

SKITSEPROJEKTERING OG UDGIFTSFORDELING – SIKRING MOD STORMFLOD I FAXE LADEPLADS

SKITSEPROJEKTERING OG UDGIFTSFORDELING – SIKRING MOD STORMFLOD I FAXE LADEPLADS

PROJEKTNR.

A282956

DOKUMENTNR.

001

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

12-01-2025

BESKRIVELSE

Rapport

UDARBEJDET

XICH, KARH,
LBPE, MLND,
LAFN

KONTROLLERET

LAFN, HGLN

GODKENDT

LAFN

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Eksisterende forhold	8
2.1	Områdebeskrivelse	8
2.2	Højdeforhold	10
2.3	Kystmorfologi	13
2.4	Eksisterende kystbeskyttelse	14
2.5	Natur og miljø	15
3	Dimensioneringsgrundlag og design af kystbeskyttelse	19
3.1	Dimensionering af kystbeskyttelse	19
3.2	Højvandshændelser og oversvømmelser	21
3.3	Højvandsstatistik	22
3.4	Havspejlsstigning	23
3.5	Landhævning	24
3.6	Sikringsniveau	25
3.7	Kystinspektion	25
4	Vandløb og afstrømning	30
4.1	Faxe Å og Lille Å	30
4.2	Kruse Bæk	33
4.3	Sammenfald af hændelser	34
4.4	Stuvningsvolumen	36
5	Løsningsforslag: udformning og placering	38
5.1	Delområde Nord	38
5.2	Delområde Syd	41
6	Anlægsbeskrivelse	47
6.1	Nordlige del	47

6.2	Sydlig del	50
7	Anlægsoverslag	52
7.1	Nordlig del	52
7.2	Sydlig del	53
7.3	Vedligehold	54
8	Berørte matrikler	55
8.1	Bidragsfordeling	55
9	Referencer	65

1 Indledning

Foranlediget af den kraftige storm i oktober 2023, som skabte massive ødelæggelser på kyststrækningen ved Faxe Ladeplads er COWI blevet bedt om at belyse mulighederne for at etablere en stormflodssikring af lokaliteten, som udover direkte at beskytte mod havet også belyser bagvandsproblematikken fra områdets vandløb. Formålet med nærværende rapport er således at:

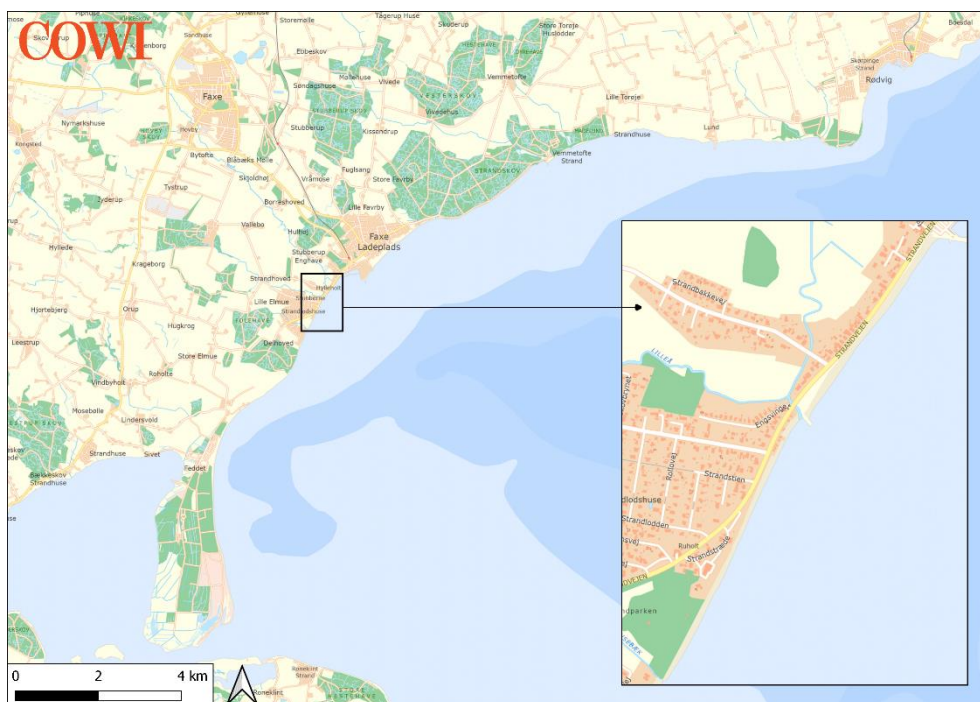
- > Skitsere og sandsynliggøre en mulig løsning der sikrer Faxe Ladeplads mod stormflod fremadrettet under hensyntagen til de igangværende klimaforandringer.
- > Udarbejde anlægsoverslag baseret på vores erfaringer med lignende konstruktioner.
- > Udarbejde mulige modeller for bidragsfordeling/udgiftsfordeling på baggrund af nytteprincippet.

2 Eksisterende forhold

2.1 Områdebeskrivelse

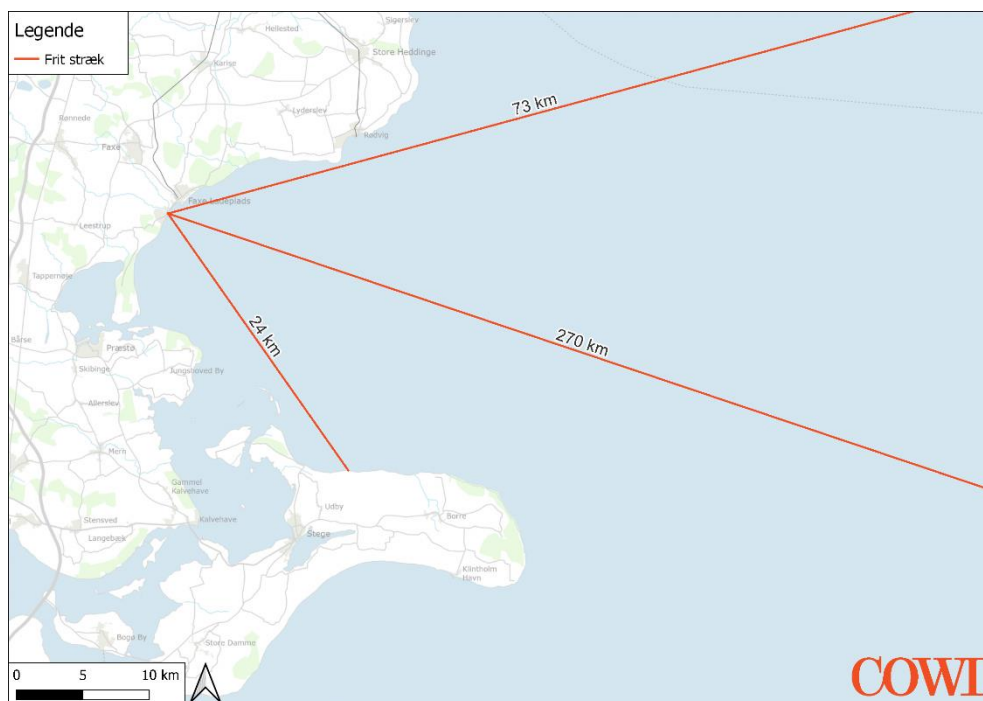
Faxe Ladeplads er en havneby på Sydsjælland med næsten 2500 indbyggere (Danmarks Statistik, 2024). Byen ligger på sydsiden af Stevns halvøen ud til Faxe Bugt.

Projektets fokusområde strækker sig fra udløbet af Kruse Bæk i syd op til Faxe Ladeplads havn i Nord. Lokationen af denne kyststrækning er illustreret på Figur 2-1.



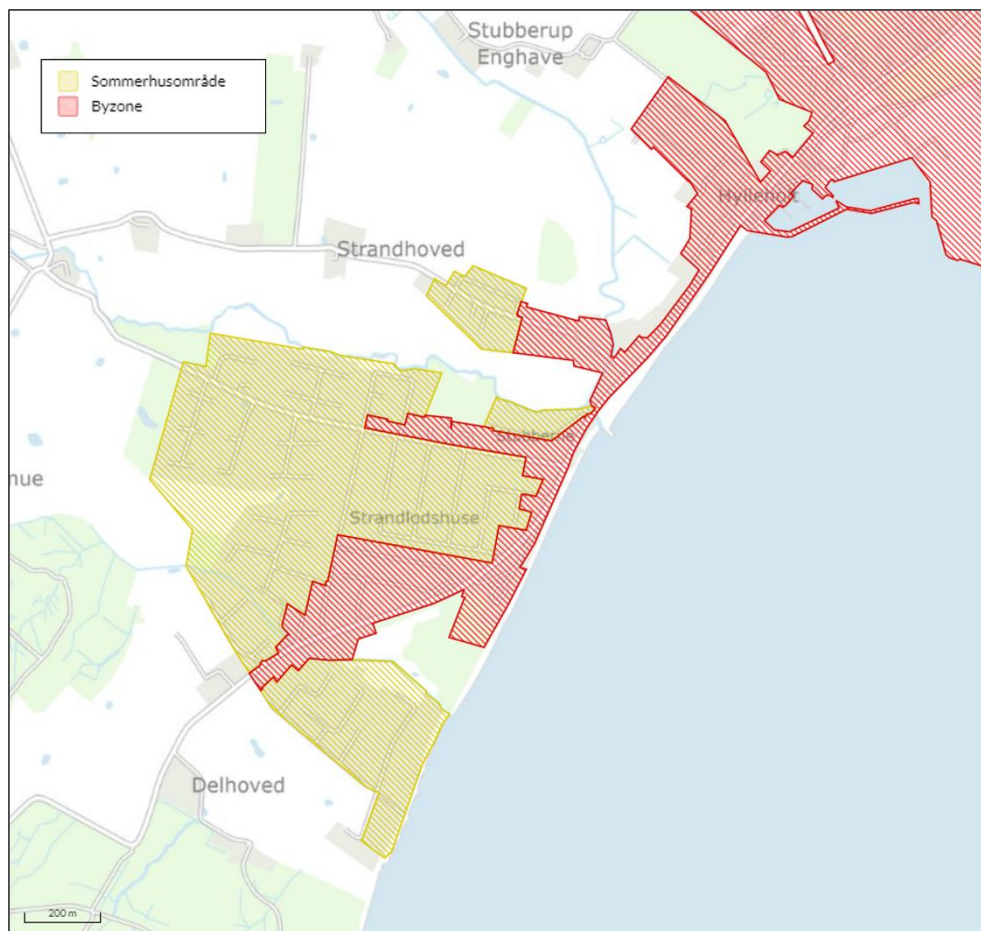
Figur 2-1 Lokation af fokusområdet i Faxe Ladeplads

Da området ligger ud til Faxe Bugt, er det skærmet fra større bølger kommende fra nordlige, sydlige og vestlige retninger. Dog er der potentiale for en stor bølgeopbygning, hvis vinden blæser i vestlig retning. Som det fremgår af Figur 2-2 findes der et langt frit stræk særligt fra øst-sydpøst. Bølgerne kan altså potentielt opbygges over en strækning helt fra Polen på 270 km. Dermed vil området være mest truet af bølger fra østlige retninger.



Figur 2-2 Det frie stræk fra Faxe Ladeplads

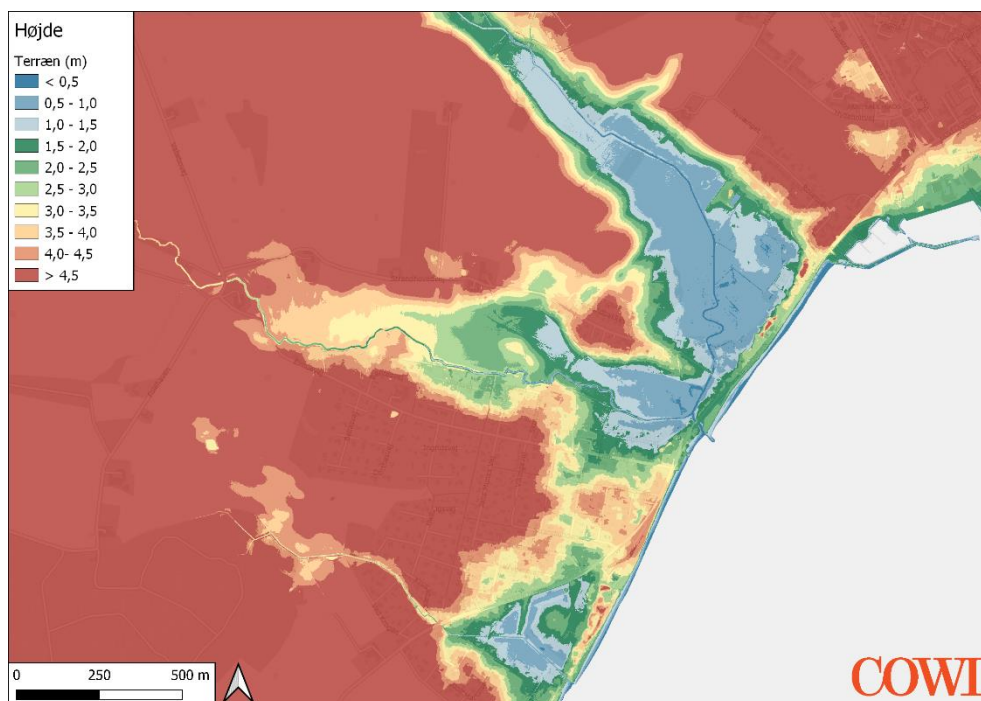
Projektstrækningen omfatter både byzone og sommerhusområde, det kystnære område består dog primært af byzone, se Figur 2-3.



Figur 2-3 Zonekort, der angiver udbredelsen af sommerhusområde og byzone langs kyststrækningen (Danmarks Miljøportal, 2024).

2.2 Højdeforhold

Kyststrækningen er overordnet kendetegnet ved to lavereliggende områder, der ligger i forbindelse med vandløbene Faxe Å og Lille Å, der har fælles udløb, og Kruse Bæk. Resten af området er forholdsvis højtliggende. Dette er illustreret på Figur 2-4.

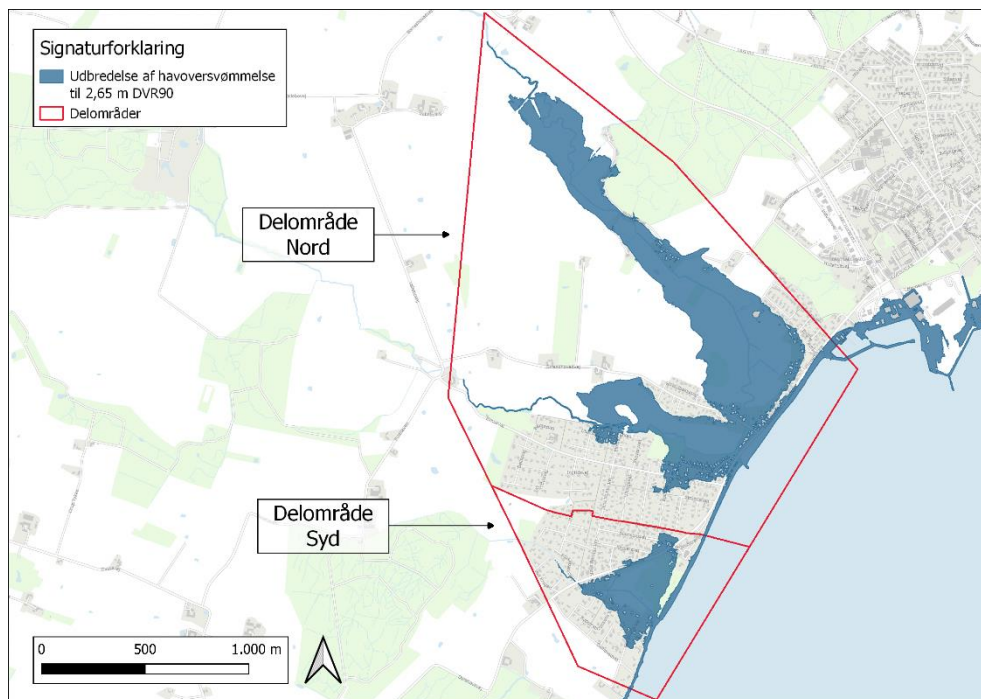


Figur 2-4 Terrænmodel (DTM) ved Faxe Ladeplads

2.2.1 Oversvømmelse

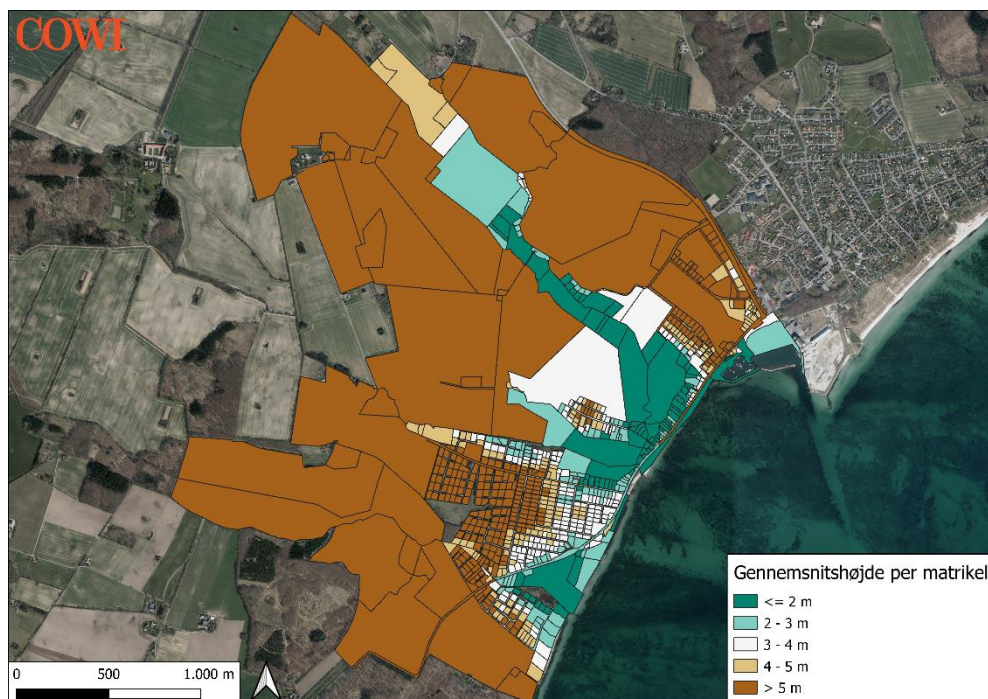
En følge af, at disse to områder er lavtliggende, er, at de også er oversvømmelsestruede. Der er risiko for, at der i stormflodssituationer vil ske en udbredelse af havvand op igennem vandløbene og dermed oversvømme de lavt beliggende matrikler. Overordnet kan området deles op i to oversvømmelsestruede dele: den nordlige og sydlige del. Dette er opdelt i områderne nord og syd for vejen Strandladden. Opdelingen netop her, skyldes at matrikler syd for vejen primært er oversvømmelsestruet af en havudbredelse fra Kruse Bæk og ellers i høj grad vil have deres adgangsveje påvirket af en oversvømmelse af disse veje fra den å. Den samme situation gør sig gældende nord for Strandladden med vandløbene Lille Å og Faxe Å.

Udbredelsen af havvand ved en stormflodsvandstand på 2,65 m DVR90 kan ses illustreret i de to delområder på Figur 2-5.



Figur 2-5 Markering af delområder samt havudbredelsen ved en stormflodsvandstand på +2,65 m DVR90. Oversvømmelseskort hentet fra SCALGO Live.

Den gennemsnitlige højde per matrikel i området i m DVR90 kan ses illustreret på Figur 2-6.



Figur 2-6 Gennemsnitshøjde i m DVR90 på matrikelniveau

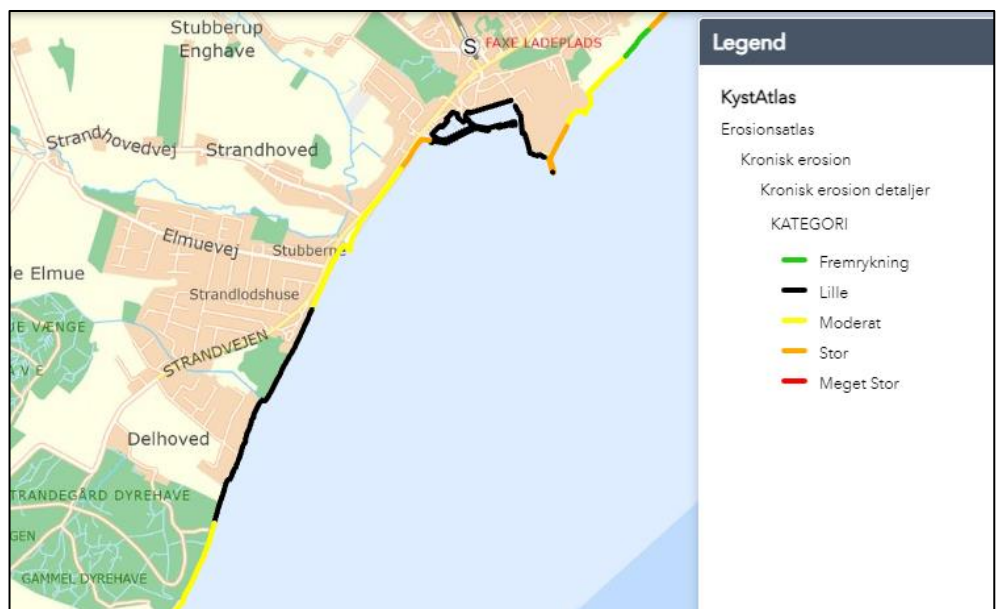
2.3 Kystmorfologi

Kysterosionen langs strækningen er vurderet af Kystdirektoratet. Den vurderede erosion kan ses i Kystatlas og er opdelt i kronisk og akut erosion (Kystdirektoratet, 2024).

Betegnelsen kronisk erosion dækker over den kysterosion, der sker løbende og ikke i forbindelse med ekstreme events, såsom en stormflod. Erosionen forekommer primært som en følge af, at sedimentet bevæger sig langs kysten, og der ikke bliver tilført en lige så stor mængde sediment til kysten, som der forsvinder pga. den langsgående transport. Der er variationer i størrelsen af den langsgående transport fra år til år afhængigt af vejrforholdene i efterårs- og vintermånederne. Men grundet kystens orientering i forhold til de største indkommende bølgerne, vil transportretningen stort set altid være mod syd ved Faxe Ladeplads (Kystdirektoratet, 2024).

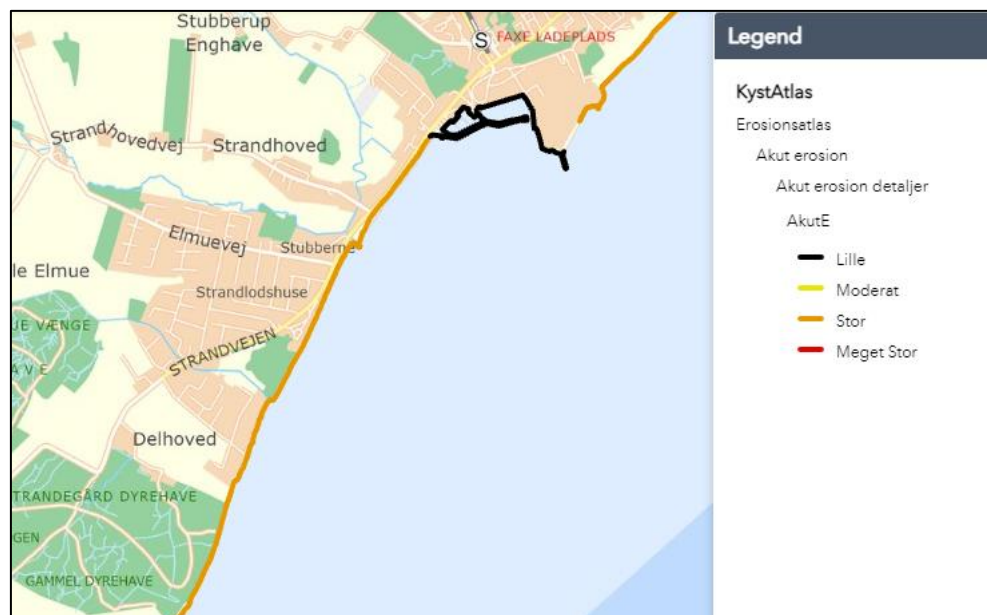
Akut erosion betegner den kysterosion, der typisk forekommer under storme, hvor der vil være store bølger og ofte samtidig med forhøjet vandstand eller stormflod. Under sådanne forhold forekommer der både langsgående transport og tværgående transport som fører sand fra forstrande og foden af klitter og klinte ud på dybere vand (Kystdirektoratet, 2024). Sandet, der føres ud på dybere vand under storm, vil som oftest blive ført tilbage ind på kysten af bølger under normale vandstandsforhold.

Området syd for vejen Strandloden er i mindre grad påvirket af kronisk erosion, mens området nord for er påvirket i moderat til stor grad, se Figur 2-7.



Figur 2-7 Kronisk erosion ved kysten af Faxe Ladeplads (Kystdirektoratet, 2024).

Som det fremgår af Figur 2-8 er hele strækningen syd for havnen påvirket af stor akut erosion.



Figur 2-8 Akut erosion ved kysten af Faxe Ladeplads

Det vil altså sige, at det primært er den nordlige del af strækningen, der påvirkes af den "daglige" erosion, mens hele strækningen er udsat for risiko ved akutte hændelser.

2.4 Eksisterende kystbeskyttelse

Områdets eksisterende kystbeskyttelse består ifølge Kystdirektoratets Kystplanlægger primært af sandfodring, skråningsbeskyttelse, høfder og ledeværker. Kystdirektoratets kategorisering kan ses i Figur 2-9. En nærmere beskrivelse af tilstanden af den nuværende kystbeskyttelse kan ses i Afsnit 3.7, der omhandler en kystinspektion foretaget af COWI i området.



Figur 2-9 Nuværende kystbeskyttelsesplanlæg på strækningen (Kystdirektoratet, 2024).

2.5 Natur og miljø

2.5.1 §3-områder

§3-områder omfatter områder, der er beskyttet efter naturbeskyttelseslovens §3. Områderne inkluderer heder, moser, strandenge, ferske enge og overdrev samt søer.

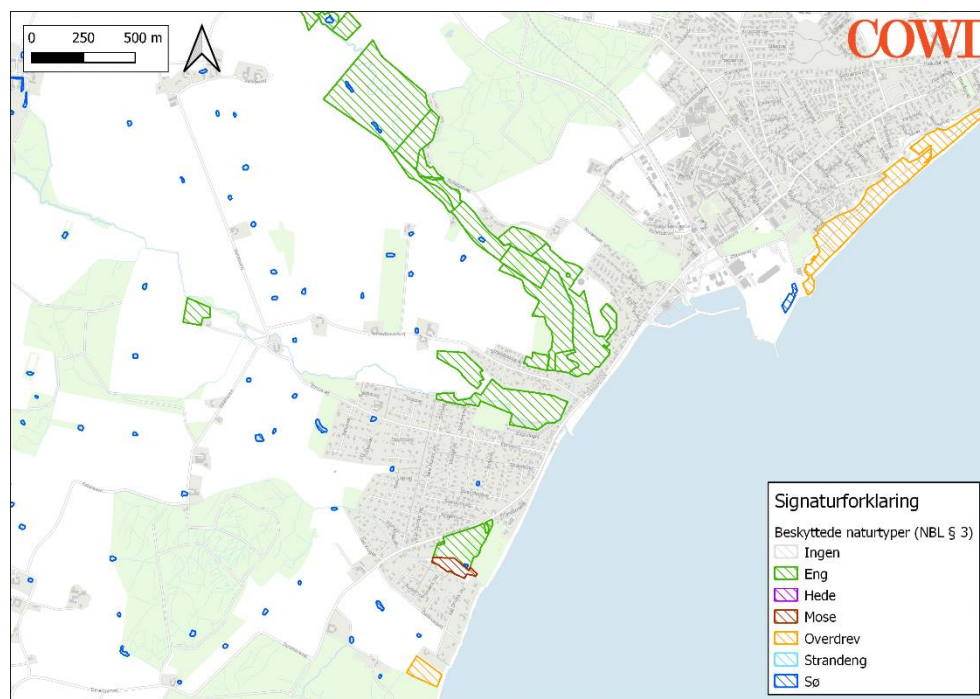
Ved kystnære projekter skal der tages særligt hensyn til strandenge og oprettholdelsen heraf. Derfor er det mest hensigtsmæssigt at anlægge højvandsbeskyttelse landværts for strandenge og derved tage mest muligt hensyn til strandengenes særlige dynamik og hydrologi.

Naturbeskyttelseslovens §3 gælder ikke for kystbeskyttelsesplanlæg, som der er givet tilladelse til efter kystbeskyttelsesloven. Når der træffes afgørelse efter kystbeskyttelsesloven, skal der tages hensyn, som ellers tilgodeses efter naturbeskyttelseslovens §3, tages i betragtning.

Jævnfør naturtypebekendtgørelsen (bekendtgørelse nr. 695 af 3. juni 2023 om beskyttede naturtyper) gælder det for en række af §3 typerne, heriblandt

strandeng, som den 1. juli 1992 ligger i byzone eller sommerhusområde, at de er fritaget fra forbuddet mod tilstandsændringer jf. naturbeskyttelseslovens §3, såfremt der ikke er tale om landbrugsformål. Der skal derfor ikke søges om dispensation.

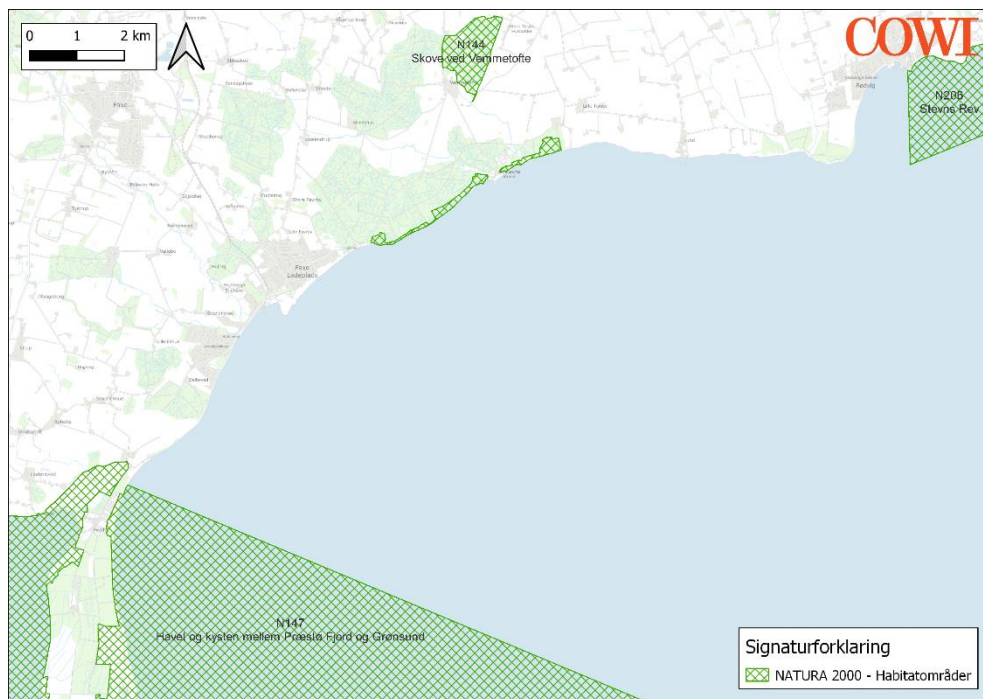
Som det fremgår af Figur 2-10 er der ingen af de nærliggende §3 områder, der ligger direkte ud til kysten. Derfor antages det ikke, at områdets nuværende eller kommende kystbeskyttelsesløsninger, vil have indflydelse på disse områder.



Figur 2-10 Beskyttede naturtyper jf. naturbeskyttelseslovens §3.

2.5.2 Natura 2000 områder

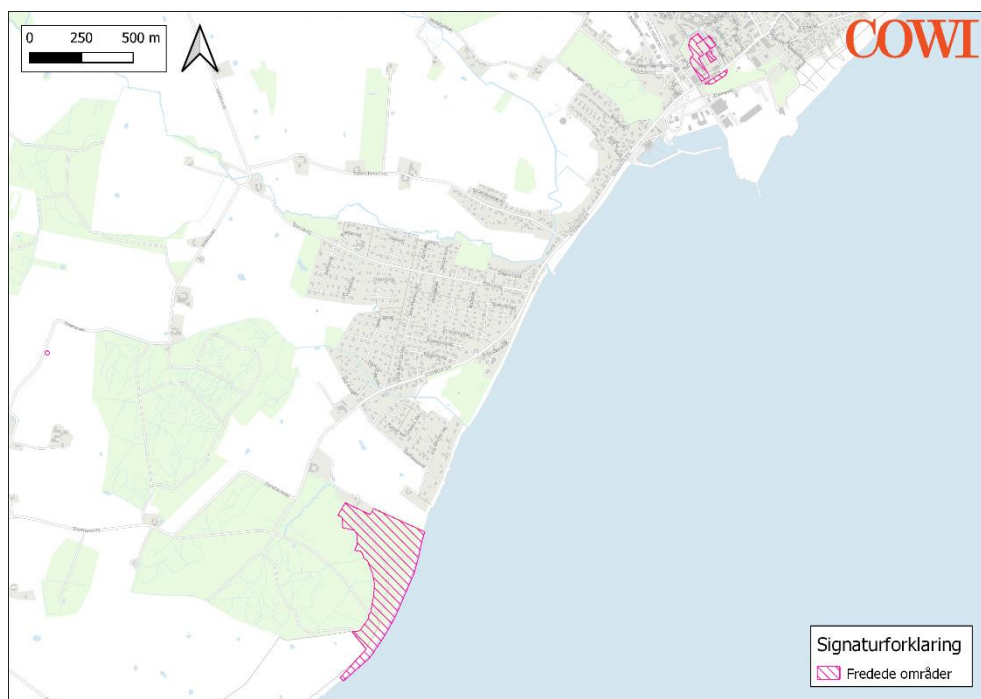
Figur 2-11 illustrerer placeringen af de nærmeste Natura 2000 Habitatområder. Som det fremgår af figuren, er der ingen af disse områder, der ligger indenfor eller grænser op til projektområdet. Det antages derfor ikke, at Habitatområderne vil have en indflydelse på gennemførelse af projektet, dette er dog ikke sikkert. En reel vurdering af dette bør foretages inden opstart af projektet.



Figur 2-11 Natura 2000 Habitatområder i nærheden af Faxeladeplads

2.5.3 Fredede arealer

Der findes to fredede arealer i Faxeladeplads. De findes dog begge, som det fremgår af Figur 2-12 uden for projektstrækningen. Det sydligste af disse to områder befinder sig ud til kysten, men mere end 500 m syd for udløbet af Kruse Bæk. Det antages derfor, at ingen af disse nærliggende fredede områder vil blive påvirket af kystbeskyttelsen i projektområdet.



Figur 2-12 Fredede arealer i Faxe Ladeplads

3 Dimensioneringsgrundlag og design af kystbeskyttelse

For projektstrækningen undersøges mulighederne for beskyttelse mod en 100 års middeltidshændelse for stormflod om hhv. 20, 50 og 100 år.

Til beregning af størrelsen af en sådan hændelse anvendes data fra Danmarks Meteorologiske Institut (DMI) og Kystdirektoratet (KDI).

Til at beregne en havspejlsstigning i fremtiden anvendes data fra DMIs Klimaatlas. Fremskrives havspejlsstigningen i Faxe Bugt ved stationen Rødvig ved IPCCs klimascenarie SSP5-8.5 kan ses i Tabel 3-1.

Tabel 3-1 Havspejlsstigning ved DMIs målestation SD7 Rødvig for klimascenariet SSP5-8.5 (DMI, 2024).

Årstal	Havspejlsstigning siden år 1990 (cm DVR90)
2024	7,3
2045	20,9
2075	46,6
2125	99,3

Herudover anvendes højden af en middeltidsvandstand fra KDIs seneste højvandsstatistik fra 2024. Her defineres en 100 års middeltidsvandstand til 164 cm DVR90 (Kystdirektoratet, 2024).

Ved at summere havspejlsstigningen fra DMI og højden på en 100 års middeltidsvandstand fås dermed følgende vandstande:

- > En 100-års middeltidshændelse i **2045** svarer til 184,9 ≈ **185 cm**
- > En 100-års middeltidshændelse i **2075** svarer til 210,6 ≈ **210 cm**
- > En 100-års middeltidshændelse i **2125** svarer til 263, 3 ≈ **265 cm**

3.1 Dimensionering af kystbeskyttelse

3.1.1 Skråningsbeskyttelse

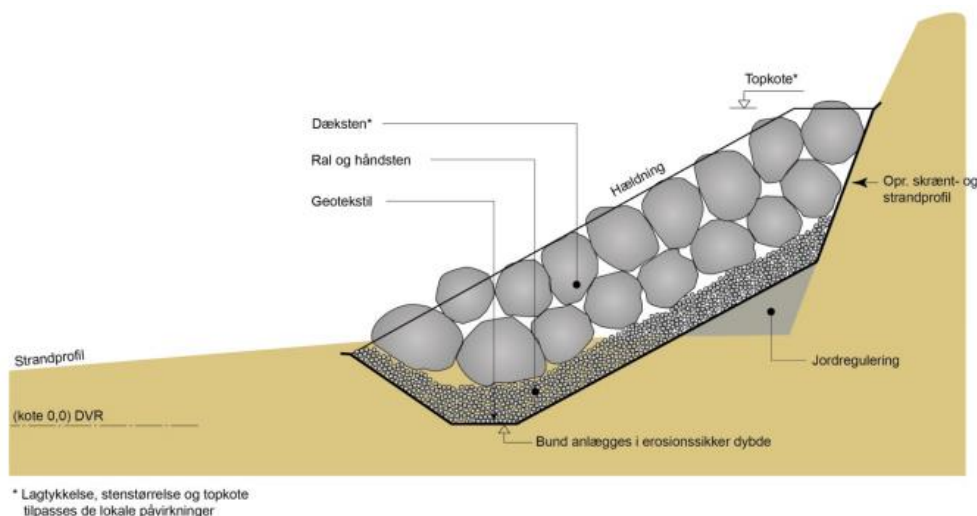
Skråningsbeskyttelsen bremser/reducerer erosion ved at fastholde materialet i klitten/skrænten så den ikke nedbrydes. Skråningsbeskyttelse er særdeles velegnet langs kyster, hvor der er samtidighed mellem høj vandstand og pålandsbølger, der medfører akut erosion.

Ved dimensionering af skråningsbeskyttelse skal der tages højde for

- 1) Vandstand, typisk svarende til en statistisk hændelse

- 2) Den forventede klimatiske havspejlsstigning inden for højvandsbeskyttelsens levetid, fratrullet den lokale landhævning.
- 3) Kystprofil
- 4) Bølgeforhold, til beregning af stenstørrelser

Skråningsbeskyttelsen funderes med en dug af geotekstil og et afretningslag af mindre håndsten eller ral, som holder dugen på plads og sikrer en mere jævn trykfordeling for dækstenene. Geotekstilen forhindrer, at sediment udvaskes under beskyttelsen. Håndstenene overligger sædvanligvis med 1-2 lag dæksten.



Det er dækstenene, der virker som den egentlige beskyttelse, der tager energien ud af bølgerne og de skal derfor være tilstrækkeligt store og placeres, så de bliver liggende stabilt under påvirkning af bølger og strøm.

Skråningsbeskyttelsens topkote skal være tilstrækkeligt høj og bred, så bølgeoverskyl ikke kan erodere bag ved beskyttelsen eller skabe overskyl, der ikke kan strømme væk pga. højvandsmuren.

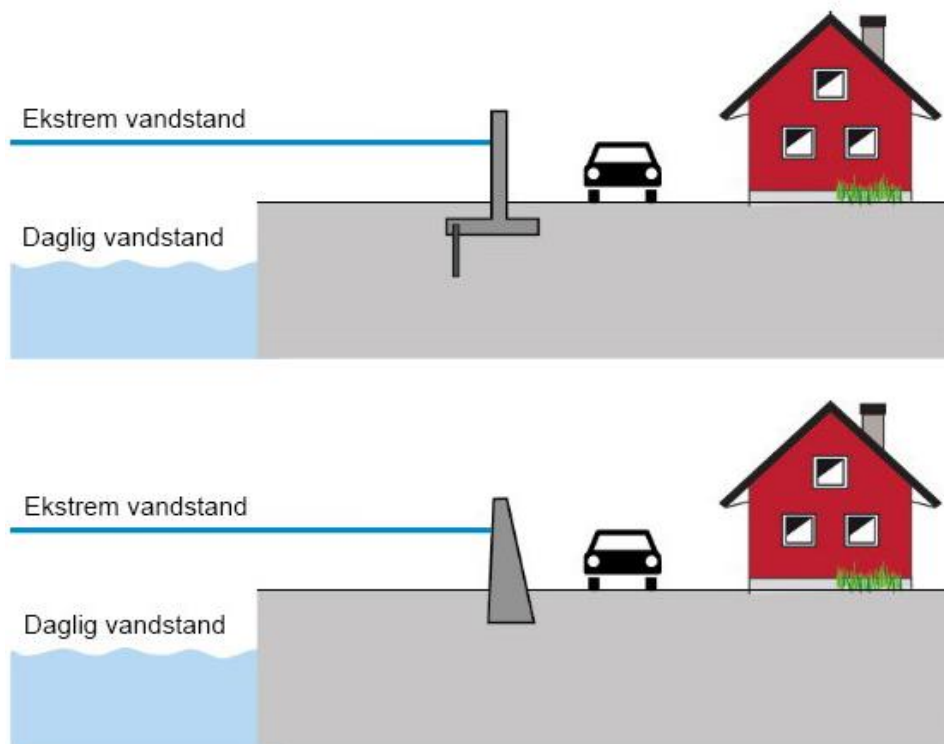
Desto lavere hældning skråningsbeskyttelsen har, desto mere vil bølgeenergien dæmpes inden den rammer højvandsbeskyttelsen, hvorved bølgeoverskyl også mindskes. Som udgangspunkt må hældningen på skråningsbeskyttelsen ikke overstige 1:2.

Skråningsbeskyttelsens fod dækkes af sand eller ral, som beskytter foden af skråningsbeskyttelsen mod erosion.

3.1.2 Højvandsmur

En højvandsmur er en hård konstruktion, oftest bestående af plast-, stål- eller træspuns eller beton. Den beskytter mod oversvømmelse og er designet til at modstå kraftige bølger.

Tværsnittet af en højvandsmur er afhængigt af murens højde, placering samt hvilket materiale, den består af. De mest almindelige typer er T-type og I-type. Består muren af beton, anvendes oftest en T-type. Dette gør den mere modstandsdygtig, da tværbøjlen benyttes som en basis og stilken fungerer som barrieren for den forhøjede vandstand. I-typen er oftest en spunsvæg.



Figur 3-1 Eksempler på T-type og I-type højvandsmure

Dimensionering af vandstanden afhænger af kyststrækningen, potentiel bølgepåvirkning samt omkringliggende terræn. Der bør desuden tages hensyn til, hvordan bagvandet skal håndteres, når muren er opbygget, og om den skaber behov for yderligere drænsystemer og/eller pumper.

Hovedfunktionen af en højvandsmur er at beskytte bagvedliggende områder mod at blive oversvømmet ved højvandshændelser. De benyttes primært i områder med begrænset plads, da de er dyrere at anlægge end f.eks. et dige.

Muren kan evt. indtænkes som et rekreativt element i byrummet.

3.2 Højvandshændelser og oversvømmelser

Under 1872 stormfloden nåede vandstanden ved Nyord, som ligger nord for Møn, op på 3,17 m DVR90. Under stormfloden den 1. januar 1922 nåede vandstanden i Rødvig Havn ca. 1,49 m DVR90.

Øvrige højvandshændelser i nyere tid inkluderer den stille stormflod 4. januar 2017 med maksimalvandstand på 1,66 m DVR90 samt stormfloden 2. januar 2019 på 1,33 m DVR90. Begge målinger blev foretaget i Rødvig Havn, som er

den nærmeste og dermed antageligt mest præcise vandstandsmåler for Faxe Bugt. Stormfloden Babett i oktober 2023 havde en målt maksimalvandstand på 1,69 m DVR90. Disse tre nyere hændelser passer statistisk med en 110 års hændelse i 2017, en 6 års hændelse i 2019 og en 200 års hændelse i 2023 ifølge Kystdirektoratets højvandsstatistik fra 2024. Dermed er der sket to statistiske hændelser større end 100 års hændelser med seks års mellemrum i nyere tid i området.

3.3 Højvandsstatistik

Kystdirektoratet udgiver højvandsstatistikker for udvalgte havne i Danmark. Højvandsstatistikken udgives ca. hvert 5. år og angiver statistiske returvandstande, beregnet fra tidsserier med målte data.

Ifølge Kystdirektoratets statistik for Rødvig havn svarer en 100 års middeltidshændelse i år 2024 til en vandstand på 171 cm DVR90 i Rødvig Havn. Der tages udgangspunkt i data for Rødvig Havn, da det er den vandstandsmåler, der er nærmest Faxe Ladeplads.

I takt med at havspejlet stiger vil returniveauerne for middeltidshændelserne forventeligt stige tilsvarende. Det har den betydning, at de oplevede vandstande i forbindelse med storm vil stige, og at de vil indtræffe hyppigere. Hvad der i dag er en statistisk 100-års hændelse vil således i fremtiden forekomme langt hyppigere. Ifølge DMI vil en vandstand, som i dag statistisk kun overstiges én gang over en periode på 20 år, forekomme én til to gange årligt i slutningen af århundredet, dvs. 40 gange hyppigere.

Risikoen for at en given middeltidshændelse indtræffer inden for en bestemt levetid kan beregnes statistisk fra $R = 1 - 1/(MT)^L$, hvor MT er middeltidshændelsen og L er den projekterede levetid på diget Tabel 3-2.

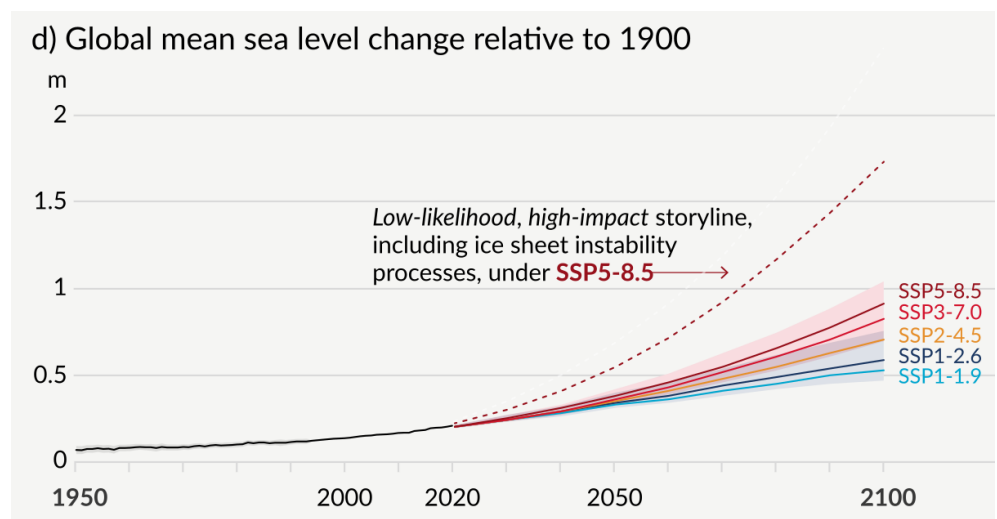
Tabel 3-2 Sandsynligheden (R) for at vandstanden svarende til en middeltidshændelse (MT) indtræffer eller overstiges inden for et projekteret anlægs levetid (L).

Levetid L (år)	Middeltidshændelse (MT)					
	5	10	25	50	100	200
5	67%	41%	18%	10%	5%	2%
10	89%	65%	34%	18%	10%	5%
25	100%	93%	64%	40%	22%	12%
50	100%	99%	87%	64%	39%	22%
100	100%	100%	98%	87%	63%	39%
200	100%	100%	100%	98%	87%	63%

Netop fordi risikoen for at statistiske hændelser, som i dag er sjældne, i fremtiden indtræffer oftere som følge af havspejlsstigninger er det vigtigt at inkludere den forventede havspejlsstigning ved dimensionering af kystbeskyttelsesplanlægning.

3.4 Havspejlsstigning

Som følge af klimaforandringer stiger vandstanden i verdenshavene, se Figur 3-2. Det skyldes, at havene opvarmes og udvider sig, samt at der tilføres enorme mængder smeltevand fra indlandsisen på Grønland, Antarktis og fra gletsjere verden over. Derudover er stigningen i middelvandstand accelererende, hvilket vil sige at vandstanden stiger hurtigere og hurtigere fremadrettet.



Figur 3-2 IPCCs seneste fremskrivning for global havspejlsstigning for forskellige emissionsscenarier for drivhusgasudledning. Nulpunktet er den globale havvandstand i år 1990. Grafernes buffer illustrerer usikkerheden på hvert scenarie.

For en mere præcis beregning af havspejlsstigningen, der tager udgangspunkt i Danmark, anvendes data fra DMI's klimaatlas

Tabel 3-3 Havspejlsstigning baseret på DMIs klimaatlas ¹

År	50-percentil
2020	5
2025	8
2030	11
2035	14
2040	17
2045	21
2050	25
2055	28
2060	32
2065	37
2070	41
2075	47
2080	52
2085	58
2090	64
2095	70
2100	77
2105	80
2110	83
2115	88
2120	94
2125	99
2130	105

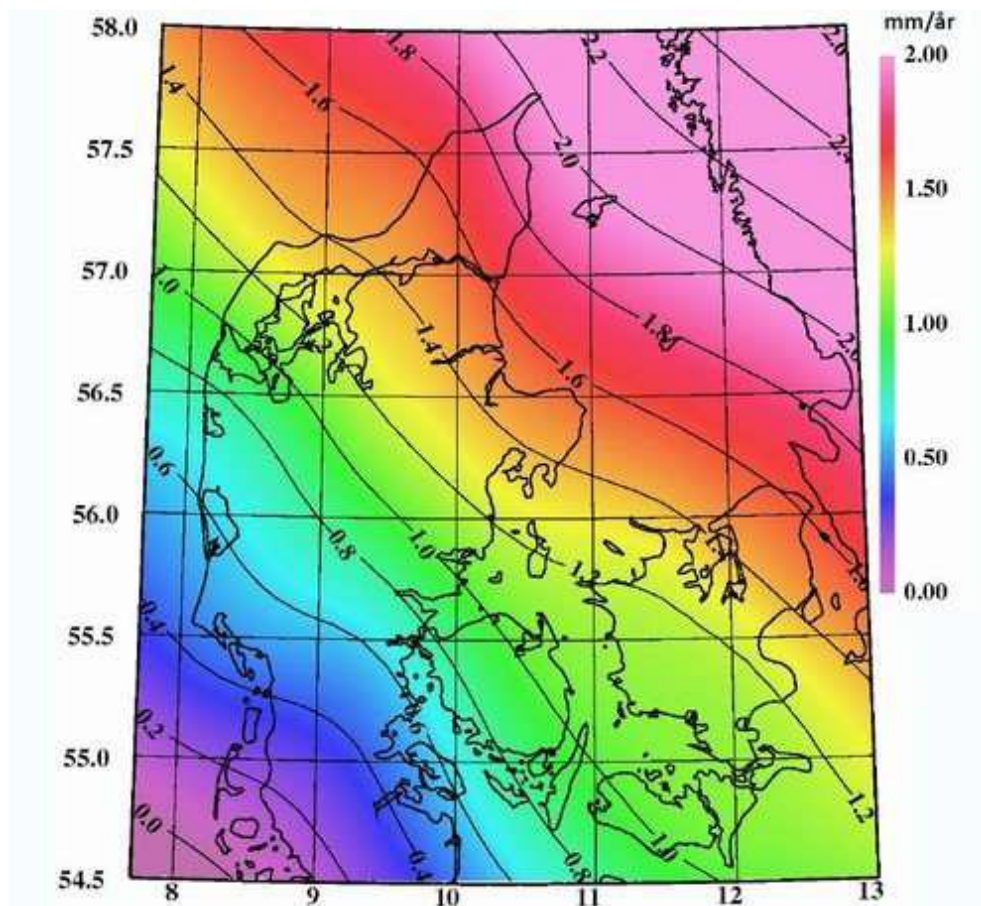
Stigningen i middelvandstand modvirkes til dels af iso-statisk landhævning, som spænder fra 0-2 mm/år på tværs af Danmark.

3.5 Landhævning

Under den seneste istid blev landmasserne presset ned på grund af tyngden fra ismasserne. Efter isens afsmeltning begyndte en proces med landhævning, som fortsat pågår. Landhævningen foregår med størst hastighed i de nordøstlige dele af Danmark og med lavest hastighed i Sønderjylland. Landhævningen er med til delvist at modvirke effekterne af stigningen i havniveau.

I Faxe Ladeplads sker der en landhævning på ca. 1,2 mm/år, som vist i Figur 3-3.

¹ https://download.dmi.dk/Research_Projects/klimaatlas/v2022a/excel_spreadsheets/DMI_Klimaatlas_Danmark_havniveau_v2022a.xlsx



Figur 3-3 Landhævning i mm/år på tværs af Danmark

Landhævningen er inkluderet i DMI's beregning af havspejlsstigning, hvorfor værdierne i Tabel 3-1 ikke korrigeres yderligere.

3.6 Sikringsniveau

Sikringsniveauet beregnes fra vandstanden for den valgte statistiske middeltids-hændelse, kombineret med den forventede havspejlsstigning inden for kystbeskyttelsens levetid. Der vil i tilfældet for Faxe Ladeplads antages et sikringsniveau svarende til at beskytte mod en 100 års middeltidshændelse om 100 år, altså i år 2125. Som tidligere beskrevet antages dette at være 265 cm DVR90. Med et bølgetillæg på 35 cm DVR90 vil det samlede sikringsniveau komme op på 300 cm DVR90.

3.7 Kystinspektion

3.7.1 Besigtigelse

Den 6. august 2024 blev der af COWI foretaget en besigtigelse på strækningen. Hermed er tilstanden af kystbeskyttelsen på strækningen blevet registreret fra

området ved udløbet af Kruse Bæk, langs Strandvejen og op til Faxe Ladeplads Lystbådehavn.

Slusen ved udløbet af Kruse Bæk kan ses i Figur 3-4. Ledeværket ved udløbet bærer præg af mange sprækker og større huller i materialet. En dårlig tilstand på kystbeskyttelsen er generelt gældende for en stor del af kystbeskyttelsen i området.



Figur 3-4 Udløbet af Kruse Bæk set i retning landværts

Ledeværket skaber en høfdelignende effekt. Læsideerosionen og luvsideaflejringen er tydelig i Figur 3-5. Denne effekt beskrives nærmere i afsnit 5.2.1.



Figur 3-5: Udløbet af Kruse Bæk set i retning havvæerts

Langs strækningen sås flere steder resultaterne af oktober-stormfloden, som f.eks. Figur 3-6, hvor en tydelig erosionskant i kote ca. 2,5 kan ses. Derudover sås flere steder uvirksom skråningsbeskyttelse, der også er et eksempel på i Figur 3-6.



Figur 3-6 Eksempel på erosionskant og uvirksom skråningsbeskyttelse

Der sås også virksom skråningsbeskyttelse samt højvandsmur af nyere karakter, som illustreret på Figur 3-7 i nærheden af Strandstien.



Figur 3-7 Eksempel på højvandsmur med en foranliggende, fungerende skråningsbeskyttelse langs Strandvejen

Områdets højvandsbeskyttelse nord for Elmuevej bærer generelt præg af ødelæggelse, og huller og flere steder havde det været udsat for så voldsom nedbrydning, at det ikke længere kunne anses som virksomt. Eksempelvis ses i Figur 3-8 en højvandsmur ved Strandhovedvej, der ikke længere vil beskytte mod højvand.



Figur 3-8 Eksempel på højvandsmur ved Strandhovedvej, der er blevet nedbrudt under stormflod, og dermed ikke længere er virksomt

På de nordligste ca. 200 m af strækningen befinder den sidste type af højvandsmur sig. Langs hele dette stykke ser højvandsmuren ud som illustreret på Figur 3-9. Langs denne strækning er højvandsmuren i bedre stand end ved f.eks.

Strandhovedvej som på Figur 3-9, den er dog præget af mindre sprækker og revner.



Figur 3-9 Eksempel på højvandsmur langs den nordligste del af strækningen

4 Vandløb og afstrømning

I projektområderne er der udløb fra sammenløbet af 2 vandløb (Lille Å og Faxe Å) samt et mindre vandløb Kruse Bæk. Ved implementering af stormflodssikring i området skal bagvandet kunne håndteres bag en lukket sluseport således at vandløbenes egen vandføring, under stormflod, ikke medfører oversvømmelser relateret til vand fra vandløbene. Håndteringen af bagvand kan ske ved anlæg af kombineret pumpe/sluse bygværk.

4.1 Faxe Å og Lille Å

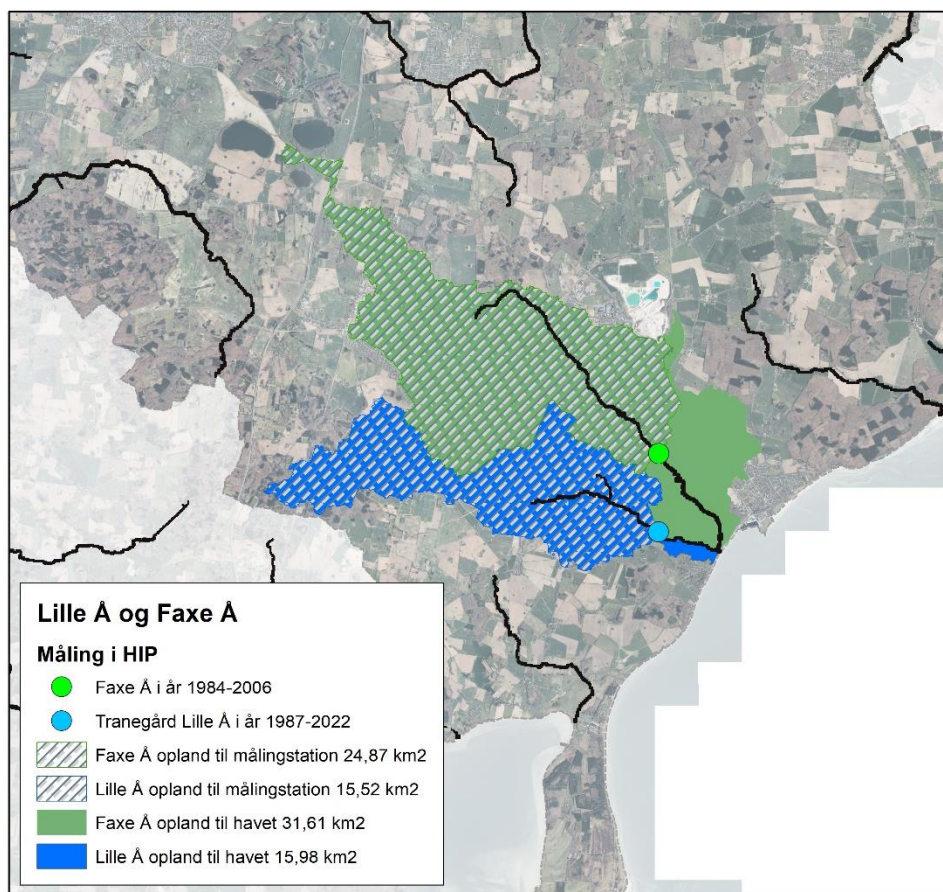
Der foreligger vandføringsmålinger for Faxe Å og Lille Å, se Tabel 4-1 og Figur 4-1.

Tabel 4-1: Vandføringsmålinger for Faxe Å og Lille Å.

Vandførings- måling	Målestation	Tilgængelig pe- riode	Oplandsareal til målesta- tion[km ²]	Oplandsareal til havet[km ²]
Faxe Å	60000024	1984-2006	24,87	31,61
Lille Å	60000035	1987-2022	15,52	15,98

Vandføring til havet som er benyttet i undersøgelsen, er baseret på lokale vandføringsmålinger. Siden målestationerne ikke dækker hele oplandet frem til udløbet i havet, er vandføringen estimeret ved at sammenlægge vandføringerne for Faxe Å og Lille Å. Vandføringen til havet er efterfølgende fundet ved at benytte oplandsareal ganget med enhedsvandføring (m³/s/km²). Vandføringen for perioden 1987-2006 (20 år) er anvendt i analysen.

På nedenstående Figur 4-1 ses et oversigtskort over de to vandløb, deres respektive oplande og målestationernes placering:



Figur 4-1: Oversigtskort for målestationer og oplande til Faxe Å og Lille Å.

På baggrund af bearbejdede måledata er der efterfølgende beregnet karakteristiske vandføringer og forventede maksimale døgnmiddelvandføringer for hændelser med gentagelsesperioder op til 100 år (Tabel 4-2 og Tabel 4-3).

Tabel 4-2: Karakteristiske vandføringer for vandføring til havet

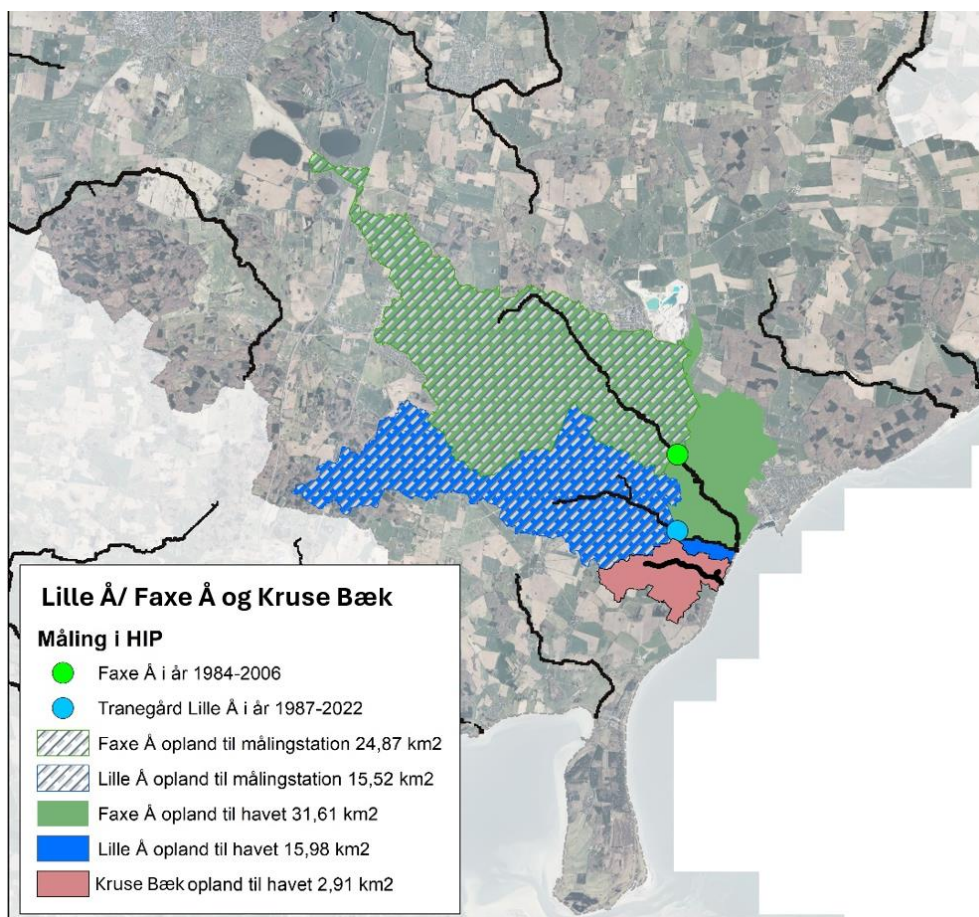
	Hele periode	Vinter	Forår	Sommer	Efterår
Middel	0,50	0,93	0,49	0,15	0,46
Min	0,01	0,06	0,04	0,01	0,02
Maks.	11,15	7,34	7,66	6,63	11,15
Standard deviation	0,76	0,90	0,57	0,24	0,91
1. percentil	0,03	0,10	0,06	0,03	0,03
5. percentil	0,06	0,16	0,13	0,04	0,05
10. percentil	0,08	0,24	0,17	0,05	0,07
25. percentil	0,12	0,38	0,22	0,07	0,10
median	0,26	0,63	0,30	0,11	0,19
75. percentil	0,55	1,12	0,51	0,16	0,41
90. percentil	1,14	1,98	0,96	0,25	0,95
95. percentil	1,78	2,75	1,46	0,38	1,72
99. percentil	3,91	4,60	3,13	0,71	5,08

Tabel 4-3: Gentagelsesperiode og estimerede ekstremvandføringer (Gumbel).

Gentagelsesperiode (år)	Vandføring m ³ /s
2	4,27
5	6,51
10	7,99
20	9,4
50	11,23
100	12,6

4.2 Kruse Bæk

Kruse Bæk er et markant mindre vandløb end Faxe Å og Lille Å. Oplandsarealet er gengivet på nedenstående Figur 4-2 med de to andre vandløb vist som reference ift. størrelse:



Figur 4-2 Oversigtskort over opland til Kruse Bæk med oplande til Faxe Å og Lille Å til sammenligning.

Der er ikke målestation for Kruse Bæk. Det anvendes derfor arealkorrigeret vandføring fra Faxe Å til at vurdere vandføringen i Kruse Bæk herunder gentagelsesperioder for ekstremvandføringer. Perioden benyttet i analysen er 1984-2006.

De beregnede/vurderede gentagelsesperioder er vist i nedenstående Tabel 4-4.

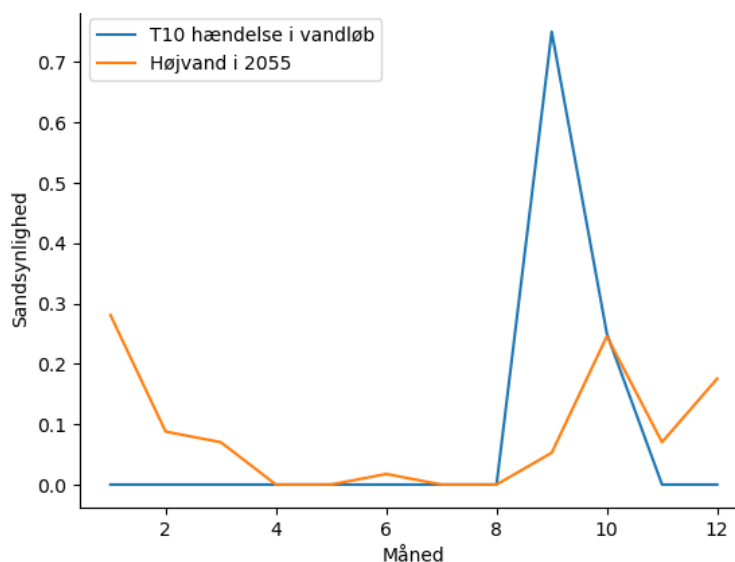
Tabel 4-4: Gentagelsesperiode og estimerede ekstremvandføringer (Gumbel) Kruse Bæk.

Gentagelsesperiode (år)	Vandføring m ³ /s
2	0,24
5	0,37
10	0,45
20	0,52
50	0,62
100	0,70

Det ses af tabellen, at vandføringerne, som funktion af gentagelsesperioderne, er relativt beskedne og vil kunne håndteres med mindre pumper enten stationære eller mobile. Da vandløbet ikke er målsat, vil der ikke skulle tages særlige hensyn til bl.a. fisk, hvilket derfor medfører beskedne krav til pumpetyper.

4.3 Sammenfald af hændelser

For at kunne vurdere mulige afstrømninger fra baglandet, som skal håndteres i tilfælde af stormflod, er det essentielt at se på det statistiske sammenfald af hændelserne stormflod og høj afstrømning. Nær Faxe Å og Lille Å vil en vandstand på ca. kote +1,0 (DVR90) begynde at medføre oversvømmelser og problemer for nærliggende bebyggelser. I analysen er der således regnet med en kritisk kote svarende til dette niveau. Analysen tager udgangspunkt i historiske data (1987-2006) i Faxe/Lille Å (som beskrevet i afsnit 4) og historiske data (2012-2023) af vandstanden fra stationen i Rødvig Havn.



Figur 4-3: Principiel fordeling af sandsynlighed over året for høj vandstand i havet og høj vandføring i vandløbene.

Figuren viser, at der er positivt sammenfald mellem ekstrem afstrømning (T10) i Faxe/Lille Å og højvande i År 2055 baseret på målingsdata, som statistisk set forekommer i vinterhalvåret.

Baseret på at kombinere måledata og statistik for afstrømning og højvande herunder fremskrivning af middelvandspejl i havet og nuværende kritisk kote kan følgende tabel udledes:

Tabel 4-5 Statistisk sammenfald mellem højvande og afstrømning for Faxe Å/Lille Å

År	2025	2055	2085	2100	2120
Middelvandstand	8 cm	28 cm	52 cm	77 cm	94 cm
Stormflodshændelse der lukker slusen	92 cm	72 cm	48 cm	23 cm	6 cm
Antal lukkedage ved lukning af sluse ved vandstand over kote 1,0 m.	1	5	29	129	272
Gentagelsesperiode for sammenfald med Medianmaksimum	67	17	4	2	2
Gentagelsesperiode for sammenfald med 5 års hændelse	530	120	25	5	3
Gentagelsesperiode for sammenfald med 10 års afstrømningshændelse	1489	320	97	14	7
Gentagelsesperiode for sammenfald med 20 års afstrømningshændelse	5953	1278	387	55	26
Gentagelsesperiode for sammenfald med 50 års afstrømningshændelse	14881	3194	966	136	65
Gentagelsesperiode for sammenfald med 100 års afstrømningshændelse	29761	6387	1931	271	128

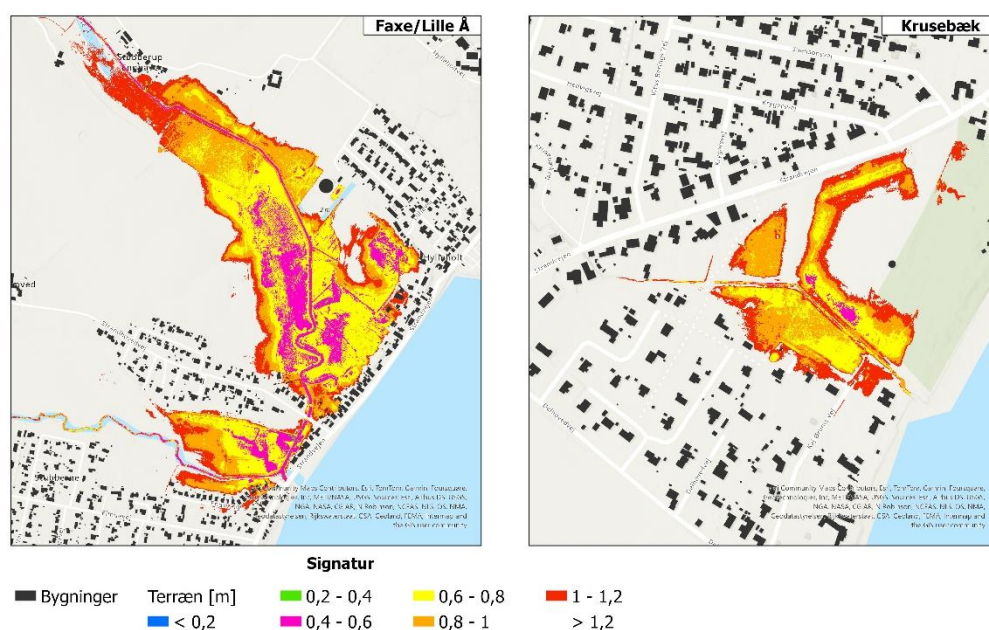
Tabel 4-5 viser i øverste række middelvandstandens stigning som funktion af år. Da kritisk kote benyttet er +1,0m (DVR90) ses der tillige hvilken vandstand der skal optræde i havet før slusen bør lukkes. Baseret på højvandsstatistikken kan dette omsættes til hyppighed ift. hvor mange gange om året slusen vil skulle lukkes. Det ses bl.a. at antallet af lukkedage i 2025 er ca. 1 gang om året

voksende til 272 gange om året i 2120. Da antallet af lukkedage øges pga. stigningen i middelvandspejlet, betyder det samtidigt, at sandsynligheden for at slusen er lukket ved en stor afstrømning i vandløbet, er stigende. Ligeså i tabellen er der vist forskellige ekstremvandføringer i kombination med højvande, deres sammenfald udtrykt ved gentagelsesperiode (xx års hændelse) og udviklingen over tid. Det ses f.eks., at den koblede sandsynlighed for sammenfald mellem en 10 års afstrømningshændelse og højvande, der lukker slusen, svarer til næsten en 1500 års hændelse i dag faldende til en 7 års hændelse om 100 år.

4.4 Stuvningsvolumen

For at se på muligheden for at reducere pumpebehovet, er der lavet en analyse af volumen til rådighed bag tiltænkte sluser på udløb i tilfælde af stormflod.

På nedenstående figur ses udbredelsen af volumen op til kote +1,2 m (DVR90):



Figur 4-4 Kortlægning af volumen for Faxelille Å og Kruse Bæk.

Udbredelserne er omregnet til volumenbeskrivelser for begge vandløb illustreret i nedenstående tabel:

Tabel 4-6 *Beregnete voluminer som funktion af kote for begge vandløbssystemer.*

Kote [m]	areal - volumen i floodplain			
	Faxe/ Lille Å		Kruse Bæk	
	Areal [m²]	Volumen [m³]	Areal [m²]	Volumen [m³]
0	0	0	0	0
0,1	0	0	0	0
0,2	0	0	0	0
0,3	0	0	0	0
0,4	688	10	0	0
0,5	10436	556	116	5
0,6	46818	2977	617	34
0,7	104589	10644	2794	176
0,8	145281	23218	8165	711
0,9	180556	39582	14336	1856
1	208068	59028	18834	3516
1,1	234161	81164	23633	5629
1,2	258785	105814	28892	8255

Det vurderes ikke at være hensigtsmæssigt at benytte disse voluminer til at reducere pumpekapaciteten. Dette skyldes dels, at de fundne voluminer er begrænsede ift. varigheden af en stormflodshændelse (hvor slusen teknisk set kan være lukket i mere end 12 timer så længe vandstanden i havet er over kritisk kote) og dels at voluminet i åen over tid vil blive ædt op af det stigende middelvandspejl, hvilket således igen kræver nytænkning eller forøgelse af pumpekapaciteten.

5 Løsningsforslag: udformning og placering

5.1 Delområde Nord

5.1.1 Højvandsmur

Det ønskes at lave en helhedsorienteret løsning for området, der kan forlænge levetiden af kystbeskyttelsen. Derfor anlægges en højvandsmur til kote 3,0 m DVR90. Denne højvandsmur opføres som markeret på Figur 5-1, så den nuværende højvandsmur fjernes og erstattes, hvor den er uvirksom, og andre steder opføres en helt ny højvandsmur. Da højden i landskabet varierer, gør højden over terrænen af højvandsmuren naturligvis det samme for at bevare et ensartet beskyttelsesniveau langs hele strækningen. Det er nødvendigt at fjerne den nuværende højvandsmur på det meste af strækningen for at undgå svage punkter i beskyttelsen, som vil kunne brydes af store vandmasser og dermed være årsag til oversvømmelse i hele området. Dermed skabes synergi og der opnås desuden en æstetisk fordel, når hele muren er ensartet. Placeringen samt højden over terrænen af højvandsmuren er illustreret i Figur 5-1.



Figur 5-1 Gennemsnitshøjde på kommende højvandsmur

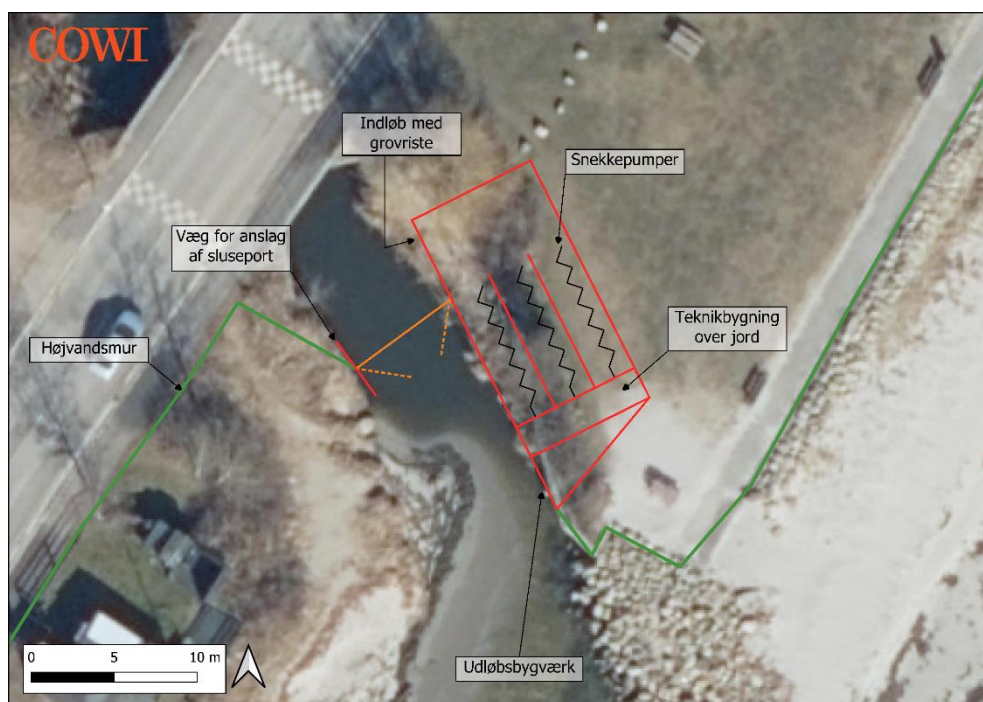
Som det fremgår af figuren, opføres der ingen højvandsmur på den sydlige del af strækningen. Dette skyldes, at der her allerede findes en højvandsmur med

tilhørende virksom skråningsbeskyttelse eller at området ligger så højt, at det ikke ville opnå gavn af en højvandsmur i Kote 3,0 m DVR90.

Etablering af højvandsmuren starter syd for udløbet af Faxe Å. Her opbygges den til ca. 1,0 m over terræn. Dette gøres bag de bygninger, der ligger helt ned til vandet, men foran vejen. Bygningerne ligger så lavt, at de ikke ville stå til at redde i en højvandssituation, derfor prioriteres det at beskytte den bagvedliggende vej for at sikre adgang til og fra området i højvandssituationer. I området omkring udløbet af åen, opbygges højvandsmuren til op til 3,0 m over terræn. Herefter følger den nye højvandsmur lokationen af den gamle, uvirksomme højvandsmur og er i ca. 1 m over terræn. Længere mod nord hæver terrænet sig, så her er højvandsmuren kun ca. 1 m over terræn. Dimensionerne af højvandsmuren beskrives nærmere i afsnit 6.

5.1.2 Pumpe/sluse bygværk Faxe Å/Lille Å

Det foreslås, at der udføres et sluse- og pumpebygværk på søværts side af Strandvejen som vist på nedenstående figur:



Figur 5-2 Skitseret placering af pumpe/sluse bygværk, der kan lukke Faxe Å ved højvande og overpumpe Åens vandføring mens hændelsen finder sted.

Der er taget udgangspunkt i pumpetypen "Snekkepumpe" da der typisk på mål-satte vandløb vil være krav om ristnings således, at fisk ikke går til grunde i pumperne. Normalt vil kravet til maskevidde på afgitring være 6x6 mm, hvilket for store vandføringer vil kræve et helt særligt og fordyrende ristebygværk. Med snekepumper er det dokumenteret fra leverandøren, at fisk ikke bliver slået i stykker og det vil således ikke være nødvendigt med afgitring ud over en grovrister ved indløb til pumpebassin. Årsagen til at pumpebygværket derfor foreslås anlagt på søværts side skyldes, at snekepumperne blot løfter vandet op

hvorefter, det løber ud i havet. Dette vil ikke kunne lade sig gøre, hvis pumpen placeres på landværts side. Ulempen er, at Snekkepumperne fylder væsentligt mere end et bygværk med traditionelle skaktpumper og vil dermed kræve en større bygning. Anlægget er dog mere driftsikkert og simpelt, da snekkerne drives af en motor og anlægget kan forberedes til opsætning af ekstra snekke i fremtiden, når behovet opstår.

I anlægsoverslaget er der taget udgangspunkt i et bygværk, der kan løfte 5 m³/s, hvilket svarer til ca. en vandføring mellem 2 og en 5 års hændelse og skaleret priser og bygværk baseret på erfaringstal fra lignende bygværker i Vejle, Aabenraa og Kolding. Alle bygværker med hydrauliske sidehængte sluseporte. Eksempel på bygværk af denne type kan ses af nedenstående figurer fra opførelsen af bygværket i Aabenraa. I Aabenraa er der isat 3 snekker men klargjort til en 4, når/hvis behovet opstår over tid som følge af klimaforandringerne.



Figur 5-3 Det næsten færdige bygværk i Aabenraa. Bygværket kan løfte ca. 9 m³/sec



Figur 5-4 Snekkerne er et simpelt løfteprincip som til forskel fra skaktpumper ikke slår fiskene ihjel og dermed ikke kræver et driftstungt stort bygværk for at overholde afgitringskrav på 6x6 mm.



Figur 5-5 Bygværket er udstyret med sidehængte hydrauliske sluseporte som lukkes ved stormflod.

5.2 Delområde Syd

Udbredelsen af havoversvømmelsen i delområde syd sker primært via Kruse Bæk. En udbredelse, der udelukkende sker fra havet, vil ikke påvirke infrastrukturen, men kun skovområdet syd for strandvejen. Derfor anses det ikke som nødvendigt at anlægge højvandsbeskyttelse som i den nordlige del. Dog vil der opnås en mærkbar effekt ved at bygge en sluse og en mindre højvandsmur ved vandløbet Kruse Bæk for at forhindre vandindtrængning herigennem ved stormflodshændelser.

5.2.1 Fjernelse af 'høfde' ved Kruse Bæk

Ved udløbet af Kruse Bæk befinder sig et ledeværk, som skaber en høfdelig-nende effekt på både den sydlige og nordlige side af vandløbet. Det vil sige, at den naturlige langstransport er helt eller delvist blokeret, og at sedimentet derfor aflejres opstrøms (mod nord) mens der på den sydlige side af vandløbet forekommer læsiderosion som følge af manglende sedimenttilførsel. Derfor ses en kysttilbagerykning syd for udløbet, og akkumulation af sediment nord for udløbet skaber en kystfremrykning.

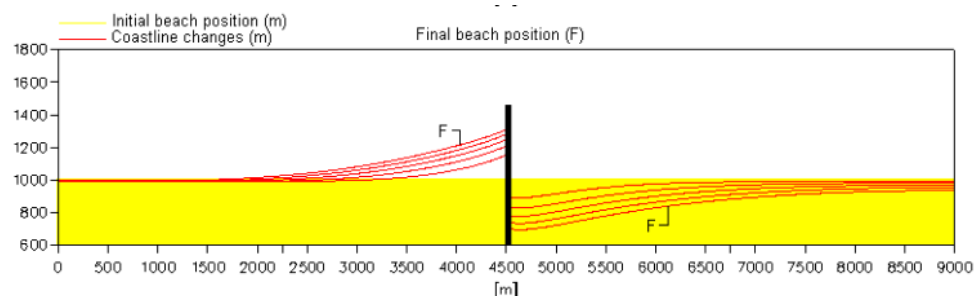
Ved opmåling på et ortofoto fra 2023 estimeres det, at kystlinjen nord for ledeværket befinder sig ca. 10 m længere havværts end kystlinjen syd for. Dette er illustreret i Figur 5-6.



Figur 5-6 Nuværende tilstand af udløbet ved Kruse Bæk. Ortofoto fra foråret 2023. Øvrige fotos viser 'høfden' mod hhv. øst og vest og stammer fra kystinspektion i august 2024.

Det har ikke været muligt at finde ortofotos af området før ledeværket blev opført, da det mindst er 70 år gammelt (det ses på ortofotos fra 1954).

Mængden af sand, som aflejres på luvsiden af en høfde, mangler på læsiden, og derfor ser man som oftest at det areal, som er skabt ved kystens fremrykning på luvsiden er lige så stort som det areal som eroderer på læsiden (se Figur 5-7).



Figur 5-7 Kystlinjeudvikling opstrøms og nedstrøms for en høfde som udsættes for skråt indkommende bølger (Mangor, 2017).



Figur 5-8 Forventet naturlig orientering af kystlinjen

Kysten er som nævnt ikke i stand til at udvikle sig naturligt bl.a. pga. tilstedeværelsen af kystkonstruktioner. Men hvis man fjernede alle konstruktionerne, ville kysten søge imod en ny ligevægtsorientering ca. som vist på Figur 5-8.

Hvis man *kun* fjerner ledeværket, som udgør den først høfde i en gruppe, så må man derfor forvente, at kysten vil søge imod den viste ligevægt, men kun frem til (nord for) den næste høfde i høfdegruppen. Dette vil i praksis betyde, at kystlinjen nord for ledeværket vil flytte sig landværts mens kysten syd for ledeværket vil flytte sig havværts. Placeringen af den 'nye' kystlinje forventes at blive ca. som vist på Figur 5-9. Det skal dog bemærkes, at udviklingen frem mod den forventede fremtidige ligevægtslinje kan komme til at tage flere år, afhængigt af sandets beskaffenhed (mobilitet) og hyppigheden af perioder med store bølger fra østlige retninger. En nærmere analyse vil kræve at der udføres avanceret numeriske studier med bølge- og sedimenttransport modeller.



Figur 5-9 Forventet fremtidig kystlinje ved fjernelse af ledeværket

5.2.2 Højvandsmur

Der præsenteres et løsningsforslag til placering af en højvandsmur sydvest for udløbet af Kruse Bæk. Højvandsmuren opbygges til kote 2,65 m DVR90, da det antages at den foranliggende skråningsbeskyttelse og strand vil fjerne energien fra indkomne bølger, og der dermed ikke er behov for et bølgetillæg. Der er allerede opført skråningsbeskyttelse langs strækningen sydvest for udløbet havværts for områdets bygninger. Dette er dog i varierende højder, og matriklen nærmest vandløbet er for nuværende kun beskyttet til kote 2,55 m DVR90, mens de øvrige matrikler er beskyttet til over kote 3,0 m DVR90 (Jensen & Kirkegaard, 2023). For at skabe en helhedsorienteret løsning er det nødvendigt at hæve sikringsniveauet på denne matrikel, da en vandstand til kote 2,65 m DVR90 ellers ville være i stand til at trænge ind i området via denne matrikel og dermed skabe en lige så stor påvirkning i områdets sydlige del som tidligere markeret i Figur 2-5.

Strækningens skråningsbeskyttelse når, som nævnt til kote 2,55 m DVR90, dog er der ikke bygget en tæt højvandsmur bag denne. Det bagvedliggende terræn når til kote 2,25 og derfor opsættes en mur, der når 40 cm over terræn havværts for den nuværende skråningsbeskyttelse på området matrikel 9c. Derudover opsættes en 1 m højvandsmur nord for udløbet af Kruse Bæk til montering af skydespjældet. Denne opbygges også til kote 2,65 m DVR90, og skal dermed opføres til 0,6 m over nuværende terræn. Placering af denne højvandsmur kan ses illustreret i Figur 5-10.



Figur 5-10 Placering af den forhøjede højvandsmur som løsningsforslag for den sydlige del

5.2.3 Sluse

Foruden højvandsmuren bør der også opføres en sluse ved udløbet af Kruse Bæk for at forhindre en udbredelse af havvand via dette vandløb. Slusen skal opbygges til kote 3,0 m, for at kompensere for bølgetillæg. Den skal opbygges ved at påsætte et ikke-automatisk skydespjæld, så der kan lukkes af i tilfælde af varsel om stormflod. Et eksempel på simpelt bygværk er vist herunder:



Figur 5-11 Eksempel på bygværk der krydser vandløb. I dette eksempel er der en passiv højvandsklap på søværts side.

6 Anlægsbeskrivelse

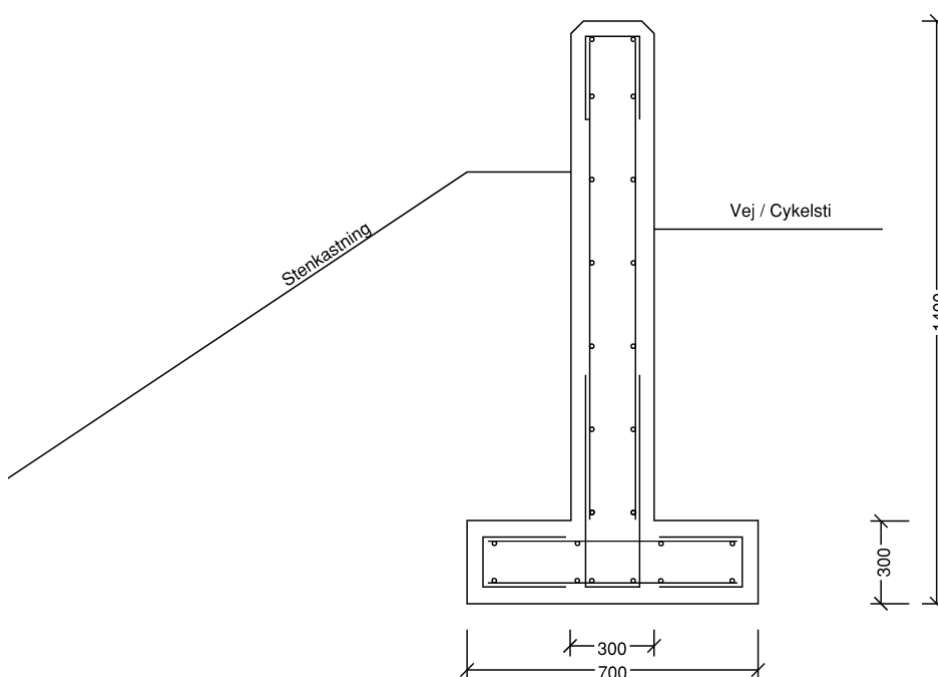
6.1 Nordlige del

6.1.1 Højvandsmur

Højvandsmuren opbygges til kote 3,0 m DVR90 på hele strækningen, en længde på ca. 760 m. Topkoten er fastsat med baggrund i en 100 års middeltidshændelse om 100 år samt et mindre bølgetillæg.

Højvandsmuren vil udføres baseret på et principtværsnit som kan ses på Figur 6-1. Tværsnittet vil blive tilpasset dette projekt og de individuelle strækninger. Muren vurderes at kunne udføres som prefab-elementer, som kan laves på anden lokation og transporteres til pladsen, hvor de vil blive placeret i forberedt tracé i frostsikker dybde og efterfølgende blive støbt sammen. Vægtykkelsen bliver min. 300 mm. De andre dimensioner er erfaringsmæssigt fastsat som følger:

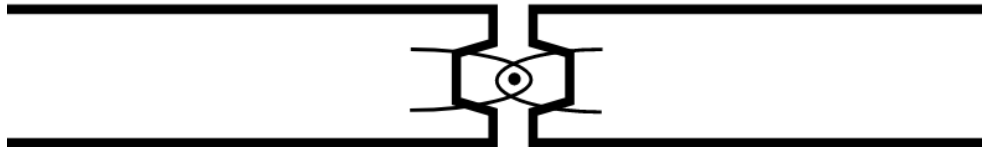
- > Strækninger +0,5 m: Højde 1.400 mm, Bredde: 700 mm
- > Strækninger +1,0 m: Højde 2.000 mm, Bredde: 800 mm



Figur 6-1 Principtværsnit af højvandsmur – muren kan laves både pre-fab eller in-situ.

For strækningen ved slusebygværket, hvor højvandsmuren skal have en højde over terræn på 3 m, bør der via den kommende projektering vurderes om en tilsvarende betonstøttevæg er det bedste valg, eller om andre konstruktionstyper skal anvendes.

Sammenstøbning tænkes udført ved at elementerne vil have armeringsbøjler som stikker ud af enderne, som i samlingerne vil overlappe og "låses" med en armeringsstang i overlappet. Se princip på Figur 6-2.

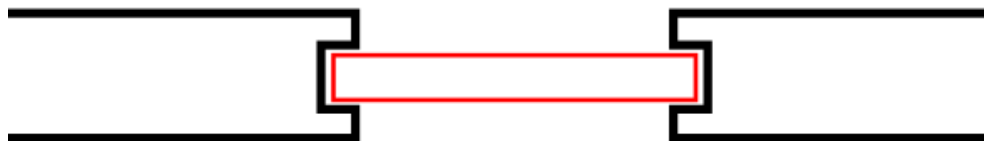


Figur 6-2 Princip for samling af elementer

Der er langs den eksisterende højvandsmur flere åbninger/overgange i højvandsmuren, så stranden/kysten på ydersiden samt områdets strandhuse er tilgængelige. Der skal indtænkes en løsning, hvis denne tilgængelighed ønskes at bibeholdes. Dette kan løses ved at montere trapper over højvandsmuren, som det ses enkelte steder på strækningen, se Figur 6-3. Alternativt kan installeres højvandsporte, som let kan monteres ved et fer og not princip, hvis der er varsel omkring stormflod, se Figur 6-4.



Figur 6-3 Trappe over højvandsmur.



Figur 6-4 Princip for højvandsport ved fer og not princip

6.1.2 Arbejdstakt

Der lægges op til en arbejdstakt for etablering af højvandsmuren, som oplistet nedenfor:

- > Etablering af bygge- og materialeplads ved projektområdet.
- > Fjernelse af eksisterende beplantning, for lettere adgang til projektområde.
- > Opbrydning af belægninger og lokal rydning af stenkastning.
- > Opgravning, nedbrydning og fjernelse af den eksisterende højvandsmur.
- > Planering af trace / støbning af renselag.
- > Placering af elementer til ny højvandsmur.
- > Genetablering af stenkastning på ydersiden og supplering af stenmateriale, således stenkastning fremtidssikres.
- > Genetablering af belægning på indersiden.
- > Rydning af bygge- og materialeplads ved projektområdet.

6.1.3 Pumpestation

Der er valgt en snekkepumpe, da den ikke kræver risting som traditionelle pumper for at beskytte fisk. Derfor er det kun nødvendigt med en grov-rist ved indløbet til pumpesumpen. Pumperne placeres på søværts side, da de løfter vandet op og lader det løbe ud i havet, hvilket ikke ville være muligt på landværts side af vejen. Ulempen er, at snekkepumper fylder mere end traditionelle skaktpumper og kræver en større bygning. Dog er anlægget driftsikkert og simpelt, og det kan fremtidig udbygges med ekstra snekkepumpe, hvis nødvendigt.

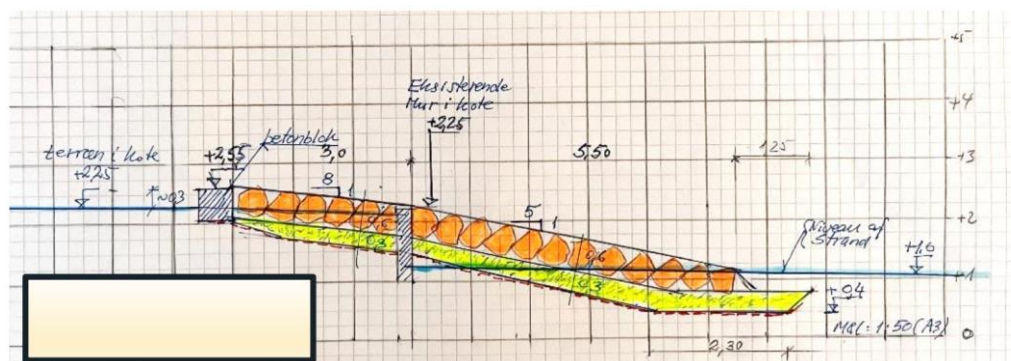
Anlægget er foreslået dimensioneret til at kunne håndtere 5 m³/s, svarende til en vandføring fra en 2-5 års hændelse, og priser og byggeri er baseret på erfaringer fra Vejle, Aabenraa og Kolding, hvor man også har hydrauliske sidehængte sluseporte. Eksempelvis er der i Aabenraa installeret tre snekkepumper, men der er plads til en fjerde, hvis behovet opstår på grund af klimaforandringer.

6.2 Sydlige del

6.2.1 Højvandsmur

Højvandsmuren opbygges til kote 2,65 m DVR90 på strækningen i 38,2 m længde syd for udløbet af Kruse Bæk og 1 m nord for Kruse Bæk. Koten er bestemt ud fra samme niveau som den nordlige delstrækning ved en 100-årshændelse om 100 år. Dog medtages der ikke et bølgetillæg her, da det antages, at skråningsbeskyttelsen og den foranliggende strand vil dissipere bølgerens energi.

Ifølge data fra tidligere opførsel af kystbeskyttelse foran matrikel 9c er skråningsbeskyttelsen opbygget til kote 2,55, som illustreret i Figur 6-5.



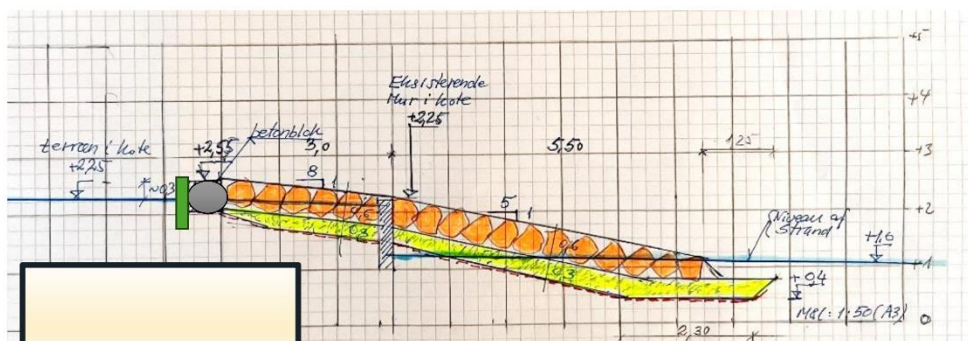
Figur 6-5 Illustration af nuværende stenkastning (Jensen & Kirkegaard, 2023)

Den blok, der på figuren er registreret som 'betonblok' er dog i stedet blevet opført som skråningsbeskyttelse og ikke som en mur. Dette er illustreret på foto i Figur 6-6.



Figur 6-6 Foto af nuværende stenkastning ved matrikel 9c set i retning mod nord

Bag den nuværende stenkastning opføres en højvandsmur. Den opføres til kote 2,65 m DVR90 og nedgraves til dybden 1,75 m DVR90 (50 cm under terræn). Dette er illustreret på Figur 6-7.



Figur 6-7 Ny højvandsmur, der opføres bag nuværende stenkastning. Højvandsmuren illustreres af den grønne kasse, mens skråningsbeskyttelsen illustreres af de orange og den grå sten

6.2.2 Bygværk med højvandsklap

Bygværket ved udløbet af Kruse Bæk opbygges som tidligere beskrevet i afsnit 5.2.3.

7 Anlægsoverslag

7.1 Nordlige del

Anlægsøkonomien er vurderet på baggrund af de tekniske løsninger præsenteret i det foregående afsnit. Økonomien er baseret på erfaringstal uden kendskab til områdets geotekniske forhold.

Der er i forbindelse med vurdering af anlægsøkonomien gjort følgende antagelser:

- > Udgifter til arbejdsplads er estimeret til 10 % af entreprenørudgifterne.
- > Uforudseelige udgifter er estimeret til 40 % tager udgangspunktet i det tidlige projektstadium inden der er udført projektering af højvandsmur og kystbeskyttelse, ligesom der er begrænset kendskab til eksisterende konstruktioner, eksempelvis dimensioner på højvandsmur, konstruktioner ved å-udløb og udbredelse af kystbeskyttelse.
- > Arbejdet udføres udenfor vinterperioder, hvormed omkostninger til vinterforanstaltninger ikke er inkluderet.
- > Overslag for rådgivningsudgifter forbundet med detailprojektering er ikke inkluderet.
- > Overslaget inkluderer ikke trappeovergange eller evt. højvandsporte i højvandsmuren, inkl. tilpasninger hertil.

Overslag på konstruktioner er opgivet i kr. ekskl. moms (oktober 2024 prisniveau) og enhedspriser er baseret på COWIs erfaringer fra lignende projekter.

Tabel 7-1 Overslag på udførelse af ny højvandsmur.

Hovedpost, konstruktion - kr. ekskl. moms	Prisoverslag
Arbejdsplads m.v. (ca. 10%)	1.110.000
Forberedende arbejder	1.290.000
Jordarbejder	705.000
Betonkonstruktion, højvandsmur	5.275.000
Stenkastning	2.560.000
Belægningsarbejder	1.235.000
Entreprenørudgifter i alt	12.175.000
Projektering, byggeledelse og fagtilsyn (15%)	1.826.250
Uforudseelige udgifter (ca. 40 %)	4.870.000
Total	18.871.250

Hertil skal lægges yderligere estimeret 18.000.000 kr. til pumpebygværk ved udløbet af Faxe å. Dermed fås et samlet prisoverslag for kystbeskyttelse af områdets nordlige del til 36.871.250 kr.

7.2 Sydlige del

De to løsninger for den sydlige del af området blev tidligere beskrevet i afsnit 5.2. I de følgende afsnit angives et anlægsoverslag for løsningen.

7.2.1 Løsning

I Tabel 7-2 ses et prisoverslag for højvandsmuren, der opføres ved Løsningsforlaget.

Tabel 7-2: Prisoverslag for højvandsmuren i det sydlige delområde

Hovedpost, konstruktion - kr. ekskl. moms	Prisoverslag
Arbejdsplads m.v. (ca. 10%)	30.000
Forberedende arbejder	30.000
Jordarbejder	25.000
Betonkonstruktion, højvandsmur	200.000
Stenkastning	0
Entreprenørudgifter i alt	285.000
Projektering, byggeledelse og fagtilsyn (15%)	45.000
Uforudseelige udgifter (ca. 15 %)	45.000
Total	375.000

Prisen for et betonbygværk med et manuelt skydespjæld er anslået til 300.000 kr. Den samlede pris for kystbeskyttelsen i området kan ses i Tabel 7-3.

Tabel 7-3: Prisoverslag for sluse og højvandsmuren for løsning 1 i det sydlige delområde

Sluse, pris – kr. ekskl. moms	Højvandsmur, pris – kr. ekskl. moms	Samlet pris for højvandssikring – kr. ekskl. moms
300.000	375.000	675.000

7.3 Vedligehold

Vedligehold af skråningsbeskyttelse og højvandsmur langs strækningen vil være relativt begrænset, især når den foranliggende skråningsbeskyttelse er korrekt dimensioneret. Højvandsmure bør inspiceres løbende med jævne mellemrum, for at forebygge skader. Dette begrænsede vedligehold vil pålægges de kystsikringslag, der skal oprettes i området.

8 Berørte matrikler

8.1 Bidragsfordeling

Til finansiering af kystbeskyttelsens opførsel er der udarbejdet tre forslag til bidragsfordelingsmodeller.

- > Forslag 1: Differentieret bidragsfordelingsmodel, ni forskellige differentieringer
- > Forslag 2: Mellem differentieret bidragsfordelingsmodel, fem forskellige differentieringer
- > Forslag 3: Solidarisk bidragsfordelingsmodel, to differentieringer

Bidragsfordelingen af hvert forslag er nærmere beskrevet i de kommende afsnit. Hver bidragsfordeling er opdelt i den nordlige og sydlige del af Faxe Ladeplads, da opførslen af kystbeskyttelse også er opdelt i to.

Mindre private fællesveje er fjernet fra bidragsfordelingen, da det antages, at ejerne af vejene vil bidrage som følge af bidraget fra deres egen matrikel, så for at undgå ekstra bidrag, fjernes disse. Derudover er enkelte strandmatrikler fjernet, da disse ikke kan anses som beskyttet mod oversvømmelse efter opførsel af højvandsmure. Det samme er gældende for helt kystnære matrikler, der ikke vil opnå en nytte af opførslen af højvandsmur og sluse/pumpe i de to områder.

8.1.1 Forslag 1

Forslag 1 er det mest differentierede, med 8 forskellige kategorier for betaling. Den er opdelt efter et princip om, at dem, der påvirkes mest, også skal betale mest. Derfor er udbredelsen for højvande ved en 100 års middeltidshændelse om hhv. 20, 50 og 100 år taget i betragtning. Bidraget er beregnet ud fra, hvilken af disse hændelser en matrikel vil blive påvirket af. Da en matrikel, der påvirkes af en mindre hændelse, også vil antages påvirket af en større hændelse, vil en matrikel påvirket af en mindre hændelse naturligt skulle betale mere. Disse hændelser er vandstandene som beskrevet i Tabel 3-1, altså hhv. 185, 210 og 265 cm DVR90. Udbredelsen af havvandsstigningen er baseret på data fra SCALGO Live og vurderet ud fra 'Select by Location' i QGIS, og senere sorteret manuelt. En påvirkning fra hver af disse hændelser tildeler matriklen én part. Hvis en matrikel påvirkes af en vandstand på 185 cm DVR90, tildeles matriklen tre parter, da den dermed også vil påvirkes ved en vandstand på 210 og 265 cm DVR90.

Derudover tages hensyn til, hvorvidt der findes en bygning på de pågældende matrikler eller ej. Der tages dog ikke hensyn til typen af bygning. En bygning på matriklen medfører én part.

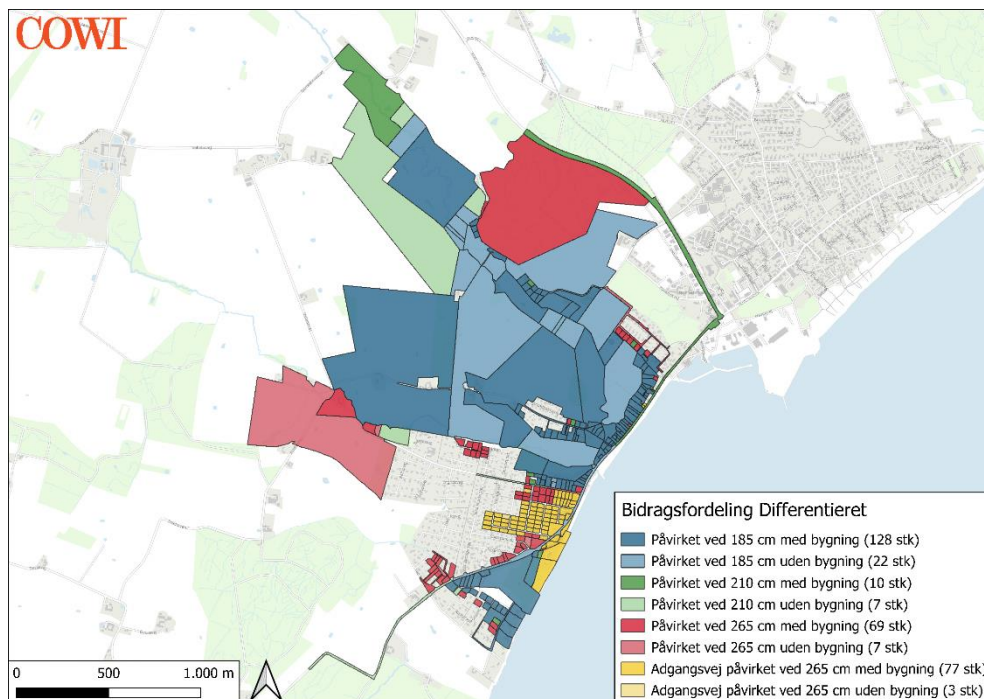
Matrikler med påvirkede adgangsveje er også taget i betragtning, da de opnår indirekte fordel af kystbeskyttelsen. En påvirket adgangsvej medfører en halv part. Hvis matriklen er direkte påvirket af oversvømmelse tilføres dog ikke en ekstra halv part for påvirket adgangsvej.

Derudover tilføres parter til det lokale kloakforsyningsselskab og det lokale elseskab, da disse også vil påvirkes i tilfælde af oversvømmelse. Der tilføres 1 part per 30 matrikler, som selskaberne forsyner, der beskyttes.

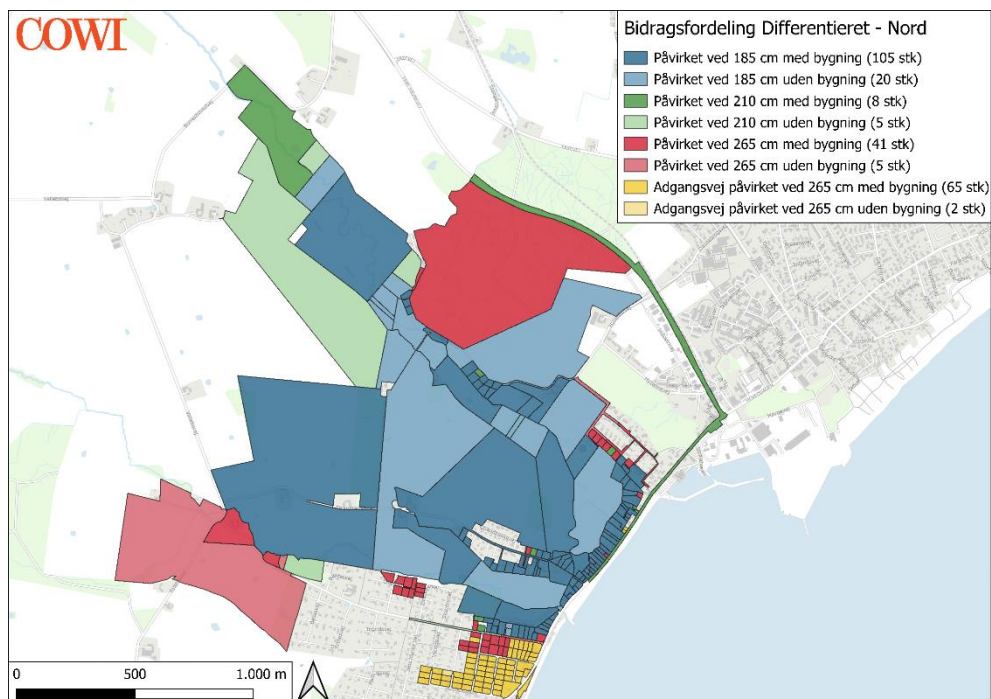
Dermed fås følgende kategorier:

- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 20 år, 185 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 20 år, 185 cm DVR90, uden bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 50 år, 210 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 50 år, 210 cm DVR90, uden bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, uden bygning
- > Matrikel med påvirkede adgangsveje ved en havstigning som en 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel med påvirkede adgangsveje ved en havstigning som en 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, uden bygning

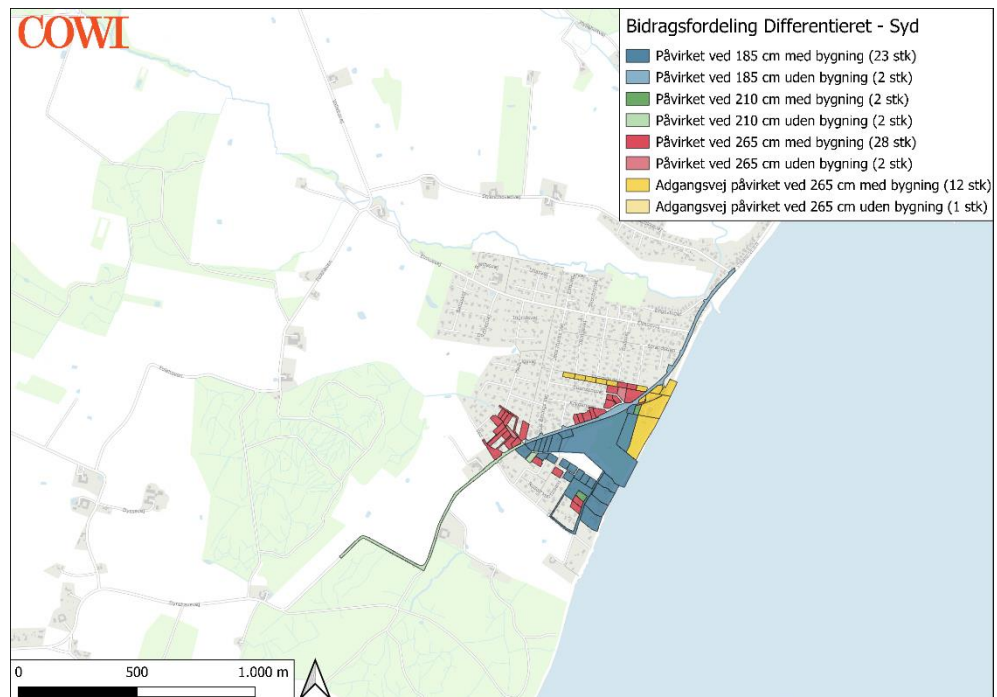
Matrikler, der ikke opnår nogen form for nytte af kystbeskyttelsen medtages således ikke. Matriklerne indenfor hver kategori kan ses illustreret i Figur 8-1. Den nordlige del af området kan ses i Figur 8-2 og den sydlige i Figur 8-3.



Figur 8-1 Bidragsfordeling forslag 1, hele området



Figur 8-2 Bidragsfordeling forslag 1, nordlige del



Figur 8-3 Bidragsfordeling forslag 1, sydlige del

En oversigt over priserne per matrikel kan ses for den nordlige og sydlige del af området i Tabel 8-1 og Tabel 8-2. Tabellerne er opdelt efter type af påvirkning (ved hvilket niveau påvirkes man, eller påvirkes ens adgangsvej) og antal parter til hver type forsyningsselskab. Derudover kan ses antallet af matrikler inden for hver kategori og den samlede pris disse vil skulle betale for kystbeskyttelsen. Sidst ses, hvad denne pris vil være ved en opdeling af betalingen på årlig basis i 30 år.

Tabel 8-1 Priser per matrikel i Delområde Nord baseret på Forslag 1 om en differentieret bidragsfordeling. Af tabellen fremgår antal parter, antal matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 51.532,15 kr.

Forslag 1 Nord	Antal parter (stk.)	Antal matrikler indenfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket ved 185 cm med bygning	4	105	206.128,58	6.870,95
Påvirket ved 185 cm uden bygning	3	20	154.596,44	5.153,21
Påvirket ved 210 cm med bygning	3	8	154.596,44	5.153,21
Påvirket ved 210 cm uden bygning	2	5	103.064,29	3.435,48
Påvirket ved 265 cm med bygning	2	41	103.064,29	3.435,48
Påvirket ved 265 cm uden bygning	1	5	51.532,15	1.717,74
Adgangsvej påvirket med bygning	1,5	65	77.298,22	2.576,61
Adgangsvej påvirket uden bygning	0,5	2	25.766,07	858,87
Kloakforsynings-selskab	8		412.257,16	13.741,91
Elselskab	8		412.257,16	13.741,91

Tabel 8-2 Priser per matrikel i Delområde Syd baseret på Forslag 1 om en differentieret bidragsfordeling. Af tabellen fremgår antal parter, antal matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 3.562,01 kr.

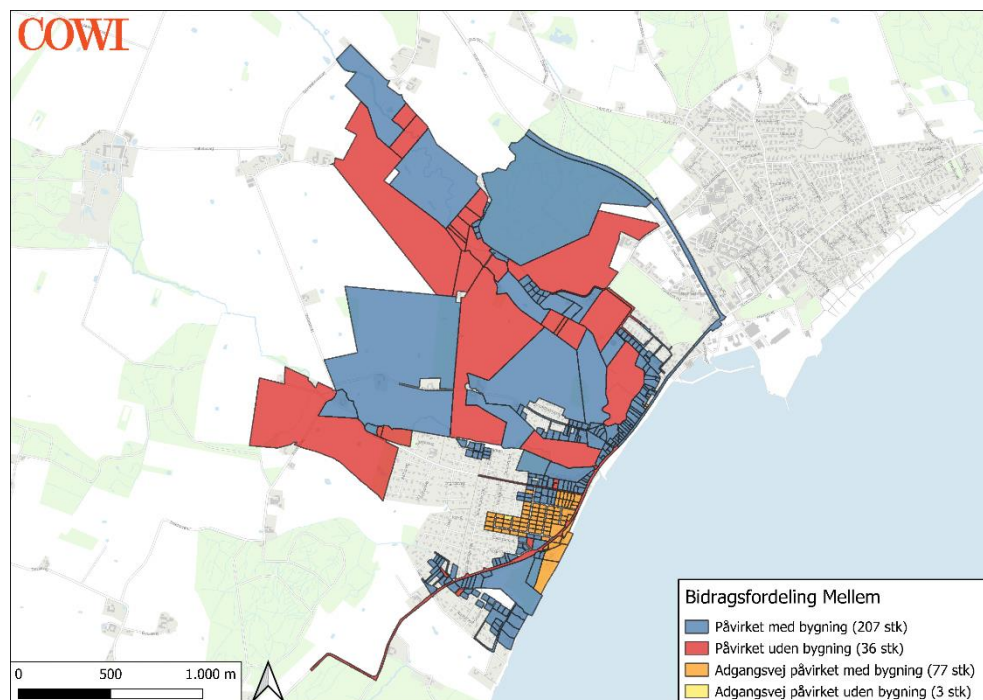
Forslag 1 Syd	Antal parter (stk.)	Antal matrikler indenfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket ved 185 cm med bygning	4	23	14.248,02	474,93
Påvirket ved 185 cm uden bygning	3	2	10.686,02	356,20
Påvirket ved 210 cm med bygning	3	2	10.686,02	356,20
Påvirket ved 210 cm uden bygning	2	2	7.124,01	237,47
Påvirket ved 265 cm med bygning	2	28	7.124,01	237,47
Påvirket ved 265 cm uden bygning	1	2	3.562,01	118,73
Adgangsvej påvirket med bygning	1,5	12	5.343,01	178,10
Adgangsvej påvirket uden bygning	0,5	1	1.781,00	59,37
Kloakforsynings-selskab	2,5		8.905,01	296,83
Elselskab	2,5		8.905,01	296,83

8.1.2 Forslag 2

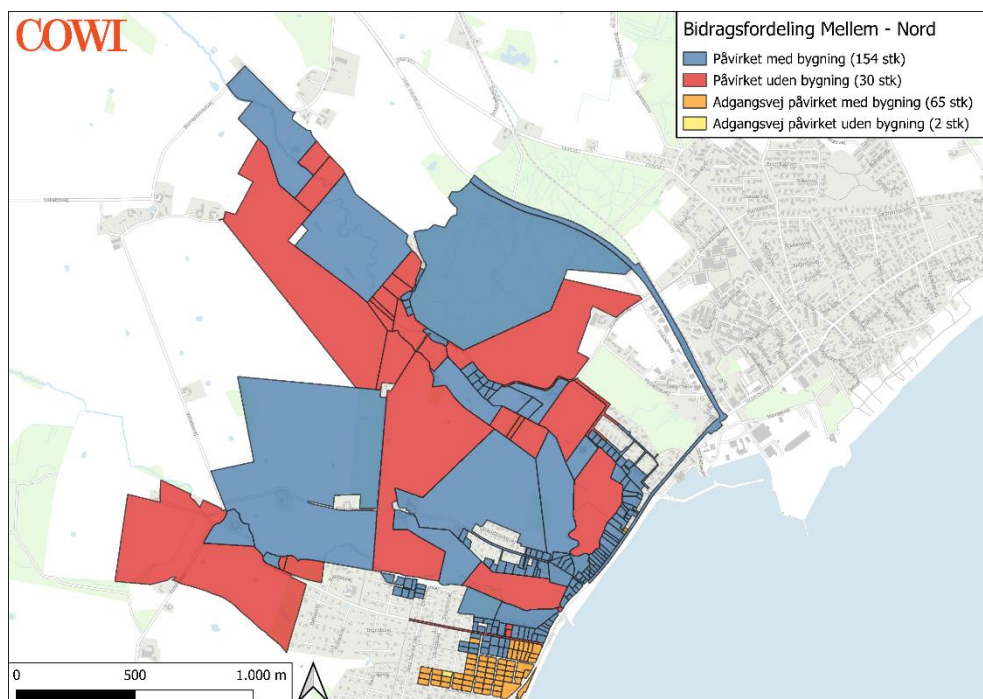
Forslag 2 er baseret på mindre differentiering end Forslag 1, men er ikke solidarisk fordelt i samme grad som Forslag 3. Det er baseret på, hvorvidt en matrikel er påvirket ved en 100-års hændelse om 100 år, og hvis ikke, om matriklens adgangsveje i så fald er påvirket. Derudover tages der også hensyn til, om der findes en bygning på matriklen eller ej. Dermed opdeles efter følgende kategorier:

- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel påvirket ved 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, uden bygning
- > Matrikel med påvirkede adgangsveje ved en havstigning som en 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, med bygning
- > Matrikel med påvirkede adgangsveje ved en havstigning som en 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90, uden bygning.

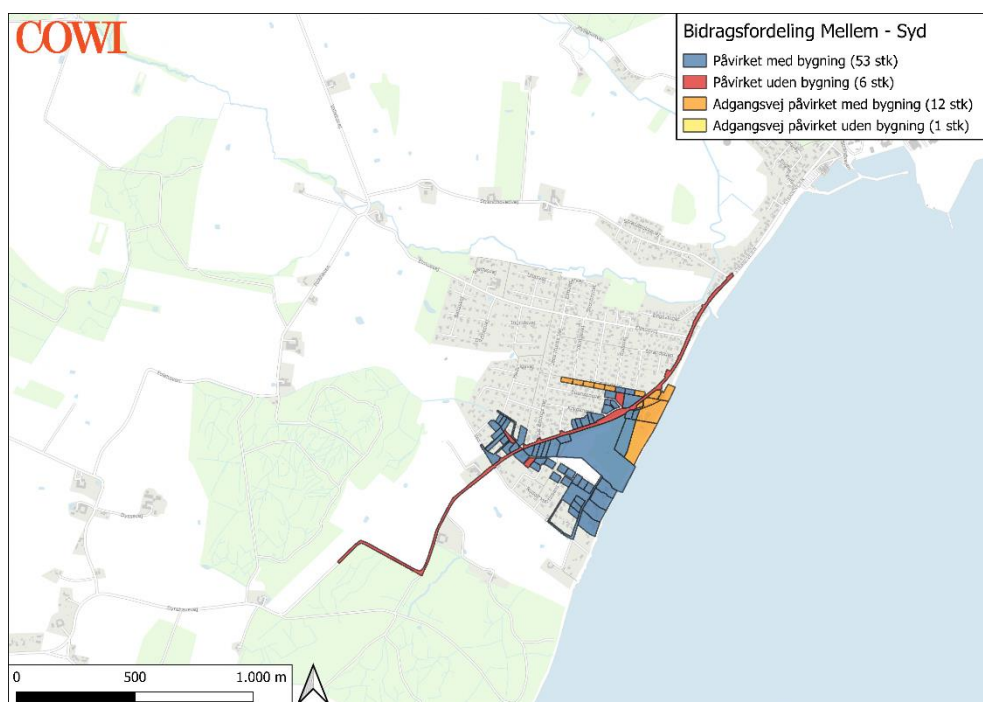
Derudover tildeles elselskab og kloakforsyningselskab igen 1 part per 30 matrikler. Matriklerne indenfor hver kategori kan ses illustreret i Figur 8-4. Den nordlige del af området kan ses i Figur 8-5 og den sydlige i Figur 8-6.



Figur 8-4 Bidragsfordeling forslag 2, hele området



Figur 8-5 Bidragsfordeling forslag 2, nordlige del



Figur 8-6 Bidragsfordeling forslag 2, sydlige del

En oversigt over priserne per matrikel kan ses for den nordlige og sydlige del af området i Tabel 8-3 og Tabel 8-4.

Tabel 8-3 Priser per matrikel i Delområde Nord baseret på Forslag 2 om en mellem differentieret bidragsfordeling. Af tabellen fremgår antal parter, antal

matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 81.483,43 kr.

Forslag 2 Nord	Antal par-ter (stk.)	Antal matrikler in-denfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket ved 265 cm med bygning	2	154	162.966,85	5.432,23
Påvirket ved 265 cm uden bygning	1	30	81.483,43	2.716,11
Adgangsvej på-virket med byg-ning	1,5	65	122.225,14	4.074,17
Adgangsvej på-virket uden byg-ning	0,5	2	40.741,71	1.358,06
Kloakforsynings-selskab	8		651.867,40	21.728,91
Elselskab	8		651.867,40	21.728,91

Tabel 8-4 *Priser per matrikel i Delområde Syd baseret på Forslag 2 om en mellem differentieret bidragsfordeling. Af tabellen fremgår antal parter, antal matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 4.981,55 kr.*

Forslag 2 Syd	Antal par-ter (stk.)	Antal matrikler in-denfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket ved 265 cm med bygning	2	53	9.963,10	332,10
Påvirket ved 265 cm uden bygning	1	6	4.981,55	166,05
Adgangsvej på-virket med byg-ning	1,5	12	7.472,32	249,08
Adgangsvej på-virket uden byg-ning	0,5	1	2.490,77	83,03
Kloakforsynings-selskab	2,5		12.453,87	415,13
Elselskab	2,5		12.453,87	415,13

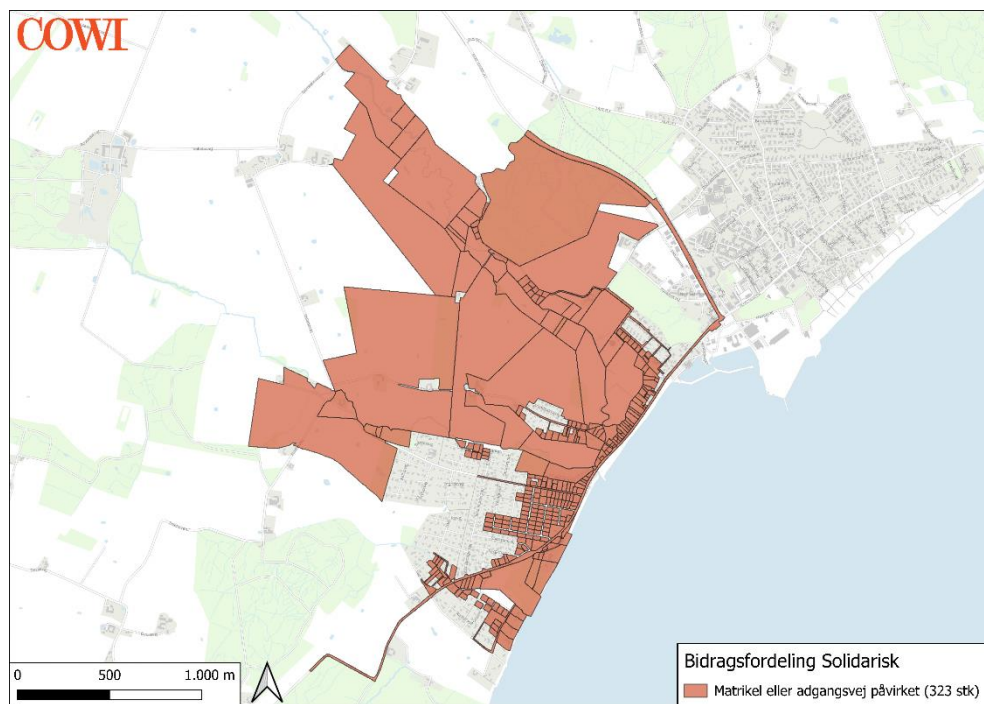
8.1.3 Forslag 3

Forslag 3 tager udgangspunkt i en helt solidarisk bidragsfordeling, hvor alle betaler det samme. Der er således kun to kategorier: Påvirket eller ikke påvirket. Den påvirkede kategori inkluderer også matrikler, hvis adgangsveje er påvirket, da de, som tidligere nævnt, vil opnå anden nytte af kystbeskyttelsen. Der tages ikke hensyn til, om der findes bygning på matriklen eller ej. Dermed fås kategorien:

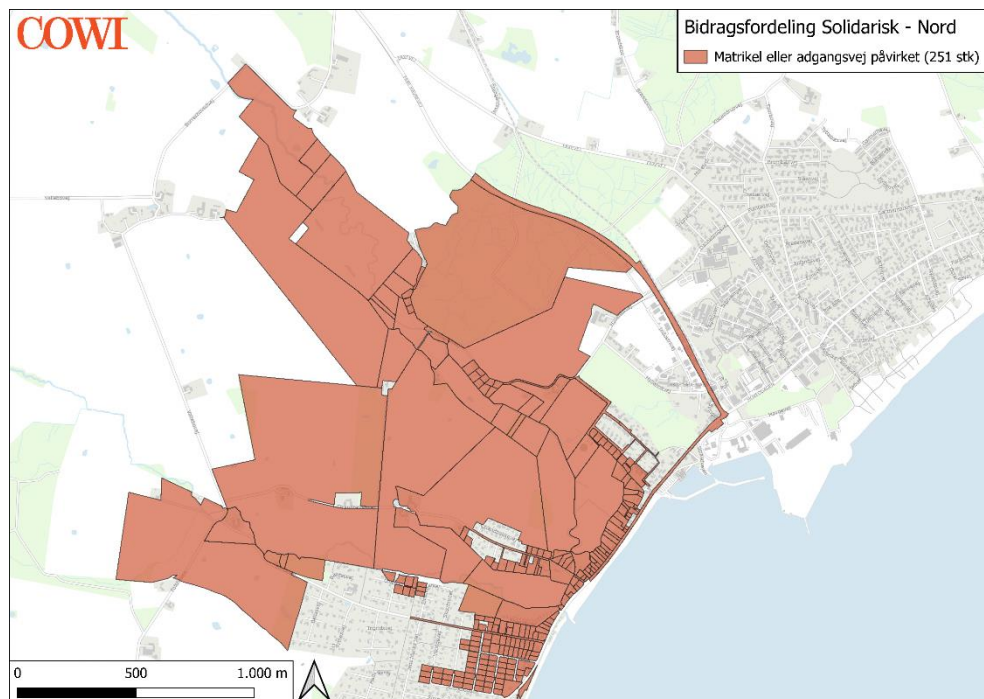
- > Matrikel eller adgangsvej påvirket ved 100-års hændelse om 100 år, 265 cm DVR90

Der tildeles igen parter til elselskab og forsyningsselskab på samme vis som i forslag 1 og 2.

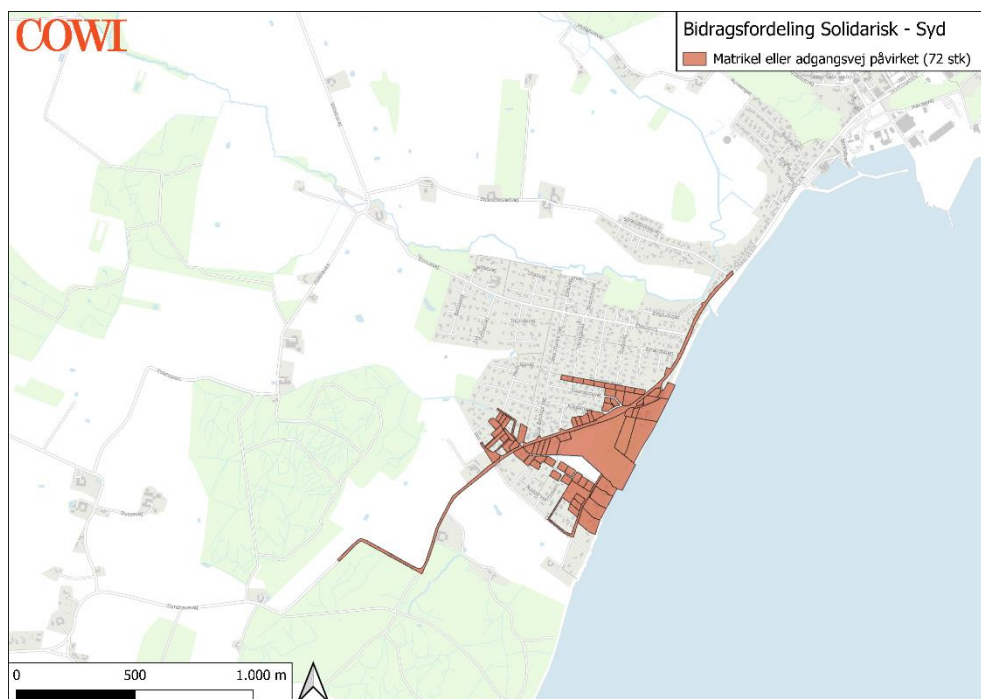
Matriklerne indenfor hver kategori kan ses illustreret i Figur 8-7. Den nordlige del af området kan ses i Figur 8-8 og den sydlige i Figur 8-9.



Figur 8-7 Bidragsfordeling forslag 3, hele området



Figur 8-8 Bidragsfordeling forslag 3, nordlige del



Figur 8-9 Bidragsfordeling forslag 3, sydlige del

En oversigt over priserne per matrikel kan ses for den nordlige og sydlige del af området i Tabel 8-5 og Tabel 8-6.

Tabel 8-5 Priser per matrikel i Delområde Nord baseret på Forslag 3 om en solidarisk bidragsfordeling. Af tabellen fremgår antal parter, antal matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 138.094,57 kr.

Forslag 3 Nord	Antal parter (stk.)	Antal matrikler indenfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket	1	251	138.094,57	4.603,15
Kloakforsynings-selskab	8		1.104.756,55	36.825,22
Elselskab	8		1.104.756,55	36.825,22

Tabel 8-6 Priser per matrikel i Delområde Syd baseret på Forslag 3 om en solidarisk bidragsfordeling ud fra løsning 1. Af tabellen fremgår den antal parter, antal matrikler inden for hver kategori, den samlede pris per matrikel samt den pris, der skal betales årligt over 30 år. Prisen for 1 part er 8.766,23 kr.

Forslag 3 Syd Løsning 1	Antal parter (stk.)	Antal matrikler indenfor kategori (stk.)	Samlet pris (kr.)	Pris per år i 30 år (kr.)
Påvirket	1	72	8.766,23	292,21
Kloakforsynings-selskab	2,5		21.915,58	730,52
Elselskab	2,5		21.915,58	730,52

9 Referencer

- Danmarks Miljøportal. (2024). *Arealinformation*. Hentet fra <https://danmarksarealinformation.miljoeportal.dk/>
- Danmarks Statistik. (2024). *Statistikbanken*. Hentet fra <https://www.statistikbanken.dk/BY1>
- DMI. (03. 10 2024). *Klimaatlas Data og Produkter*. Hentet fra <https://www.dmi.dk/klima-atlas/data-og-rapporter-klimaatlas>
- Jensen, O. J., & Kirkegaard, J. (2023). *Vedligehold og reparation af kystbeskyttelse ved Kaj Ørums vej, Faxe*.
- Kystdirektoratet. (2024). *Akut erosion*. Hentet fra <https://kyst.dk/klimatilpasning/kystdynamik/erosion/akut-erosion>
- Kystdirektoratet. (2024). *Højvandsstatistikker 2024*. Lemvig: Kystdirektoratet.
- Kystdirektoratet. (2024). *Kronisk erosion*. Hentet fra <https://kyst.dk/klimatilpasning/kystdynamik/erosion/kronisk-erosion>
- Kystdirektoratet. (2024). *Kystatlas*. Hentet fra <https://kyst.dk/klimatilpasning/vaerktoejer/kystatlas>
- Mangor, K. (2017). *Shore Management Guidelines*. Hørsholm, Denmark: DHI.