sker yderligere erosion af skræntfoden. Bag denne fyldes der op i højde og bredde, så den samlede stabilitet af skrænten bliver regningsmæssig stabil. Løsningen vil begrænse læsesiden erosionen ved skræntfoden, uden behov for høfder.

Løsningen med høfder ved skræntfoden vil ikke gøre skrænten stabil, hvorfor en sådan løsning alene ikke vil sikre stabiliteten af selve skrænten, hvorfor den kun vil have en begrænset effekt og det må forventes at skrænten fortsat vil være ustabil med risiko for større skred.

På baggrund af ovenstående gennemgang af de mulige tekniske løsninger er det valgt udelukkende at fortsætte med løsningen med den hårde skræntbeskyttelse med en bagvedliggende repos. I kapitel 8 er der dog beskrevet 2 alternative løsninger og disses betydning for skræntstabiliteten.

5. Beregningsprincipper

5.1. Dæklag design

Stenstørrelser

Stenstørrelserne er baseret på Van Der Meer formel for lavt vand, som angivet i Eq. 5.139 og 5.140 i CIRIA/CUR C683, ref. [4]. En kontrol beregning med Hudson formel, som overestimerer stenstørrelserne, også er udført.

Van der Meer	<p style="text-align: center;"><i>For plunging conditions</i> ($\xi_{s-1,0} < \xi_{cr}$):</p> $\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_{pl} P^{0.18} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) (\xi_{s-1,0})^{-0.5}$ <p style="text-align: center;"><i>and for surging conditions</i> ($\xi_{s-1,0} \geq \xi_{cr}$):</p> $\frac{H_s}{\Delta D_{n50}} = c_s P^{-0.13} \left(\frac{S_d}{\sqrt{N}} \right)^{0.2} \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right) \sqrt{\cot \alpha} (\xi_{s-1,0})^p$
Hudson	$W_{50} = \frac{\rho_r g H^3}{K_D \Delta^3 \cot \alpha}$

Tykkelsen af dæklaget svarer til 2 gange den ækvivalente kubelængde for sten ved d_{50} (D_{n50}) og kronebredden er valgt som 3 gange D_{n50} .

5.2. Filter lag design

Stenstørrelser

Filterstenene er valgt baseret på stenstørrelserne i dæklagene, således af filterkriterier, givet nedenfor, er overholdt.

Filterkriterier:

$$\frac{d_{15a}}{d_{15f}} \leq 15 \text{ \AA } 20$$

$$\frac{d_{15a}}{d_{85f}} \leq 4$$

$$\frac{d_{50a}}{d_{50f}} \leq 7$$

a angiver dæklaget, mens f angiver filterlaget.

Tykkelsen af dæklaget skal være minimum halvdelen af den ækvivalente kubelængde for dæksten ved d_{50} (D_{n50})

5.3. Sandfyld og geotekstil

Der kan bruges sandfyld som opfyldningsmateriale til etablering af repos. Hvis filterkriterier mellem sandfyld og filterlag ikke kan eftervises kan der bruges geotekstil. Porestørrelse (090) af geotekstil skal være mindre end d_{50} af kernematerialet/fyldmaterialet. Det anbefales at bruge en geotekstil med en minimumtykkelse af 5mm, som har en forlængelse ved brud >60%.

5.4. Design af tå

Det er valgt at ikke at bruge et særskilt tå konstruktion for at minimere antallet af forskellige materialer. Filterstenene skal bruges som tå.

Tykkelse af tåen skal have en minimumtykkelse svarende til 2 gange middeldiameter d_{50} , og bredden skal være minimum 3 gange d_{50} . Det er valgt at udvide det nedre tåen med 1,0 m for at tage hensyn til installationstolerancer og udvaskning.

5.5. Bølgeoverskyl

Bølgeoverskyl vurderes ikke at være relevant, da det kan accepteres at der kommer bølge til reposområdet i forbindelse med storme.

5.6. Sten graderinger.

Der er brugt standart graderinger, som fremgår i DS/EN 13383-1, ref. [2] eller ref. [4]

Tabel 5-1 – Standartgraderinger jf. Tabel 3.5 i ref. [4]

	Class designation	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Passing requirements kg	< 5% kg	< 10% kg	> 70% kg	> 97% kg	lower limit kg	upper limit kg
Heavy	10 000-15 000	6500	10 000	15 000	22 500	12 000	13 000
	6000-10 000	4000	6000	10 000	15 000	7500	8500
	3000-6000	2000	3000	6000	9000	4200	4800
	1000-3000	700	1000	3000	4500	1700	2100
	300-1000	200	300	1000	1500	540	690

	Class designation	ELL	NLL	NUL	EUL	M_{em}	
	Passing requirements kg	< 2% kg	< 10% kg	> 70% kg	> 97% kg	lower limit kg	upper limit kg
Light	60-300	30	60	300	450	120	190
	10-60	2	10	60	120	20	35
	40-200	15	40	200	300	80	120
	5-40	1.5	5	40	80	10	20
	15-300 *	3	15	300	450	45	135

	Class designation	ELL	NLL	NUL	EUL	
	Passing requirements mm	< 5% mm	< 15% mm	> 90% mm	> 98% mm	< 50% mm
Coarse	45/125	22.4	45	125	180	63
	63/180	31.5	63	180	250	90
	90/250	45	90	250	360	125
	45/180 **	22.4	45	180	250	63
	90/180 ***	45	90 ***	180 ***	250	NA

Notes

* = wide light grading, ** = wide coarse grading, *** = gabion grading, NLL = 20% and NUL = 80%.
See Table 3.6 in Section 3.4.3.7 for additional information on standard gradings.

5.7. Geoteknisk stabilitet af skråning

Der er udført stabilitetsberegninger i Geostudio Slope.

Til beregningerne anvendes Morgenstern – Price analysemetoden, som sikrer såvel kraft- som momentlignevægt. Potentielle brudfigurer bestemmes ved brug af definerede "entry and exit". Der anvendes optimerede brudfigurer. Der angives karakteriske styrkeparametre, hvorfor resultater viser det karakteriske sikkerhed.

Det betyder, at den karakteristiske sikkerhed, som er forholdet mellem de stabiliserende kræfter divideret med de drivende kræfter, skal være større end 1,2 for at opnå en sikkerhed svarende til normal sikkerhedsklasse/konsekvensklasse (CC2) i det drænedede tilfælde og 1,8 i det udrænedede tilfælde.

Beregninger er udført for 2 tilfælde, hvor grundvandsspejl ligger henholdsvis i kote +1,0 m og kote +9,0 ved skråningstoppen, svarende til 4 m under terræn for det drænedede tilfælde. I det udrænedede tilfælde regnes der med grundvandsspejl i terræn.

Beregninger er udført for snit 2 i ref. [D], som vurderes at være det repræsentative snit for hele projektområdet.

6. Resultater

6.1. Geoteknisk stabilitet

Beregninger viser at den eksisterende skråning er ustabil selv med karakteriske parametre, hvis grundvandet er højt i skrænten. Dette forklarer fint, at der løbende forekommer brud i skrænten.

Ved at rykke kystlinjen ca. 15 m ud, svarende til kystlinjen nord for den eksisterende badebro og der etableres et reposområde i kote + 2,5 øges sikkerheden således skråningen er stabil med karakteristiske parametre. (Uden sikkerhed). Fordelen ved at rykke kystlinjen de ca. 15 m ud er at stabiliteten af skrænten ikke kan påvirkes af kysterosion. For at gøre skråningen regningsmæssig stabil (CC2) er det nødvendigt, at der på de første 6 m etableres et højere plateau i kote +4,3. Dette vil dog kræve at der tilkøres væsentlig større sandmængder.

Atkins foreslår derfor, at der kun etableres det beskrevne 15 m brede repos ved skræntfoden og lader skrænten "skride" sig til den nødvendige sikkerhed.

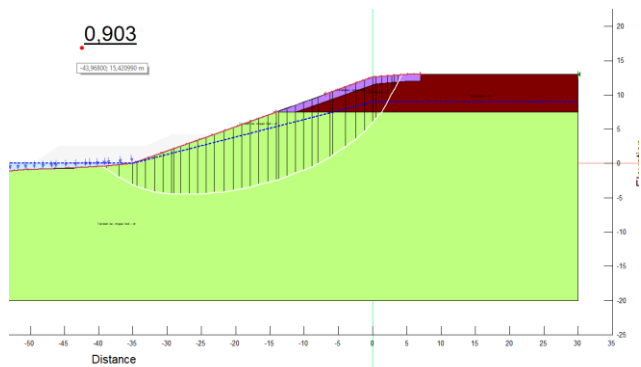
Beregninger viser, at når det beskrevne repos er etableret til kote +2,5 m vil skråningen være regningsmæssig stabil (CC2) med et skråningsanlæg på $a=4$ (4 lodret og 1 vandret).

Et sådan anlæg betyder, at skrænten er regningsmæssig stabil når toppen af skråningen har rykket sig yderligere 10 m tilbage fra dens nuværende placering. Det forventes dog ikke, at der vil "forsvinde" 10 m, men blot, at der med de beskrevne tiltag ikke er nogen sikkerhedsmæssig risiko for de nærmeste sommerhuse.

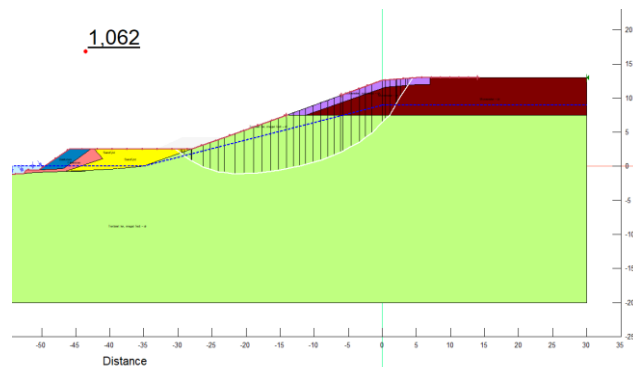
Resultater er opsummeret i Tabel 6-1 og præsenteret i figurer ned under.

Tabel 6-1 – Resultat af stabilitetsberegninger

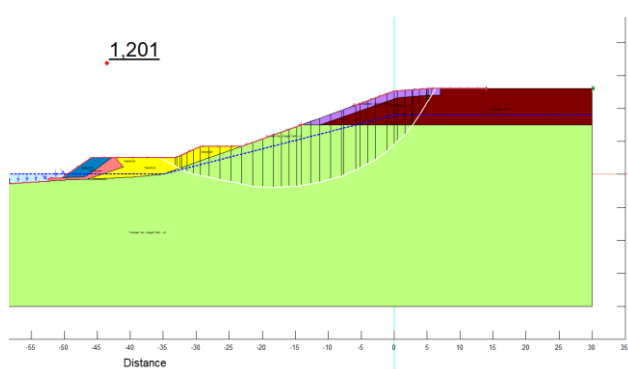
Geometri	Tilstand	Grundvands beliggenhed [mut]	Karakteriske sikkerhed	Bemærkning
Eksisterende skråning	dr	4	0,904	ustabil ved højt grundvand = regnfyldte perioder
		12	1,102	Stabil i tørre perioder
Repos i kote +2,5		4	1,062	Stabil uden den krævede sikkerhed
		12	1,343	
Ekstra banket i kote +4,3		4	1,201	Regningsmæssig stabil, små lokale brud kan stadig forekomme
Skråning med $a=4$ og repos til kote +2,5 m ved skråningsfod		4	1,216	Regningsmæssig stabil. Da $a=4$ ikke påvirker nærmeste sommerhuse er der ingen risiko for sommerhusene
Eksisterende skråning	udr	0	1,250	Stabil uden den krævede sikkerhed
Repos i kote +2,5			1,556	Stabil uden den krævede sikkerhed
Skråning med $a=4$ og repos til kote +2,5 m ved skråningsfod			2,164	Regningsmæssig stabil. Da $a=4$ ikke påvirker nærmeste sommerhuse er der ingen risiko for sommerhusene



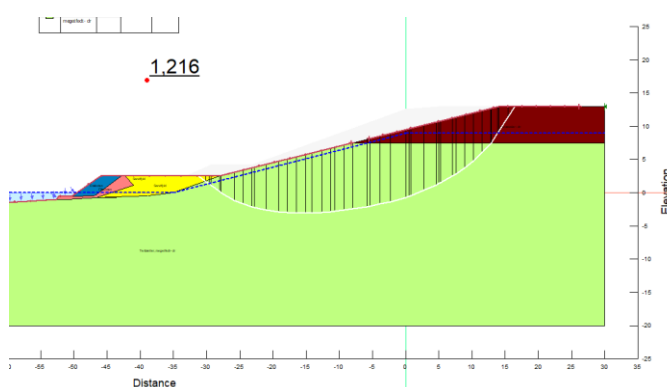
Figur 6-1 – Eks. forhold, højt vandspejl, dr



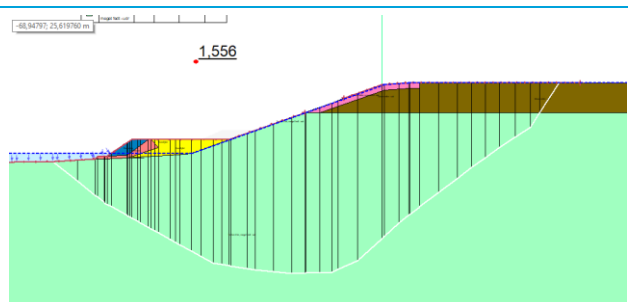
Figur 6-2 –Kystsikring, højt vandspejl, dr



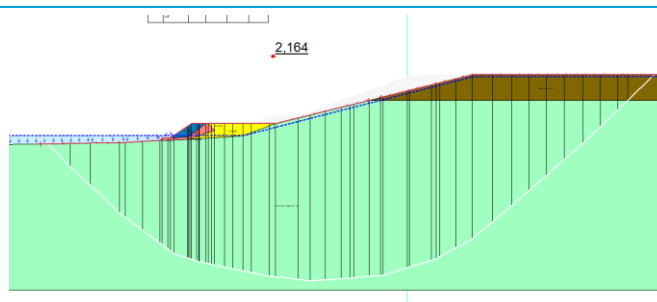
Figur 6-3 –Kystsikring+banket, højt vandsp., dr



Figur 6-4 –Kystsikring+a=4 skr. højt vandsp., dr



Figur 6-5 –Kystsikring. udrænnet



Figur 6-6 –Kystsikring + a=4 skr. udrænnet

6.2. Kystsikring - stenstørrelser og geometri

Beregninger har vist, at dæksten kan bestå af sten med en standart gradering af 1-3 tons.

Stenene i filterlag kan bruges som standartgradering 10-60kg. De øvrige beregningsresultater samt geometriske krav fremgår i Tabel 6-2 til Tabel 6-4.

Den resulterende geometri er skitseret i Figur 6-7.

Tabel 6-2 – Geometri af dæklaget

W50 (kg) *- baseret på Van Der Meer formel	W50 (kg) ' – baseret på Hudson formel	W50 (kg) - Valgte	Dæklag tykkelse (mm)	Kronebredden (mm)
1250	1650	2000	1850	2750

* Vægten som 50% stenene (samlede masse) i graderingen vejer mindre end

Tabel 6-3 – Filterkriterie

Lag	Gradering	D ₁₅ (mm)	D ₅₀ (mm)	D ₈₅ (mm)	Filterkriterie mod underliggende lag		
					Da15 / Df85 (<4)	Da50 / Df50 (<7)	Da15 / Df115 (<15)
Dæklag	1-3t	785	910	1010	2,9	4,1	4,5
Filterlag	10-60kg	171	220	260	0,7*	1,4*	1,9*
Kerne	1-100kg	90	155	230	-		
Kerne	Sandfyld	0,13	0,21	0,35	-		

*Geotekstil hvis sandfyld bruges som kerne

Tabel 6-4 –Krav til stengraderinger

	W ₅₀ (kg)	Gradering	ELL *	NLL *	NUL *	EUL *	W ₅₀ (kg)	
			<5%** kg	<10% kg	>70% kg	>97% kg	Min	Max
Dæksten	2000	1-3t	700	1000	3000	4500	1700	2100
Filterlag	27,5	10-60kg	2	10	60	120	20	35
Kerne	10	1-100kg	-	1	-	100	5	15

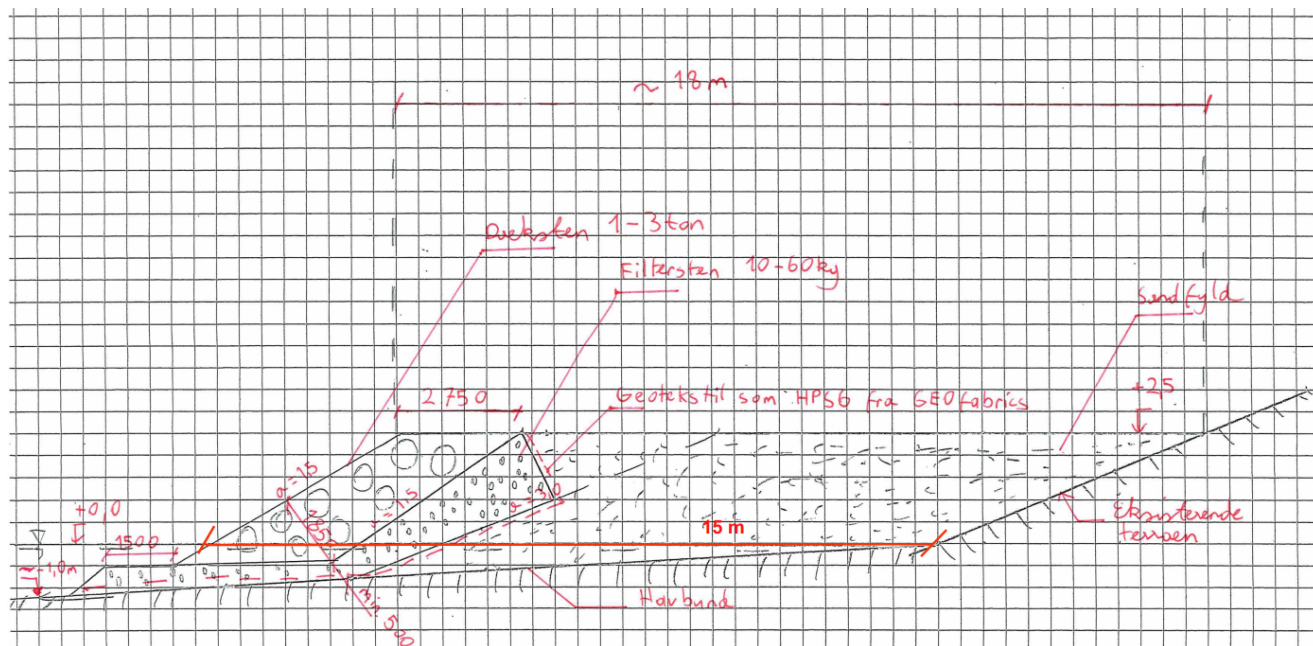
* ELL Ekstrem nedre grænse for graderinger

NLL Nominel nedre grænse for graderinger

NUL Nominel øvre grænse for graderinger

EUL Ekstrem øvre grænse for graderinger

**2% for filterlag



Figur 6-7 – Geometri af kystsikring

7. Prisestimat

Foreløbige mængder fremgår i Tabel 7-1. Det anbefales at opdatere mængderne baseret på detaljerede opmålinger af havbundsniveauet samt skråningsgeometri.

Grundet de udfordrende tilkørselsforhold er det en del usikkerhed omkring de estimerede priser, hvorfor der er forholdsvis stor usikkerhed på estimatet.

Tabel 7-1 –Mængder og prisoverslag (excl. moms)

Post	Enhed	Mængde	Enhedspris	Prisestimat
Mobilisering + indretning arbejdsplads	Sum	1	--	50.000,-
Regulering af eksisterende terræn inkl. rydning	m ²	250	100	25.000,-
Indbygning af dæksten 1-3t	m ³	950	1.000	950.000,-
Indbygning af filtersten 10-60 kg	m ³	1300	900	1.170.000,-
Indbygning af sandfyld	m ³	4600	150	690.000,-
Levering og indbygning af geotekstil, som HPS6 fra GeoFabric	m ²	1750	50	87.500,-
Pris incl. 20% til uforudset				3.567.000,-
Rådgivningshonorar 5% af pris				178.000,-
Samlet pris				3.745.000,-

Prisen på dæksten er kontrolleret til 260 kr/tons, hvor disse skal omlæsses til pram inden de kan leveres ved stranden. Derfor er der regnet med en pris på 500-600 kr/tons indbygget og 1,8 tons/m³ svarende til 1.000 kr/m³.

Filterstenene er regnet ud fra samme metode til 500 kr/tons = 900 kr/m³.

Såfremt denne løsning installeres, forventes der stort set ingen fremtidig vedligeholdelse af løsningen.

8. Alternative løsninger

I forbindelse med et møde mellem Kystsikringsudvalget og Atkins, afholdt 28.06.2023, blev et par alternativer drøftet. Følgende løsninger vil blive behandlet i nærværende revision:

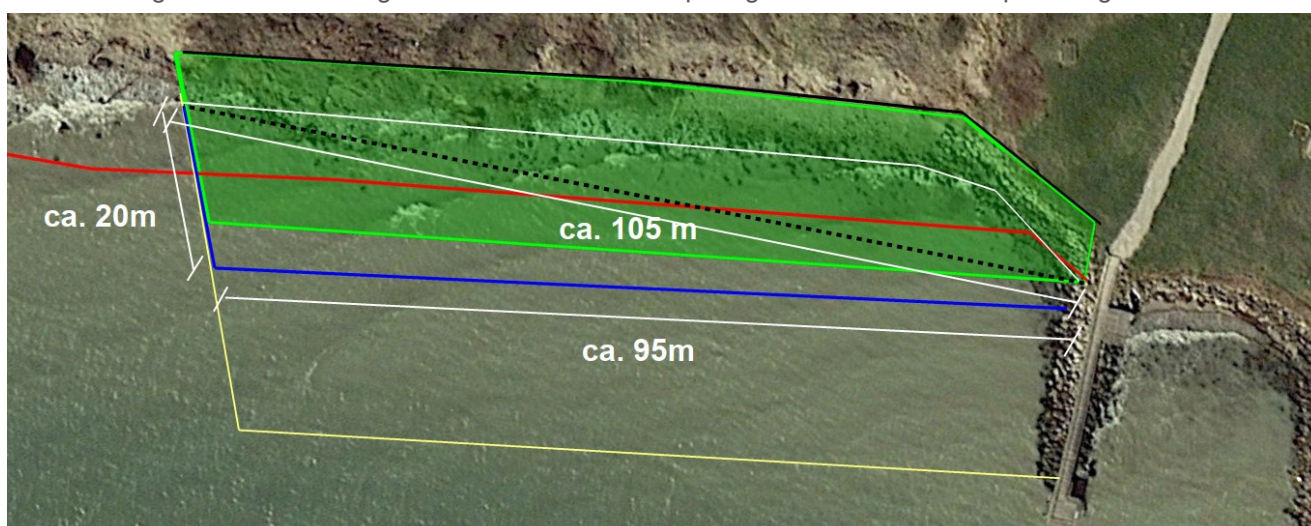
- Skrå frontsikring
- Udlægning af dæksten – uden bagopfyldning

For begge løsninger skitseres løsningen. Den økonomiske besparelse beskrives og løsningens betydning for arealerne bag skråningen beskrives.

8.1. Skrå front

Den hidtidige løsning har til formål at sikre den overordnede stabilitet af skråningen langs hele skråningen og der vil derfor, som vist i bilag C, blive udlagt et ydre dige parallelt med skråningsfoden og afsluttet med et tilsvarende ydre dige vinkelret ind til land. I alt 115 m.

Forskellen og ideen med løsningen med skrå front er vist på Figur 8-1 som en sortstiplet streg.



Figur 8-1 - Princippet for løsningen med den skrå front.

8.1.1. Mængde og prisvurdering

Et groft skøn på de nødvendige mængder samt prisoverslag for den skrå løsning er sammenfattet i Tabel 8-1.

Tabel 8-1 –Mængder og prisoverslag (excl. moms) – skrå front

Post	Enhed	Mængde	Enhedspris	Prisestimat
Mobilisering + indretning arbejdsplads	Sum	1	--	50.000,-
Regulering af eksisterende terræn inkl. rydning	m ²	250	100	25.000,-
Indbygning af dæksten 1-3t	m ³	850	1.000	850.000,-
Indbygning af filtersten 10-60 kg	m ³	1200	900	1.080.000,-
Indbygning af sandfyld	m ³	2600	150	390.000,-
Levering og indbygning af geotekstil, som HPS6 fra GeoFabric	m ²	1600	50	80.000,-
Pris incl. 20% til uforudset				2.970.000,-
Rådgivningshonorar 5% af pris				148.500,-
Samlet pris				3.118.500,-

Som det fremgår ved at sammenligne Tabel 8-1 og Tabel 7-1 vil der ved at lave en skrå løsning kunne spares ca. kr. 600-650.000,-

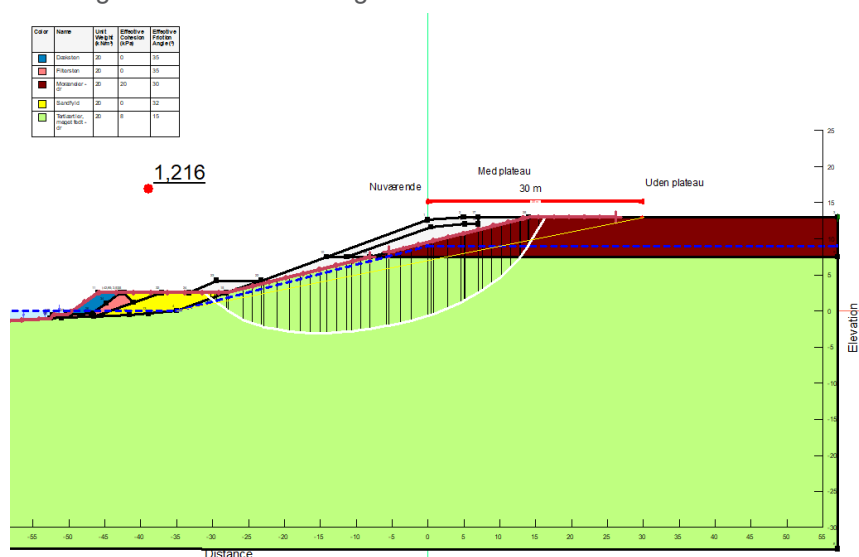
8.1.2. Konsekvens for stabiliteten

Som beskrevet i afsnit 6.1 vil skråningen på den oprindelige løsning forventelig først være regningsmæssig stabil når toppen af skråningen er rykket 10 m bagud i forhold til den nuværende placering af skråningstoppen.

Ved den "skrå" løsning vil der teoretisk ikke være nogen sikring af skråningen i "spidsen" af denne løsning. Stenene vil udelukkende reducere fjordens spisning af foden

Til dokumentation af betydningen af at der ikke udlægges et plateau ved foden af skråningen er skitseret på Figur 8-2. Den "sorte" streg er toppen af skråningen, som den er i dag. Den "røde" er som den må forventes rykket tilbage til, hvis det fulde plateau etableres, mens den "gule" er der hvortil skråningstoppen rykker, hvis der ikke udføres et plateau ved foden. Det vil det være forventeligt, at toppen af skråningen vil blive trukket 30-35 m længere tilbage end den nuværende skråningstop, hvor det med fuldt plateau ved foden kun forventes at være ca. 10 m, altså en forskel på ca. 20-25 m.

Da der er fuldt plateau ved badebroen vil den forventede tilbagetrækning af toppen af skråning således være 10 m sigende til 30-35 m længst væk fra badebroen.



Figur 8-2 - Den maksimale skråning uden plateau ved foden.

Forskellen mellem det areal, som bliver påvirket af den oprindelige løsning og af den billigere "skrå" løsning fremgår af Figur 8-3. Den lilla linje er med fuldt plateau, mens den grønne er for den skrå løsning.



Figur 8-3 - Plan med forskel på den fulde og den skrå løsning.

Som det fremgår af Figur 8-3 er den skrå løsning en mulighed, som sikrer, at der ikke fremadrettet vil ske "spisning" af foden og samtidig sikre, at skråningen med tiden ikke rykker ind, så den bliver kritisk for de nærmest beliggende bygninger.

Der forventes en vis vedligeholdelse ved denne løsning. Længst væk fra badebroen vil det kunne være nødvendigt at tilføre nogle dæksten over årene, da skråningen der ikke har tilstrækkelig plateau til at stabilisere skråningen. Det er svært at vurdere størrelsen heraf, men vil til sammenligningen forvente, at der skal tilføjes 10-15 m³ dæksten pr 20 år.

8.2. Udlægning af dæksten – uden bagopfyldning

At etablere en plateauløsning er dyr, men har klart nogle fordele. Det vigtigste ved hele kystsikringen er dog, at det sikres, at fjorden ikke fortsat æder ca. 1 m af kystlinjen hvert år.

Dette kunne sikres ved at etablere nogle høfder eller en ydre mole, som bryder bølgerne og sikre, at der ikke spises yderligere af skråningen. Dette vil kunne gøres ved at udlægge dækstenene med en kerne af filtersten imellem.

Ideen ved dette alternativ er at anvende de planlagte dæksten til høfderne/molen samt de tilhørende 10-60 kg filtersten. Man køber så dem man kan for 1,8 million kr. på nuværende tidspunkt og får dem installeret. Hvis man på et senere tidspunkt kommer frem til, at det vil være hensigtsmæssigt, at lave den fulde version, så HAR man dækstenene og skal ikke ud at købe disse.

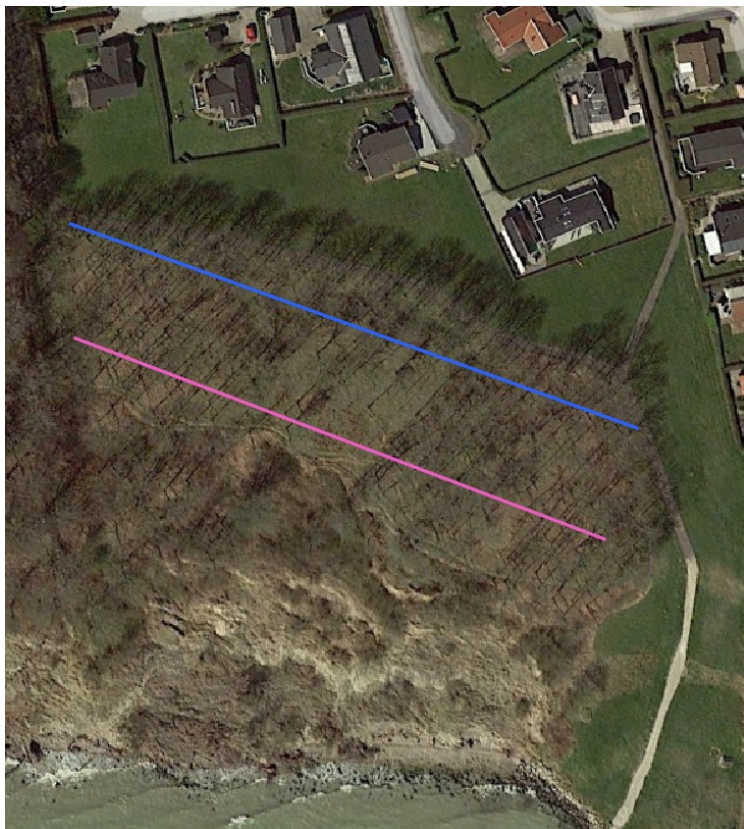
Med udgangspunkt i et samlet beløb på 1,8 million + moms og der fratrækkes 5% og 20% til henholdsvis rådgiverudgifter og uforudset udgifter og desuden ca. 75.000,- til mobilisering og regulering fås tilbage kr. 1.350.000. Ved at sammenligne med Tabel 7-1 betyder det, at alle dæksten kan indkøbes og udlægges, samt ca. 450 m³ af de forventede 1300 m³ filtersten.

Atkins vil foreslå, at den ydre dækstenssikring etableres med en kerne af filterstenene, så dækstenen "lukker området af" uden udfyldning. Da opbygningen ikke bliver korrekt, vil denne mole ikke blive så høj som ønsket i plateauløsningen, men den vil fortsat virke som bølgebrydende og derfor være med til at sikre, at skræntfoden ikke fortsat vil rykke ca. 1 m tilbage om året.

En klar ulempe er, at området mellem høfden/molen vil blive fyldt med diverse materialer, herunder materialer der skrider ned fra skråningen eller tang eller andet der skyller hen over høfden/molen og bliver fanget. Det kan få betydning for, at det inden en evt. senere opfyldning kan være nødvendigt at bortgrave/fjerne dette materiale inden der opfyldes.

8.2.1. Konsekvenser for stabiliteten

Denne løsning vil på ingen måde forbedre stabiliteten. Den vil udelukkende sikre, at foden af skråningen ikke bliver "spist". Derfor vil toppen af skråningen, hvis ikke der gøres yderligere skulle forventes at rykke tilbage til den "blå" linje på Figur 8-4



Figur 8-4 - Plan med forskel på den fulde og løsningen uden plateau.

Som det kan ses, vil løsningen ikke være kritisk for de nærmeste huse, men en stor del af området bag skråningen må forventes at ville blive en del af skråningen. Herunder også evt. stier og andet, som i dag ligger langt bag skråningen.

Ved denne løsning vil det være en klar fordel at der etableres en visuel kontrol af at høfden/diget, som etableres også sikre af foden af skråningen ikke viger yderligere.

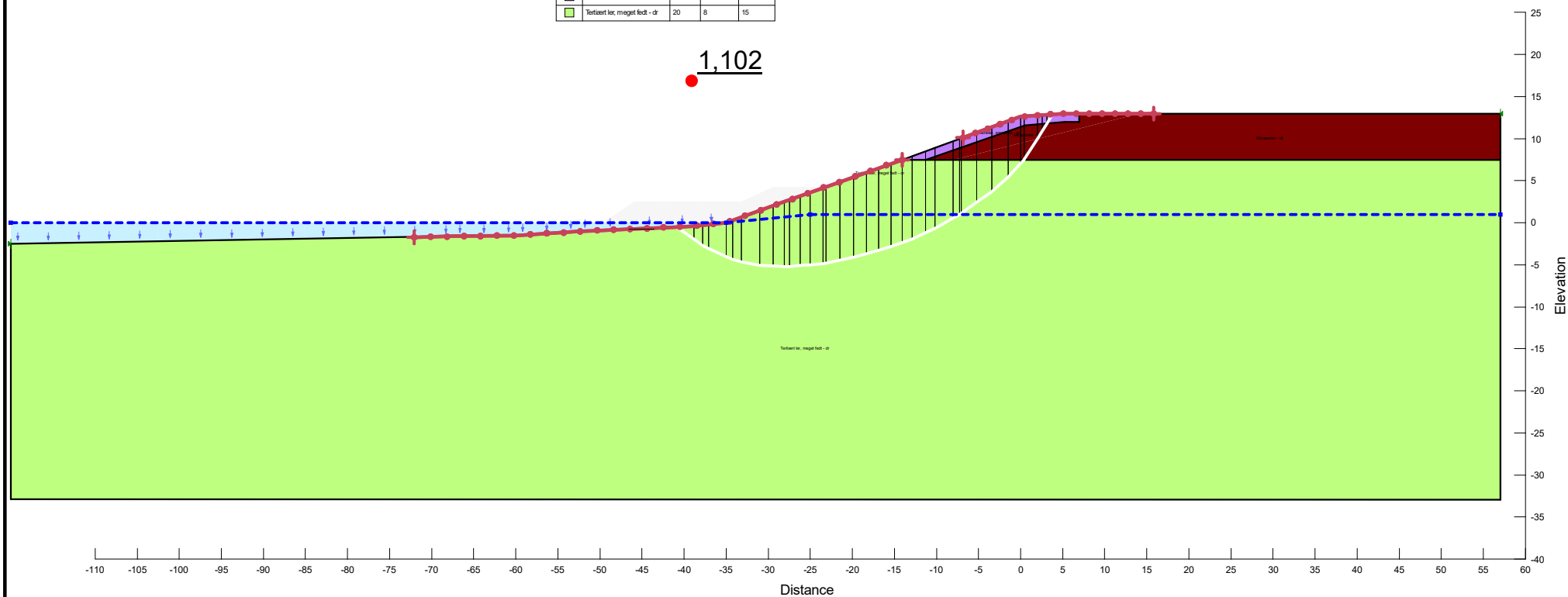
Bilag



Bilag A. Slopeberegninger

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
■	Moræneler - dr	20	20	30
■	Moræneler, språkket - dr	20	0	30
■	Tertiært ler, meget fukt - dr	20	8	15

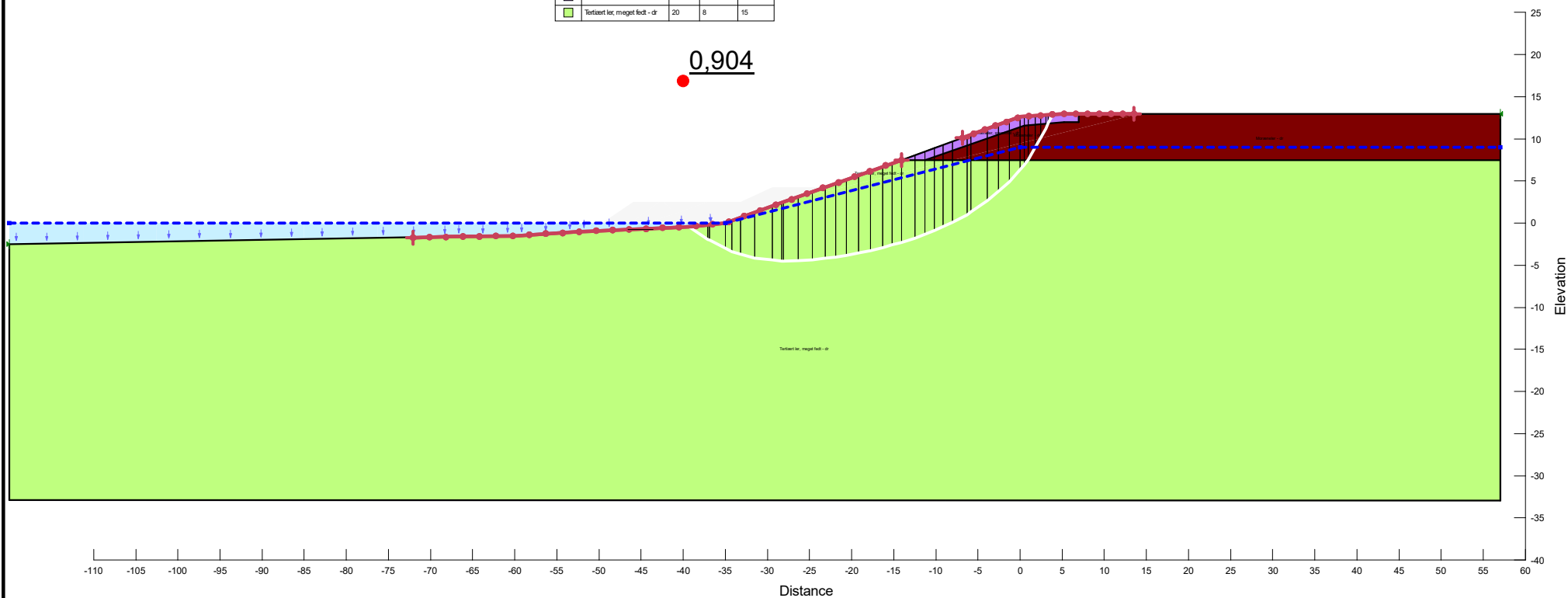
1,102



1a. eksisterende - dr
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

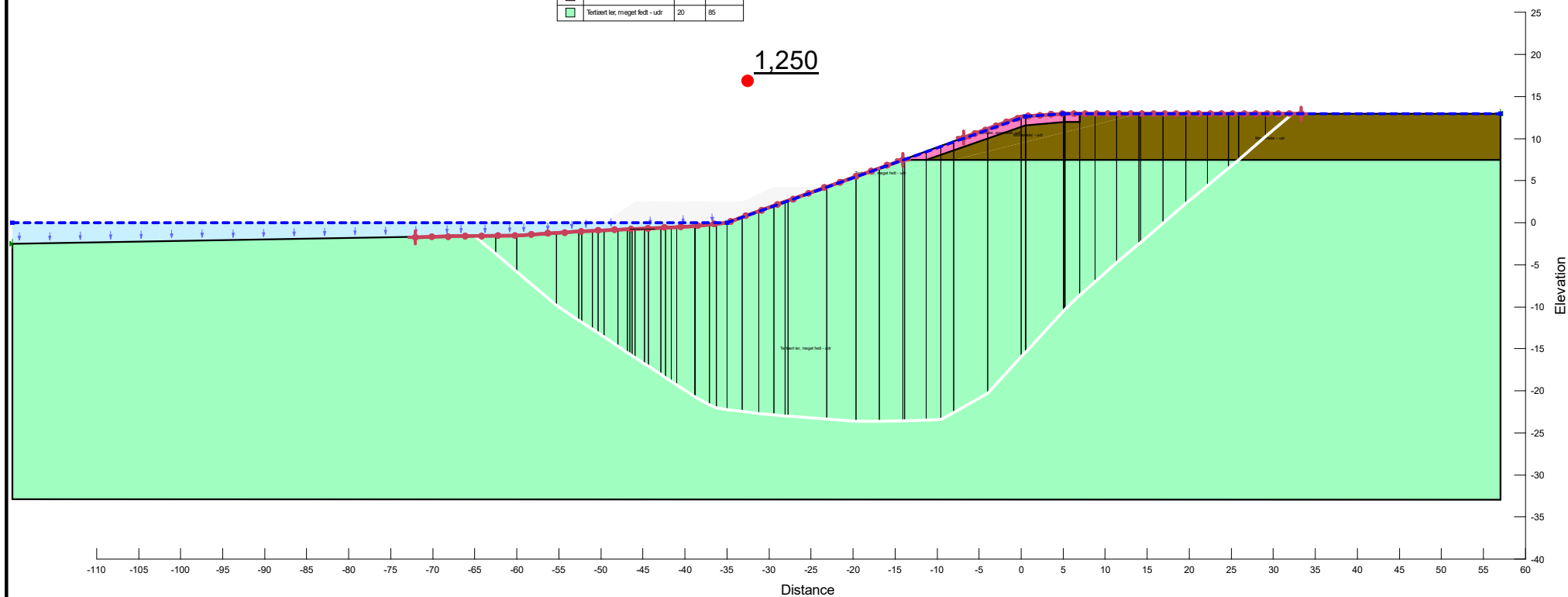
Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
■	Moræneler - dr	20	20	30
■	Moræneler, sprækket - dr	20	0	30
■	Tertiært ler, meget fedt - dr	20	8	15

0,904



1a. eksisterende - dr (højvandspejl)
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

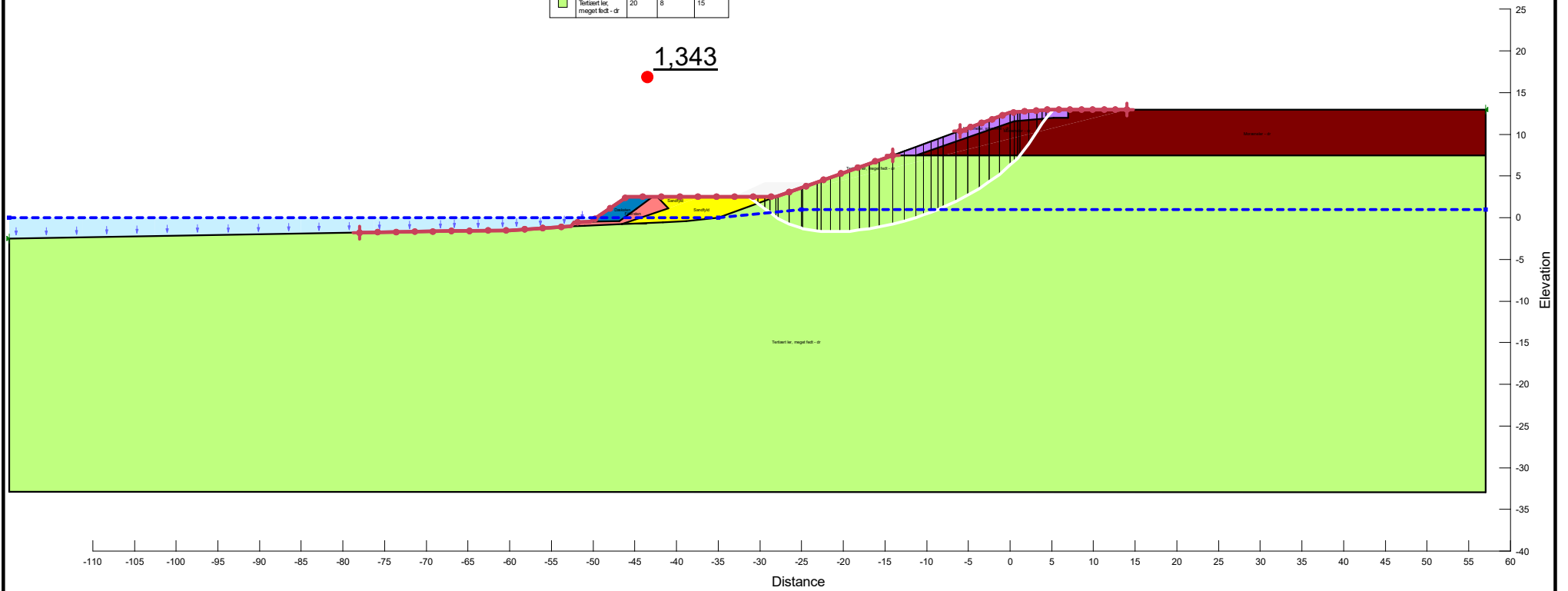
Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Total Cohesion (kPa)
■	Moræneler - udr	20	540
■	Moræneler, sprække- udr	20	180
■	Tertiært ler, meget fedt - udr	20	85



1a. eksisterende - udr
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20	0	35
Red	Filtersten	20	0	35
Dark Red	Moræneler - dr	20	20	30
Purple	Moræneler, spækket - dr	20	0	30
Yellow	Sanddynt	20	0	32
Light Green	Tertært ler, meget fast - dr	20	8	15

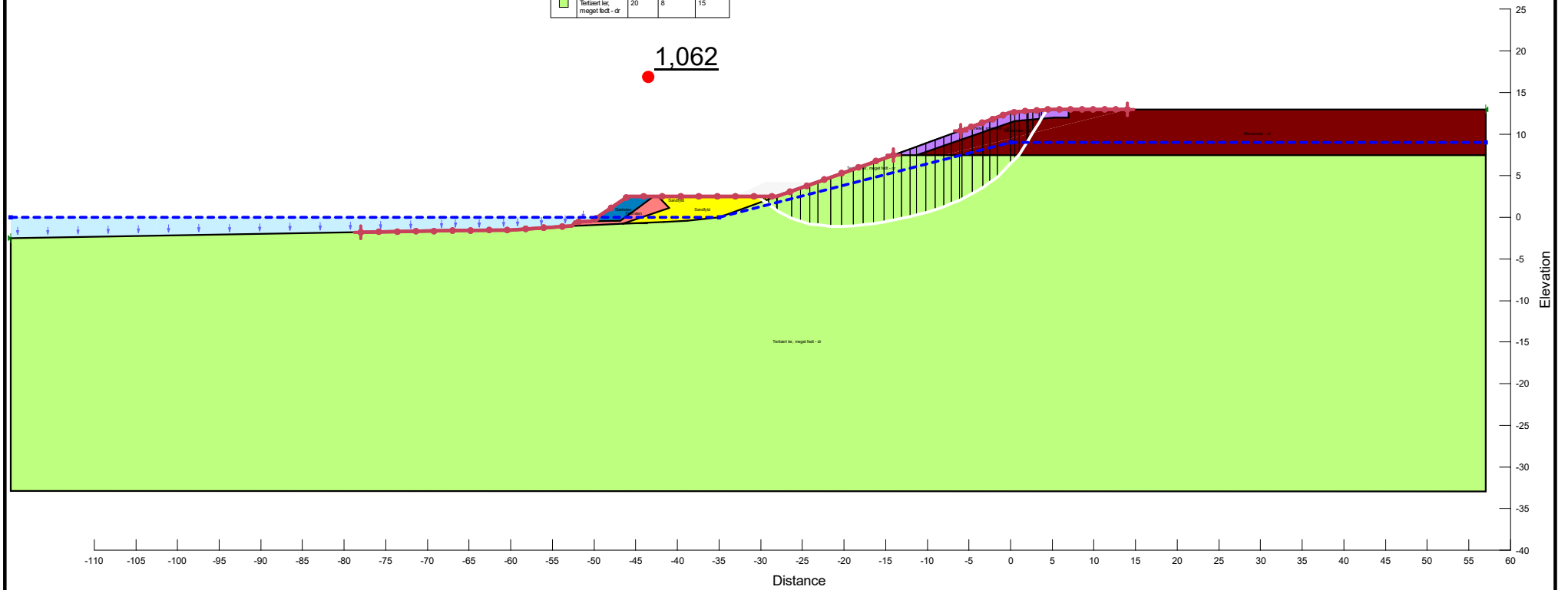
1,343



2a. efter kystsikring - dr
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20	0	35
Red	Filtersten	20	0	35
Dark Red	Moræneler - dr	20	20	30
Purple	Moræneler, spækket - dr	20	0	30
Yellow	Sanddynt	20	0	32
Light Green	Tertært ler, meget fast - dr	20	8	15

1,062



2a. efter kystsikring - dr (højvandspejl)

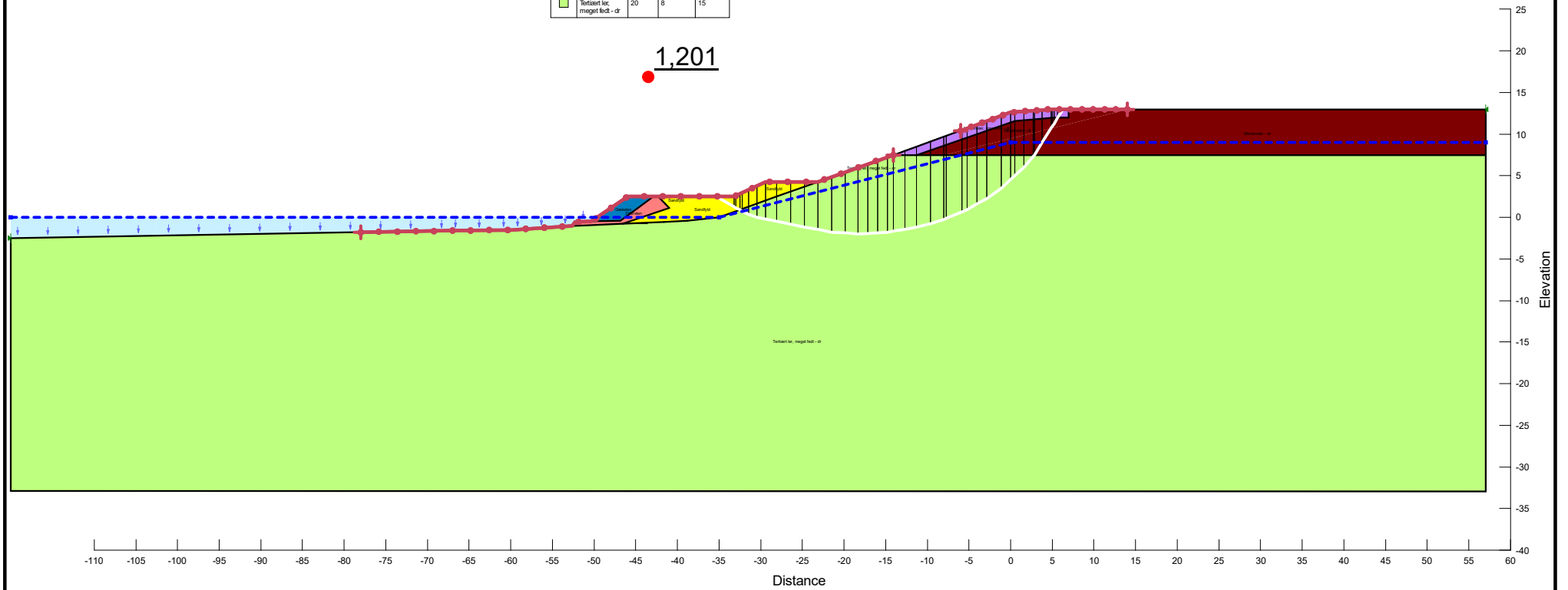
Pøt Strandby_8.gsz

20-06-2023

1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20	0	35
Red	Filtersten	20	0	35
Dark Red	Moræneler - dr	20	20	30
Purple	Moræneler, spækket - dr	20	0	30
Yellow	Sanddynt	20	0	32
Light Green	Tertært ler, meget fast - dr	20	8	15

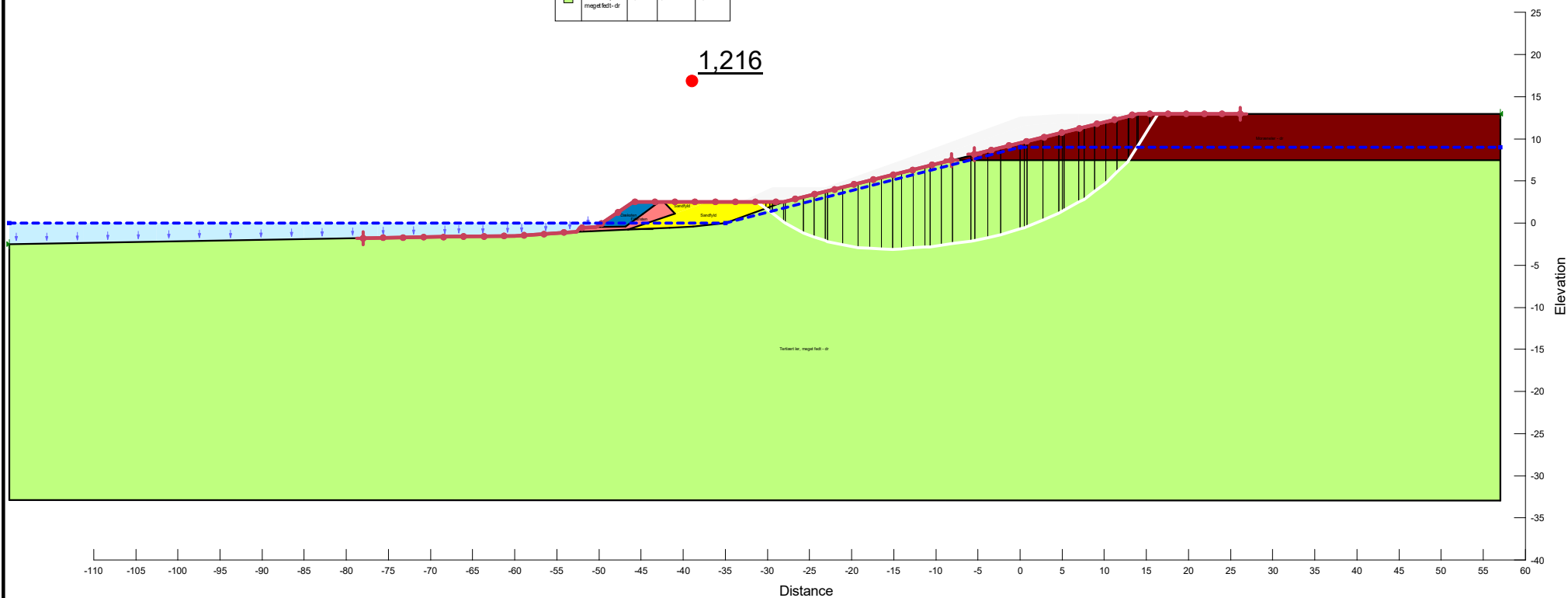
1,201



2a. efter kystsikring - dr (højvandspejl) (CC2)
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20	0	35
Red	Filersten	20	0	35
Dark Red	Mørasserler-dr	20	20	30
Yellow	Sandfyld	20	0	32
Light Green	Torfarter, mægt. fact+ dr	20	8	15

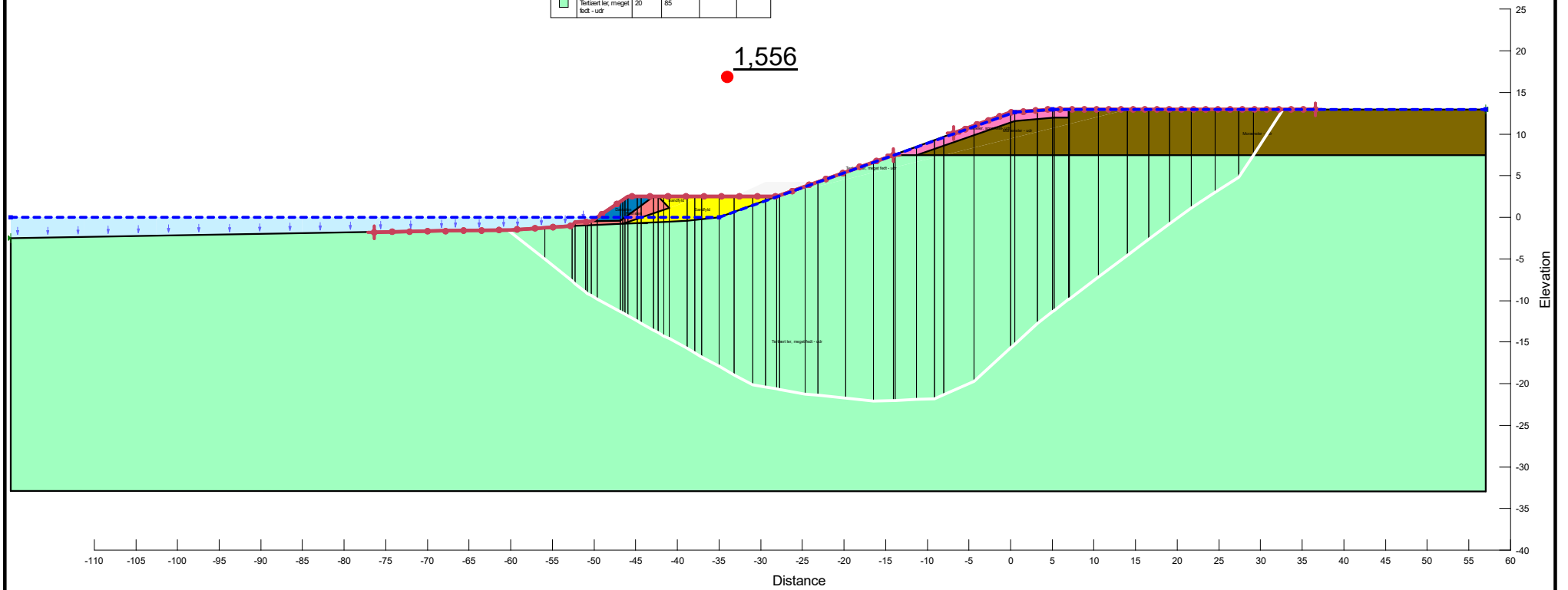
1,216



2a. efter kystsikring - dr (højvandspejl) (CC2) (a=4)
Pøt Strandby_8.gsz
21-06-2023
1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Total Cohesion (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20		0	35
Red	Filtersten	20		0	35
Brown	Moræneler - udr	20	540		
Pink	Moræneler, spækket - udr	20	180		
Yellow	Sanddyr	20		0	32
Light Green	Tættest ler, meget fukt - udr	20	85		

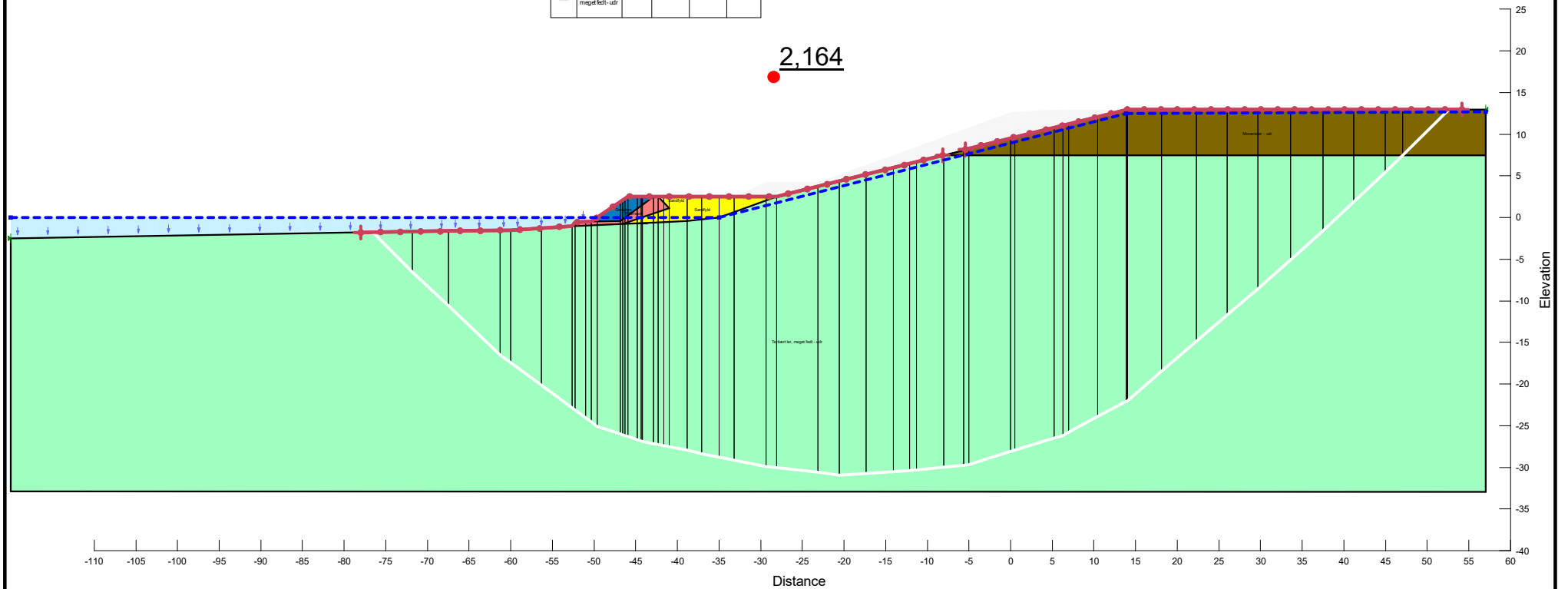
1,556



2a. efter kystsikring - udr (højvandspejl)
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023
1:697

Color	Name	Unit Weight (kN/m ³)	Total Cohesion (kPa)	Effective Cohesion (kPa)	Effective Friction Angle (°)
Blue	Dæksten	20	0	0	35
Red	Filtsten	20	0	0	35
Brown	Morseler - udr	20	540		
Yellow	Sandfyld	20	0	0	32
Light Green	Torfarter, mægt fælt - udr	20	85		

2,164



2a. efter kystsikring - udr (højvandspejl) (a=4)
Pøt Strandby_8.gsz
20-06-2023 1:697

Bilag B. Design af stenkastning

General input

Density of water:

$$\rho_w := 1010 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Density of armour stones

$$\rho_s := 2650 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

Relative density

$$\Delta := \frac{\rho_s}{\rho_w} - 1 = 1.624$$

Sea bed level

$$d_s := -1.5\text{m}$$

Design water level

$$dwl := 2.0\text{m}$$

Design water depth

$$d_d := dwl - d_s = 3.5 \text{ m}$$

Wave height, breaking waves

$$H_b := 0.7d_d = 2.45 \text{ m}$$

Design /Significant wave height

$$H_s := 2\text{m}$$

Spectral wave height

$$H_{mo} := H_s \quad \text{(Simplification)}$$

Bed slope tan alfa

$$a := 0.01$$

$$H_{tr} := (0.35 + 5.8 \cdot a)d_d = 1.428 \text{ m}$$

$$H_{rms} := \left[0.6725 + 0.2025 \left(\frac{H_{mo}}{d_d} \right) \right] \cdot H_{mo} = 1.576 \text{ m}$$

$$\frac{H_{tr}}{H_{rms}} = 0.906$$

$$kof := 1.6$$

$$H_{2\%} := kof \cdot H_{rms} = 2.522 \text{ m}$$

$$\frac{H_s}{H_{2\%}} = 0.793$$

Peak wave period,

$$T_p := 6\text{s}$$

Slope of the reventment:

$$\cot\alpha := 1.5$$

Energy wave period

$$T_m := \frac{T_p}{1.1} = 5.455 \text{ s} \quad \text{CRIA, 5.3}$$

Duration of a storm

$$T_v := 6\text{hr}$$

Refer to RM Box 4.4 method of Battjes and Groenendijk

$$H_{tr} = (0.35 + 5.8 \tan \alpha) h$$

$$H_{rms} = (0.6725 + 0.2025(H_{mo}/h)) H_{mo}$$

Table 4.10 Values of $H_{1/10}/H_{rms}$ and $H_{2\%}/H_{rms}$ for some values of H_{tr}/H_{rms}

Characteristic height	Non-dimensional transitional wave H_{tr}/H_{rms}									
	0.05	0.50	1.00	1.20	1.35	1.50	1.75	2.00	2.50	3.00
$H_{1/10}/H_{rms}$	1.466	1.467	1.518	1.573	1.626	1.683	1.759	1.786	1.799	1.800
$H_{2\%}/H_{rms}$	1.548	1.549	1.603	1.662	1.717	1.778	1.884	1.985	1.978	1.978

Deepwater wave steepness

$$s_m := \frac{2 \cdot \pi H_s}{g \cdot T_m^2} = 0.043$$

Iribarren number:

$$\xi_m := \frac{1}{\cot \alpha \cdot s_m^{0.5}} = 3.212$$

Design of armourstones

Stone size according to Hudsons formula:

It should be noted that Hudson formula overestimates the necessary stone size, therefore will be used for a quick control against Van der Meer formula

Damage factor
(Hudson):

$$K_d := 2$$

Medium
weight

$$W_{50h} := \frac{\rho_s H_s^3}{K_d \cdot \Delta^3 \cdot \cot \alpha} = 1.651 \times 10^3 \text{ kg}$$

CRIA, 5.134

Equivalent cube length

$$D_{n50h} := \left(\frac{W_{50h}}{\rho_s} \right)^{\frac{1}{3}} = 0.854 \text{ m}$$

Stone sizes according af Van der Meer. shallow water conditions

Control of validity

This is only valid for shallow water conditions, where

$$\frac{d_d}{3 \cdot H_s} = 0.583 < 1$$

Input for Van Der Meer formula

Damage factor

$$S_d := 2$$

Permability coefficient

$$P := 0.4$$

CRIA, Figure 5.39

Number of waves in a
storm

$$N_b := \frac{T_v}{T_m} = 3.96 \times 10^3$$

Coefficients

$$c_{pl} := 8.4$$

$$c_s := 1.3$$

Critical Iribarren
number

$$\xi_c := \left[\frac{c_{pl}}{c_s} \cdot P^{0.31} \cdot \left(\frac{1}{\cot \alpha} \right)^{0.5} \right]^{P+0.5} = 4.629$$

Plunging waves - $\xi_m < \xi_c$

Stone size:

$$D_{np} := \frac{H_s \cdot (\sqrt{N_b})^{0.2}}{\Delta \cdot c_{pl} \cdot P^{0.18} \cdot \xi_m^{-0.5} \cdot S_d^{0.2} \cdot \left(\frac{H_s}{H_{2\%}} \right)} = 0.779 \cdot \text{m}$$

CRIA, 5.139

Surging waves - $\xi_m > \xi_c$

Stone size

$$D_{ns} := \frac{H_s \cdot (\sqrt{N_b})^{0.2}}{\Delta \cdot c_s \cdot P^{-0.13} \cdot \xi_m^P \cdot S_d^{0.2} \cdot \cot\alpha^{0.5} \cdot \left(\frac{H_s}{H_{2\%}}\right)} = 1.082 \text{ m}$$

CRIA, 5.140

The valid stone size:

$$D_{n50v} := \begin{cases} D_{np} & \text{if } \xi_m < \xi_c \\ D_{ns} & \text{if } \xi_m \geq \xi_c \end{cases} = 0.779 \text{ m}$$

Medium weight, Van der Meer

$$W_{50v} := D_{n50v}^3 \cdot \rho_s = 1.253 \times 10^3 \text{ kg}$$

Medium weight, Hudson

$$W_{50h} = 1.651 \times 10^3 \text{ kg}$$

Chosen sizes for armourstones

Medium weight :

$$W_{50} := 2000\text{kg}$$

Rough estimates for Wmin50 og Wmax50

$$W_{\min} := \frac{W_{50}}{1.5} = 1.333 \times 10^3 \text{ kg}$$

$$W_{\max} := W_{50} \cdot 1.5 = 3 \times 10^3 \text{ kg}$$

Stone sizes

$$D_{n50} := \sqrt[3]{\frac{W_{50}}{\rho_s}} = 0.91 \text{ m}$$

$$D_{n_min} := \sqrt[3]{\frac{W_{\min}}{\rho_s}} = 0.795 \text{ m}$$

Rough estimates for Dmin50 og Dmax50

$$D_{n_max} := \sqrt[3]{\frac{W_{\max}}{\rho_s}} = 1.042 \text{ m}$$

The suggested dimensions for the reventment

Crest width :

$$k_b := 3 \cdot D_{n50} = 2.731 \text{ m}$$

Thickness of armour layer:

$$t_d := 2 \cdot D_{n50} = 1.821 \text{ m}$$

Thickness of filter layer

$$t_f := 0.5 \cdot D_{n50} = 0.455 \text{ m}$$

Control of filter criteria

Criteria from Thompson and Shuttler (1976) is being used to control the filter stability

A rough estimate for the grading of the armour stones is based on the following formula: $D = k_1 \cdot \exp(k_2 \cdot x)$

$$k_1 := D_{n_min} \cdot e^0 \qquad k_1 = 0.795 \text{ m}$$

$$k_2 := \frac{1}{1} \cdot \ln\left(\frac{D_{n_max}}{k_1}\right) \qquad k_2 = 0.27$$

$$D(x) := k_1 \cdot e^{k_2 \cdot x}$$

$$D(0.15) = 0.828 \text{ m}$$

$$D(0.5) = 0.91 \text{ m}$$

This grading is in good agreement with the standart grading for 1-3tons according to Rock manual

$$D_{a15} := 0.77\text{m}$$

$$D_{a50} := 0.91\text{m}$$

Gradings of the core and filter materials

Core materiale	$d_{s15} := 90\text{mm}$	eller sandfyld	$d_{sa15} := 0.13\text{mm}$
1-100kg sprængestenfyld	$d_{s50} := 155\text{mm}$		$d_{sa50} := 0.210\text{mm}$
	$d_{s85} := 230\text{mm}$		$d_{sa85} := 0.35\text{mm}$
Filter material	$d_{f15} := 171\text{mm}$		
10-60kg brudsten:	$d_{f50} := 220\text{mm}$		
	$d_{f85} := 260\text{mm}$		

Filter criteria between armour layer and filter layer

Test1 := if $\left(\frac{D_{a15}}{d_{f85}} \leq 4, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test1 = "OK"	$\frac{D_{a15}}{d_{f85}} = 2.962$
Test2 := if $\left(\frac{D_{a50}}{d_{f50}} \leq 7, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test2 = "OK"	$\frac{D_{a50}}{d_{f50}} = 4.136$
Test3 := if $\left(\frac{D_{a15}}{d_{f15}} \leq 15, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test3 = "OK"	$\frac{D_{a15}}{d_{f15}} = 4.503$

Filter criteria between filter layer and core

If fine sand material is used as main fill material, a geotextile will be used in order to ensure the filter criteria between the core and the filter layer.

Otherwise a quarry run of 1-100 kg as the main fill fulfills the filtercriteria

Filter criteria between filter layer and core

Test4 := if $\left(\frac{d_{f15}}{d_{s85}} \leq 4, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test1 = "OK"	$\frac{d_{f15}}{d_{s85}} = 0.743$
Test5 := if $\left(\frac{d_{f50}}{d_{s50}} \leq 7, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test2 = "OK"	$\frac{d_{f50}}{d_{s50}} = 1.419$
Test6 := if $\left(\frac{d_{f15}}{d_{s15}} \leq 15, \text{"OK"}, \text{"NOT OK"} \right)$	Test3 = "OK"	$\frac{d_{f15}}{d_{s15}} = 1.9$

Design af geotextile

Maximum size of stones to be dropped on geotextile (EUL) $W_{EUL} := 120\text{kg}$

Permeability of subsoil $k_s := 1 \cdot 10^{-4} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Permeability of geotextile shall be larger than $k_g := 10 \cdot k_s = 1 \times 10^{-3} \frac{\text{m}}{\text{s}}$

Geofabrics' HPS geotextiles are in the range 1.9.E-03 m/s to 7.E-03 m/s.

The geotextiles O90 (apprising opening size) must be smaller than d50 of core material . Geofabrics' HPS geotextiles have an d90 in the range 0.15mm to 0.07mm.

Core material, sand

$$d_{sa50} = 0.21 \cdot \text{mm}$$

FOS for damage

$$Fos := 3$$

Drop height

$$h_{\text{drop}} := 3\text{m}$$

Rock drop energy

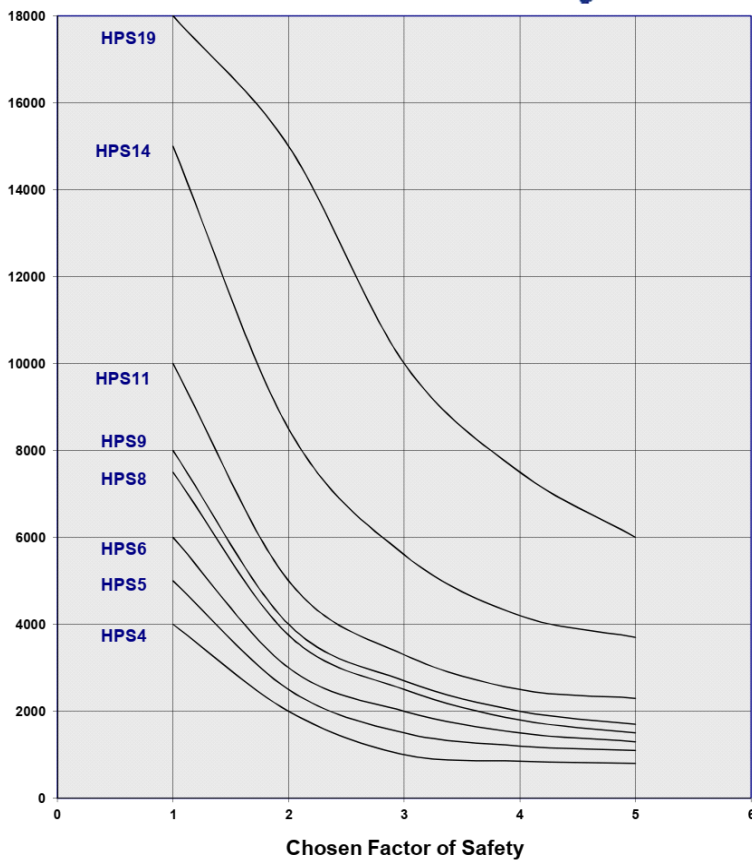
$$E_{\text{rd}} := W_{\text{EUL}} \cdot (h_{\text{drop}}) = 360 \text{ m} \cdot \text{kg}$$

It is recommended to have a minimum extensibility of 60% for a Factor of Safety of 3 and a minimum thickness of 5mm.

Based on the graph and the table below, HPS6 is chosen

Energy level -
rock weight x
drop distance

GEO*fabrics*[™]



**Design chart to assess installation damage
assessment for rock directly placed on a
GEOfabrics' filter/separator**

Design af toe

Due to the shallow water depth a special toe construction is not deemed necessary.
The filter layer will be extended to prevent scour below the armour stones

Chosen stones in toe

$$DN50_{toe} := d_{f50} = 0.22 \text{ m}$$

Minimum width of toe







$$b_{toe} := 3 \cdot DN50_{toe} = 0.66 \text{ m}$$

Minimum height of toe

$$h_{toe} := 2 \cdot DN50_{toe} = 0.44 \text{ m}$$

Bilag C. Skitser

Forklaring

-  Banket
-  Eksisterende kystlinje
-  Højdekurve 2,5m
-  Kystlinje 2005
-  Kystlinje, efter etablering af kystsikring
-  Matrikgrænse



1:100

