

DECEMBER 2023

KAJ ØRUMS VEJ FAXE, MATRIKLERNE NR. 1, 3, 7,9, 11 OG 13

Vedligehold og reparation af kystbeskyttelse ved Kaj
Ørums Vej, Faxe

**NOTAT VEDR. HYDROGRAFISKE FORHOLD OG DESIGN AF
KYSTSIKRINGSKONSTRUKTIONER**

RÅDGIVER: OLE JUUL JENSEN OG JENS KIRKEGAARD



FOTO UDFOR NR. 9 SET MOD NORD

DECEMBER 2023

KAJ ØRUMS VEJ FAXE, MATRIKLERNE NR. 1, 3, 7,9, 11 OG 13

Vedligehold og reparation af kystbeskyttelse ved Kaj
Ørums Vej, FAXE

**NOTAT VEDR. HYDROGRAFISKE FORHOLD OG DESIGN AF
KYSTSIKRINGSKONSTRUKTIONER**

OLE JUUL JENSEN, Lillevangsvej 39, 3520 Farum

olejuuljensen2022@gmail.com

Mobil: 20962211

JENS KIRKEGAARD, KROKUSVEJ 8, 2970 HØRS HOLM

JKIRKEGAARD@MAIL.DK

MOBIL: 40568222

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
3	11.12.2023	notat	ojj	jk	ojj

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Vanddybder, vandstand og bølger	8
2.1	dybdeforhold	8
2.2	Bølge-og vandstandsforhold	8
2.3	Design Vandstand	10
2.4	Designbølger	11
3	Udvikling af koncepter for kystbeskyttelseskonstruktioner	12
4	Detaljer vedr. materialer	14
5	Sikring mod oversvømmelse	16
6	Sedimenttransport og Projektets indvirkning på nabostrækninger	19
6.1	Kystens karakter	19
6.2	Kysten nord for projektstrækningen (ud for Faxehus og Strandparken)	19
6.3	Kysten syd for projektstrækningen (nabomatrikel og Strandegårds Dyrehave)	19

1 Indledning

Dette notat er udarbejdet for de seks matrikler på Kaj Ørums Vej og omhandler hydrografiske og designmæssige aspekter for kystsikringskonstruktioner.

Det er udarbejdet af rådgivere: Ole Juul Jensen og Jens Kirkegaard.

Kyststrækningen udfør de seks matrikler er beskyttet mod erosion af betonmure, hvoraf nogle har en sten-kastning foran. Dette gælder for nr. 3, 7 og 11. Der er sket stor beskadigelse under stormflod i oktober 2023.

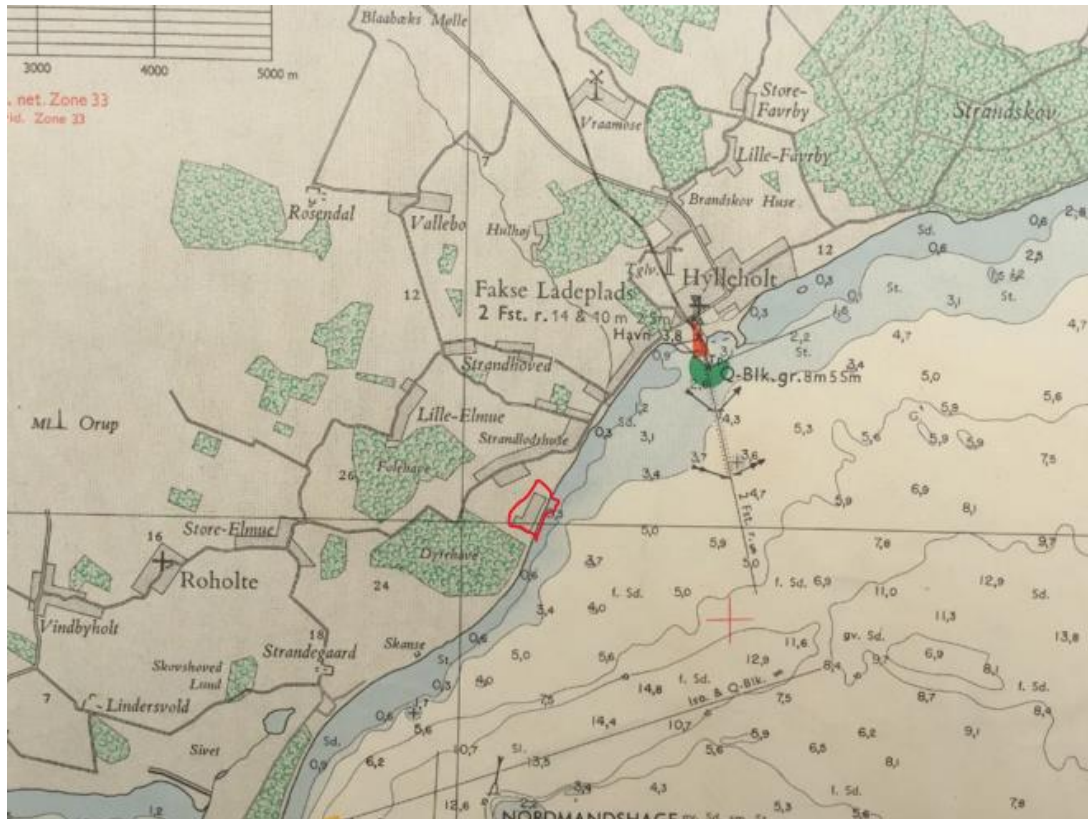


Figur 1-1 Luftfoto af de syv matrikler ved Kaj Ørums Vej

2 Vanddybder, vandstand og bølger

2.1 dybdeforhold

Vanddybdeforholdene, Søkort udfor lokaliteten fremgår af Figur 2-1.



Figur 2-1 Søkort Lokalitet vist med rødt

Lige ud for matriklerne er der en strand med varierende niveau; som typisk er +0,5 til 1,0 m og som varierer naturligt med sæsonen, se Figur 1-1.

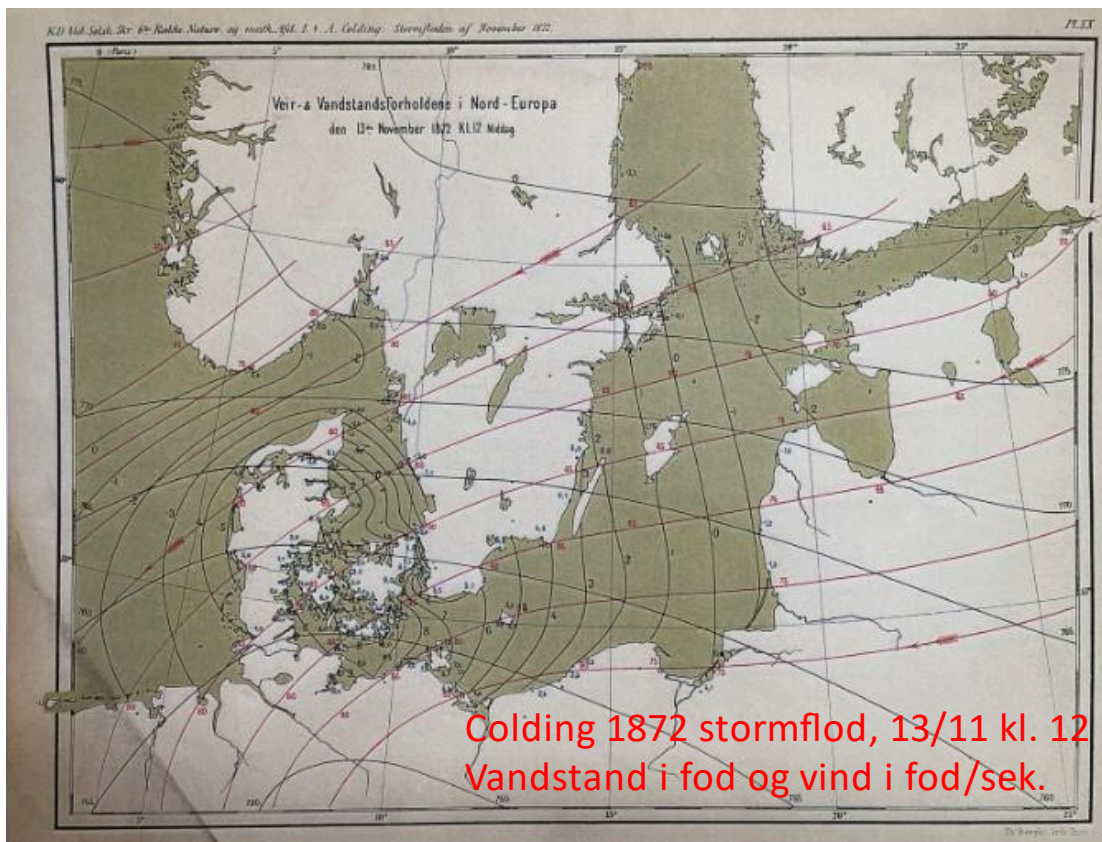
2.2 Bølge-og vandstandsforhold

Havbunden skræner mod ØSØ med en hældning estimeret til ca. 1:75.

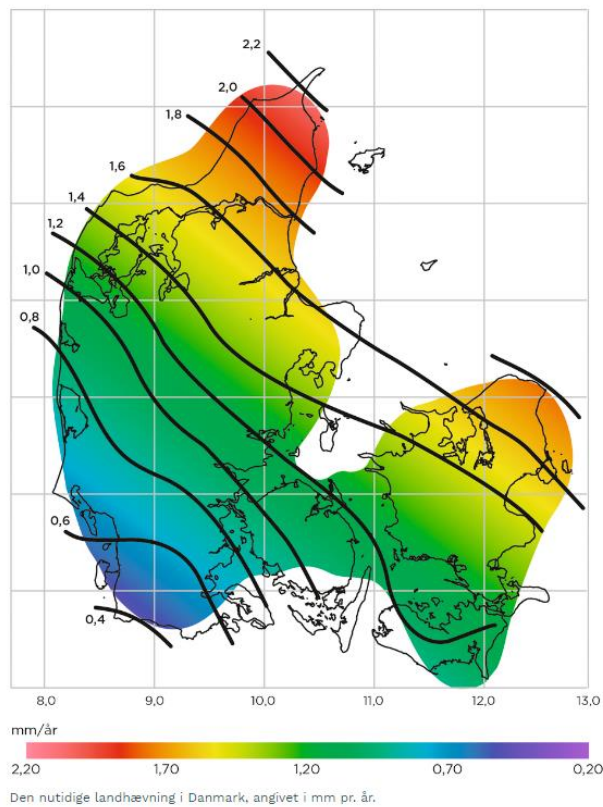
Bølgerne fra øst og sydøst på dybt vand udfor kysten kan i ekstreme tilfælde opnå en betydelig størrelse på op til $H_s=4-5$ m med en peak-bølgeperiode omkring $T_p=9-10$ s. Bølgerne helt inde ved land er brydende bølger, og de er begrænsede ved den aktuelle vanddybde under storm, dvs. inklusive højvande. De lokale bølger kan opnå en størrelse på ca. $H_s=0,55-0,60 \cdot D$, hvor D er dybden. Der benyttes en faktor 0,6 i det følgende.

Det er vigtigt her at fremføre, at strækningen ved Karl Ørums Vej primært er udsat for påvirkning under kraftige storme fra NØ til SØ, tilsvarende stormen okt. 2023, hvor vandstanden nåede estimeret ca. +1,7m over dagligt vande ved kraftig vind omkring Ø. Denne storm gav den højeste vandstand der er målt siden 1904; og vurderes som en storm der i middel forekommer ca. en gang per 75 år. Derudover, har man detaljerede data fra stormfloden fra øst i november 1872, hvor vandstanden ifølge Colding (publikation 1881) i Præstø nåede +9 fod og i Faxe Ladeplads +8 fod, ca. +2,4 m. Denne storm vurderes til i middel at forekomme en gang per 250 år. En 100 års storm vurderes til en vandstand på ca. +1,8 m.

Udover vandstandsstatikken i dag, er det vigtigt at tage vandstandsstigningen i havet i regning. Her regnes der med ca. +20 cm frem til år 2050 og +72 cm frem til år 2100. Derudover er der landhævningen siden istiden at tage i regning. Denne virker til gunst og beløber sig til ca. + 1,3 mm/år, se Figur 2-3.



Figur 2-2 publikation af Colding, vedr. 1872 stormflod. Øjebliksbillede 13/11 1872 kl. 12.



Figur 2-3 Landhævning i Danmark

2.3 Design Vandstand

Det er vigtigt at fastlægge en designvandstand, VS, for projektet for kystbeskyttelse på Kaj Ørums Vej. Man kan vælge sikkerhedsniveau på flere måder:

1. Projektet baseres på at skulle kunne modstå en tilsvarende stormflod som okt. 23 uden tillæg af vandstandsstigning: $VS = +1,7$ m.
2. Projektet baseres på at skulle kunne modstå en tilsvarende stormflod som okt. 23 med tillæg af vandstandsstigning og landhævning frem til 2050: $VS = 1,7 + 0,20 - (0,13 * 25) = +1,87$ m.
3. Projektet baseres på at skulle kunne modstå en 100 års stormflod i år 2050 med tillæg af vandstandsstigning og landhævning: $VS = 1,8 + 0,20 - (0,13 * 25) = +1,97 \sim +2,0$ m.
4. Projektet baseres på at skulle kunne modstå en stormflod svarende til 1872 uden tillæg af vandstandsstigning: $VS = +2,4$ m.

Givet at vi netop har oplevet okt.2023 stormen anbefales det som et minimum, at man vælger (3) og en designvandstand for kystbeskyttelsen på +2,0 m. Vandstanden er en kombination af vindstuvning, barometrisk tryks påvirkning af havet og bølgestuvning grundet de brydende bølger ind på kysten. Hertil kommer virkningen af bølgerne ind på konstruktionen, som medfører at kystbeskyttelseskonstruktionerne skal have en kronekote på +2,6 til +4,0 m, afhængig af designbølgehøjden og konstruktionens forsidehældning.

For sikring mod oversvømmelse fra vandløbet, Krusebækken, på de nordligste matrikler anbefales det minimum at der på land sikres med et jorddige til kote +2,25 m, da der her ikke er tale om bølgepåvirkning. Det må sikres ved et eller flere drænrør som kan lukkes f.eks. med kontraventil, at regnvand kan drænes ud til bækken.

2.4 Designbølger

Det er her forudsat at man vælger en designvandstand på +2,0 m. Man kan nu udregne hvor store brydende bølger fra øst der kan nå frem og ramme kystbeskyttelsen. Her antages, at der når designstormen sker vil der være en kote på ~0.0 m ved foden af skræntfodsbeskyttelsen, dvs. at der ingen strand er foran konstruktionen (dvs. at der allerede er eroderet sand væk før eller underoptakten til stormen). Bølgerne forplanter sig ind på den skrånende havbund og en bestemmende dybde tages ca. en halv bølgelængde foran, eller 35 m. Med en bundhældning på 1:70 fås at designbølgen kan udregnes: $H_s = 0,6 \cdot D$. H_s er defineret som middelværdien af den største tredjedel af bølgerne i et bølgetog. Den maksimale bølge vurderes til ca. $0,95 \cdot D = \mathbf{2,35m}$. Lokale designbølger, H_s for de enkelte matrikler er vurderet, Tabel 2-1.

Vandstand	VS= 2,0 m			
Vej nr.	Dybde foran konstruktion	Dybde hvor bølger bryder	Dybde ved vandstand	H_s ($H_s=0,6D$)
	(m)	(m)	(m)	(m)
			2,0	
1	1,0	0	2,0	1,2
3	1,0	0	2,0	1,2
5			2,0	
7	0,60	-0,4	2,4	1,44
9	0,75	-0,25	2,3	1,35
11	0,75	-0,25	2,3	1,35
13	1,00	0	2,0	1,2

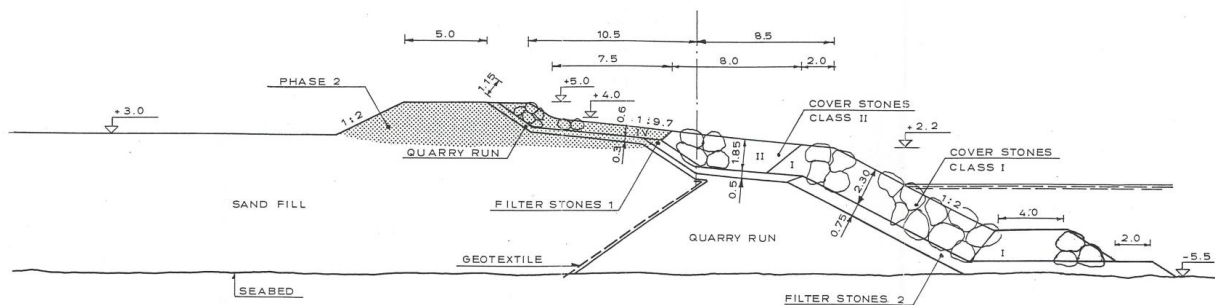
Tabel 2-1 Beregning af designbølger for de seks matrikler

Designbølgerne er benyttet til vurdering af stenstørrelser, og kronekoten af konstruktionen.

Hvis en storm tilsvarende i 1872 skulle forekomme igen med en vandstand på ca. +2,4 m, vil man med de samme forudsætninger få en designbølgehøjde på: $0,6 \cdot (0,5 + 2,4) = 1,75$ m, og stenstørrelsen i skråningsbeskyttelsen bør teoretisk være 58% større end beregnet nedenfor.

3 Udvikling af koncepter for kystbeskyttelseskonstruktioner

Det er beboernes ønske, at den fremtidige kystbeskyttelse ikke bliver alt for høj, så udsynet over havet begrænses eller helt udelukkes. Hvis man vælger en normal konstruktion med hældning 1:2, skal kronekoten, KK, maksimalt være ca.: $KK=VS+1,35Hs=2,0+1,35*1,5=+4,0$ m. I stedet anbefales det, man laver et ”knækket” profil, hvorved man kan reducere kronekoten meget. Figur 3-1 viser et eksempel på en sådan konstruktion, nemlig kystbeskyttelse på nordkysten af Sprogø, som den blev udført i starten af 1990'erne; og undersøgt med modelforsøg ved DHI. Kronekoten er senere i 2018 hævet til +6,5 m i forbindelse med klimasikringstiltag.



Figur 3-1 Kystbeskyttelse nordkysten af Sprogø.

Et projekt for kystbeskyttelse med en stenskråning af Kaj Ørums Vej efter dette princip er udarbejdet, dog med forskellige hældninger på 1:5 til 1:8 på det øverste fladere stykke ovenfor knækket. Et typisk profil er vist i Figur 3-2.

1. Tåen af konstruktionen nedgraves til kote ca. -0,5 m under nuværende strandniveau, og har et lag af ral eller sprængstensfyld som bundsikring.
2. Herpå udføres en stenkastning med hældning 1:1,5 eller 1:2 og til en kote ca. svarende til lidt over design vandstand, her +2,5 m.

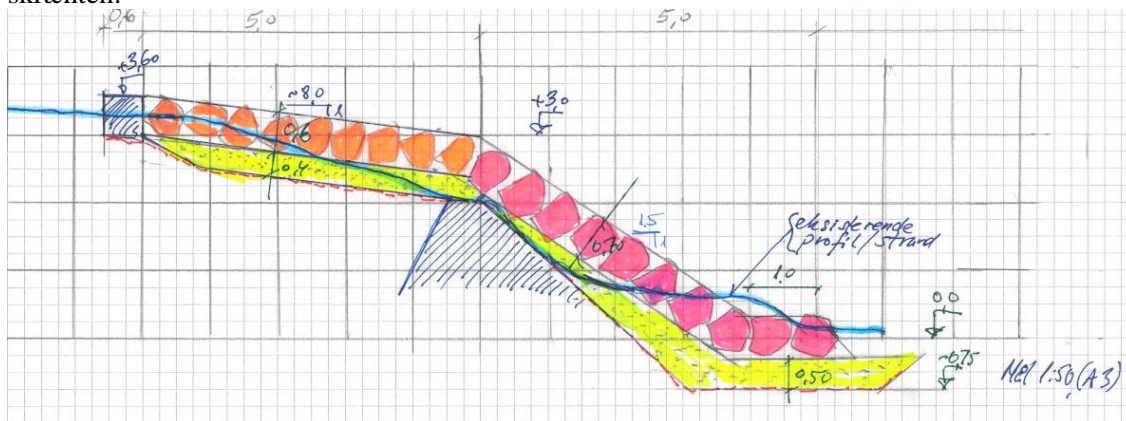
Hvis denne udføres med to lag sten kan en stabilitetsfaktor på $K_D=2,0$ benyttes, og $K_D=1,5$ i tilfælde af, at en del af kernen er en skrå betonmur eller hvis der er tale om et enkelt lag af meget tæt-pakkede

dæksten. Traditionelt udføres stenkastninger med to lag dæksten, men for et projekt som dette kan man udføre et lag i tættest mulige pakning. Et lag sten reducerer sikkerheden mod beskadigelse, men repræsenterer en meget stor besparelse og i anvendelse af ressourcer. .

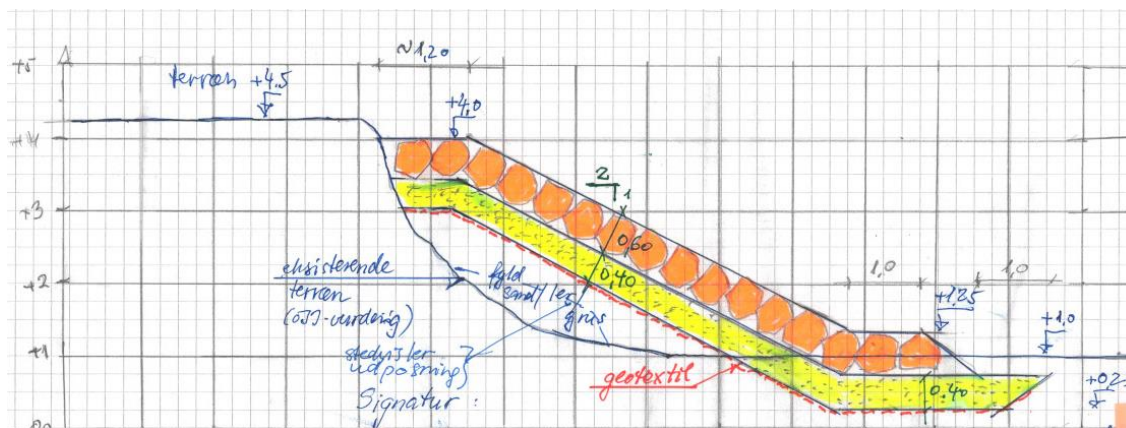
Herved fås ved beregning med Hudson Formel for to eller et lag dæksten, henholdsvis en middel sten vægt på 0,55 t eller 0,73 tons. I praksis vælges en standard EU-gradering: 0,3-1,0 t med middelvægt ca. 0,6 t, og en ikke standard gradering hvor alle vægtene er multipliceret med ca. 1,5, dvs. ca. 0,5-1,5 t med middelvægt på ca. 0,9t.

3. Under stenkastningen er en kerne af ral/sprængstenfyld, ca. 8-25 cm ral eller sprængsten, velgrade-ret. Figur 3-2 viser profil for nr. 7 hvor der er en betonmur med skrå forside.
4. Over kote ca. +3,0 m knækkes profilet til hældning 1:8, og stenene kan her være mindre, f.eks. en EU-standard gradering, 0,3 til 1,0 t med en middelvægt på 0,6 t. Dette dæklag udlægges på en geotekstil og med et filterlag af ral/sprængsten, ca. 8-25 cm.
5. Profilet afsluttes i kote + 3,6 m med en lav væg af betonblokke, ca. 60*60 cm i en afstand af ca. 4,8 m bag bagkanten af den eksisterende betonmur. Profilet er vist i Figur 3-2.

På andre matrikler mod syd benyttes i princippet det samme profil, men da der her er tale om en høj skrænt benyttes her en normal skråningsbeskyttelse med hældning 1:2 og med kronkote på +4,0 m, som vil sikre at der selv under en stormflod kun sker begrænset bølgeopskyl over kronen, og derved hindres erosion i skrænten.



Figur 3-2 Profil for kystbeskyttelse, knækket profil hvor der er betonmur (eksempel nr. 7.)



Figur 3-3 Profil kystbeskyttelse, eksempel nr. 13, samme typer materialer som ovenfor.

4 Detaljer vedr. materialer

Filtersten og dæksten skal opfylde graderingerne beskrevet nedenfor i tabeller, og være velgraderede. Stenene skal være sunde, kompakte, frostsikre og uden revner. Filtersten må maksimalt indeholde 5-10 % (vægt %) hvid-flint, kalk eller andre svage stentyper. Leverancer af sten skal godkendes af tilsynet.

Sten	Gradering kg	Kornkurvegrænser kg				Effektiv middelvægt M _{em} kg	
		<5%	<10%	>70%	>97%	Nedre grænse	Øvre grænse
Dæksten*	300-1000 kg	200	300	1000	1500	540	690

* : for en densitet på 2,65 t/m³.

Tabel 4-1 Stenstørrelse og kornkurvegrænse for dæksten.
(nb. Dæksten er tilsvarende EU standardgradering 0,3-1,0 t),

Sten	Gradering mm	Kornkurvegrænser mm				Middelstørrelse (fraktil) M ₅₀ mm	Effektiv middel- størrelse M _{em} mm	
		<5 %	<15 %	>90 %	>98 %		Nedre grænse	Øvre grænse
Filtersten*	75-250 mm	75	120	250	240	100	150	110

* : for en densitet på 2,65 t/m³.

Tabel 4-2 Stenstørrelse og kornkurvegrænse for filtersten.

Sten	Gradering kg	Kornkurvegrænser kg				Effektiv middelvægt M _{em} kg	
		<5%	<10%	>70%	>97%	Nedre grænse	Øvre grænse
Dæksten*	450-1500 kg	300	450	1500	2250	810	1035

* : for en densitet på 2,65 t/m³.

Tabel 4-3 Stenstørrelse og kornkurvegrænse for dæksten.
(nb. Dæksten er tilsvarende EU standardgradering 0,3-1,0 t, hvor alle vægte er ganget med ca. 1,5.).

Geotekstil

Geotekstilen skal være en 400 g/m² nålebunden, som ikke er varmebehandlet. Geotekstilen skal være Fibertex type F-400M med en minimumsvægt på ca. 400 g/m² eller tilsvarende. Geotextilen skal godkendes af tilsynet.

Jord/ler fyld

Det kan blive aktuelt at tilføre fyldmateriale udefra. Dette skal godkendes af tilsynet inden indbygning i den færdige konstruktion.

5 Sikring mod oversvømmelse

Matriklerne mod nord, nr. 1,3,5 og delvist 7 ligger relativt lavt og er udsat for oversvømmelse ved meget høj vandstand, hvis havvandet kan løbe/trænge ind over land. Dette kan ske ved at højvandlukket i åen ikke er lukket og/eller ved at der sker meget stort bølgeoverskyl ind over matriklerne nr. 1 og 3. Dette skete under den nylige stormflod, hvor meget store mængder vand af bølgerne blev presset ind over kystbeskyttelsen. Denne effekt blev forstærket af, at muren udfør nr. 1, blev nedbrudt på et stykke i matriklens helt nordlige ende.

Højde/niveau-forholdene for nr. 1-9 (matrikel 8c) fremgår af Figur 5-1.



Figur 5-1 Højde/niveau-kort for nr. 1-9 (matrikel 9c, 9d, 9e, 8b og 8c)

Under stormfloden i okt. 2023 nåede vandet op omkring +2,0 m eller lidt højere i følge beboerne i nr. 1 og 3.

Det er muligt i dette tilfælde for vandstanden over land at blive højere end vandstanden i havet. Dette skyldes, at bølgerne konstant under toppen af stormfloden natten mellem fredag og lørdag, 20-21 okt. 2023, brød ind over kystbeskyttelsen ved nr. 1 og 3. Det er rapporteret at nr. 1 ligger så højt (ca. +2,25), at der ikke kom vand ind i huset, men vandet stod helt op mod terrassen på landsiden af huset. Ved nr. 3, som også er beliggende omkring kote +2,25 til 2,5 m forårsagede bølge-op-og overskyllet en kraftig erosion i terrænet op mod huset, og der skyllede vand ind under huset, som løb videre ind i haven og om på vejen bag huset. Ved indkørslen lige nord for huset var bølgeoverskyllet så kraftigt, at det så ud som et vandløb ned mod vejen.

Det ses, at de bagvedliggende huse er oversvømmet, som det også skete i virkeligheden d. 20-21 okt. 2023, da disse ligger lavt.

En simulering med programmet KAMP viser i Figur 5-2 det oversvømmede område for en vandstand i land på +2,0 m, og i Figur 5-3 for et højvande på +2,4 m.



Figur 5-2 Oversvømmet område for en vandstand inde i land på +2,0 m



Figur 5-3 Oversvømmet område for en vandstand inde i land på +2,4 m

Kystbeskyttelsesprojektet for Kaj Ørums Vej 1 og 3 anbefales at bestå af to komponenter:

- 1 En kontinuert kystbeskyttelse på disse to matrikler, som et impermeabelt ”dige” ud mod havet med en stenkastning til dæmpning af bølgerne og reduktion af bølge-op-og-overskyl, så en tilsvarende situation undgås under fremtidige stormfloder.
- 2 En sikring af matriklerne i nr. 1 og 3 mod oversvømmelse fra vandløbet. Der er ikke af beboerne rapporteret om store oversvømmelser før okt. 2023. Men, det kan ikke udelukkes engang i fremtiden, at højvandssikringen i vandløbets udløb ikke virker; og hvis dette sker, vil vandstanden i havet løbe direkte ind i land og forårsage oversvømmelse. Dette kan undgås ved at matriklerne på nr. 1 og 3 laver en terrænregulering f.eks. ved et fladt jorddige eller anden terrænregulering i haven, så oversvømmelse undgås. Figur 5-4 viser overslagsmæssigt hvor et sådant ”dige” kan placeres. Det bør slutte tæt op mod kystsikringen og den eksisterende betonmur ved vandløbets udløb. Højden af diget bør være mindst til kote + 2,25 m. Da det naturlige terræn er i kote +1,0 m eller højere bliver diget maksimalt ca. 1,25 m høj. Det kan anlægges af lerjord som vil sikre mod gennemstrømning; og f.eks. med en flad krone med en bredde på 1,0m og

skråningshældninger på 1:2 eller fladere afhængigt af hvorledes diget indpasset i de fremtidige haveplaner. Det kan dækkes af et lag muld og beplantes.

Figur 5-4 viser kystsikringen og oversvømmelsessikringen med diget (skitse-mæssig forslag).



Figur 5-4 Matrikel 9c og 9d, nr. 1 og 3 med kystbeskyttelse mod havet og oversvømmelses-dige på land (forslag)

6 Sedimenttransport og Projektets indvirkning på nabostrækninger

6.1 Kystens karakter

Kysten syd for Faxe Ladeplads havn er generelt lav med flere udløb fra vandløb med omgivende lavtliggende vådområder. Længere mod syd hæver terrænet sig til ca + 15 m ud for Strandegårds dyrehave, der afgrænses mod stranden af en klint af sandet moræne.

Efterfølgende beskrivelser og vurdering er baseret på inspektion på stedet, fotos og analyse af satellit- og luftfotos tilgængelige på internettet (GoogleEarth og Krak) samt Danmarks højdemodel (SDFI).

Kysten er påvirket af bølger fra hovedsageligt østlige og sydøstlige retninger hvilket giver anledning til dominerende og svag sydgående sedimenttransport i kystzonen. Sedimentbudgettet langs strækningen er delvist påvirket af sandfodringsprojekter syd for havnen.

6.2 Kysten nord for projektstrækningen (ud for Faxehus og Strandparken)

På denne strækning er der en vold med topkote + 3-4 m mellem stranden og det bagvedliggende vådområde nord for Krusebækken. Strækningen afgrænses mod projektområdet af en betenhøfde oprindeligt med en længde på 50-55 m, hvoraf de yderste 25-30 m nu er reduceret til en undersøisk betenhøfde. I hjørnet nord for høfden ses akkumulation af sand og tang af varierende omfang i tidens løb.

Der kan ikke konstateres markante ændringer af kystens beliggenhed i området, hvilket hænger sammen med den gennemgående svage sedimenttransport og tilstedeværelsen af betenhøfden.

Betenhøfden har oprindeligt forårsaget at kysten syd for (Projektstrækningen) har været udsat for læsideerosion, hvilket dokumenterer den overvejende sydgående sedimenttransport.

Med disse forhold kan det konkluderes at det ansøgte projekt syd for betenhøfden ikke vil påvirke kysten nord for projektstrækningen.

6.3 Kysten syd for projektstrækningen (nabomatrikel og Strandegårds Dyrehave)

Kystklinten stiger fra en højde på +4-6 m til + 15 m ca. 500 m syd for projektstrækningen. Der observeres adskillige erosionskår i klinten. Kysten umiddelbart syd for Kaj Ørums Vej 13 er rykket tilbage siden de første betenhøfder blev etableret før 1954 (Figur 6-1 og 6-2: Luftfotos 1954, 1999, 2020). Disse betenhøfder er efterfølgende og før 1999 tilføjet stenkastninger. Desuden er der før 1999 ud for Kaj Ørumsvej 13 blevet suppleret med yderligere to høfder mellem de oprindelige.



Figur 6-1 Kysten ud for Kaj Ørums Vej, 1954, 1999, 2020



Figur 6-2 Kysten ud for Kaj Ørums Vej 13, 1954, 1999, 2020

Kystbeskyttelsen ud for Kaj Ørums Vej har dermed sikret kysten mod yderligere erosion, hvilket ikke er tilfældet syd for. Derfor er der ingen begrundelse for at ændre den nuværende hofdebeskyttelse.

Kystklinten syd for Kaj Ørums Vej har, bortset fra enkelte skred, ikke ændret sig markant i de seneste 10-20 år før stormfloden 20-21 oktober 2023..

De konstaterede skred i klinten må derfor tilskrives bølgepåvirkning af klintfoden under højvande i området snarere end læsideerosion.

Det er hofderne og specielt den nordligste nord for Krusebækkens udløb, der styrer sedimenttransporten på projektstrækningen, og denne påvirkes ikke af, at man mellem hofderne forstærker kystbeskyttelsen med stenkastninger foran eksisterende lodrette mure. En lodret mur reflekterer bølgerne næsten 100 % under højvande, mens en stenkastning absorberer en større del af bølgeenergien. Dette vil potentielt betyde at hofderne bedre fastholder den eksisterende strand og dermed sikrer den fremtidige passage

Forstærkning af den nuværende kystbeskyttelse med øget skræntsikring vil ikke ændre den svage sydgående sedimenttransport ud for projektstrækningen idet strømforholdene og tilførslen af sand fra nord ikke ændres som følge af projektet. Det kan derfor konkluderes, at kysten syd for ikke vil blive påvirket yderligere i forhold til den nuværende tilstand.