

**Kystteknisk notat**

**CKE 19.05 - Halskov Færgehavn**  
**Ekstraordinær vedligeholdelse af kaj anlæg**  
 Løsning med strandprofil

Projekt nr.: 10404206  
 Dokument nr.: 1231350400

Revision 0

Udarbejdet af SSC  
 Kontrolleret af CHLD  
 Godkendt af KBV

**1 Indledning**

I forbindelse med vedligeholdelse af kaj anlægget i Halskov Færgehavn er det besluttet, at de gamle færgelejer skal opfyldes til kote +1,5 mDVR90.

Opfyldningen kan afgrænses af en stensætning, der også har til formål at beskytte kaj anlægget.

Alternativt, kan opfyldningen i havnebassinerne forlænges ud i havnen, så der dermed skabes en strand.

En illustration af denne alternative løsning ses i Figur 1.1.

*Figur 1.1: Alternativ løsning, hvor der etableres en strand ved færgelejerne.*



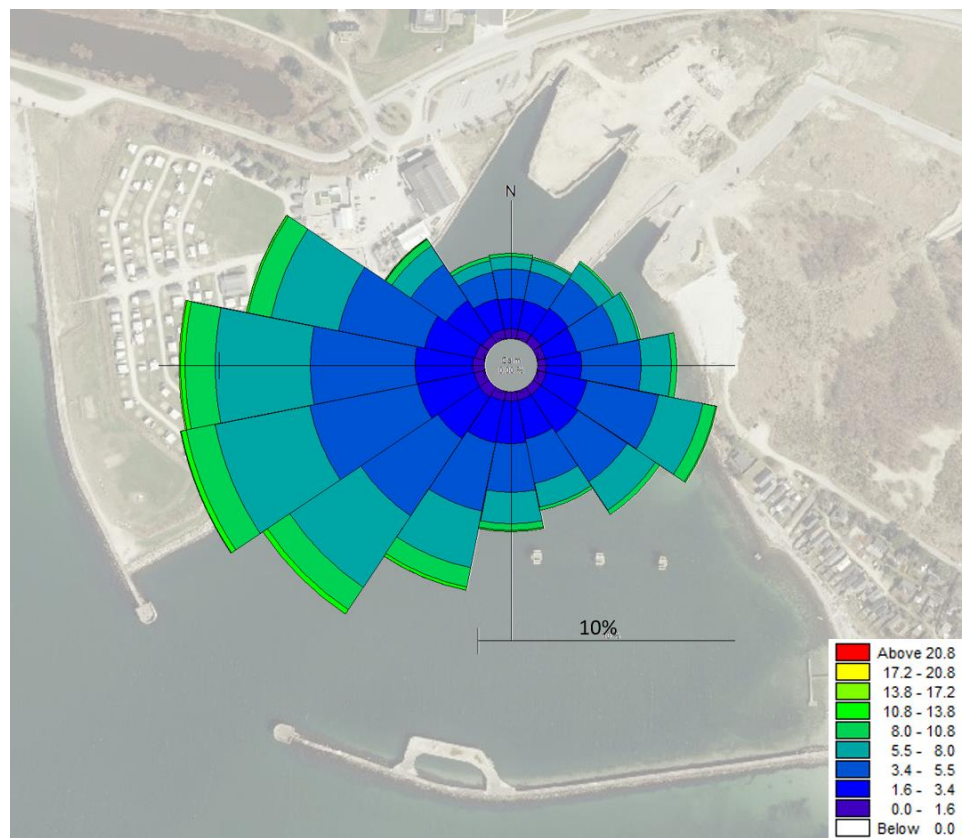
Dette notat har til formål at beskrive løsningen med en sandstrand og udformningen af strandprofilet og strandlinjen.

Det skal i løsningen sikres, at der foran Midterkajen og Østkajen (jf. Figur 1.1) altid ligger sand til kote +1,5 m, for at beskytte kajanlæggene. Derudover må vanddybden for enden af molehovedet, der i dag er 6,7 m, ikke reduceres, da området skal benyttes til udspring.

## 2 Kystens ligevægtsorientering

Kystens ligevægtsorientering er fundet ved at beregne bølgepåvirkningens størrelse og retning inde i havnen. Bølgepåvirkningen er fundet ud fra vindens hastighed og retning. En vindrose for området i periode 2011-2018 ses i Figur 2.1.

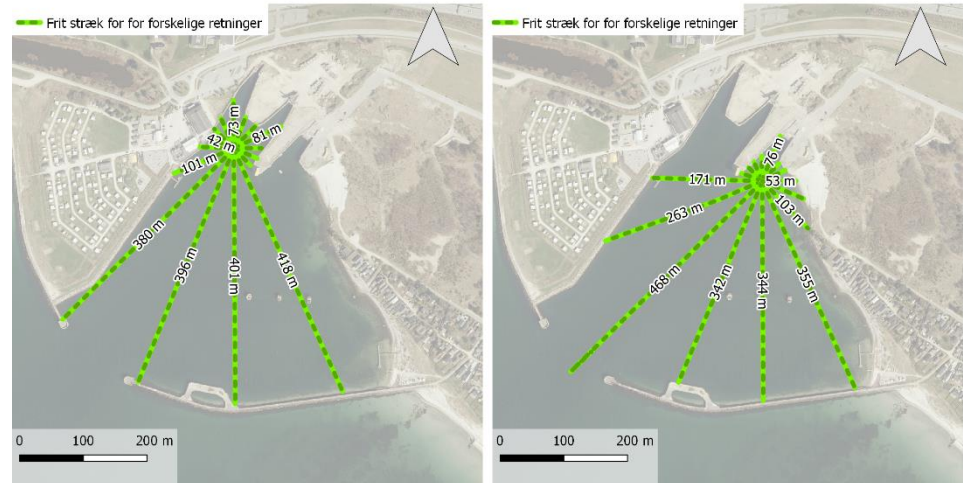
Figur 2.1: Vindrose for området.



Vindhastigheden er inddelt efter Beaufort-skalaen i 16 retninger med et interval på 22,5 grader. Baseret på vindrosen er bølgepåvirkningen fra de 16 retninger beregnet ud fra det frie stræk ud for stranden. De frie stræk anvendt i beregningen er vist i Figur 2.2 for strandprofilet vest og øst for pieren.

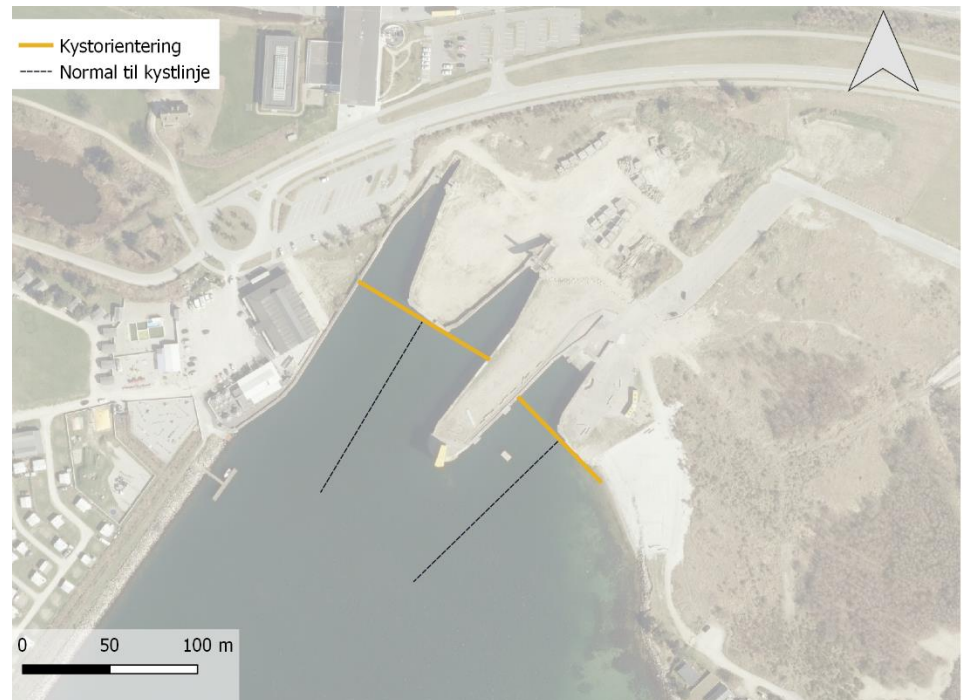
Ud fra dette er den kystparallelle sedimenttransport beregnet for alle retninger. Kystens ligevægtsorientering findes som den retning, hvor den kystparallelle netto sedimenttransport er nul.

Figur 2.2: Længder af frit stræk anvendt til beregning af bølgehøjder i havnen ud fra vindrosen i Figur 2.1.



Kystens ligevægtsorientering er for strandprofilen vest for pieren fundet til 211 grader, mens det for det østlige strandprofil er fundet til 226 grader. Som det ses af Figur 2.3 svarer dette mere eller mindre til orienteringen af kajvæggene. Strandlinjerne vil derfor følge kajlinjens orientering.

Figur 2.3: Strandens ligevægtsorientering.



---

### 3 Kystprofilet

Det skal sikres, at kystprofilet er dynamisk stabilt. Det betyder, at der over et år vil ske mindre ændringer i profilet, men at profilets ændringer afgrænset.

Det aktive kystprofil definerer den del af kystprofilet fra et stykke over vandlinjen til den største dybde (aktive dybde), hvor der forekommer ændringer i kystprofilet over kortere tidsskalaer som følge af bølgepåvirkning.

Den aktive dybde er funktion af den signifikante bølgehøjde, der overskrides 12 timer pr år,  $H_{s12}$ , den tilhørende peak bølge periode,  $T_p$  og tyngdeacceleration,  $g$

$$h_c = 2.28H_{s12} - \frac{68,5H_{s12}^2}{gT_p^2}$$

$H_{s12}$  er fundet ved at køre en spektralbølgemodel (MIKE 21 SW) i Storebælt i perioden 2011-2018. For bølger kommende fra 215 grader er  $H_{s12} = 1,11$  m og  $T_p = 4,1$  s.

Bølgeuroen inden i havnen er efterfølgende beregnet vha. en Boussinesq-bølgemodell (MIKE 21 BW). Inden i haven fås bølgehøjder på op til  $H_{s,1\text{år},\text{havn}} = 0,5$  m foran midterkajen og dermed kan den aktive dybde beegnes til omkring 1 m. Som en sikkerhed øges den aktive dybde med 25 % til 1,25 m for at øge stabiliteten af strandprofilet og forbedre svømmesikkerheden.

Foran færgelejerne, Midterkajen og Østkajen anlægges den første stækning, så der minimum er 5 m med en konstant kote +1,5 mDVR90 foran færgelejer og kaj.

Mellem kote 0,0 mDVR og +1,5 m DVR90 antages et lineært kystprofil med hældning 1:8.

Kystprofilet fra kote 0,0 mDVR90 til -1,25 mDVR90 beskrives vha. Bruuns formel (Bruun, 1954)

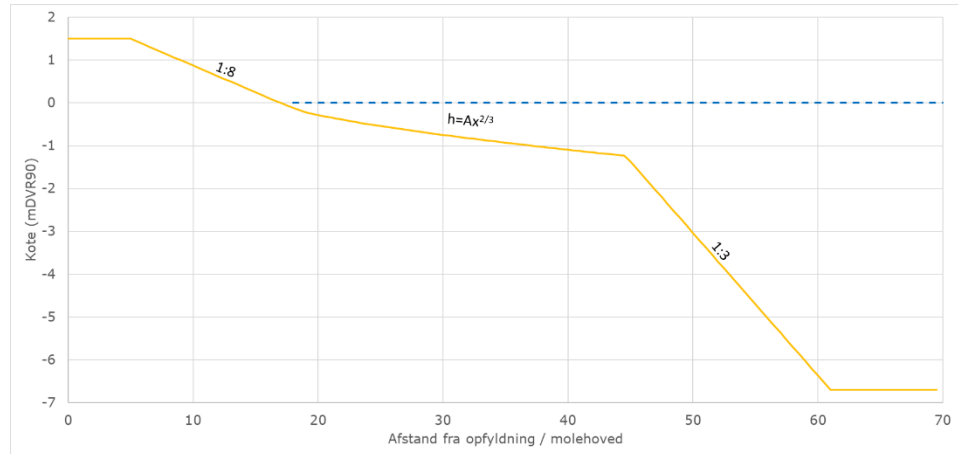
$$h = Ax^{2/3}$$

Her er  $h$  vanddybde,  $x$  afstanden startende i kote 0,0 mDVR90 og  $A=0,136$  en konstant, der afhænger af korndiameteren og her svarer til en nominal korndiameter på  $d_{n50}=0,35$  mm, jf. (Moore, 1982) og (Dean, 1987).

For koter mellem -1,25 mDVR90 og -6,7 mDVR90 (nuværende havbund ud for pieren) har kystprofilet en hældning på 1:3.

Strandprofilet ses i Figur 3.1.

Figur 3.1: Strandprofilets form.



### 3.1 Kystprofilet under en storm i dag

Under en storm med bølger og højvande vil strandprofilet ændres, da sedimentet vil blive transporteret fra stranden og ud på dybere vand – dog stadig primært indenfor det aktive profil.

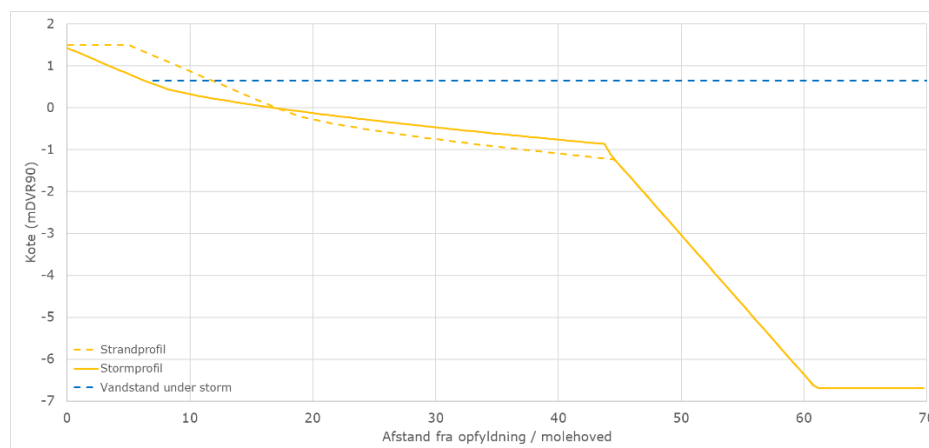
Havnens indsejling har en orientering på 210-225 grader.

Vandstanden under en 50 års storm med bølgeretninger fra sydøst svarende til indsejlingsvinklen er cirka +0,65 m. Dette er fundet ved spektralmodellen omtalt i afsnittet ovenover.

Stormprofilet findes ved at hæve ligevægtsprofilet i Figur 3.1 svarende til stormvandstanden. Stormprofilet parallelforskydes derefter mod venstre, indtil der er balance i sedimentbudgettet mellem ligevægtsprofilet og stormprofilet mellem kote +1,5 mDVR90 og den aktive dybde (kote -1,25 mDVR90).

Kystprofilet og stormprofilet ses i Figur 3.2. Under stormen vil vandlinjen flyttes 6 m tilbage og sand vil blive eroderet fra stranden. Foran molehovedet vil terrænkoten dog stadig være ca. +1,4 m DVR90 og derfor tæt på de ønskede +1,5 mDVR90.

Figur 3.2: Stormprofilen under storm med vandstand på +0,65 m.



Størstedelen af det eroderede sand bliver i den aktive zone og transporteres ind til stranden igen i forbindelse med normal vandstand og bølger.

En mindre del af sandet kan ende på dybere vand og tabes derved. Det kan derfor på sigt blive nødvendigt at vedligeholde stranden med en mindre mængde tilkørt sand.

### 3.2 Kystprofilen under en storm om 50 år

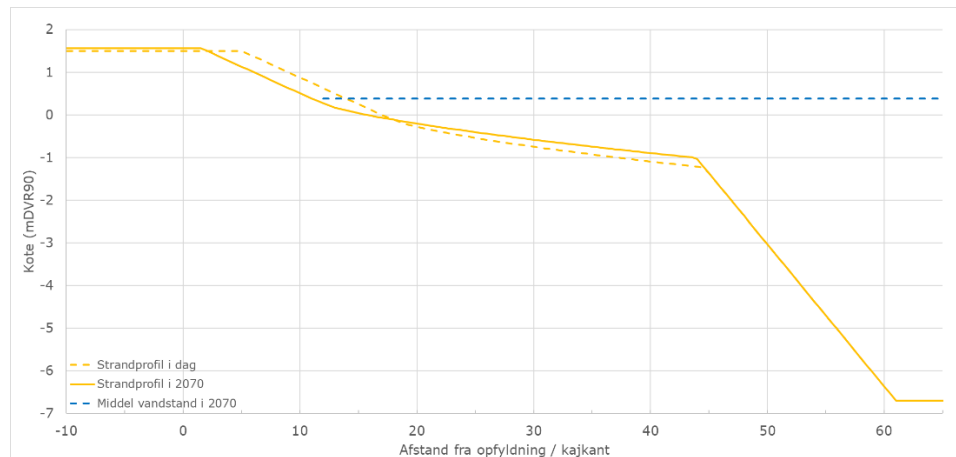
Om 50 år vil havspejlet pga. klimaforandringer være steget omkring 0,38 m (Kystdirektoratet, 2018). Tilsvarende vil der være sket en isostatisk landhævning på omkring 6 cm, (Vognsen, et al., 2011).

Pga. ændring i havspejl og terrænniveauet vil strandprofilen have fundet et nyt ligevægtsprofil, hvis der ikke tilføres sand. Det nye strandprofil er fundet ved at lægge landhævning til strandprofilen i Figur 3.1. Derefter er strandprofilen, som ved stormprofilen ovenover, hævet svarende til havspejlstigningen på 0,38 m. Strandprofilen parallelforskydes derefter mod venstre, indtil der er balance i sedimentbudgettet mellem strandprofilen i dag og strandprofilen i år 2070 mellem kote +1,56 mDVR90 og den aktive dybde i dag -1,25 mDVR90.

De to strandprofiler ses i Figur 3.3. Strandprofilen vil i 2070 være rykket 3,5 m tilbage i forhold til i dag.



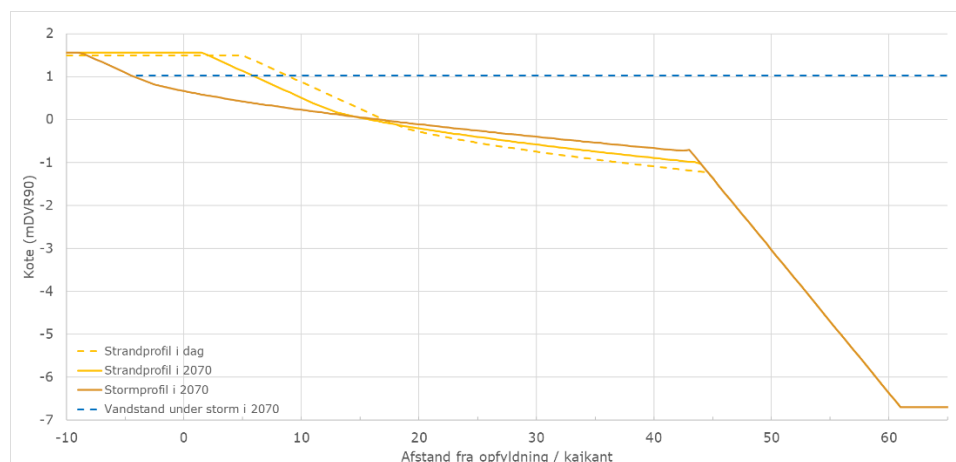
Figur 3.3: Strandprofilet i 2070, hvor havspejlet er steget 0,38 m. I figuren ses strandprofilet i dag til sammenligning.



Stormprofilet i 2070 findes tilsvarende ved at hæve strandprofilet i år 2070 med 0,65 m svarende til stormvandstanden. Stormprofilet parallelforskydes derefter mod venstre, indtil der er balance i sedimentbudgettet mellem strandprofilet i 2070 og stormprofilet i 2070.

Stormprofilet er i Figur 3.4 sammenlignet med strandprofilet i dag og i 2070.

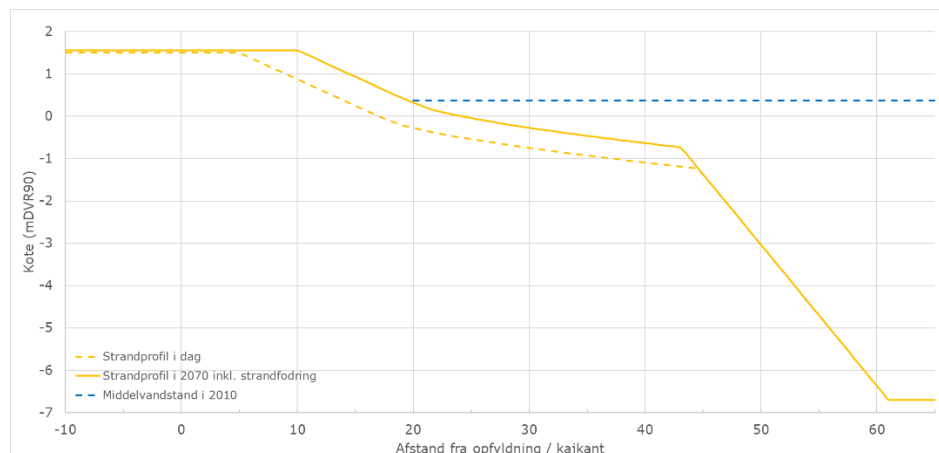
Figur 3.4: Stormprofilet i 2070 sammenlignet med strandprofilet i dag og i år 2070.



I forhold til strandprofilet i 2070 er stormprofilet flyttet 5 m tilbage. Foran Midter- og Østkajen vil terrænkoten være omkring +0,6 m. I færgelejerne vil der derfor også være eroderet sand. Stormprofilet har først kote i +1,56m 9 m bag kajerne.

Om 50 år vil det derfor være nødvendig at flytte nuværende strandprofil 5 m havværts, hvis det skal sikres, at der under en storm er sand til at opretholde kote +1,5 mDVR90 foran kajen. Det nye profil, hvor strandprofilet er flyttet 5 m havværts ses i Figur 3.5 sammen med strandprofilet i dag. Til anlæggelse af det nye profil om 50 år vil det være nødvendig at strandfodre med omkring 18 m<sup>3</sup>/m sand.

Figur 3.5: Nødvendig lige-vægtsprofil i år 2070 sammenlignet med strandprofilet i dag.



## 4 Vedligeholdelse

Som beskrevet i afsnit 0 vil det over årene være nødvendigt at strandfodre, for at sikre, at strandprofilet bevares og der ikke eroderes sand fra selve færgelejerne. Mængden af sand, der skal strandfodres de næste 50 er ca.  $18 \text{ m}^3/\text{m}$  svarende til ca.  $260 \text{ m}^3/5. \text{ år}$ . Derudover må det forventes, at noget sand forsvinder fra stranden ud på dybere vand. Dette antaget at være  $50 \text{ m}^3/5. \text{ år}$ . I alt skal der derfor strandfodres med ca.  $310 \text{ m}^3$  sand hvert 5. år. Udgifterne til anlæggelse af sand anslå til  $200 \text{ kr./m}^3$  svarende det til en vedligeholdelsesomkostning på  $62.000 \text{ kr./5. år}$ . Det anbefales at vente med at strandfodre til behovet opstår, hvorved man sandsynligvis kan spare på udgifterne set over en længere tidshorizont.

## 5 Strandkvalitet

Der skal være betydelig bølgepåvirkning på strandprofilet for at opretholde en optimal strandkvalitet.

Bølgerne er sandsynligvis ikke store nok at opretholde en optimal kvalitet af stranden ved færgelejerne. Der vil derfor kunne aflejres finkornet materiale på bunden, som vil kunne føles mudret at gå på den yderste del af den flade del af strandprofilet. Det meste finkornet sediment vil aflejres på dybt vand og vil derfor ikke påvirke strandkvaliteten.

Stranden forventes ikke at blive påvirket af aflejring af finkornet materiale.

Stranden bør dog renses for havskarn og vegetation nogle gange om året for at sikre en optimal strandkvalitet i badesæsonen.

## 6 Bibliografi

Bruun, P. (1954). Coast erosion and the development of beach profiles. *US Beach Erosion Board*, 44.

Dean, R. (1987). Coastal Sediment Processes: Toward Engineering Solutions. *Proceedings, Coastal Sediments' 87, American Society of Civil Engineers*, 1-24.



Kystdirektoratet. (2018). *Højvandsstatistikker 2017, Bilag*. Kystdirektoratet Miljø- og Fødevarerministeriet.

Moore, B. (1982). *Beach profile evolution in response to changes in water level and wave height*. MCE thesis, Department of Civil Engineering. Newark: University of Delaware.

Vognsen, K., Sørensen, C., Knudsen, P., Engasager, K., Khan, A., & B. Andersen, O. (2011). *Landhævninger i Danmark*. (Kystdirektoratet) Hentet fra <http://kysterne.kyst.dk/landbevaegelser-i-danmark.html>