

Appendix 9

Projekt navn	Nordfyns Kom - Bogense Kystbeskyttelse og klimatilpasning
Kunde	Nordfyns Kommune
Projektleder	CMER
Projekt nummer	1311900146
Dokument ID	Skitseprojekt – Delstrækning 9
Udarbejdet af	MASV
Kvalitetssikret af	KKPO
Godkendt af	CMER
Version	0
Versionsdato	07-05-2020
Første udgivelsesdato	07-05-2020

Indhold

1.	Indledning	2
2.	Designgrundlag	2
3.	Stabilitetsundersøgelse	5
4.	Understrømning	7
5.	Sætninger	8
6.	Dimensionering af stenskråning	11

1. Indledning

På delstrækning 9 reguleres skråningsanlæggene på de eksisterende diger, så sikringskoten jf. opskylsskema fra TT opnås. På delstrækning 9 vest etableres der en ny stenskråning på forsiden af det eksisterede dige med hældning 1:4.

På delstrækning 9 midt og 9 øst reguleres skråningsanlæggene på de eksisterende diger, så det sikres, at de er min. 1:3 på for- og bagside. Dige-kronen forhøjes lokalt, hvor den måtte være under sikringskoten jf. opskylsskema fra TT.

Hvor det eksisterende dige reguleres og/eller forøjes, fjernes eksisterende græs og muld. Afslutningsvis sås der græs (digeblandning) på den regulerede overflade.

Med udgangspunkt i Danmarks Digitale Højdemodel fra 2015 er geometrien af det eksisterende dige indtegnet i programmet Optum G2.

I dette dokument eftervises stabiliteten af det eksisterende- samt fremtidige diger. Understrømningen samt sætningerne som følge af regulering af det eksisterende dige beregnes ligeledes. Dimensioneringen af stenskråningen på strækning 9 vest indgår ligeledes i dette dokument.

Tværsnit af de eksisterende- samt fremtidige diger fremgår af PDF'en " 1311900146_S9".

2. Designgrundlag

2.1 Konsekvensklasse

Der regnes med middel konsekvensklasse, CC2, og normal kontrolklasse.

2.2 Geometri

Diget udføres med flg. geometri:

- Eksist. topkote:	Vest: +2,90 (middel) Midt: +2,80 m (middel) Øst: +2,80 (middel)
- Fremtidig topkote:	Vest: +3,65 m Midt: +2,90 m Øst: 3,10 m
- Hældning forside:	Vest: 1:4 (stenskråning) Midt og øst: 1:3
- Hældning bagside:	1:3
- Vandspejl ved stormflod:	2,18 m
- Grundvandsspejl:	Iht. afsnit 2.3.1

Topkoten er valgt på baggrund af opskylsskemaet udarbejdet af TT. Der er ikke indregnet tillæg til den angivne opskylskote.

Der er lavet 3 tværsnit med udgangspunkt i Danmarks Digitale Højdemodel fra 2015. De tre tværsnit er repræsentativ for henholdsvis den vestlige-, midterste- og den østlige del af delstrækning 9.

2.3 Geoteknik

Der foreligger geotekniske rapport: "Bogense. Stegøvej m.fl. – Geoteknisk rapport no. 9 – Delstrækning 9 – Geoteknisk rapport for renovering/udbygning af dige." af 28-02-2020 udført af GeoSyd.

Den geotekniske rapport indeholder 2 geotekniske borer samt 1 lagfølgeboring. Baseret på placeringen af de geotekniske borer undersøges disse for de dertilhørende tværsnit.

2.3.1 Boring G17

Jordart	Kote	c_{uk} [kN/m ²]	c'_k [kN/m ²]	ϕ_k [°]	γ/γ_m [kN/m ³]	k [m/dag]
Græs*1	t=30 cm	100	10*2	30	18/20	0,0864
Fyld: Muld	+1,40	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Ler	+0,50	30-100	0	26	19/20	0,00864
Moræneler	+0,30	50-350	5-20	28	21/21	0,00864
Sand	-3,50	-	-	34	18/20	8,64
Moræneler	-3,70	50-350	5-20	28	21/21	0,00864

*1) Parameter fremgår ikke af den geotekniske rapport. Skønnet på basis af erfaringsmæssige værdier.

*2) Jf. notatet "Laboratory and modelling investigation of root-reinforced system for slope stabilisation"

2.3.2 Boring G18

Jordart	Kote	c_{uk} [kN/m ²]	c'_k [kN/m ²]	ϕ_k [°]	γ/γ_m [kN/m ³]	k [m/dag]
Græs*1	t=30 cm	100	10*2	30	18/20	0,0864
Fyld: Sand	+1,00	-	-	32*1	18/20	40
Sand	+0,40	-	-	34	18/20	40
Tørv	-0,10	40-75	0	25*	13/13	0,864
Sand	-1,40	-	-	34	18/20	8,64
Moræneler	-1,80	50-350	5-20	28	21/21	0,00864
Sand	-4,40	-	-	34	18/20	8,64

*1) Parameter fremgår ikke af den geotekniske rapport. Skønnet på basis af erfaringsmæssige værdier.

*2) Jf. notatet "Laboratory and modelling investigation of root-reinforced system for slope stabilisation"

2.3.3 Boring L9

Jordart	Kote	c_{uk} [kN/m ²]	c'_k [kN/m ²]	ϕ_k [°]	γ/γ_m [kN/m ³]	k [m/dag]
Græs*1	t=30 cm	100	10*2	30	18/20	0,0864
Fyld: Muld	+2,65	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Fyld: Sand	+1,25	-	-	32*1	18/20	40

*1) Parameter fremgår ikke af den geotekniske rapport. Skønnet på basis af erfaringsmæssige værdier.

2.3.4 Grundvandsspejl

Grundvandsspejlet fremgår af den geotekniske rapport:

Geotekniske rapport	VSP
G17	+0,55
G18	+0,25

2.4 Belastning

2.4.1 Overfladelast

I en højvandssituation antages det, at der ikke vil være en overfladelast på diget.

2.4.2 Vandtryk

I 2070 regnes der med vandstand i kote +2,18 m.

3. Stabilitetsundersøgelse

Stabilitetsundersøgelsen gennemføres i OptumG2.

3.1 Beregningsfiler

Beskrivelse	Filnavn
Delstrækning 9 - Geoteknik som boring G17 og L9 (Vestligt tværsnit)	D9 (G17 og L9) - Snit V
Delstrækning 9 - Geoteknik som boring G17 og L9 (Midt tværsnit)	D9 (G17 og L9) - Snit M
Delstrækning 9 - Geoteknik som boring G18 og L9 (Midt tværsnit)	D9 (G18 og L9) - Snit M
Delstrækning 9 - Geoteknik som boring G18 og L9 (Østligt tværsnit)	D9 (G18 og L9) - Snit Ø

3.2 Stages

Alle tilfælde analyseres vha. "lower bound" metoden (herefter LB), hvilket er konservativt, og "upper bound" metoden (herefter UB), hvilket er til den usikre side. Herefter anvendes middelværdien. Analysen laves for henholdsvis et eksisterende dige (eksist) samt det fremtidige dige (ny).

Stage navn	Analysis	Reduce strength in	Element type	Safety
LB-eksist	Strength Reduction	Solids	LB	User 1
LB-ny	Strength Reduction	Solids	LB	User 1
UB-eksist	Strength Reduction	Solids	UB	User 1
UB-ny	Strength Reduction	Solids	UB	User 1

3.3 Hovedresultater eksist. dige

Hovedresultater fra Optum vedr. stabilitet af det eksist. dige:

Filnavn	Strength reduction factor (LB)	Strength reduction factor (UB)	Strength reduction factor (MEAN)
D9 (G17 og L9) - Snit V	1,431	1,494	1,4625
D9 (G17 og L9) - Snit M	1,437	1,490	1,4635
D9 (G18 og L9) - Snit M	1,500	1,578	1,539
D9 (G18 og L9) - Snit Ø	1,246	1,327	1,2865

Konstruktionen er stabil ved en faktor på 1,00 – dog tilsigtes ingen faktorer på under 1,05. Det vil sige, at det eksisterende dige er stabilt.

3.4 Hovedresultater fremtidigt dige

Hovedresultater fra Optum vedr. stabilitet af det fremtidige dige:

Filnavn	Strength reduction factor (LB)	Strength reduction factor (UB)	Strength reduction factor (MEAN)
D9 (G17 og L9) - Snit V	1,844	2,073	1,9585
D9 (G17 og L9) - Snit M	1,469	1,554	1,5115
D9 (G18 og L9) - Snit M	1,588	1,659	1,6235
D9 (G18 og L9) - Snit Ø	1,307	1,425	1,366

Konstruktionen er stabil ved en faktor på 1,00 – dog tilsigtes ingen faktorer på under 1,05. Det vil sige at det ombyggede dige er stabilt.

4. Understrømning

Understrømningen igennem diget er bestemt vha. Optum G2.

4.1 Stages

Alle tilfælde analyseres vha. "lower bound" metoden (herefter LB), hvilket er konservativt, og "upper bound" metoden (herefter UB), hvilket er til den usikre side. Herefter anvendes middelværdien.

Stage navn	Analysis	Reduce strength in	Element type	Safety
LB-eksist	Strength Reduction	Solids	LB	User 1
LB-ny	Strength Reduction	Solids	LB	User 1
UB-eksist	Strength Reduction	Solids	UB	User 1
UB-ny	Strength Reduction	Solids	UB	User 1

4.2 Hovedresultater eksist. dige

Hovedresultater fra Optum vedr. understrømning for det eksist. dige:

Beregningsfil	Understrømning [m ³ /dag/m] (LB)	Understrømning [m ³ /dag/m] (UB)	Understrømning [m ³ /dag/m] (MEAN)
D9 (G17 og L9) - Snit V	0,04	0,04	0,04
D9 (G17 og L9) - Snit M	0,04	0,04	0,04
D9 (G18 og L9) - Snit M	2,7	3,2	2,95
D9 (G18 og L9) - Snit Ø	3,4	3,8	3,6

4.3 Hovedresultater fremtidigt dige

Hovedresultater fra Optum vedr. understrømning for det fremtidige dige:

Beregningsfil	Understrømning [m ³ /dag/m] (LB)	Understrømning [m ³ /dag/m] (UB)	Understrømning [m ³ /dag/m] (MEAN)
D9 (G17 og L9) - Snit V	0,04	0,04	0,04
D9 (G17 og L9) - Snit M	0,04	0,04	0,04
D9 (G18 og L9) - Snit M	3,6	3,6	3,6
D9 (G18 og L9) - Snit Ø	3,7	3,7	3,7

5. Sætninger

Der er ingen sætningsgivne lag jf. den geotekniske boring G17, hvorfor der ikke regnes sætninger for denne boring.

Sætninger som følge af reovering af diget på strækning 9 beregnes i det følgende. Der er lavet sætningsberegning for tværsnit vest, midt samt øst med geoteknik som G18.

Sætningsberegning for tværsnit 9 vest med geoteknik som G18:

<u>S9V - Sætningsberegning G18</u>							
Spændingsforøgelse							
Lag	Sten/sand/ler		Total				
Rumvægt	20						
Tykkelse, Δh	1						
Spændingsforøgelse, $\Delta\sigma$	20		<u>20</u>				
Boreprofil							
Lag	OK lag	Rumvægt w	Q	Sætningsgivende			
Muld	2.9	18					
Sand	1	18					
Vandspejl	0.25						
Sand	0.25	10					
Tørv	-0.1	3	165%	41% x			
Endelige sætninger							
Lag	OK lag	UK lag	Opr. σ	Ny σ	Q	δ [cm]	(σ er midt i jordlaget)
Tørv	-0.1	-1.4	53.15	73.15	41%	20.01	
Total						<u>20.01</u>	

Sætningsberegning for tværsnit 9 midt med geoteknik som G18:

<u>S9M - Sætningsberegning G18</u>							
Spændingsforøgelse							
Lag	Muld		Total				
Rumvægt	18						
Tykkelse, Δh	0.5						
Spændingsforøgelse, $\Delta\sigma$	9		<u>9.0</u>				
Boreprofil							
Lag	OK lag	Rumvægt w	Q	Sætningsgivende			
Muld	2.9	18					
Sand	1	18					
Vandspejl	0.25						
Sand	0.25	10					
Tørv	-0.1	3	165%	41% x			
Endelige sætninger							
Lag	OK lag	UK lag	Opr. σ	Ny σ	Q	δ [cm]	(σ er midt i jordlaget)
Tørv	-0.1	-1.4	53.15	62.15	41%	17.91	
Total						<u>17.91</u>	

Sætningsberegning for tværsnit 9 øst med geoteknik som G18:

<u>S9Ø - Sætningsberegning G18</u>							
Spændingsforøgelse							
Lag	Sand/ler		Total				
Rumvægt	20						
Tykkelse, Δh	0.5						
Spændingsforøgelse, $\Delta\sigma$	10		<u>10</u>				
Boreprofil							
Lag	OK lag	Rumvægt w	Q	Sætningsgivende			
Muld	2.9	18					
Sand	1	18					
Vandspejl	0.25						
Sand	0.25	10					
Tørv	-0.1	3	165%	41% x			
Endelige sætninger							
Lag	OK lag	UK lag	Opr. σ	Ny σ	Q	δ [cm]	(σ er midt i jordlaget)
Tørv	-0.1	-1.4	53.15	63.15	41%	18	
Total						<u>18.11</u>	

5.1 Hovedresultater

Beregningsfil	Sætninger [cm]
D9 (G19) - Snit V	20
D9 (G19) - Snit M	18
D9 (G19) - Snit Ø	19

Det vil sige at sætningerne for strækning 9 vest er 20 cm. Sætningerne for strækning 9 midt er 18 cm. Sætningerne for strækning 9 øst er 19 cm.

6. Dimensionering af stenskråning

KYSTSIKRING AF STRÆKNING 9 - VEST

KYSTSIKRING IFT. BØLGEOPSKYL

Litteratur: [RM] Rock Manual (2. udg., 2007)

På strækning 9 vest udføres der en ny stenskråning. Dimensionering af stenskråningen tager udgangspunkt i det eksisterende terræn (Der er anvendt Danmarks Højdemodel fra 2015) samt de analyserede bølgeforhold (år 2070). Det er forsøgt at tilpasse den nye stenskråning med den eksisterende skråning for at begrænse mængden af materialer til tilpasning og regulering af den eksisterende skrænt.

Indgangsparametre

Kystsikringens hældning	$\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{4}\right) = 14.04 \text{ deg}$	
Signifikant bølgehøjde (år 2070)	$H_s := 1.2 \text{ m}$	jf. opskylsskema fra TT
Bølgeperiode (år 2070)	$T_p := 6.0 \text{ s}$	jf. opskylsskema fra TT
Opskylskote (år 2070)	$K_t := 3.64 \text{ m}$	jf. opskylsskema fra TT

Stenstørrelser i dæklag

Hudsons formel anvendes til bestemmelse af stenstørrelser i dæklaget.

Rumvægt af dæksten	$\rho_r := 2.65 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$
Rumvægt af vand	$\rho_w := 1.03 \frac{\text{ton}}{\text{m}^3}$
Stabilitetsfaktor iht. [RM]	$K_D := 3.5$
Middelvægt af dæksten	$W_{50} := \frac{\rho_r \cdot H_s^3}{K_D \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1\right)^3 \cdot \cot(\alpha)} = 84.07 \cdot \text{kg}$

Fraktion vælges som standardfraktioner iht. DS/EN 13383

Middelfraktion, vægt	$W_{\text{dæk.50.min}} := 80 \text{ kg}$	$W_{\text{dæk.50.maks}} := 120 \text{ kg}$
	$W_{\text{dæk.50}} := \text{mean}(W_{\text{dæk.50.min}}, W_{\text{dæk.50.maks}}) = 100.00 \text{ kg}$	
Middelfraktion, dimension	$d_{\text{dæk.50}} := 0.35 \text{ m}$	
Totalfraktion, vægt	$W_{\text{dæk.15}} := 40 \text{ kg}$	$W_{\text{dæk.85}} := 200 \text{ kg}$
Totalfraktion, dimension	$d_{\text{dæk.15}} := 0.25 \text{ m}$	$d_{\text{dæk.85}} := 0.43 \text{ m}$

Stenstørrelser i filterlag

Filterlagets stenstørrelser bestemmes vha. filterkriterierne iht. Thompson & Shuttler (1976).

$$\text{Mindste dimensioner iht. filterkriterier} \quad d_{85} := \frac{d_{\text{dæk.15}}}{4} = 0.06 \text{ m} \quad d_{50} := \frac{d_{\text{dæk.50}}}{7} = 0.05 \text{ m} \quad d_{15} := \frac{d_{\text{dæk.15}}}{7} = 0.04 \text{ m}$$

Der vælges håndsten med fraktion 70-200 mm.

Middelfraktion, dimension $d_{f.50} := 0.135 \text{ m}$

Totalfraktion, dimension $d_{f.15} := 0.07 \text{ m}$ $d_{f.85} := 0.2 \text{ m}$

Kontrol af filterkriterier for valgt fraktion $f_{85} := \text{if} \left(\frac{d_{\text{dæk.15}}}{d_{f.85}} \leq 4, \text{"ok"}, \text{"for små"} \right) = \text{"ok"}$

$$f_{50} := \text{if} \left(\frac{d_{\text{dæk.50}}}{d_{f.50}} \leq 7, \text{"ok"}, \text{"for små"} \right) = \text{"ok"}$$

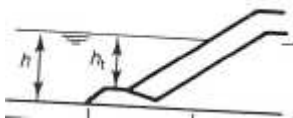
$$f_{15} := \text{if} \left(\frac{d_{\text{dæk.15}}}{d_{f.15}} \leq 7, \text{"ok"}, \text{"for små"} \right) = \text{"ok"}$$

Den valgte fraktion overholder filterkriterierne jf. ovenstående. Filterstenene udlægges med en lagtykkelse på 300 mm

Fodsikring

Fodsikringen dimensioneres i henhold til afsnit 5.2.2.9 i [RM]

Fodsikringen etableres med en længde på 4 meter. Vandspejlet er placeret i kote +2,18 m (år 2070)



Højde af fod $h_f := 0.30 \text{ m}$

Vanddybde ved siden af fod ved designdybden $h := 2.38 \text{ m}$ Opmålt i Auto cad

Vanddybde over fod ved designdybden $h_t := h - h_f = 2.08 \text{ m}$

Forhold mellem h_t og h $\frac{h_t}{h} = 0.87$

$$\Delta := \frac{\rho_r}{\rho_w} - 1 = 1.57$$

Stabilitetsforhold iht. RM
Figur 5.73

$S_f := 6.7$ ($H_s/\Delta \cdot u_{50}$ jf. [RM])

$$D_{u50} := \frac{H_s}{\Delta \cdot S_f} = 0.11 \text{ m}$$

$$M_{50} := D_{u50}^3 \cdot \rho_r = 3.91 \text{ kg}$$

Der vælges samme fraktion som filterstenene 70mm-200mm (2-15 kg) med en lagtykkelse på 300 mm