

**Bilag 6**

Næstved Kommune

**Næstved Kommune - Enø Kystbeskyttelse**

Kystbeskyttelsesmetoder

Projekt nr.: 229255  
 Dokument nr.:  
 1229944950/2TAPYJQV5NV4-  
 54161221-404  
 Version 2  
 Revision 1

Udarbejdet af MLV, MML  
 Kontrolleret af KBO  
 Godkendt af MLV

**1 Kystbeskyttelsestyper**

Begrebet kystbeskyttelse omfatter både højvandsbeskyttelse og erosionsbeskyttelse. Herunder findes forskellige typer af højvandsbeskyttelse og forskellige typer af erosionsbeskyttelse. De forskellige typer har hver deres fordele og ulemper. Alle disse typer kan udformes med forskelligt udseende og materialevalg, der får dem til at falde mere eller mindre naturligt ind i det omkringliggende landskab og miljø

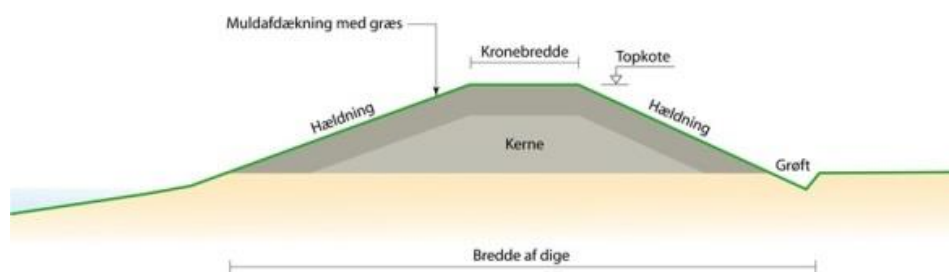
I det efterfølgende gives en kort beskrivelse af forskellige typer anvendt i dette projekt.

**1.1 Lerdige**

Ved benævnelse af diger, menes et lerdige anlagt efter traditionel opbygning med ler på en kerne af sand med kvalitetskriterier for klægler eller klægler-lignende jordmineralsammensætning som vist i Tabel 1.1 og Figur 1.1. Oven på ler-membranen er diget beklædt med enten jord eller sand og beplantet med en vegetation, der kan modstå de forhold der findes på de givne lokaliteter.

Fordelen ved lerdiger er, at de er robuste over for bølgepåvirkning og bølgeoverskyl, ikke-påvirkelige overfor salt og at styrken ikke forringes over tid, forudsat at de vedligeholdes. De er billigere i anlægs- og i driftsfase, end fx spuns eller højvandsmure, og kræver et minimum af vedligehold udover græsslåning og årlig inspektion. Forudsat at de vedligeholdes korrekt forventes det, at de kan holde i mere end 500 år.

Figur 1.1: Jorddige med sandkerne overlagt med fed moræneler (klægler type) og beplantet med græs, [1].



NIRAS A/S  
 Sortemosevej 19  
 3450 Allerød

T: +45 4810 4200  
 D:  
 E: mlv@niras.dk

www.niras.dk  
 CVR-nr. 37295728  
 Tilsluttet FRI

Table 1.1: Quality criteria for clay for dikes. Source: Coastal Engineering Institute.

Requirements for clay used as dike revetment (EAK, 2002).

Soil property	Threshold
Sand content ( $d > 0.06\text{mm}$ )	$< 40\%$
Clay content ( $d < 0.002\text{mm}$ )	$> 10\%$
Liquidity Limit	$w_L > 25\%$
Plasticity Limit	$w_p > 15\%$
Undrained Shear Strength	$> 20 \text{ kN/m}^2$
Dry density	$0.85 < \rho_d < 1.45 \text{ t/m}^3$
Water content	$80\% > w > 30\%$

Classification of clay erosion resistance (TAW, 1996)

Clay category	Water content $w$ [%]	Plasticity Index	Sand content [%]
Erosion resistant	$> 45$	$> 0.73 \cdot (w - 20)$	$< 40$
Moderate erosion resistance	$< 45$	$> 18$	$< 40$
Low erosion resistance	$< 45$	$< 18$	$< 40$

The problem with dikes is that they require a lot of space in the existing terrain. Part of the width of the dike crown is 1 – 3 m and possibly wider, if it should be built on the crown. Part of the sides of the dikes should be finished with minimum compaction (compaction ratio 1:3) so that they can withstand wave impact and wave overtopping without failure under storm surge. Therefore, dikes require a large safety factor.

### 1.1.1 Construction phase

The topsoil is removed in the area where the dike is to be established, after which the core is built with clay membrane and covered with soil. Construction is done from the land side with use of ordinary construction machines, such as excavators and dump trucks. The trench can eventually be built up as the top part of the dike. Subsequently, the dike is finished with a grass seed mixture.

### 1.1.2 Maintenance phase

Grass should be mowed 3 - 5 times a year during the growing season so that the grass root system develops, binds the dike soil together and at the same time holds the soil in place. Skavens (weeds) and gnawing animals can damage the clay membrane, so there should be time for regular inspection of the area. It is recommended to have a minimum of one inspection per year. Possible trees and bushes should also be removed.

## 1.2 Flood wall

In urban areas and near harbors there is often no space for dikes, so flood walls are often used as flood protection. The terms flood wall or flood wall refer to the same type of construction. Flood walls can be built in concrete, brick, plastic, or glass.

To increase the safety in areas with flood walls there is often a need for a flood wall 'hull'. It is recommended to build a permanent flood wall hull, which is attached to the flood wall and which can quickly close the hull in the flood wall with a warning of flooding, Fig. 1.2.

Figur 1.2: Højvandsmur i Lemvig udført i beton med påmonteret højvandsskot.



Den umiddelbare fordel ved højvandsmure er deres lille fodaftryk, men murene skal konstrueres rigtigt for at kunne modstå vandtryk og bølger. Højvandsmure er relativt bekostelige og mere skrøbelig end diger især fordi de er svære og dyre at reparere. Trævægge kræver desuden en del vedligeholdelse og levetiden er kortere end for diger. Betonvægge som vist på Figur 1.2 ovenfor har en længere levetid en trævægge.

Lange flade vejbumper kan også anlægges, således at vejen i sig selv indgår i beskyttelsen.

Figur 1.3: Eksempel på højvandsmur i Nivå udført som københavnerveg i azobé (stolper og flager) med topafdækning i lærk.



Figur 1.4: Mobile svinerygsplanker i vestligste del af Køge Havn. Tracé med platforme for H-profiler placeres og ved varsel om stormflod opsættes vertikale H-profiler og mellem dem horisontale svinerygsplanker.  
Kilde: Wintec



### 1.2.1 Anlægsfase

Hvor der skal anlægges betonmure udgraves der til fundament i murens bredde. Enten bliver hvert betonelement præstøbt på betonfabrik og samlet på lokaliteten ellers bliver betonmuren in-situ-støbt på lokaliteten i forskalling.

Trævæggene udføres som pæle-flage vægge, også kaldet københavnermur. Træstolperne bankes/presses i jorden og væggenes plader (flager) påsættes herefter mellem stolperne. Til slut sættes en hammer på toppen af flager og pæle. Anlægsarbejdet kan udføres med mindre maskinel.

### 1.2.2 Driftsfase

Højvandsmurene skal løbende vedligeholdes for at komme skader i forkøbet og for at holde dem fri for bevoksninger og derved undgå evt. råd og svamp. Kystdirektoratet anbefaler derfor, at højvandsmure inspiceres med jævne mellemrum. Typiske kræver betonmure kun sjældent vedligeholdelse, mens trævægge vil skulle beskyttes mod råd og svamp med træbeskyttelse, [2], eller der skal benyttes hårdt træ med høj densitet.

## 2 Erosionsbeskyttelse

I tilfælde hvor højvandsbeskyttelsen er udsat for direkte bølgepåvirkning og i fare for at blive beskadiget af bølgerne eller undermineret af bølgernes erosion, kan højvandsbeskyttelsen beskyttes med foranliggende erosionsbeskyttelse, se Bilag 1.

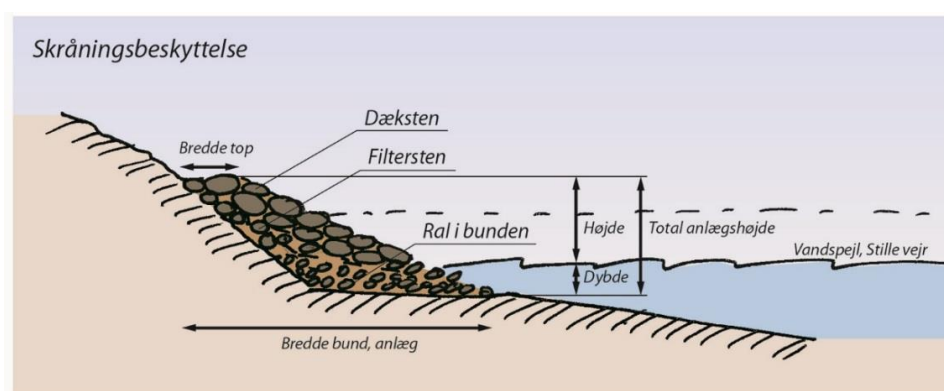
Erosionsbeskyttelsen kan enten være i form af blød og/eller hård beskyttelse. Blød beskyttelse består af strandfodring mens hård beskyttelse består af faste konstruktioner, såsom skråningsbeskyttelse. Ofte er en kombination af blød og hård beskyttelse nødvendig.

## 2.1 Skråningsbeskyttelse

En skråningsbeskyttelse er typisk opbygget af sten placeret opad klitten, klinten eller højvandsbeskyttelse på bagstranden, Figur 2.1. Konstruktionen hindrer erosion i bagvedliggende skråninger/terræn og dermed imod frigivelse af sand herfra og tilbagerykning af klinten/klitten.

Opskylshøjde og bølgerefleksion er mindre på en skråningsbeskyttelse udført med sten ift. en lodret mur eller dige, hvilket reducerer erosion af det foranliggende terræn/bund. Dette skyldes til dels at den er skrånende så bølgerne kan løbe af herpå, på samme vis som på stranden. Men det skyldes til dels også, at skråningsbeskyttelsens overflade er 'ru' og bremser opskyllet og dermed reducerer opskylshøjden. Derudover er tilbageskyllet mindre kraftigt, da en stor del af opskyllet kan sive ned mellem stenene. Således kan kronekote typisk reduceres ved anvendelse af en skråningsbeskyttelse. Skråningsbeskyttelse har derimod et større fodaftryk end en mur.

Figur 2.1: Principskitse af skråningsbeskyttelse, [3]



Reduceret frigivelse af sediment fra bagstranden, reducerer den samlede langstransport fra området, hvilket øger erosionspresset nedstrøms, se Bilag 1. Derudover fortsætter erosionen i den foranliggende del af kystprofilen som ikke er beskyttet.

Såfremt der foregår erosion på strækningen, vil erosionen derfor fortsætte i det resterende profil, hvilket med tiden resulterer i en smallere og lavere strand/profil. Derfor er det også vigtigt, at foden af en skråningsbeskyttelse er funderet korrekt for at undgå underminering. Ved sænkning af det foranliggende profil, øges bølgepåvirkningen under den dimensionsgivende hændelse og højden og størrelsen af hhv. kronekote og sten vil blive utilstrækkelig.

Som kompensation mod erosion foran skråningsbeskyttelser må der påregnes jævnlige fodres med sand og ral for at fastholde profilhøjden.

### 2.1.1 Anlægsfase

Nederst udlægges et lag af ral og håndsten eller kernemateriale, der kan skabe en stabil grund for de større dæksten, som efterfølgende udlægges. Anlægsarbejdet vil blive udført fra strandsiden og kræver almindeligt anlægsmaskiner.

### 2.1.2 Driftsfase

Skråningsbeskyttelse medfører ikke direkte vedligeholdelse, men levetiden kan forlænges af, at anlægget kombineres med jævnlig strandfodring. Hvis ikke der foretages strandfodring, vil skråningsbeskyttelsen med tiden blive undermineret af bølgerne, og det vil herefter være nødvendigt at genopbygge skråningsbeskyttelsen på ny.

Højden kan relativt let og billigt forhøjes, såfremt den eksisterende krone er tilstrækkeligt bred. At udskifte stenene med en større stenkasse er bekosteligt, og kan muligvis kræve en total ombygning af konstruktionen.

## 2.2 Strandfodring

Strandfodring er den eneste form for kystbeskyttelse, der kan reducere erosionen i hele kystprofilen og som kan kompensere for erosion fra bølger og strøm. Desuden skaber strandfodring en ekstra beskyttelse mod akut erosion ved forhøjelse af stranden og fremrykning af vandlinjen.

På en erosionskyst med hård beskyttelse, som f.eks. skråningsbeskyttelse, kan strandfodring som det eneste sikre, at konstruktionens dimensioneringskriterier overholdes. I det tilfælde, at der ikke fodres, eroderes og sænkes den foranliggende havbund og bølgepåvirkningen på konstruktionen øges med tiden.

Strandfodring øger den rekreative værdi af kysten og kan sikre adgang langs stranden.

Strandfodring kan udlægges med henblik på at kompensere for tre forskellige årsager til erosion:

- I takt med **havspejlsstigningerne** vil strandbredden blive mindre såfremt bagstranden fastholdes.
- **Kroniske erosion** medfører, at stranden rykker tilbage.
- I forbindelse med hændelser med forhøjet vandstand og bølgepåvirkning kan der forekomme **akut erosion** af skrænt og strand.

Strandfodring udlægges med et tidligt interval til beskyttelse mod forventet fremtidig erosion indtil næste udlægning.

### 2.2.1 Anlægsfase

Strandfodring sker typisk fra havsiden, hvor skibe/pramme sejler materialet til. De skibe/pramme, der ankommer med fodringsmaterialerne kan typisk kun gå ind på 6 m vand, hvorfor disse vil ligge for anker et stykke ud for kysten. Herfra pumpes materialet ind via en flydeledning, for så at blive omfordelt på strækningen med entreprenør maskiner.

### 2.2.2 Driftsfase

Strandfodring er ikke en stabil erosionsbeskyttelse, og der vil løbende være behov for at vedligeholdelsesfodre. Vedligeholdelsesfodringen bør ske minimum hvert 5. år, eller oftere hvis særligt kraftige stormhændelser har ført meget store mængder materialer med ud eller nedstrøms. Vedligeholdelsesfodringerne foretages på samme vis som i anlægsfasen. Ved mindre vedligeholdelses sandmængder vil tilkørsel med lastbil være mindre omkostningskrævende end sandindpumpning. Dette grundet den høje anstillingsomkostning for sandpumpere og flydeledning.

### 3 Referencer

- [1] Kystdirektoratet, »Kystdirektoratets hjemmeside,« 2017. [Online]. Available: <http://kysterne.kyst.dk/hvad-er-diger.html#>.
- [2] Kystdirektoratet, »Højvandsmur,« 2019. [Online]. Available: <https://kyst.dk/media/80414/hoejvandsmur.pdf>.
- [3] D. H. o. Kjærsgaard, »Kystdynamik og kystbeskyttelse: Naturlige erosions- og oversvømmelsesprocesser - beskyttelsesmetoders virkning og økonomi,« 2015.
- [4] Kystdirektoratet, »Skråningsbeskyttelse,« 2019. [Online]. Available: <https://kyst.dk/media/80417/skraaningsbeskyttelse.pdf>.