

Appendix 4

Projekt navn	Nordfyns Kom - Bogense Kystbeskyttelse og klimatilpasning
Kunde	Nordfyns Kommune
Projektleder	CMER
Projekt nummer	1311900146
Dokument ID	Skitseprojekt – Delstrækning 4
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	7
6.	Dimensionering af stenskråning	8

1. Indledning

På delstrækning 4 reguleres skråningsanlæggene på de eksisterende diger, så sikringskoten jf. opskylsskema fra TT opnås. På forsiden af det eksisterende dige etableres der en stenskråning med hældning 1:3,5. På bagsiden forhøjes og reguleres det eksisterende dige, så det sikres, at der er den tilstrækkelige topkote samt hældning 1:3 på bagsiden.

Hvor det eksisterende dige reguleres og forhøjes afrømmes eksisterende græs og muld. Afslutningsvis sås der græs (digeblanding) 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 dige. Understrømningen samt sætningerne som følge af regulering af det eksisterende dige belyses ligeledes. Dimensioneringen af stenskråningen indgår ligeledes i dette dokument.

Tværsnit af de eksisterende- samt fremtidige diger fremgår af PDF'en " 1311900146_S4".

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: +2,80 m (middel)
Øst: +3,00 m (middel) |
| - Fremtidig topkote: | Vest: +3,85 m
Øst: +3,65 m |
| - Hældning forside: | 1:3,5 |
| - 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 2 tværsnit med udgangspunkt i Danmarks Digitale Højdemodel fra 2015. De to tværsnit er repræsentativ for henholdsvis den vestlige- og den østlige del af delstrækning 4.

2.3 Geoteknik

Der foreligger geotekniske rapport: ”Bogense. Stegøvej m.fl. – Geoteknisk rapport no. 4 – Delstrækning 4 – 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 G7

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
Muld	+2,85	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Ler	+2,45	50-100	0	26	19/20	0,00864
Moræneler	+1,95	100-350	10-20	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 G8

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: Ler	+1,30	0	0	25*1	19/19*1	0,00864
Fyld: Sand	+1,00	-	-	32*1	18/20	40
Fyld: Muld	+0,55	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Sand	+0,10	-	-	34	18/20	40
Ler	-0,55	50-100	0	26	19/20	0,00864
Moræneler	-1,30	100-350	10-20	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”

2.3.3 Boring L6

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	+3,00	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Fyld: Ler	+2,25	0	0	25*1	19/19*1	0,00864
Muld	+1,90	-	-	30*1	18/20*1	0,0864
Ler	+1,20	50-100	0	26	19/20	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”

2.3.4 Grundvandsspejl

Grundvandsspejlet fremgår af den geotekniske rapport:

Geotekniskrapport	VSP
G7	+1,35
G8	+0,55

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 4 - Geoteknik som boring G7 (Vestligt tværsnit)	D4 (G7) - Snit V
Delstrækning 4 - Geoteknik som boring G8 og L6 (Østligt tværsnit)	D4 (G8 og L6) - 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 basisscenariet

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

Filnavn	Strength reduction factor (LB)	Strength reduction factor (UB)	Strength reduction factor (MEAN)
D4 (G7) - Snit V	2,008	2,248	2,128
D4 (G8 og L6) - Snit Ø	1,774	1,821	1,7975

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)
D4 (G7) - Snit V	1,676	1,859	1,7675
D4 (G8 og L6) - Snit Ø	1,550	1,610	1,580

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 basisscenariet

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)
D4 (G7) - Snit V	0,003	0,003	0,003
D4 (G8 og L6) - Snit Ø	0,6	0,6	0,6

4.3 Hovedresultater fremtidigt diger

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)
D4 (G7) - Snit V	0,004	0,004	0,004
D4 (G8 og L6) - Snit Ø	0,9	0,8	0,85

5. Sætninger

Der er ingen sætningsgivende lag jf. de geotekniske borer G7 og G8, hvorfor der ikke regnes sætninger for denne strækning.

6. Dimensionering af stenskråning

KYSTSIKRING AF STRÆKNING 4 - VEST

KYSTSIKRING IFT. BØLGEOPSKYL

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

På strækning 4 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	$\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{3.5}\right) = 15.95 \text{ deg}$	
Signifikant bølgehøjde (år 2070)	$H_s := 1.2 \text{ m}$	jf. opskylsskema fra TT
Bølgeperiode (år 2070)	$T_p := 5.7 \text{ s}$	jf. opskylsskema fra TT
Opskylskote (år 2070)	$K_t := 3.84 \text{ m}$	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	$W_{50} := \frac{\rho_r \cdot H_s^3}{K_D \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1\right)^3 \cdot \cot(\alpha)} = 96.08 \text{ kg}$

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).

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

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

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

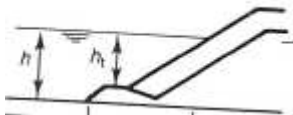
$$f_{15} := \text{if} \left(\frac{d_{\text{dæk},15}}{d_{f,15}} \leq 7, \text{"ok"}, \text{"for små"} \right) = \text{"ok"}$$

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 3 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 $h := 2.36\text{m}$ Opmålt i Auto cad

Vanddybde over fod ved designdybden $h_t := h - h_f = 2.06\text{m}$

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/ Δ D.u50 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

KYSTSIKRING AF STRÆKNING 4 - ØST

KYSTSIKRING IFT. BØLGEOPSKYL

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

På strækning 4 øst 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	$\alpha := \text{atan}\left(\frac{1}{3.5}\right) = 15.95 \text{ deg}$	
Signifikant bølgehøjde (år 2070)	$H_S := 1.0\text{m}$	jf. opskylsskema fra TT
Bølgeperiode (år 2070)	$T_P := 5.5\text{s}$	jf. opskylsskema fra TT
Opskylskote (år 2070)	$K_t := 3.63\text{m}$	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	$W_{50} := \frac{\rho_r \cdot H_S^3}{K_D \cdot \left(\frac{\rho_r}{\rho_w} - 1\right)^3 \cdot \cot(\alpha)} = 55.60 \cdot \text{kg}$

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

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

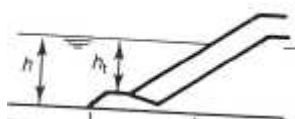
$$f_{15} := \text{if} \left(\frac{d_{\text{dæk.15}}}{d_{f.15}} \leq 7, \text{"ok"}, \text{"for små"} \right) = \text{"ok"}$$

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 3 meter. Vandspejlet er placeret i +2,18 m (år 2070)



Højde af fod $h_f := 0.30 \text{ m}$

Vanddybde ved siden af fod ved designdybden $h := 2.36 \text{ m}$ Opmålt i Auto cad

Vanddybde over fod ved designdybden $h_t := h - h_f = 2.06 \text{ m}$

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])

$$D_{u50} := \frac{H_s}{\Delta \cdot S_f} = 0.09 \text{ m}$$

$$M_{50} := D_{u50}^3 \cdot \rho_r = 2.26 \text{ kg}$$

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