

Taarbæk kystsikring – Skitseprojekt

Dato:	2023-02-07
Rev. dato:	2023-04-10
Sag nr.:	21-0141
Udført/kontrol:	EKJ/H&K/DHI

Rekvirent:

Lyngby-Taarbæk Kommune

Kontaktperson: Bo Henrik Mogensen

tlf.

e-mail

Rådgiver:

EKJ Rådgivende Ingeniører AS

Blegdamsvej 58

2100 København Ø

Projektleder: Christina Lindskov

Projektmedarbejder: Finn Oemig

tlf. 33 11
14 14

e-mail info@ekj.dk

tlf.
51261783

e-mail cli@ekj.dk

tlf.
25208893

e-mail foe@ekj.dk



Indhold

FORORD	6
SAMMENFATNING	7
1 KONTEKST	15
2 FORMÅL	15
3 BAGGRUND OG FORUDSÆTNINGER	16
3.1 Samarbejde	16
3.2 Taarbæk i fremtiden	16
3.3 Område	16
3.3.1 Grundlag	16
	17
3.3.2 Tilstand på eksisterende kyststrækning	17
3.3.3 Murundersøgelse	19
3.3.4 Delområder	20
3.3.5 Drøftelser med havnen	20
3.3.6 Afgrænsning af område	20
3.4 Hydraulik og fysiske forhold	20

3.5	Virkemidler	21	4.4	Løsning 3	32
3.6	Dimensioneringsgrundlag	21	4.4.1	Mure, stensætning, afvanding og sand	32
3.7	Bølgetillæg	21	4.4.2	Porte/åbninger	33
3.8	Biodiversitet og naturforhold	22	4.4.3	Beredskab	34
3.9	Projektets afgrænsning	22	4.4.4	Virkning	34
3.10	Borgertopmøde	22	4.4.5	Økonomi	35
4	SKITSEFORSLAG	23	5	KYSTLAG OG OPLÆG TIL UDGIFTSFORDELING	36
4.1	Adaptive løsninger	24	6	MATERIALEKATALOG	37
4.2	Løsning 1	25	7	KONKLUSION	37
4.2.1	Mure, stensætning, afvanding og sand	25	<u>0-50 år</u>		38
4.2.2	Porte/åbninger	26	<u>50-100 år</u>		38
4.2.3	Beredskab	26			
4.2.4	Virkning	27			
4.2.5	Økonomi	27			
4.3	Løsning 2	28		REFERENCER	39
4.3.1	Mure, stensætning, afvanding og sand	28			
4.3.2	Porte/åbninger	30			
4.3.3	Beredskab	30			
4.3.4	Virkning	30			
4.3.5	Økonomi	31			
				Bilag	
				• Bilag 1: Gennemførte registreringer og tilstand af eksisterende mure	
				• Bilag 2: Økonomiske overslag over 3 løsninger i skitseprojekt	
				• Bilag 3: Forslag til bidragsfordeling	
				• Bilag 4: Skadesøkonomi	
				• Bilag 5: Gennemgang af hydrauliske forhold	
				• Bilag 6: Erosion og bidragsfordeling	

Forord

Klimaforandringer betyder at havvandsstanden stiger og kystområder - herunder Lyngby-Taarbæk kommunes kyststrækning fra Bellevue i syd til Strandmøllen i nord – vil derfor skulle sikres bedre for at bevare værdier og landskaber.

Lyngby-Taarbæk Kommune har over en snart 2-årig periode derfor gennemført en proces for at afdække, hvilke udfordringer kommende havvandsstigninger giver for kyststrækningen ved Taarbæk og for at udvikle løsninger som sikrer kysten og som imødekommer borgernes forventninger og ønsker til beskyttelse af værdier - ejendomme, installationer og fællesarealer - og som sikrer landskabet for de kommende generationer.

Projektet er budgetsat i Lyngby-Taarbæk Kommune i 2022 og derudover har projektet modtaget en bevilling fra partnerskabet mellem Realdania og Miljøministeriet ifm. Kampagnen "Byerne og det stigende havvand".

Processen er sket i tæt dialog med borgerne i Taarbæk By via bl.a. orienteringsmøder, scenarietværksteder, borgermøder og specifikke møder for bl.a. Havnens og Jollehavnens interessenter. Teknologirådet har støttet kommunen undervejs i processen, mens et teknisk rådgiversteam bestående af Hasløv & Kjærsgaard, DHI og EKJ rådgivende ingeniører A/S har udviklet de tekniske løsninger. De tekniske løsninger har været forelagt ved borgermøderne og har undervejs gennemgået tilpasninger for bedst muligt at afveje borgernes ønsker og individuelle krav op mod de nødvendige tekniske løsninger, som er en forudsætning for, at kysten er robust nok til at beskytte Taarbæk mod kommende stormfloder.

Mange forskellige løsninger og hensyn har været i spil, heriblandt hensyn til økonomi, merværdi, skadesøkonomi, teknisk robusthed, landskabelighed, tilgængelighed for den enkelte grundejer, tilgængelighed for offentligheden, innovation, biodiversitet, mm. Det samlede forløb har nu mundet ud i 3 forskellige tekniske helhedsløsninger - skitseprojekter, som hver har sine kvaliteter, fordele og ulemper. Uanset hvilken løsning, der vælges, vil den kunne sikre Taarbæk i forhold til kommende klimaforandringer med havvandsstigninger og øgede bølgehøjder.

De udarbejdede forslag er ikke kun tekniske løsninger på udfordringerne men også mulige værdiforøgelses for rekreation, biodiversitet, natur m.m. Der er blevet lagt stor vægt på helhedsløsninger, hvor beskyttelsen bygger videre på Taarbæks unikke kvaliteter – de mange og levende kulturmiljøer, arkitektur, rekreative muligheder og adgangsmuligheder til kysten.

De 3 skitseprojekter er beskrevet i det samlede materiale som består af 2 hoveddokumenter - nærværende beskrivelse af delelementerne i skitseprojekterne og en detaljeret tegningsmappe som med tværsnit, længdesnit, visualiseringer, mm. illustrerer de tekniske løsninger og i kort form opsummerer løsningerne. Der er i bilag 5 vedlagt et teknisk notat om de kysttekniske forudsætninger for projektet.

Sammenfatning

Stigende havvandsstand, flere storme og højere bølger betyder at de danske kyster er truede. Dette gælder også for Lyngby-Taarbæk Kommunes kyststrækning, og kommunen har vurderet, at den nuværende kystsikring ikke er tilstrækkelig.

Den forventede havvandsstigning indenfor en 50-årig periode vil være på omkring 0,5 meter, og der er således en overhængende risiko for at der vil kunne ske skader på ejendomme og havneanlæg langs kysten. I en rapport udarbejdet af COWI, 2019 for Regnvandsforum, er det vurderet at skadesomkostningerne for Taarbæk vil være 137 millioner kr. (2017-priser) over de kommende 100 år, såfremt der ikke sker en yderligere beskyttelse af kysten.

Lyngby-Taarbæk Kommune har derfor iværksat en proces med udarbejdelse af sikring af Taarbæk-kysten både for private ejendomme og for de kommunale arealer. Løsningerne afbalanceres og optimeres på en sådan måde, at der tages de videst mulige hensyn til interessenter og grundejere.

Processen har omfattet en borgerinddragelse med en lang række aktiviteter, herunder borgerhøringer, scenarieværksteder, interessentmøder, borgerpostkasse mm., hvor alle interessegrupper og Taarbæk-borgere er blevet inviteret til at deltage i drøftelser om udformningen og processen for kystsikring.

Processen er gennemført i samarbejde med Teknologirådet og et teknisk rådgiverteam med Hasløv & Kjærsgaard, DHI og EKJ rådgivende ingeniører samt en juridisk rådgiver Horten. Projektet er finansieret af Lyngby-Taarbæk Kommune med tilskud fra Realdania.

Resultatet af det samlede forløb udgøres af nærværende skitseprojekt, som omfatter 3 tekniske løsninger, som alle vil være en mulighed til løsning af det overordnede formål med at sikre kysten ved Taarbæk, så den er robust nok til at klare de klimatiske udfordringer i de næste 50 år. De tekniske løsninger er illustreret i "Skitseprojekt, tegningshæfte" vedlagt nærværende skitseprojekt.

Projektområdet

Det aktuelle område udgøres af kystlinjen ud for Taarbæk By, som strækker sig fra Bellevue i syd til Strandvejen nr. 668 i nord. Naturstyrelsens kystarealer ud for Dyrehaven og frem til Strandmøllen og Mølleåens udløb i Øresund indgår ikke i projektet.

Den nuværende kystsikring består for størstedelen af strækningen af kystmure af beton samt glaciale sten, der er placeret foran de enkelte grunde. De eksisterende mure varierer mellem 1,4 og 2,8 meters højde over normal vandstand. Enkelte steder ved Bombegrunden, Jollehavnen og ved Taarbæk Havn findes offentlig tilgængelige områder. Ved Bombegrunden findes et lille stykke med sandstrand foran den eksisterende mur.

Taarbæk Havn er sikret med en nordlig og en sydlig mole, der ud mod Øresund er sikret med sten og værn mod havet.

I forbindelse med skitseprojekteringen er strækningen overordnet blevet opdelt i 3 delområder

- Område 1: Kysten syd for Taarbæk Havn
- Område 2: Havnen og Jollehavnen/Rosenhaven
- Område 3: Kysten nord for havnen

I skitseprojektet behandles hver delstrækning separat efter de karakteristika og ønsker, der har været til den pågældende delstrækning.

Skitseløsninger

Nærværende skitseprojekt er udarbejdet på basis af:

- Sikring af Taarbæk ved en 100 års hændelse om 50 år med både vandstandsstigning og bølgetillæg
- teknisk viden om kystsikring, havne og kystlandskab
- eksisterende viden om Taarbæk-kysten,
- ønsker fremsat under borgerprocessen og interessentmøder
- supplerende undersøgelser af bl.a. havdybder og højder af eksisterende mure langs kysten, samt af
- nye modelleringer af havstrømme og vurderinger af sedimenttransport.

Dette har resulteret i 3 forskellige forslag til klimasikring kaldet skitseforslag 1, 2 og 3.

Overordnet er skitseforslag 1 en "nulløsning", hvor der alene sikres mod havvandsstigninger ved at forstærke og forhøje eksisterede mure og stensætninger langs kysten. Skitseforslag 2 er en løsning, hvor der etableres en forstærket stejlstenssætning og nye mure etableres. I skitseforslag 3 arbejdes der med forskellige strategier på de forskellige kyststrækninger med et mere naturligt kystlandskab, lavere mure og med både stejle og brede stensætninger.

Både ved løsning 2 og løsning 3 opereres med et lille havneanlæg ved Jollehavnen, og en tilpasning med sand ved Bombegrunden, mens der ved løsning 3 opereres med en ny udformning af den nordre mole i Taarbæk Havn og etablering af en højvandslukke.

Skitseprojektet og processen herefter

Den vurderede risiko for oversvømmelser udført i nærværende projekt – jf. det stigende havniveau i kombination med kritiske stormfloder - peger på følgende:

- Det er en fordel at begynde processen omkring løsningsudvælgelse og igangsætte de dertil hørende processer, herunder finansiering, detaildesign og plan for implementering
- Processerne der skal til for at lede hen mod implementering af løsninger, der skal beskytte området fra nu og hen mod forholdene om 50 år, kan med fordel igangsættes nu

Der kan med fordel arbejdes med en vis form for faseinddeling af udførelse og forløbet. Her kan man opstille en række koordinerede delprojekter og deadlines for udførelse – f.eks. udført som følger:

- 1) Planlægning af miljøvurdering, finansiering og afklaring af diverse lovkrav
- 2) Etablering af kystlag og aftaler om koordinering med kommune og internt mellem borgere i byen – herunder plan for beredskab
- 3) Plan for udførelse af kote-tilpasning af eksisterende / opbygning af nye stormflodsmure – herunder dato for hvornår disse senest skal være udført
- 4) Plan for endelig design og implementering af tiltag langs kysten – herunder dato for hvornår disse skal være udført
- 5) Plan for etablering af lokale varianter – f.eks. stenbestrøning, høfder, løsninger på havnen, udbygning af Jollehavnen, samt yderligere bearbejdning af stensætninger.
- 6) Plan for monitoring og løbende vurdering af fremtidige behov for yderligere tilpasning

Samlet set udgøres de 3 skitseforslag overordnet af følgende løsninger:

	Bellevue til Bombegrunden	Bombegrunden	Bombegrunden til havnen inkl. grunde ved Nordlyvej	Jollehavnen	Havnen	Nord for havnen
Skitseforslag 1	Forhøjelse og forstærkning af mur. Ca. 8,1 mio. kr.	Forhøjelse og forstærkning af eksisterende mur, samt gennemskydning. Ca. 1,8 mio. kr.	Forhøjelse og forstærkning af mur. Ca. 16 mio. kr.	Forhøjelse og udbygning af eksisterende mur. Ca. 2,8 mio. kr.	Udbygning af eksisterende mur som følger nuværende murforløb. Ca. 7,8 mio. kr.	Forhøjelse og forstærkning af mur. Ca. 24,1 mio. kr.
Skitseforslag 2	Ny forhøjet mur samt stejl stensætning Ca. 10,9 mio. kr.	Naturligt kystlandskab. Ca. 3,4 mio. kr.	Ny forhøjet mur samt bred stensætning. Ca. 27,2 mio. kr.	Lille havneanlæg og en mindre udbygning af landarealet Ca. 14,9 mio. kr.	Ny linieføring af mur langs havnekajen. Ca. 48,4 mio. kr.	Ny forhøjet mur samt stejl stensætning. Ca. 35,9 mio. kr.
Skitseforslag 3	Ny forhøjet mur samt stejl stensætning Ca. 10,9 mio. kr.	Naturligt klitlandskab. Ca. 2,2 mio. kr.	Naturligt klitlandskab med sandstrand Ca. 14,4 mio. kr.	Lille havneanlæg og en mindre udbygning af landarealet Ca. 15,5 mio. kr.	Ny nordre mole og beskyttelse af havn med højvandslukke. Ca. 41,5 mio. kr.	Ny forhøjet mur samt stejl stensætning. Ca. 36,4 mio. kr.

Anlægsoverslag og fordele og ulemper ved de 3 skitseforslag

Baseret på nuværende priser for materialer og entreprenørarbejder er vurderes de 3 skitseforslag at beløbe sig til:

- Skitseforslag 1: 60,8 mio. kr., ex. moms
- Skitseforslag 2: 140,6 mio. kr., ex. moms
- Skitseforslag 3: 120,9 mio. kr., ex. moms

I anlægsoverslag er medtaget en uforudset omkostning på 20%. Dette niveau er valgt i lyset af, at anlægsprojektet er forholdsvis simpelt med indbygning af primært sand- og stensætninger og da priser er indhentet i år 2022, så er udgangspunktet for priserne relativt højt sammenlignet med bare 2021. Anstilling/byggeplads er lidt højere end normalt (10%), da problematikken omkring adgangsforhold vil kræve noget platform i vandet. Rådgivning er beregnet som 15% af anlægsomkostningen.

Udover den angivne anlægsøkonomi vil der være en driftsøkonomi som antages at udgøre:

- Skitseforslag 1: De første 5 år ingen drift og derefter 10 % af anlægsomkostninger, 6 mio. kr./år.
- Skitseforslag 2: De første 5 år ingen drift og derefter 2,5 % af anlægsomkostninger, 3,5 mio. kr./år.
- Skitseforslag 3: De første 5 år ingen drift og derefter 5 % af anlægsomkostninger, 6 mio. Kr./år

De enkelte forslag har hver deres tekniske fordele og ulemper:

	Fordele	Ulemper
Skitseforslag 1	<ul style="list-style-type: none"> • Billigste løsning (på kort sigt) • Løsningen med en mur bevares på hele strækningen • Offentlig adgang ved Bombegrund, Jollehavn og havn bevares. • Offentlig adgang vil være stort set som i dag 	<ul style="list-style-type: none"> • Vurderes som mindre robust pga. genbrug af eksisterende mure med en ringere stabilitet • Løsning vil få et ensformigt og teknisk præg • Muren vil skulle gøres en del højere end i dag • Udsigten fra de enkelte ejendomme nedsættes • En beredskabs- og driftsplan for lukning med skot vil skulle organiseres • Traditionelle løsninger uden innovation • Der skabes ikke bedre forhold på Bombegrund, Jollehavn og havn for brugerne • Løsningen understøtter ikke udvikling af biodiversitet • Mindre velegnet til senere forhøjelse
Skitseforslag 2	<ul style="list-style-type: none"> • Der gennemføres en samlet fornyelse af alle mure og stensætninger • Der skabes et lille havneanlæg ved Jollehavnen med bedre forhold og faciliteter for brugerne • Murenes nødvendige højde er lavere på grund af sikring mod bølgeoverslag ved etablering af skråninger m.m. • Ejendommenes værdi mellem Bombegrunden og havnen vurderes ikke at blive påvirket negativt • Offentlig adgang vil være som dag • Med en stensætning som varierer og med skabelse af en bredere sandstrand ved Bombegrunden fås et mindre teknisk præget anlæg 	<ul style="list-style-type: none"> • Den dyreste anlægsmæssige løsning, men samtidig den løsning som relativt vurderes billigst på driftssiden. • Adgangsforholdene i havneområdet vil blive besværliggjort pga. ny sikringsmur • Kendskab til eksisterende bygværker i havnen gør løsningen noget usikker i økonomi

	<ul style="list-style-type: none"> • Lille forbedring i forhold til biodiversitet ved Jollehavnen og med sandstrand og strandvegetation ved Bombegrunden • Kan udbygges/forhøjes senere 	
Skitseforslag 3	<ul style="list-style-type: none"> • Der gennemføres en samlet fornyelse af alle mure og stensætninger nord for havnen og syd for Bombegrunden • Mellem havnen og Bombegrunden bevares eksisterende mure som et rekreativt element ud mod det nye klitdige, da sikring sker ved etablering af dige og strand • Samlet set skabes en mere naturlig og æstetisk kyststrækning med et fladere profil og mindre teknisk udtryk for området mellem havnen og Bombegrunden • Offentlig adgang til kyststrækningen forbedres • Der skabes et lille havneanlæg ved Jollehavnen med bedre forhold for brugerne • God understøttelse af biodiversitet på det naturlige kystprofil og på stensætninger • Der er tale om en radikal ændring af havneområdet, men havnen vil få en meget robust kystsikring og vil få forbedrede manøvreforhold i selve havneområdet • Løsning for kyststrækning syd for havnen og for selve Taarbæk havn med en stormflodspor må anses som innovative • Løsningen er på strækningen mellem havnen og Bombegrunden adaptiv, da den kan forhøjes efter behov • Naturlige klitlandskab vil med de lavere mure (afhængig af vegetationstæthed) give bedre udsigt 	<ul style="list-style-type: none"> • Relativ dyr løsning • Der vil være driftsudgifter til sandfodring • Løsningen kan udfordre i forhold til øget offentlig adgang til kysten

Beredskabsplaner

Da der flere steder på strækningen vil behov for opsætning af skot i mur-åbninger, vil der skulle udarbejdes beredskabsplaner for hele strækningen, således at der er klare aftaler om, hvad der sker i højvandssituationer. Der kan inden for områder, der risikerer at blive oversvømmet være vitale funktioner som skal beskyttes – f.eks. pumpeanordninger i havneområder og vitale elinstallationer mm.

Der vil skulle være en klar plan for lukning/åbning af skot/åbninger samt områder med forsænkninger i murforløbet

- På havneområder
- Ved Jollehavnen
- Ved Bombegrunden
- For enden af de små slippers/stiadgange mellem Bombegrunden og Taarbæk Havn
- Ved udgange til badebroer/ nedgange til bådrammer/ strand

Kystlag og udgiftsfordeling

Det er en forudsætning for projektet, at der nedsættes et Kystbeskyttelseslag. Laget behøver nødvendigvis ikke at omfatte alle delstrækninger. Kystbeskyttelseslaget står for etablering, vedligeholdelse og daglig drift af kystsikringsforanstaltningerne.

I forbindelse med skitseprojektet har Horten i samarbejde med det tekniske rådgiversteam udarbejdet et forslag til udgiftsfordeling blandt de grundejere som beskyttes af kystsikring eller på anden måde drager fordel af kystbeskyttelsen.

Den præcise plan for hvordan udgiften fordeles er p.t. under udvikling og udgifter forbundet med erosion er vedlagt i bilag 6. Der vil skulle tages hensyn til mange forhold herunder kystbeskyttelsen længde samt oversvømmelsesrisici, adgang til kysten mm. for de enkelte delstrækninger. Modellen for kystlag og udgiftsfordeling vi først blive afklaret primo 2023, men det peger mod en løsning, hvor der udgiftsfordeling og kystlag-dannelse sker ud fra den enkelte delstrækningens karakteristika. Der vedlægges som bilag 3 rådgivers oprindelige forslag til bidragsfordeling og vurderinger i forhold til efterfølgende drøftelse af oplægget.

1 Kontekst

Ifølge Lyngby-Taarbæks "udbud af skitseprojekt for kystsikring i Taarbæk" har de seneste års stormfloder i Danmark øget mediebevågenheden og interessen for at sikre landets kyster imod erosion og oversvømmelse. Lyngby-Taarbæk Kommune (fremadrettet refereret til som LTK) har udfordringer med både erosion og oversvømmelse. Udfordringerne er især opstået i forbindelse med høj bølgeaktivitet og med samtidig stormflod.

LTK har i samarbejde med Hovedstadsområdet Regnvandsforum fået udarbejdet to rapporter fra COWI i 2018-19. Rapporterne belyser de samfundsøkonomiske konsekvenser og konkrete tiltag, der kan minimere konsekvenserne og omkostningerne ved stormflod og havvandstigninger i Taarbæk (COWI, 2018), (COWI, 2019).

Ifølge rapporterne vil fremtidens stormflodsudbredelser særligt påvirke strækningen fra Taarbæk Havn til Bellevue. Rapporterne konkluderer, at den nuværende kystsikring i Taarbæk ikke er holdbar ift. fremtidens stormfloder, der forventes at forekomme hyppigere. En oversvømmelse af Taarbæk vil betyde oversvømmelse af private grunde og kommunale arealer, hvilket vil være forbundet med store økonomiske tab samt potentielt tab af vigtig bygningsarv.

I COWI-rapporterne vurderes den samlede skadesomkostning ved stormflod og havvandstigninger i Taarbæk til at være 137 mio. kr. over de kommende 100 år, hvis der ikke sker en yderligere beskyttelse af kyststrækningen. Rapporterne konkluderer, at etablering af kystsikring i Taarbæk er omkostningseffektivt, og at der er en samfundsøkonomisk positiv businesscase ved at igangsætte arbejdet.

Skitseprojektet udarbejdes for byområdet Taarbæk. Kystprocesserne langs hele LTKs kyststrækning samt i nærliggende kommuner inddrages i de analyser, hvor det giver mening f.eks. ift. sedimenttransport og strømforhold.

Den nuværende kystsikring, der består af lokale og ikke sammenhængende løsninger, er sårbar overfor erosion, og er ikke holdbar ift. fremtidens stormfloder, der forventes at forekomme hyppigere. Det er LTKs vurdering, at der er en bred interesse blandt borgerne i Taarbæk for at undersøge en samlet løsning for sikringen af Taarbæks kyststrækning. Denne interesse er bl.a. blevet udtrykt inden opstart af dette projekt til lokale borgermøder og løbende af Taarbæk Borgerforening. Der er afholdt to borgermøder vedr. kystsikring af Taarbæk i december 2019 og september 2022 (kommune, Lyngby-Taarbæk, u.d.).

2 Formål

Formålet med skitseprojektet er at udvikle en langsigtet helhedsløsning for kystsikringen i Taarbæk igennem innovative og bæredygtige løsninger, der kan nedbringe risikoen for erosion og oversvømmelse, og fremtidssikre Taarbæk som en attraktiv by. Skitseprojektet skal udarbejdes med fokus på at omsætte interessenternes ønsker og behov til konkrete løsninger (kommune, Lyngby-Taarbæk, u.d.).

Dette skitseprojekt indeholder 3 løsningsforslag til forebyggelse og beskyttelse mod både erosion og oversvømmelse. Løsning 1 vil være en minimumsløsning hvor de nuværende tiltag blot vil blive opgraderet, mens løsning 2 og 3 er forslag til mere samlede løsninger, der vil indebære større tiltag.

3 Baggrund og forudsætninger

3.1 Samarbejde

EKJ har i forbindelse med en rammeaftale med LTK opnået aftale om skitseprojektering af 3 løsninger til klimasikring af Taarbæk med tilhørende brugerproces. Der har været et tæt samarbejde med LTK og Teknologirådet, herunder afholdelse af to scenarieværksteder den 30. april og 22. maj 2022, hvor der blev diskuteret løsninger med repræsentanter for Taarbæk og fra de interessenter/foreninger, som er i området. På Borgertopmødet den 4. september 2022 blev de udarbejdede forslag på baggrund af scenarieværkstederne præsenteret og kommenteret, og på baggrund af denne proces er der valgt de tre løsningsforslag, som præsenteres i dette skitseprojekt.

I processen med borgere og brugere er fravalgt enkelte klassiske løsninger som en fremskudt kystlinje og etablering af sammenhængende rev, mens der enkelte steder er arbejdet videre med sandstrande og murforhøjelser. Der ligger således en brugerproces bag til- og fravalg og ikke kun tekniske argumenter.

3.2 Taarbæk i fremtiden

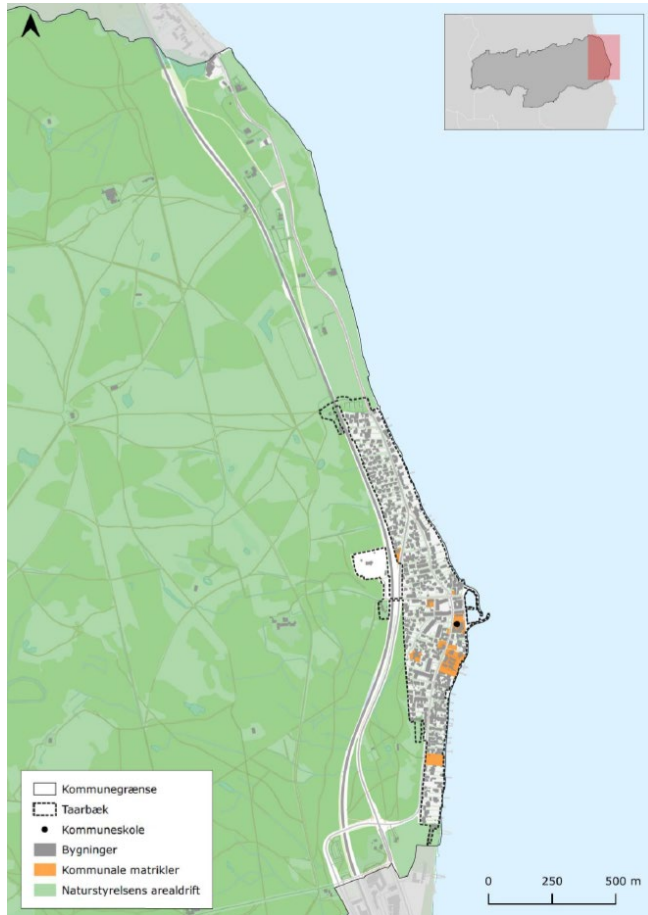
Taarbæk skal fremtidssikres som en attraktiv by med muligheder for udfoldelse af aktiviteter for de lokale uden, at der opstår et miljø, som tiltrækker mange mennesker udefra da pladsen i forvejen er trang. Samtidig skal de attraktive boliger og bygninger langs kysten gerne beskyttes i en grad, så de kulturelle værdier bevares bedst muligt.

3.3 Område

3.3.1 Grundlag

Lyngby-Taarbæk Kommunes kyststrækning har en længde på ca. 3500 m med byområdet Taarbæk mod syd, og arealer der ejes af Naturstyrelsen mod nord. Skitseprojektet er lavet for byområdet Taarbæk vist på billedet herunder, men hele LTKs kyststrækning samt strækning i nærliggende kommuner inddrages i de analyser, hvor det giver mening (kommune, Lyngby-Taarbæk, u.d.).

Ifølge COWI-rapporterne forventes risikoen for oversvømmelse at være størst langs en strækning på 200 m i den nordligste del af kommunen, samt en strækning på 1200 m fra Taarbæk Havn og til den sydligste del af kommunen se figur 2 herunder (COWI, 2018), (COWI, 2019). I notat fra 2021 gennemgås de mulige løsninger til stormflodsberedskab i Taarbæk (COWI, 2021). Risikoen for erosion langs kommunens kyststrækning er ikke blevet undersøgt tidligere. Erosion er allerede begrænset af eksisterende mure og er derfor ikke håndteret yderligere i skitseprojektet udover i bilag 6, hvor det er beskrevet, at en naturlig erosion af kysten vil være 10-15 cm om året, såfremt der ikke eksisterer sikring.



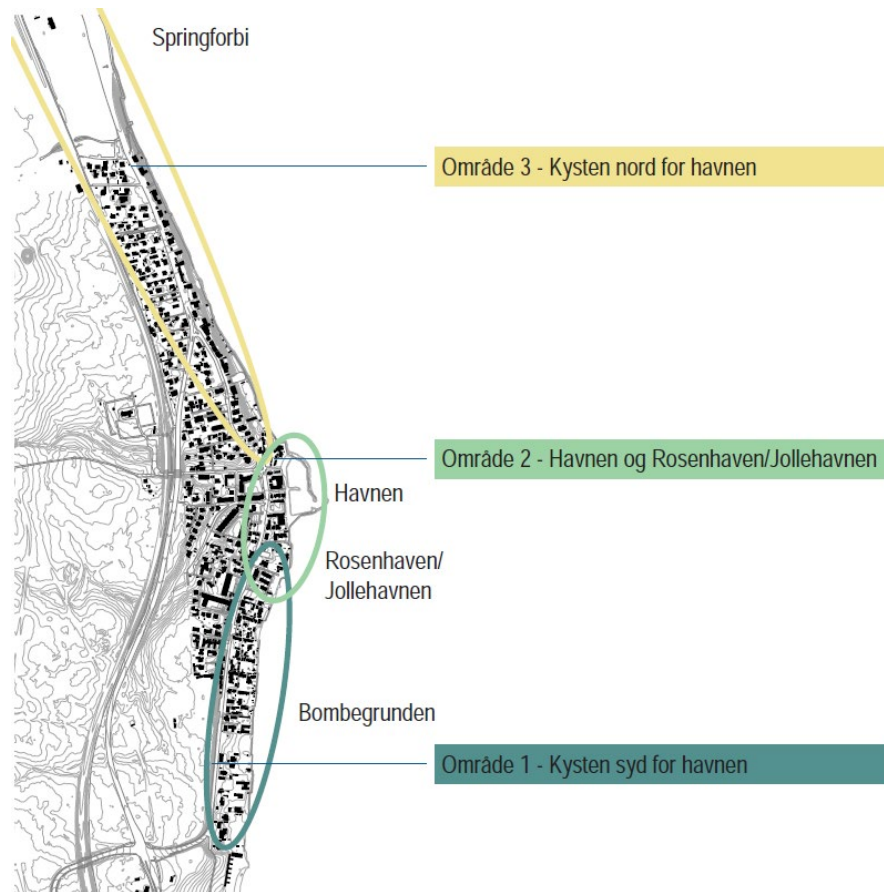
Figur 1: Kort over Taarbæk med markeringer og afgrænsninger

3.3.2 Tilstand på eksisterende kyststrækning

Den eksisterende kyststrækning er i dag præget af enkeltprojekter, hvor den enkelte grundejer selv har etableret en mur og vurderet den højde, som de har oplevet er nødvendig. Der er ingen sammenhængende kystsikring og det er i høj grad muligt, at enkelte grundejere ikke kun får vand ind fra havet, men at der også kommer vand bagom fra naboen, da sikringshøjderne er så forskellige. Desuden er der mange nedgange til kysten, der ikke kan sikres med skot i tilfælde af forøget vandstand.



Figur 2: Kort over oversvømmede arealer ved stormflod fra nord i Lyngby-Taarbæk Kommune. Koterne på kortet referer til referencevandstanden ved Nordre Toldbod. Med sorte pile er angivet de primære veje, vandet kommer ind. Vandet breder sig direkte ind over land fra havsiden og der er ingen særlige strømninger bagom diger eller forhøjninger.



Figur 3: Opdeling af områder langs Taarbæk kyst

3.3.3 Murundersøgelse

Den 28-10-2022 blev der arrangeret en besigtigelse fra vandet langs Taarbæk kyst for at vurdere tilstanden af eksisterende mure samt deres topkote på den relevante kyststrækning. Det var på turen muligt at sejle ind til forskellige grunde og måle den nuværende kote på mure og stensætninger, hvis en sådan var til stede. Der var inden turen blevet sendt brev ud til alle grundejere om hensigten og om det var i orden at gøre brug af deres bade/bådebroer. Kun grunde hvor ejeren havde svaret ja blev besøgt. Dog kunne alle grunde ikke besøges da nogle bade/bådebroer var blevet taget ind for vinteren. Koterne for mure og stensætninger blev målt med en differential-gps og billeder blev taget af muren undervejs for senere at kunne vurdere tilstandene.

Koterne kan ses i "bilag 1- Tilstand af mure".

Udover registreringerne foretaget under besigtigelsen af murene, er der blevet lavet yderligere registreringer af mur koterne og skitser af snittene af murene langs kysten. Disse kan findes i "Skitseprojekt tegningshæfte".

3.3.4 Delområder

Det er konstateret, at der ikke er de samme fysiske forudsætninger for kystsikring på strækningen fra Bellevue i syd til villakvarteret mod nord. Af den grund, er kyststrækningen opdelt i flere områder – Syd for Havnen, Havnen, Nord for Havnen samt Bombegrunden og Rosenhaven/ Jollehavnen, hvor særlige forhold og aktiviteter gør sig gældende, og der vil være specifikke løsninger til disse (Lyngby-Taarbæk kommune, 2022).

Områderne kan ses på figur 3.

3.3.5 Drøftelser med havnen

Ud over den dialog der har været med Taarbæks mange interessenter på Scenarieværksted og Borgertopmøde, har der været en efterfølgende dialog med havnebestyrelsen for Taarbæk Havn og Taarbæk Sejlklub (som forvalter området ved Jollehavnen). Denne dialog har fokuseret på, hvordan de to havneanlæg kan indgå i arbejdet med sikringen af Taarbæk, så de to anlægs mange og forskellige rekreative anvendelser understøttes. Dialogen har også været brugt til at få tydeliggjort ønsker til, hvordan de to havnes maritime aktiviteter kan understøttes, renoveringsbehov, ønsker til vanddybder og muligheden for en genetablering af permanente vanddybder for igen at kunne besejle Jollehavnen med sejlførende joller.

I skitseforslag 1 sker der ingen væsentlige ændringer og begge havne ligger uden for sikringslinjens mure og evt. stensætninger. I forslag 2 og 3 inddrages begge havne i sikringen.

3.3.6 Afgrænsning af område

Springforbi, der kan ses på figur 3, ejes af Naturstyrelsen og der blev ved Borgertopmødet stemt om, hvor vidt dette område skulle inkluderes i løsningsforslaget. Det var der stor tilslutning til på Borgertopmødet. Naturstyrelsen har allerede planer om øgede rekreative muligheder for området. Strækningen er ikke behandlet i de 3 skitseforslag.

3.4 Hydraulik og fysiske forhold

Stormfloder forekommer typisk ved Taarbæk i vinterhalvåret med højvander fra nord, hvor kraftige lavtryk over Danmark presser vandet i Kattegat mod den svenske kyst, og hvor de opbyggede vandmasser efterfølgende bevæger sig sydpå igennem Øresund - forbi Taarbæk.

Samtidig er det gennemsnitlige havniveau ved Taarbæk gradvist stigende (som det observeres at være tilfældet globalt), hvilket gør, at de nævnte stormfloder i fremtiden vil passere området ved et højere og højere niveau. Dette skaber en betragtelig øgning af oversvømmelsesrisikoen ved Taarbæks kyst over de kommende årtier.

Stormfloder vil som regel være sammenfaldende med bølger, som vinden generer i Øresund. Disse bølger vil skabe et ekstra pres mod kysten og udgør en yderligere udfordring i forhold til at dimensionere og designe oversvømmelsessikrende tiltag (stormflodsmure, mv.).

Stormfloder i Østersøen/Køge Bugt alene skaber ikke højvande i Øresund men sammenfaldende hændelser kan medføre øget pres.

3.5 Virkemidler

Som udgangspunkt for oversvømmelsesbeskyttelsen er følgende virkemidler inddraget:

1. Opbygning af en langs kysten sammenhængende stormflodsbarriere i overvejende grad bestående af mure med fornuftig placering, tilstrækkelig topkote og styrke overfor bølgepåvirkninger
2. Eventuel bearbejdning af kystprofilet for at dæmpe bølger, med henblik på at reducere bølgepres på stormflodsmurene

3.6 Dimensioneringsgrundlag

Fremskrivninger af havniveaustigninger til fremtidige niveauer er usikre og afhængig af graden af reduktion af den globale udledning af drivhusgasser til atmosfæren de næste dekader. Dog peger alle fremskrivninger på – selv de mest ”optimistiske” – at havet under alle omstændigheder på et tidspunkt vil nå op på et niveau, der er ca. 50 cm højere end i dag. Hvornår dette niveau indtræffer, hhv. om (og hvornår) havet kommer til at stå højere end dette niveau er mere usikkert. I nærværende arbejde er det forudsat, at havet kommer til at stå 50 cm højere end i dag om ca. 50 år, og at det er dette niveau og denne tidshorisont som skitseløsningerne er udarbejdet til at modstå.

Havet vil kunne stige endnu mere, f.eks. til et niveau på ca. 100 cm højere end i dag hvis der ikke sker signifikante reduktioner i udledning af drivhusgasser i forhold til i dag. Dette forhold er taget in mente og indarbejdet i løsningsforslagene ved valg af virkemidler og ved at

understrege, at løsninger skal kunne tilpasses et højere niveau, hvis det viser sig nødvendigt.

Som dimensionerende niveau (sikkerhedsniveau) er det valgt at anvende en såkaldt 100-årshændelse for stormflod, som ifølge Kystdirektoratet vurderes til at være 158 cm - men om 50 år altså kan komme op på 208 cm – svarende til summen af haveniveaustigning (50 cm) og stormflodshøjde i dag (158 cm)).

Med en havniveaustigning på 50 cm bliver sikringskoten for stormfloder således 208 cm.

3.7 Bølgetillæg

Der skal hertil lægges en kote, der modsvarer bølgers tendens til at skylle over stormflodsikrende murkonstruktioner. Dette tillæg er afhængigt af, om bølgerne er dæmpet, før de når stormflodsmuren. Man kan dæmpe bølgerne ved at ”bearbejde” kystprofilet (jf. virkemiddel 2.), enten ved at etablere en forhøjet konstruktion tæt ved land eller ved at sandfodre fra kystprofilets våde dele og hele vejen op på stranden.

Ved valg af løsninger, hvor bølgerne ikke dæmpes, vil topkoterne for stormflodsbeskyttelsen skulle være i størrelsesorden 3-3,5 m eller mere og end ikke i det tilfælde vil man have fjernet risikoen for bølgeoverskyl 100%. Dette overskyl skal så fjernes med pumper af et beredskab.

3.8 Biodiversitet og naturforhold

De 3 skitseforslag vil have forskellige effekter i forhold til biodiversitet.

Forslag 1 - med styrkelse af murbarrieren – vil ikke hverken positivt eller negativt have effekter på biodiversiteten, men vil blot opretholde den nuværende tilstand.

Forslag 2 – med stensætninger - skaber under vandet et miljø med sten, som kan fremme en robust, kystnær vegetation med bl.a. blæretang mm., som kan skabe ny biodiversitet med biotoper for især fiskeyngel, fisk, krebsdyr, fugle mm. For eksempel ynder blåmuslinger og strandsnegle miljøerne under vand på stensætninger, hvilket giver et fødegrundlag for flere andre vandlevende dyr. Over vandspejlet åbner brede stensætninger mulighed for en udvikling af vegetation i stensætningerne.

Forslag 3 – skaber en stenbestrøet strand og klit på den centrale kyststrækning, som tilfører området nye biotoper både over og under vandet med en større biodiversitet for fisk, krebsdyr, fugle mm. På stensætninger vil biodiversitetsudviklingen være som beskrevet i forslag 2, mens der vil være muligheder for udvikling af mere klitbaseret vegetation i området ved Bombegrunden og områder, hvor der skabes små sandstrandmiljøer.

Det skal bemærkes, at der i statsligt regi har været drøftelser om etablering/genetablering af et undersøisk stenrev på havbunden ud for kysten mellem Taarbæk og Skovshoved - Taarbæk Rev. Stenrev er en særlig artsrig og sjælden naturtype i Danmark, som især tiltrækker fisk, fiskeyngel, krebsdyr, mm. Når planerne om etablering/genetablering af Taarbæk Rev realiseres (er i januar 2023 i høring) vil de yderligere kunne understøtte udviklingen af biodiversiteten i området. Det skal bemærkes,

at et undersøisk rev ingen betydning har i forhold til kystsikringen af Taarbæk.

3.9 Projektets afgrænsning

Nærværende projekt omhandler udelukkende faren for – og tiltag imod – oversvømmelse fra havet. Der tages altså ikke hensyn til komplicerende forhold omkring nedbør (f.eks. lange perioder med store mængder vinternedbør der samles i oplandet og afvander til kysten eller lokal ekstremregn). Sådanne forhold skal integreres i det endelige design, såfremt dette – ved en yderligere undersøgelse - viser sig nødvendigt (f.eks. gennem strategier for passiv bortledning, tilbageholdelse eller bortpumpning af vand fra land).

3.10 Borgertopmøde

For at inddrage alle borgere i processen blev der holdt et Borgertopmøde den 4. september 2022, hvor forskellige løsningsforslag blev præsenteret.

Forslagene var udarbejdet med inspiration fra den omfattende dialog, der havde været med interessenter og foreninger i Taarbæk, senest med scenarietværkstederne i foråret 2022. De mange forslag, der er kommet undervejs i dialoger, møder mm. i Taarbæk, blev indarbejdet i de i alt 14 forslag, der blev præsenteret til Borgertopmødet.

Forslagene var alle baseret på kystsikring, der kan beskytte mod de klimaforandringer, der forudses de næste 50 år. Forslagene har også indarbejdet mulighederne for i fremtiden at forstærke sikringerne, når klimaforandringerne fortsætter (Lyngby-Taarbæk kommune, 2022). De 14 forslag viste ikke kun tekniske løsninger på udfordringerne men

også mulige værdiforøgelse for rekreation, biodiversitet, natur m.m. Der blev lagt stor vægt på helhedsløsninger, hvor beskyttelsen bygger videre på Taarbæks unikke kvaliteter – de mange og levende kulturmiljøer, arkitektur, rekreative muligheder og adgangsmuligheder til kysten. I det følgende afsnit vil de udvalgte forslag fra mødet blive præsenteret.

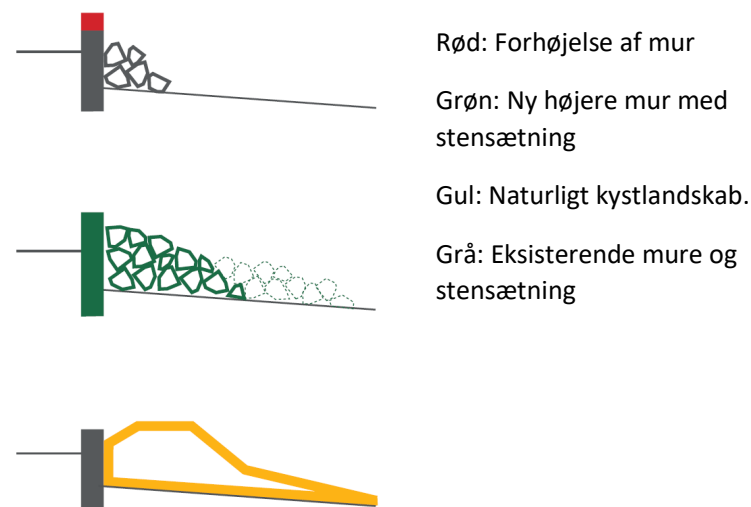
4 Skitseforslag

På baggrund af følgende er der udarbejdet 3 løsningsforslag.

- Opgavebeskrivelse udsendt med udbudsmateriale fra LTK, januar 2022.
- Input fra scenarieværksteder afholdt i april og maj 2022.
- Løsningsforslag med multikriteriemodel udarbejdet af rådgiverteamet sommeren 2022.
- Samlet præsentation til Borgertopmødet den 4. september 2022 af løsningsforslag udarbejdet rådgiverteam og samlet i mappen "Taarbæk og mødet med Øresund. Oplæg til Borgermøde den 4. september 2022".
- Indtryk fra Borgertopmødet den 4. september 2022, herunder
 - Samlede afstemningsresultater - indsamlet af Teknologirådet.
 - Indkomne kommentarer fra borgere leveret på Borgertopmødet samt fremsendte kommentarer til kystbrevkassen lige før, under og efter borgertopmødet.
- Drøftelser på opsamlingsmøde afholdt den 9. september 2022 mellem LTK, Teknologirådet og rådgiverteam.

- Styregruppemøde den 29. september med endelig beslutning om valgte løsninger.
- Efterfølgende dialog med Taarbæk Havn og repræsentanter for brugere af Jollehavnen.
- Skitseforslag 1 var på forhånd defineret i udbudsmaterialet.

De tre løsninger har optegnet skitser der vil blive præsenteret ved hver løsning i dette dokument. Skitserne har farvekoder som er illustreret på figur 4 herunder.



Figur 4: Skitse over snit til de tre nye løsninger

4.1 Adaptive løsninger

Udgangspunktet for løsningerne er, at de skal kunne tilpasses i det omfang, det er muligt. Det vil sige, at de over tid stadig vil kunne udvikles, således, at en indsats der gennemføres nu ideelt set vil også vil kunne videreudvikles i fremtiden, når indsats ikke mere er tilstrækkelig. F.eks. vil det være muligt at lægge nye sten oven på eksisterende stensætninger, nyt sand oven på eksisterende sand, osv. Det gælder i mindre grad for murebygninger med mindre, der arbejdes med at etablere en stærk base, som kan tåle at den overliggende mur bliver forhøjet og forstærket.



Figur 5: Løsning 1

N:\@ekj\21-0141\Delsag 1 - Taarbæk Kystsikring\C05 Analyse\Skitseprojekt\Revideret skitseprojekt 2. omgang\Skitseprojekt for Taarbæk Kystsikring-rev5 (1).docx

4.2 Løsning 1

På figur 5 er der vist et overbliksskema over løsning 1.

Ved løsning 1 vil der, som vist på figur 5, på hele strækningen alene ske en udbygning af eksisterende kystsikringsløsninger. Det indebærer, at eksisterende bygværker forhøjes og/eller forstærkes. Der gennemføres ingen tiltag med rekreative løsninger, udbygning af havne- og/eller broanlæg, ligesom områder omkring både Bombegrund, Jollehavn og Taarbæk Havn forbliver, som de er udformet i dag, dog er der på Bombegrunden lagt op til at lave åbninger i muren til sikring af tilgængeligheden til stranden, og tilføjelse af nye fløjmur, der sikrer naboejendommene mod oversvømmelse. En mere detaljeret illustration af kystens foreslåede nye snit kan findes i "Skitseprojekt, tegningshæfte".

4.2.1 Mure,stensætning, afvanding og sand

Der etableres en sammenhængende mur på hele strækningen. De kan etableres som individuelle løsninger. Alle gennemgange lukkes, bortset fra offentligt tilgængelige passager ved Havnen, slipperne og Rosenhaven/Jollehavnen, som sikres med skot/porte.

Murene foran de enkelte ejendomme langs kysten vil blive forhøjet til kote +3,0 for hele strækningen både nord og syd for Havnen, hvilket begrænser indkig og udkig og besværliggør adgang til individuelle broer. Murbygværker, der allerede er på denne højde eller højere, ændres ikke. De steder langs kysten, hvor der ikke allerede er murværk bygges der en ny mur med samme kote, og de steder hvor muren er i for dårlig kvalitet til at lave forhøjning, erstattes denne mur med ny mur i kote +3,0. Eksisterende stensætninger langs kysten tilføres individuelt nye sten i det

omfang, det vil være nødvendigt af hensyn til at beskytte de forstærkede murværker mod for voldsomme bølgepåvirkninger, begrænse overskyl og for at undgå erosion af kysten ud for de enkelte ejendomme. Omfanget af dette afgøres i forbindelse med en detaljeret tilstandsvurdering for murene.

Ved overgangen til Bellevue etableres en fløjmur ind i landet i kote +2,5 - +3,0. En sådan mur tilføjes også i den nordlige ende ved grunden der grænser op til Springforbi, og som nævnt yderligere to på Bombegrunden der grænser op til sideliggende grunde.

Som forklaret i afsnit 3.3.3 er Springforbi ikke medtaget.

Havnen

Der sker ingen udvidelse af havneområdet. Den indre mur i Havnen skal etableres i kote +2,5.

Bombegrunden

På Bombegrunden forhøjes den eksisterende mur, og der etableres fløjmur ind i landet i kote +2,5 - +3,0 ved afgrænsningen til sideliggende grunde. Den eksisterende lave mur gennembrydes aht. tilgængelighed til stranden. Eksisterende høfder bevares.

Jollehavnen

Eksisterende mure i Rosenhaven/Jollehavnen forhøjes til kote +3,0. Bro- og rampeanlægget samt bro for morgen-/vinterbadere ændres ikke.

4.2.2 Porte/åbninger

Nuværende gennemgange til vandet fra private ejendomme lukkes som udgangspunkt. Åbninger til vandet fra offentlige arealer sikres med port eller skot eller fløjmur.

Havnen

Becksvej, Molevej, Havnevej, Nordre molevej og alle kældernedgange sikres med porte eller skot.

Bombegrunden

Ved Bombegrunden etableres nye åbninger i den eksisterende mur, af hensyn til tilgængeligheden til stranden, disse vil ikke blive lukket med skotter eller porte.

Jollehavnen

Der etableres porte/skot for at bibeholde fodgængeradgang til morgen-/vinterbadernes badebro, samt adgangen til Jollehavnen rampeanlæg.

4.2.3 Beredskab

Generelt skal der ske en varsling, når der forventes at stormflod, og der skal være tilsyn/drift/aktivering af skot/porte samt aktion ved pumpesteder ifm. bortpumpning af overskyl.

Private grunde

På de private grunde er det grundejerens eget ansvar at lukke eventuelle skot inden, at en storm rammer. Når ansvaret ligger hos den enkelte grundejer, kan det medføre ulemper hvis grundejeren f.eks. ikke er hjemme eller glemmer at lukke sine skot. Det kan medføre oversvømmelser ikke blot på egen grund men også på nabogrunde. Derfor foreslås til løsning 1, at alle gennemgange som udgangspunkt lukkes.

Bombegrunden

Der vil blive etableret nye åbninger i den eksisterende mur af hensyn til adgang til strandarealet. Dette gør at Bombegrunden fortsat vil blive

oversvømmet, dog sikrer fløjmurene mod oversvømmelse af sideliggende grunde.

Jollehavnen

Muråbningerne ved Jollehavnen sikres med skot og porte - koordineres af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden.

Havnen

På havneområdet koordineres lukning af porte og isætning af skot af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden. Ligeledes skal afværgeforanstaltninger til beskyttelse af sårbar infrastruktur f.eks. pumpestationer, el-paneler og relæer mv. drøftes sammen med de respektive ejere i det videre forløb med præcisering af projektet og i identifikationen af bidragspligtige.

Pumper klar i denne løsning

Behovet for bortledning og bortpumpning af bølgeoverskylltet er afhængig af valget af sikringskote og løsninger til at bortlede og samle overskyllsvandet på land (type og antal af opsamlingspunkter). Pumpedimensioner fastsættes i forbindelse med udvikling af endeligt layout og design.

4.2.4 Virkning

Stormflodsmurene vil i løsningsforslag ikke kun skulle modstå forhøjet vandstand, men også påvirkninger fra bølger (herunder overskyl hhv. risiko for bagside-erosion ud over de direkte kræfter fra bølgerne på konstruktionerne). Ved et passende valg af stormflodssikringskote - hvor der som i dette forslag 1 inkorporeres en accept af en vis grad af overskyl – skal der parallelt udvikles en måde at samle overskyllsvandet på, der

under storm umiddelbart vil være spredt på forskellige parceller mv. langs kysten. Her kan det evt. undersøges, hvordan vandet vil kunne ledes til en eller flere centrale lavninger/brønde, hvorfra en kontrolleret bortpumpning (til havet) kan foretages under og/eller efter stormen. En mere detaljeret vurdering kan findes i bilag 5 – Gennemgang af hydrauliske forhold.

4.2.5 Økonomi

Anlægsøkonomi

Den samlede anlægsøkonomi for denne løsning er estimeret til ca. 60,8 mio. kr. Et overblik over udgifterne kan findes i "bilag 2 - Økonomisk overslag over 3 løsninger i skitseprojekt".

Driftsøkonomi

De første 5 år er der ingen driftsomkostninger og derefter 10% af anlægssummen årligt begrundet i, at der bygges videre på eksisterende mure, hvor funderingsforholdene ikke er kendt.

4.3



Figur 6: Løsning 2

Løsning 2

På figur 6 er der vist et overblik over Løsning 2. Denne løsning repræsenterer en hård løsning (det vil sige mursætning og stensætninger) både mod nord og syd, men den inddrager nye rekreative løsninger eller kombinationer af de forslag, der er stillet ved Borgertopmødet for så vidt angår Jollehavnen, Bombegrunden og Taarbæk Havn. En mere detaljeret illustration af kystbeskyttelsens foreslåede opbygning kan findes i "Skitseprojekt, tegningshæfte".

4.3.1 Mure, stensætning, afvanding og sand

For hele strækningen etableres som et samlet projekt nye mure og stensætninger, og de eksisterende mure af tvivlsom stand rives ned.

Syd for Bombegrunden foreslås forhøjelse af mure kombineret med en høj stejl stensætning mod vandet. Der vil fortsat kunne være bade/bådebroer med adgang fra haverne, men muligheder for optagning af bådene bliver sværere og åbninger til søsætning og optagning af både skal tilsvarende kunne lukkes og sikres til samme niveau. Den indre mur skal forhøjes til den fastsatte kote på +2,8 - +3,0 for at mindske muligheden for overskyl og oversvømmelse bag muren pga. den stejle kystprofil. Langsigtet ville muren kunne forhøjes yderligere. Forhøjelsen af murene vil begrænse udsigten for beboeren. Fra et offentligt perspektiv vil det både være svært og farligt at færdes på stensætningen. Adgangsmulighederne fra slipperne til vandet forbliver uændret, dog vil en højere mur sandsynligvis kræve en dispensation fra lokalplanen da udsigtskilerne skal friholdes for konstruktioner og beplantning over 1,2 m over terræn. Der etableres ikke nogen færdselsmulighed langs kysten. Ved strækninger med en bredere stensætning må det forventes, at

bade/bådebroer midlertidigt nedtages under etableringen for derefter at blive reetableret tilpasset det nye kystprofil. Ramper til søsætning og ophal bliver lidt sværere og hvis åbninger etableres, skal de i hvert fald sikres til samme niveau.

Mellem Bombegrunden og Havnen etableres ny sikring, der omfatter en løsning med bred, lav stensætning og lavere mure. Dette medfører, at murene blot skal have en kote på +2,3 - + 2,5. Den nye kystlinje kommer til at ligge ca. 5-15 meter ud for den nuværende kystlinje. Badebroer føres ind over stensætning. Der er i udformningen i vandkanten fra Bombegrunden mod nord, ikke lagt op til mulighed for passage langs kysten ved stensætningens fod, dog vil det være muligt under gunstige vejrforhold med lavvande. Der vil ikke være indbliksmuligheder. Langsigtet vil stensætningen kunne forhøjes.

Nord for Havnen vil der lige som syd for Bombegrunden blive etableret en høj stejl stensætning mod vandet med mure i kote +2,8 - +3,0. Der vil ske en stenforstærkning af havbunden ud for den stejle stensætning, som vil kunne bremse udskridning af stensætningerne. Der kan fortsat være bade/bådebroer, men adgangen til dem og mulighederne for optagning af både bliver sværere. Langsigtet kan stensætningen forhøjes yderligere, men hele skråningsanlægget fra top til bund skal forhøjes med ekstra stenlag. Offentlig og privat færdselsmulighed på stensætningen vil være både svær og farlig.

Der vil være særligt fokus på grunden, der ligger nord, lige ved siden af Havnen, Nordre Molevej 9, da denne grund er særlig udsat i forhold til oversvømmelse, og der vil her etableres en bred stensætning. Som forklaret i afsnit 3.3.3 er Springforbi ikke medtaget.

Bombegrunden

På Bombegrunden etableres et naturligt kystlandskab, som flugter det kystprofil, der etableres ved tilstødende løsninger (stejle stensætninger). Eksisterende høfder og lave mur fjernes aht. tilgængelighed til stranden. Bombegrunden vil fortsat blive oversvømmet og nabogrundene sikres med fløjmur der strækker sig ind i landet til kote 2,5. En ny strand vil blive etableret.

Jollehavnen

Ved Jollehavnen etableres et nyt mindre havneanlæg, som er udviklet i samarbejde med LTK og sejlkлубben efter Borgertopmødet. Molerne i det lille havneanlæg vil beskytte kysten mod bølger og begrænse højden på muren bag jollepladsen. Der etableres 30% ekstra landareal. Indsejling vil ske fra nord med besejling i læ af bølger fra sydøstlig retning. Havnearealet uddybes, og i den nordlige del af Jollehavnen etableres en bro/soppestrand ind mod land. De nye moler etableres enten med stensætninger omkring en sandtæt trævæg, eller som pælebåret konstruktion (stenkister) med rammet sandtæt væg i azobé (jerntæ). Molerne udformes med træbroer aht. adgangsmuligheder og besejling.

Joller kan flyttes tilbage til Jollehavnen fra Havnen. Havneanlægget vil ikke øge risikoen for ændring af sandtransport og ophobning af tang væsentligt. Den nye mur etableres og vil have kote +2,5 og der etableres afvandingskanaler og pumpesteder på bagsiden af muren.

Havnen

Sikringslinjen udformes som mur og placeret langs havnens kajkanter. Sikringslinjen etableres ved de ældre havnekonstruktioner, kajmure mm. hvis tilstand ikke er oplyst. Der etableres derfor en ny mur/kaj. Nordre mole forstærkes. Mod Øresund erstattes eksisterende trævæg med mur. Kajen mellem tværbroen og nordre mole ombygges / nybygges med en

lavbro i træ ud mod havnebassinet. Træbroens front følger den oprindelige kajlinje for ikke at påvirke besejlingsmulighederne i det smalle nordlige bassin. En ny kajmur integreres med højvandsmur.

Denne løsning for havneområdet er ikke blandt havnens ønsker, da den er i konflikt med havnedriften. Den er dog medtaget her som illustration på en løsning, der samtidig sikrer redningsvej på havneområdet.

4.3.2 Porte/åbninger

Ny mur etableres, uden åbninger, foran private ejendomme. Alle åbninger ved offentlige arealer og arealer med offentlig adgang sikres med porte eller skot. Der kan fortsat være bade/bådebroer, men adgangen til dem og mulighederne for optagning af både bliver sværere.

Bombegrunden

Ved Bombegrunden fjernes eksisterende kystparallelle mur men der etableres nye fløjmur langs nabomatriklerne. Dog vil Bombegrunden fortsat blive oversvømmet.

Jollehavnen

Der vil være adgang til rampeanlæg og de to moler sikres med porte.

Havnen

Der etableres porte eller skotter for at bibeholde fodgængeradgang til nord- og syd molen, der bibeholder adgang til havnens tre søsætningssteder, mastekran og bådpladser. Adgang til vinteropbevaring på træbryggen sikres dels med port eller skot i nord og med ny havnekran, der kan løfte bådene over sikringslinjen.

4.3.3 Beredskab

Generelt skal der ske en varsling når der forventes at der kommer stormflod, og der skal være tilsyn/drift/aktivering af skot/porte, pumpesteder ifm. bortpumpning af overskyl.

Private grunde

På de private grunde er det grundejerens eget ansvar at lukke eventuelle skot inden, at en storm rammer. Når ansvaret ligger hos den enkelte grundejer, kan det medføre ulemper hvis grundejeren f.eks. ikke er hjemme eller glemmer at lukke sine skot. Det kan medføre oversvømmelser ikke blot på egen grund men også på nabogrunde. Der foreslås derfor lige som i løsning 1 at der ikke etableres nogle åbninger i den nye mur.

Bombegrunden

Bombegrunden vil fortsat blive oversvømmet, og fløjmurene forhindrer vandet i at bredes til nabomatriklerne.

Jollehavnen

Muråbningerne ved Jollehavnen sikres med skot og porte - koordineres af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden.

Havnen

På havneområdet koordineres lukning af porte og isætning af skot af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden. Ligeledes skal afværgeforanstaltninger til beskyttelse af sårbar infrastruktur f.eks. pumpestationer, el-paneler og relæer mv. drøftes sammen med de respektive ejere i det videre forløb med præcisering af projektet og i identifikationen af bidragspligtige.

Pumper klar i denne løsning

Behovet for bortledning og bortpumpning af bølgeoverskyllet er afhængig af valget af sikringskote og løsninger til at bortlede og samle overskylsvandet på land (type og antal af opsamlingspunkter).

Pumpedimensioner fastsættes i forbindelse med udvikling af endeligt layout og design.

4.3.4 Virkning

Løsningen kan betragtes som en måde kunstigt at skyde kystlinjen frem og fastholde den i en ny position. Derudover vil konstruktioner med en lavere hældning mod havet medføre mere brydning af bølger et stykke før de når stormflodmuren, hvorved man vil kunne nedbringe overskyllet og dermed minimere behovet for bortledning af den overskyllede vandmængde. En mere detaljeret vurdering kan findes i bilag 5 – Gennemgang af hydrauliske forhold.

4.3.5 Økonomi

Anlægsøkonomi

Den samlede anlægsøkonomi for denne løsning er estimeret til ca. 140,6 mio. kr. Et overblik over udgifterne kan findes i "bilag 2 - Økonomisk overslag over 3 løsninger i skitseprojekt"

Driftsøkonomi

De første 5 år ingen drift og derefter 2,5% af anlægssummen. Den lavere driftsøkonomi sammenlignet med de andre løsninger skyldes, at der etableres mere naturlige forhold på en del af strækningen, hvilket igen gør vedligeholdelsen mindre krævende.



Figur 7: Løsning 3

4.4 Løsning 3

På figur 7 er der vist et overblik over Løsning 3.

Løsning 3 er en udvidelse af Løsning 2, der indebærer etablering af et mere naturligt kystprofil syd for Taarbæk Havn, mens der langs kysten nord for Havnen alene sker murforhøjelser, stensætning og stenforstærkninger som i forslag 2. Både Havnen, Jollehavnen og Bombegrunden udbygges med rekreative elementer. En mere detaljeret illustration af kystens foreståede nye snit kan findes i "Skitseprojekt, tegningshæfte"

4.4.1 Mure, stensætning, afvanding og sand

Syd for Bombegrunden gennemføres en kystsikring som beskrevet i Løsning 2.

Mellem Bombegrunden og Havnen og på Bombegrunden etableres ny sikring omfattende et naturligt kystlandskab. Det indebærer en sikring med strand og en lav klit, som dæmper bølgerne, dette medfører at de eksisterende mure og stensætninger vil blive begravet under det nye kystlandskab. På stranden udlægges sten for at begrænse sandvandringen. Der kan fortsat være bade/bådebroer med gode adgangsmuligheder fra haverne, slipperne og muligheder for optagning af både, men broerne skal dog ombygges til de aktuelle forhold. Strand og klit kan langsigtet forhøjes. Offentlig og privat færdselsmulighed i vandkanten er mulig med adgang for fodgængere, men den vil ikke være tilgængelig for handicappede. På grund af højdeforskellen og den øgede afstand mellem stranden og kystgrundene, giver det ikke indblik i haverne. Forslaget giver stor sikkerhed og

redningsmulighed for fx småbåde, havsvømmere, dykkere mm. Den nye kystlinje vil skulle skydes ca. 15-25 meter ud for den nuværende kystlinje.

Nord for Havnen etableres der en stejl stensætning som i løsning 2. Der vil i denne løsning også være særligt fokus på de grunde, der ligger lige nord for Havnen, Nordre Molevej 9, og Nordlyvej, hvor der implementeres en bred stensætning og ny mur til kote +3.0. Som forklaret i afsnit 3.3.3 er Springforbi ikke medtaget.

Bombegrunden

Ved Bombegrunden etableres en naturlig sandstrand som flytter med sandstranden nord for Bombegrunden. De eksisterende mure bibeholdes delvist eller fjernes, og der etableres et klitlandskab i området. Mindre mure mod hhv. syd og nord skal etableres. Der bliver etableret høfder der skal sikre bypass af sand mod Bellevue.

Jollehavnen

Jollehavnen etableres i løsning 3 med et design der tilpasses opbygningen af et bredt strandprofil nord og syd for Jollehavnen. Jollehavnens moler udbygges mod øst, og indsejlingen orienteres direkte mod øst, for at opnå et størst muligt naturligt by-pass af sand forbi havnen. Dette vil begrænse oprensninger i indsejlingsområdet. De nye moler etableres med en trævæg mod havnebassinet og som stenkastning imod Øresund. Molerne udformes med adgangsmuligheder og promenader. Havnebassinet uddybes og uddybningsmaterialet nyttiggøres i en bølgedæmpende strand i havnens nordre del (som samtidig bliver en soppestrand og et aktivitetsområde for leg og læring om vandmiljøet for børn), og som opfyldning i en udvidelse af Jollehavnens landarealer for at kunne etablere flere landpladser for joller. Sikringslinjen flyttes til afgrænsningen af de udvidede landarealer. Der etableres porte og skot

ved nordre mole (for bl.a. vandskiløbere) jollerampe og morgen/vinterbadere. Havnebassinet sikres mod bølger/dønninger med anvendelse af bølgeabsorberende konstruktioner i de nye indfatninger foran de udvidede landarealer. Rampeanlæg og bro for joller lægges i havnebassinets sydligste del for at sikre mindst mulige bølger ved disse. Havnebassinets størrelse giver gode manøvreforhold for sejljoller, bl.a. kan broanlægget besejles ved SØ-lige vinde uden bomninger mellem indsejling og bro. Molernes indre vægge udformes 'glatte' så de bedst muligt understøtter en naturlig, vind- og strømbåret udskylning af ålegræs, der måtte komme ind i havnebassinet.

Havnen

Denne løsning for sikring af bygningerne og infrastruktur bag havnen er ikke på havnes ønskeliste, da investering i og vedligeholdelse og drift af en vandtæt stormport anses for alt for dyr, og afskærer muligheden for at komme i havn. Men den er taget med her, da den både rummer en udvidelse af havnen, og som eksempel på en måde at tilvejebringe en ydre sikringslinje.

Sikringslinjen placeres integreret med en istandsættelse og fornyelse af havnens moler. Havneindløbet sikres med stormport. Havnens moler forventes langsigtet at skulle gennemgribende fornyes pga. deres begrænsede restlevetid og de forventet kraftigere påvirkninger i forbindelse med fremtidens stormfloder. Den nordre mole nedbrydes og genopføres med ny placering. Havnen udformes som en bypasshavn, der muliggør en mere hensigtsmæssig sandvandring langs kysten, et forventet mindre oprensningsbehov og en mindre opsamling af tang og ålegræs. De eksisterende moler, opbygget med kvadersten, har en stor kulturhistorisk værdi. De istandsatte og nybyggede molestrækninger kan opbygges / genopbygges med tilsvarende kulturhistoriske kvaliteter.

4.4.2 Porte/åbninger

På de grønne strækninger set på figur 6, gælder det samme for porte og skot som i løsning 2, og på de gule strækninger vil der ikke blive implementeret nogle porte eller skot, da dette ikke bliver nødvendigt med det brede kystlandskab.

Bombegrunden

Der vil ikke blive implementeret nogle porte eller skot, da dette ikke bliver nødvendigt med etableringen af det brede kystlandskab.

Jollehavnen

Adgangen til rampeanlæg og de to moler sikres med porte.

Havnen

Der etableres en stormport, som kan udformes som en bundhængt port.

4.4.3 Beredskab

Generelt skal der ske en varsling, når der forventes stormflod, og der skal være tilsyn/drift/aktivering af skot/porte, pumpesteder ifm. bortpumpning af overskyl.

Private grunde

På de private grunde er det lige som i løsning 1 og 2 grundejerens eget ansvar at lukke eventuelle skot, inden en storm rammer. I denne løsning er der dog ingen, der skal have porte eller skot mellem Bombegrunden og havnen, hvilket mindsker sandsynligheden for menneskelige fejl. Der foreslås derfor lige som i løsning 1 og 2 at der ikke etableres nogle åbninger i den nye mur.

Bombegrunden

Her vil der ikke skulle lukkes nogle porte eller skot, da det brede kystlandskab vil sikre nok.

Jollehavnen

Muråbningerne ved Jollehavnen sikres med skot og porte - koordineres af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden.

Havnen

På havneområdet koordineres lukning af porte og isætning af skot af kystbeskyttelseslaget og havnefogeden. Ligeledes skal afværgeforanstaltninger til beskyttelse af sårbar infrastruktur f.eks. pumpestationer, el-paneler og relæer mv. drøftes sammen med de respektive ejere i det videre forløb med præcisering af projektet og i identifikationen af bidragspligtige.

Pumper klar i denne løsning

Behovet for bortledning og bortpumpning af bølgeoverskyllet er afhængig af valget af sikringskote og løsninger til at bortlede og samle overskylsvandet på land (type og antal af opsamlingspunkter). Pumpedimensioner fastsættes i forbindelse med udvikling af endeligt layout og design.

Den naturlige kyst

På den naturlige kyst etableres ikke porte eller skot. Det af kystbeskyttelseslaget oprettede beredskab skal overvåge, om der under stormflodshændelser opstår akut erosion og afhjælpe disse, så der ikke sker gennembrud.

4.4.4 Virkning

Sandfodring er ved bølgeeksponerede kyster en foretrukken og cost-effektiv løsning til reduktion af bølgeenergi – især hvis dette ønskes over et længere stræk langs kysten. Sandfodres i profilet langs Taarbæks kyst sådan at 1) stranden hæves så den når op til stormflodsmurens top (sikringskoten) og 2) at der længere ude i den våde del af profilet fodres sådan at en forskydning kystprofilet udad opnås, vil bølgerne under storm starte med at bryde længere ude, og idet de fortsætter med denne brydning hele vej til land, hvor deres højde vil være meget lav. Denne løsning minimerer på denne måde bølgehøjden og minimerer derigennem risikoen for overskyl og skader på stormflodsikringen.

Da sandfodring er en mere "levende" løsning, skal man regne med en vis grad af efterfodring, idet sandformationen vil flytte på sig både på tværs og på langs af kysten.

Beplantning af de øvre dele af formationen vil reducere problemer med fygning og vil hjælpe med til at fastholde sandet. En mere detaljeret vurdering kan findes i bilag 5 – Gennemgang af hydrauliske forhold.

4.4.5 Økonomi

Anlægsøkonomi

Den samlede anlægsøkonomi for denne løsning er estimeret til ca. 120,9 mio. kr. Et overblik over udgifterne kan findes i "bilag 2 - Økonomisk overslag over 3 løsninger i skitseprojekt"

Driftsøkonomi

De første 5 år vil der ikke være nogen driftsomkostninger og derefter 5 % af anlægsomkostninger. Der vil være særlige ekstraomkostninger til vedligeholdelse af havneporten og sikring af Jollehavn og Havnen samt mindre grad af vedligeholdelsesfodring.

5 Kystlag og oplæg til udgiftsfordeling

Der vil skulle oprettes et eller flere kystlag afhængig af den vedtagne udgiftsfordeling. Kystlag står for anlæg og drift af kystsikring og sammensættes af interessenter fra området. De skal have mulighed for at bruge autoritet til at fastholde kystsikringen herunder at gennemføre regelmæssige tilsyn og udstede påbud til vedligehold af kystsikringen i området.

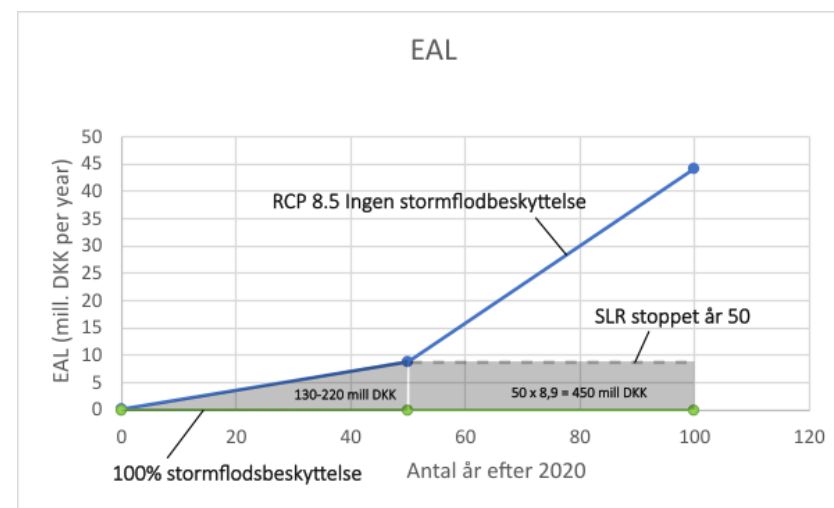
Forholdet mellem kystgrundejere og kystlag fastlægges og tinglyses på den enkelte ejendom, der omfattes af kystlag.

I den videre proces skal det afklares, hvem der skal stå som ejere af kystsikringsanlægget afhængig af, hvilken løsningsmodel der vælges at gå videre med. For løsning 1 behøver det ikke have nogen effekt på ejerforholdene, mens løsning 2 og 3 skal indrettes på de udførte forhold.

Den tekniske rådgivers oprindelige forslag til opdeling af Taarbæk-området i forhold til eksponering og fordele af beskyttelsen er vedlagt som bilag 3. I bilaget fremgår også de nuanceringer som er udarbejdet i forlængelse af de første drøftelser mellem den LTK, rådgiverteamet og Horten, som er den juridiske rådgiver som skal udarbejde forslag til udgiftsfordeling og vedtægter for nye kystlag.

Beregninger af de samlede skadesøkonomiske omkostninger ved oversvømmelser fra nu og 100 år frem i tiden viser, at der - pga. havniveaustigninger - om allerede 50 år - vil ske en signifikant udvikling i faren for oversvømmelse under stormflod, se figur 8. Dermed vil risikoen for skader på bygninger og arealer tæt ved kysten ligeledes stige. Dette er ikke kun et forhold, der angår grundejere, der bor helt tæt på vandet. Der er nemlig både direkte og indirekte faktorer, der vil påvirke Taarbæk borgere der bor et stykke fra vandkanten negativt. Der er ved at

sammenligne med andre danske lokaliteter (Jyllinge Nordmark f.eks.) evidens for, at oversvømmelser i et givent område kan føre til faldende huspriser (idet huspriser kan ses som et udtryk for mere udefinerbare størrelser som herlighedsværdier, tryghed, mv.). Ved udvikling af løsninger til kystbeskyttelse der ikke blot adresserer reduktion af risikoen for tabs-udgifter hhv. øge trygheden, men også understøtter herlighedsværdien i området (løsningsforslag 2 og 3), vil man ydermere kunne udnytte det faktum, at der er et behov for at bygge nye anlæg for at beskytte området, til at tilføje merværdi til området.



Figur 8: De årlige forventede skadesomkostninger (EAL), hvis der ikke gennemføres stormflodbeskyttelse over tid. (RCP= Representative Concentration Pathway (IPPC's klimascenarier for drivhusgasser)

De forventede årlige skadesomkostninger ligger i omegnen af 9 mio. kr./år for de næste 50 år. Udviklingen derefter er meget usikker og afhænger af den globale evne til at bremse udledningen af drivhusgasser. Der er både mulighed for, at havets stigning stopper indenfor de 50 år som følge af kontrol med drivhusgasserne, men der er også mulighed for, at havet fortsætter med at stige i niveau, og derfor skal eksisterende kystbeskyttelses anlæg opgraderes/udbygges.

Der ses en nærmere gennemgang af skader og omkostninger i bilag 4 - Skadesøkonomi.

6 Materialekatalog

Ved alle tre løsninger er der brug for materialer til kystsikringen. Der skal overordnet bruges materiale til opbygning af mure, sten til stensætningerne, sand til den naturlige kystsikring og materialer til forstærkning eller udbygning af havne. Der er forskellige overvejelser, som skal tages i betragtning, når der vælges materialer.

Sten til stensætning

Når der vælges sten til stensætningen, skal der overvejes, hvilke sten der skal bruges, da glaciale sten, som ligger som stensætning nu, er en meget sparsom ressource og næsten ikke er til at få fat i. Det kan derfor være en fordel at bruge en mere tilgængelig ressource såsom sprængte sten fra f.eks. Norge. Dette materiale er dog ikke lige så æstetisk som de glaciale sten, men man kunne derfor flytte de glaciale sten øverst og så vidt muligt opbygge en bund af sprængtesten.

Sand til kyststrækning

Med hensyn til sand er der overvejelser at gøre i forhold til, hvor sandet kommer fra. I mange tilfælde, når man skal bruge sand, vil det skulle indvindes fra godkendte indvindingsområder. Dette er dog dårligt for havets økosystemer, og det tager mange år, før havbunden er gendannet med naturlig flora og fauna igen. Der er generelt også en global sandkrise, da efterspørgslen på sand stiger voldsomt. Dette er en udfordring, specielt i løsning 3, hvor der skal bruges mange m³ sand.

Beton til mur

Når man laver beton, er en af hovedingredienserne sand, derfor følger mange af de samme problematikker ved at bruge sand langs kysten med, når man skal lave mure af beton langs hele kysten. Det kan i næste fase overvejes, om det er muligt at anvende grøn beton til murene, hvor der iblandes nedknuste materialer som fyld i betonen.

7 Konklusion

Det er ikke en simpel ting at gennemføre en samlet sikring af kysten ved Taarbæk. Det er fremtidens havvandsstigningen og de højere bølger, der nødvendigvis en udbygning af kystsikringsforanstaltninger og Taarbæks værdier vil ikke kunne bevares, hvis der ikke gøres en indsats over de kommende år.

Med henved 100 forskellige grundejere langs kysten er der mange individuelle hensyn at tage, ligesom der skal tages hensyn til interessenter, klubber og organisationer som bruger kystområdet og der skal tages hensyn offentlighedens adgang til kysten.

I nærværende skitseprojekt har vi peget på 3 tekniske løsninger og på de fordele og ulemper de hver især måtte have. Der vil være muligheder for

visse kombinationer af løsninger, men det skal understreges, at hver enkelt skitseforslag er tænkt som et samlet hele.

Forslag 1 - 0-løsningen - med en forhøjelse og forstærkning af eksisterende mure - har den åbenlyse fordel at det er en kendt kystteknisk løsning og det er isoleret set også den løsning, som er billigst (på kort sigt). Til gængæld har den en lang række ulemper, herunder at udsynet over havet fra de enkelte ejendomme forringes, ligesom det giver kystlinjen et meget teknisk præg, som ikke på nogen måde skaber en æstetisk landskabelig overgang mellem land og hav.

Forslag 2 - repræsenterer en mellem løsning, hvor den nuværende murhøjde langt hen ad vejen vurderes at være tilstrækkelig, hvor forstærkninger af stensætning vil kunne tage toppen af bølgerne. Løsningen skaber også forbedrede forhold på Bombegrunden og på Jollehaven med et lille havneanlæg, mens løsningen i haven med en fremskudt mur langs kajkanterne vil give god sikring af havneområderne og give acceptable muligheder for havne-aktiviteterne.

Forslag 3 – med en mere flad stensætning, udbygning af sandområder og etablering af en ny nordre mole med en stormflodspor foran havnen - er den mest radikale med skabelse af en naturlig kystlinje forløb på visse dele af strækningen syd for havnen og med gode forhold for udsyn både fra de enkelte grundejere og med adgang for besøgende. Omkostningerne for denne løsning er på niveau med løsning 2¹. Der er tale om den løsning som ud fra et æstetisk landskabeligt hensyn vil anbefales og den vil samtidig være den løsning, der bedst understøtter udvikling af biodiversitet på nye stensætninger og på naturlige sandstrandslandskaber.

I bilag 6 er estimeret værditabet over 10 år for 1 km kystlinje ved erosion på 10-15 cm/år på mellem 10 og 50 mio. kr.

I tillæg til de direkte skader på bygninger skal medtages de indirekte skader i form af f.eks. fald i huspriserne i området, tab af et attraktivt lokalmiljø ved skolelukning og lignende forhold (se bilag 6). På den baggrund konkluderes følgende:

0-50 år

Det er relevant at påbegynde udvikling af kystbeskyttelsen ved Taarbæk, med henblik på som minimum at følge udviklingen i havniveaustigninger de næste 50 år og adressere eventuelle yderligere havniveaustigninger ud over hvad der måtte ske om 50 år.

Udgifter til anlæg der adresserer situationen om 50 år i størrelsesorden 130-220 mio. DKK synes at være beskrevet i bilag 4.

50-100 år

Udviklingen er mere usikker i denne periode. Under alle omstændigheder vil investeringer gjort i perioden 0-50 år komme perioden (50-100 år) til gode.

De ovenstående betragtninger og beregninger ses fuldgældigt dokumentation for nødvendigheden af at gennemføre kystsikring i Taarbæk.

Referencer

COWI, 2018. *Stormflod og Havvandsstigninger*, s.l.: Regnvandsforum.

COWI, 2019. *Udredning om stormflod og havvandsstigning i regi af regnvandsforum - stormflodssikring*, s.l.: Regnvandsforum.

kommune, Lyngby-Taarbæk, u.d. *Udbud af skitseprojekt for kystsikring i Taarbæk*, s.l.: s.n.

Lyngby-Taarbæk kommune, 2022. *Taarbæk og mødet med Øresund*, s.l.: s.n.

COWI, 2021 december. *Stormflodsberedskab i Taarbæk*

Lyngby-Taarbæk Kommunes Kystpostkasse, kommentarer indsendt fra borgere i forbindelse med Borgertopmødet i september 2021.

Bilag 1

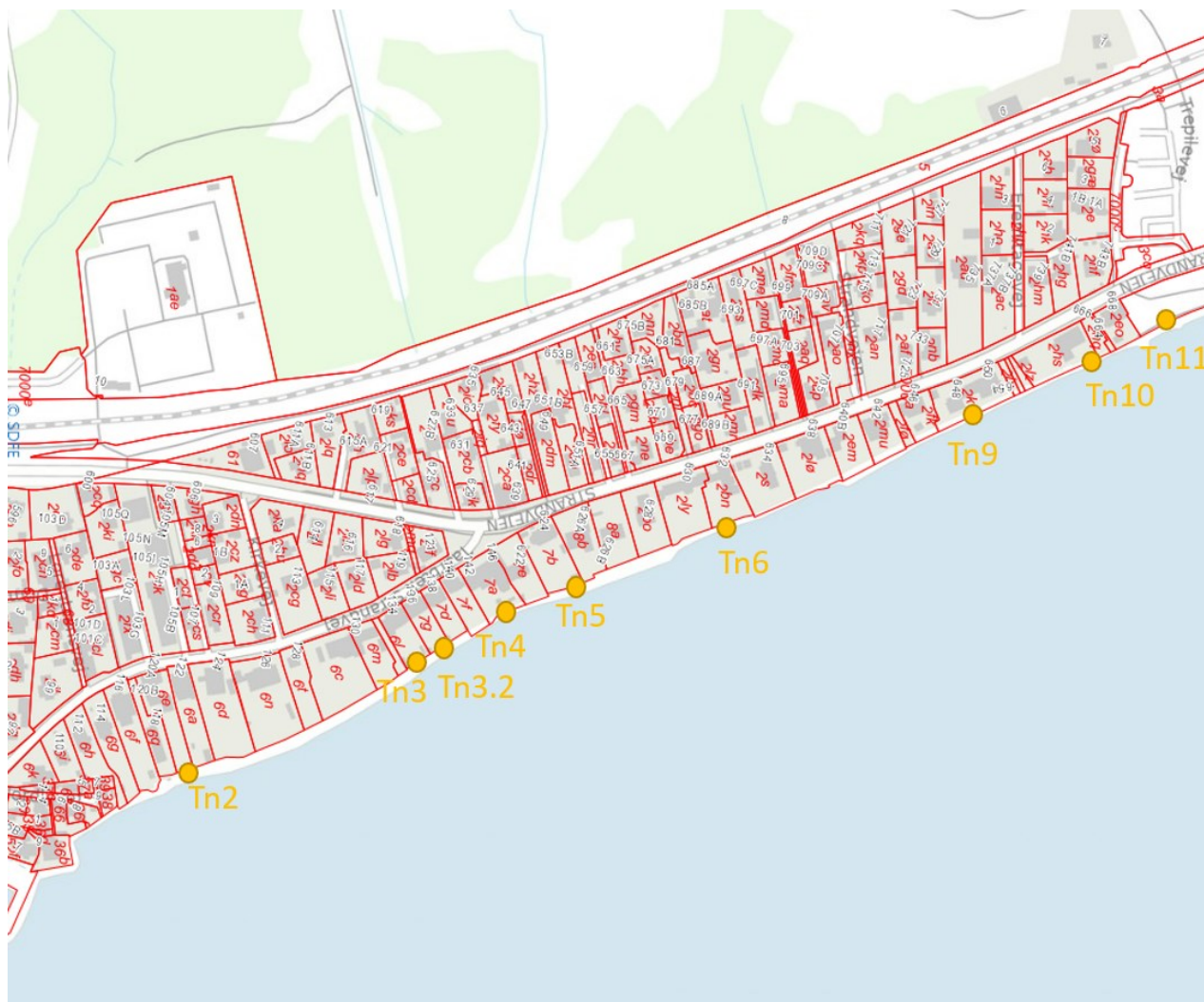
Gennemførte registreringer og tilstand af eksisterende mure

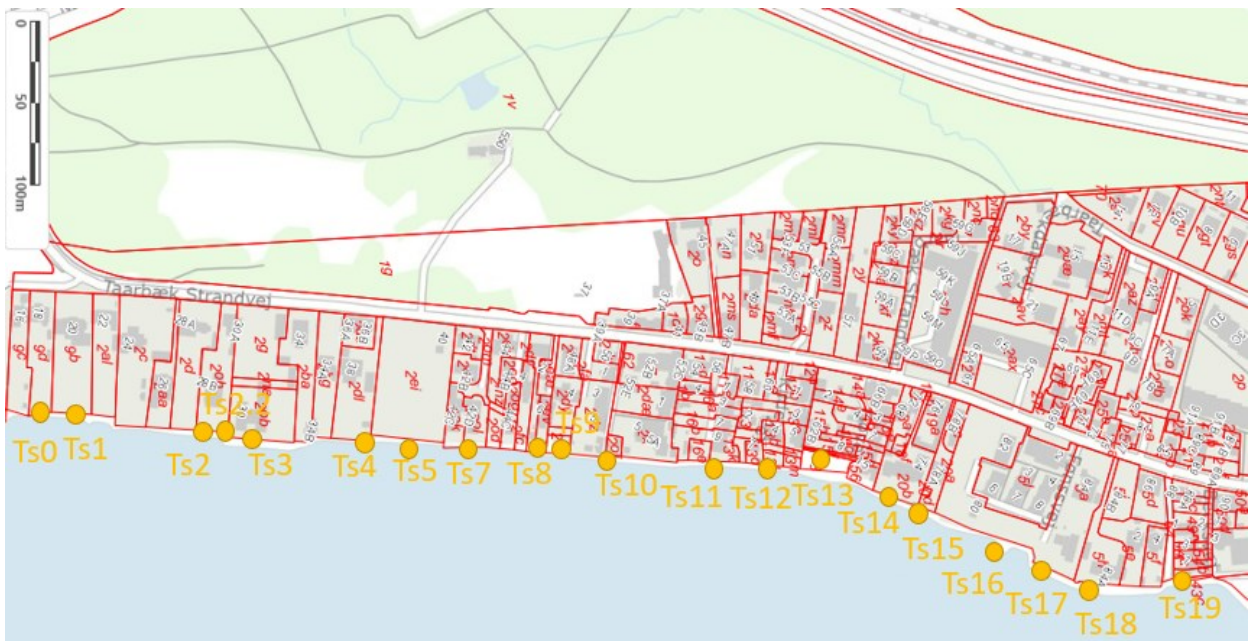
Tilstand af mure

Som et supplement til de eksisterende registreringer af murene langs Taarbæk kyst lavet af COWI, (COWI notat om Stormflodsberedskab i Taarbæk (december 2021)) blev der den 28-10-2022 foretaget en besigtigelse fra vandet langs Taarbæk kyst. På denne besigtigelse blev private grunde besøgt via bade/bådbroer. Der var inden turen blevet sendt brev ud til alle grundejere om hensigten og om det var i orden at gøre brug af deres bade/bådbroer. Kun grunde hvor ejeren havde svaret ja blev besøgt. En stor tak skal lyde til de borgere der sagde ja til at stille disse til rådighed, også til de borgere der sagde ja, men hvor det denne dag ikke var muligt at gøre brug af bade/bådbroer da de var taget ind for vinteren. En stor tak skal også lyde til havnen for at stille båd og bådfører til rådighed.

Vejrforholdene denne dag var gode, med næsten skyfri himmel med en middelvindhastighed på 1,5 m/s. Koterne for mure og stensætninger blev målt med en differential-gps Trimble R780 lejet af SITECH der havde en usikkerhed på 8 mm i horisontalt og 15 mm vertikalt. Der blev undervejs taget billeder af murene for senere at kunne vurdere tilstandene. Ud fra disse billeder blev tilstanden af murene inddelt i god, mellem og dårlig kvalitet af EKJ. Visuelbedømmelse har sine begrænsninger, da der hverken tages kerneprøver af det 'indre', eller giver et billede af hvad der gemmer sig under terræn.

De følgende 3 figurer viser de punkter hvor billederne af muren er taget.





Følgende skema viser koordinater og målte højder for murene:

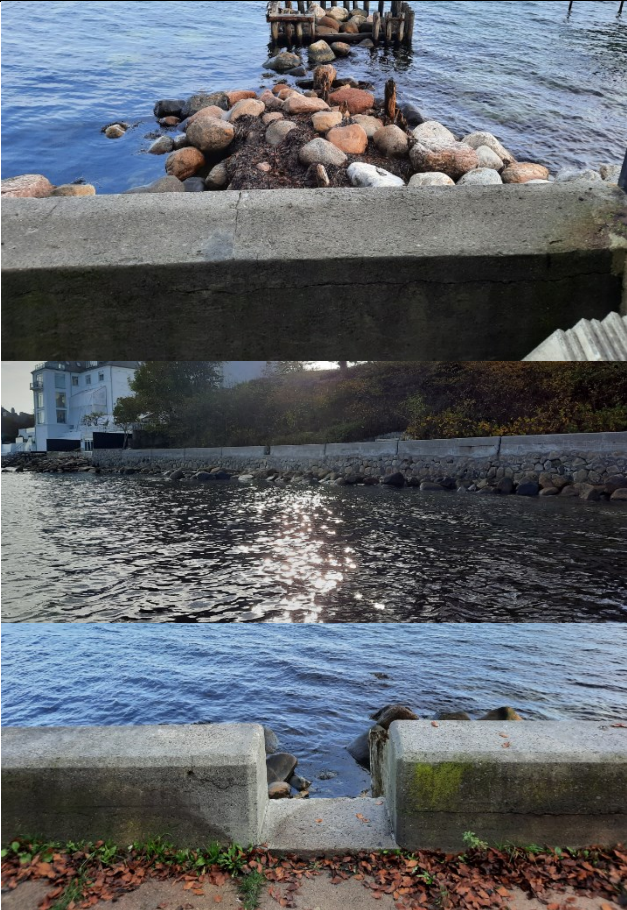

	Punkt	Nord	Øst	Kote	Kommentar
Syd for havnene	Ts0	6.187.478.648	725.309.548	1.58	
	Ts1	6.187.484.992	725.310.215	1.65	

	Ts2	6.187.592.304	725.321.092	1.78	
	Ts2 sten	6.187.592.381	725.321.519	1.40	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts2.2	6.187.576.947	725.320.438	1.49	
	Ts3	6.187.617.709	725.327.169	2.28	
	Ts3 sten	6.187.617.038	725.327.452	1.26	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts4	6.187.682.044	725.324.492	2.74	
	Ts5	6.187.727.007	725.327.311	1.38	
	Ts5 sten	6.187.727.567	725.328.344	1.08	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts7	6.187.740.741	725.327.597	2.07	
	Ts8	6.187.788.520	725.329.867	2.30	
	Ts9	6.187.813.305	725.335.801	2.14	
	Ts10	6.187.808.003	725.335.076	1.91	
	Ts10 sten	6.187.813.194	725.336.202	0.97	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts11	6.187.868.576	725.340.466	2.06	
	Ts12	6.187.902.185	725.340.532	2.32	
	Ts13	6.187.954.920	725.343.721	0.56	Måling taget på sandet så langt inde på stranden som murene på de tilliggende grunde var.
	Ts13 mur	6.187.963.213	725.333.054	1.96	Måling taget på mur ved huset, der skal adderes 1m til koten da højden blev målt ved lågen og ikke på murens fulde højde.
	Ts14	6.188.031.152	725.371.451	1.79	
	Ts14 sten	6.188.030.999	725.372.315	0.94	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts15	6.188.048.200	725.379.672	1.15	
	Ts15 sten	6.188.047.733	725.380.134	0.97	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts16	6.188.094.698	725.394.943	1.51	
	Ts16 sten	6.188.093.728	725.394.993	1.23	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts17	6.188.108.983	725.409.377	2.07	
	Ts17 sten	6.188.108.041	725.409.462	1.47	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts18	6.188.129.250	725.415.176	2.31	
	Ts18 sten	6.188.128.048	725.416.145	1.64	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Ts19	6.188.192.789	725.413.680	2.48	
	Ts19 sten	6.188.195.760	725.414.043	1.82	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
Havnen	Th1	6.188.255.783	725.477.173	1.49	

	Th2	6.188.250.656	725.472.071	1.77	
	Th3	6.188.247.848	725.464.987	1.74	
	Th3 lav	6.188.249.273	725.464.370	1.24	Her er var molen i to højder, denne måling er for den lave del.
	Th4	6.188.240.033	725.422.260	1.28	
	Th5	6.188.241.839	725.414.995	1.25	
	Th6	6.188.253.071	725.409.966	1.33	
	Th7	6.188.342.560	725.406.108	1.30	
	Th8 lav	6.188.359.090	725.410.185	0.75	
	Th8 mur	6.188.359.386	725.409.816	1.48	Her var der tre højder der blev taget ved samme punkt på havnen.
	Th8 vej	6.188.359.581	725.409.248	1.33	
	Th9 høj	6.188.378.033	725.426.034	1.55	Her var der tre højder der blev taget ved samme punkt på havnen.
	Th9	6.188.376.773	725.425.785	1.04	
	Th9 lav	6.188.375.209	725.425.536	0.84	
	Th10 høj	6.188.359.948	725.451.193	1.42	Her var der tre højder der blev taget ved samme punkt på havnen.
	Th10	6.188.358.774	725.450.183	1.06	
	Th10 lav	6.188.357.682	725.449.239	0.78	
	Th11 høj	6.188.292.183	725.466.878	1.49	Her var der to højder der blev taget ved samme punkt på havnen.
	Th 11	6.188.291.098	725.465.177	0.99	
	Th12	6.188.278.802	725.473.264	1.72	
Nord for havnen	Tn2	6.188.485.745	725.343.982	2.50	
	Tn2 sten	6.188.486.764	725.345.965	0.95	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Tn3	6.188.637.915	725.271.584	2.87	
	Tn3 sten	6.188.637.775	725.272.351	1.22	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Tn3.2	6.188.643.235	725.267.865	2.80	
	Tn4	6.188.693.605	725.238.932	2.27	
	Tn4 sten	6.188.695.554	725.238.659	1.58	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Tn5	6.188.725.125	725.229.302	1.86	
	Tn5 sten	6.188.726.726	725.229.791	1.45	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Tn6	6.188.829.238	725.186.589	2.57	
	Tn6 sten	6.188.829.790	725.187.370	1.20	Måling taget ved stensætning tæt ved muren
	Tn9	6.188.972.751	725.120.362	2.43	
	Tn9 Kantstenmur	6.188.972.779	725.119.865	3.04	Ved denne bolig var der bygget en myr op af andre sten bag ved kystsikringsmuren, lignede ikke at den ville være helt tæt for vand.
	Tn10	6.189.044.365	725.087.764	2.47	
Tn10 sten	6.189.044.500	725.088.996	1.75	Måling taget ved stensætning tæt ved muren	

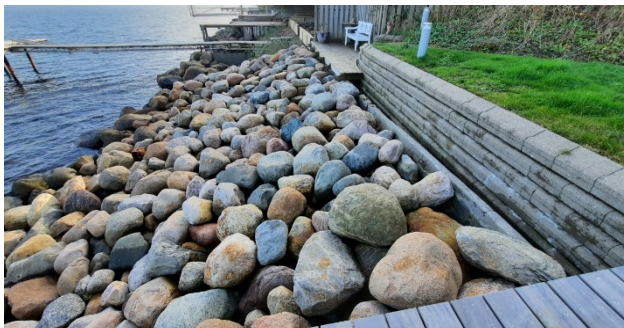
	Tn11	6.189.096.964	725.066.443	2.37	Springforbi
	Tn12	6.189.147.101	725.044.159	2.15	Springforbi

Følgende tabel viser vurdering af murene, hvor grøn er god kvalitet, gul er mellem kvalitet og rød er dårlig kvalitet:

Punkt nummer	Billede	Tilstand
Tn11-12		Mellem, enkelte små revner. Slipper der skal lukkes hvis der skal gøres noget.
Tn10		Enkelt hul der skal lukkes Mellem baseret på bagsiden. Tilstanden er skjult på forsiden grundet maling.

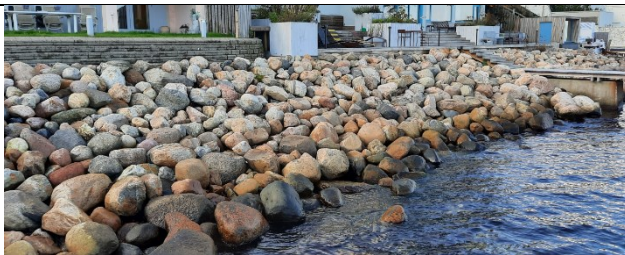


Tn9

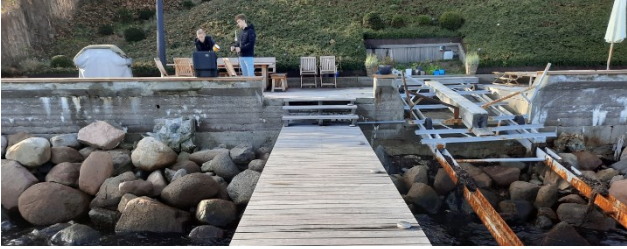

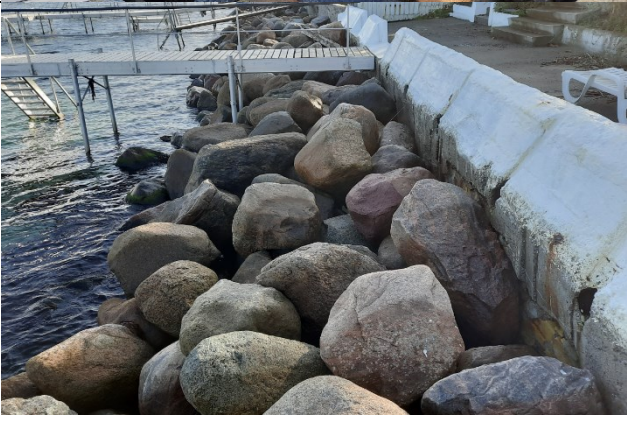


Meget tynd mur med enkelte skader, ikke tyk nok til at forhøje og skal derfor rives ned. Dårlig kvalitet.

Tn6

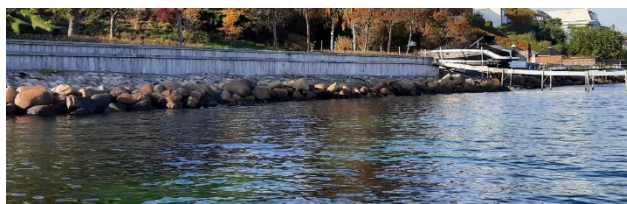
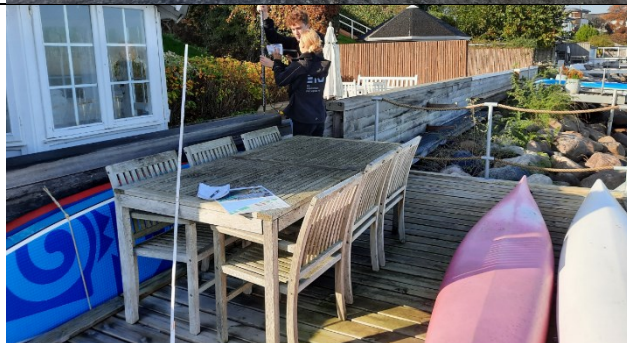


God kvalitet.

		
<p>Tn5</p>		<p>Mange revner, og kan ses at siden ind mod grunden også har taget meget skade. Dårlig kvalitet.</p>
<p>Tn4</p>		<p>Mange revner. Dårlig kvalitet.</p>



Tn3-
Tn3.2



Ved disse punkter er der mange af murene der er dækket af træværk eller blot består af træværk, hvor det ikke har været muligt at se muren inde bag. Men der hvor muren kan ses er der blot små flire der er slået af og ingen større revner, dermed god til mellem kvalitet af muren.



Tn2



God kvalitet ingen synlige revner.



<p>Nordlyvej 8, 2930 Klampen borg</p>		<p>Dårlig kvalitet, synligt store revner.</p>
<p>Nordre Molevej 9, 2930 Klampen borg</p>		<p>God kvalitet, men svært at vurdere da den er nymalet.</p>
<p>Th1</p>		<p>Den var afspærret da der var hul i molen, dårlig kvalitet.</p>
<p>Th2</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>

<p>Th3</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>
<p>Th4</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>
<p>Th5</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>
<p>Th6</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>

<p>Th7</p>		<p>Umiddelbart god kvalitet, men svært at vurdere.</p>
<p>Th8</p>		<p>God kvalitet</p>
<p>Th9</p>		<p>God kvalitet</p>
<p>Th10</p>		<p>God kvalitet</p>
<p>Th11</p>		<p>God kvalitet</p>

Th12




Umiddelbart mellem kvalitet, men svært at vurdere.

Ts0



Dårlig kvalitet, gået meget i stykker.

		
<p>Ts1</p>	 	<p>Dårlig kvalitet, store sprækker i træet.</p>

Ts2






God kvalitet, se ret ny ud.

Ts3



Mellem kvalitet, ikke nogle synlige sprækker, men meget lappet.

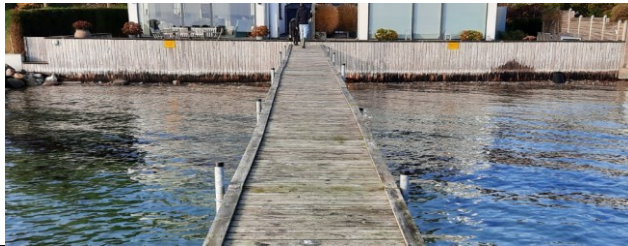
		
<p>Ts4</p>		<p>Mellem kvalitet, men svært at se noget.</p>
<p>Ts5</p>		<p>God kvalitet</p>



Ts7 ?



Svært at vurdere da murværket er dækket af træ.



Ts8




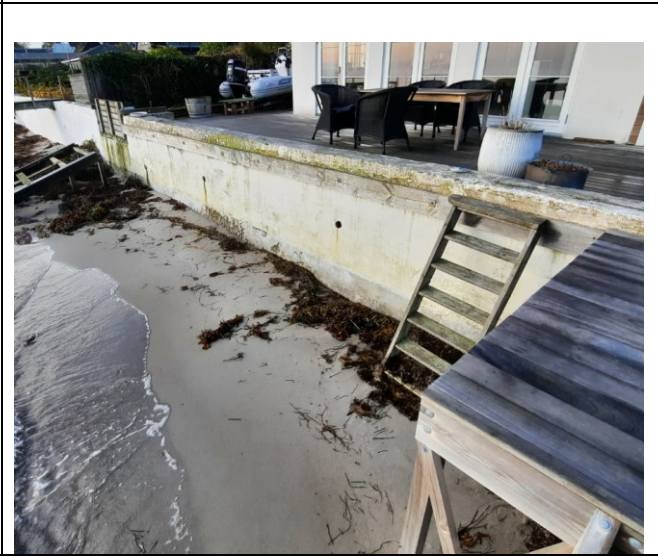
Ser god men gammel ud, god kvalitet.



Ts9



Dårlig kvalitet, enkelte skrammer, men ret dybe huller.

		
<p>Ts10</p>		<p>God kvalitet</p>

Ts11



Dårlig kvalitet, revner og meget af muren er forsvundet

Ts12		Dårlig kvalitet, mange revner og mange stykker er slået af.
Ts13		God kvalitet, ser ret ny ud.



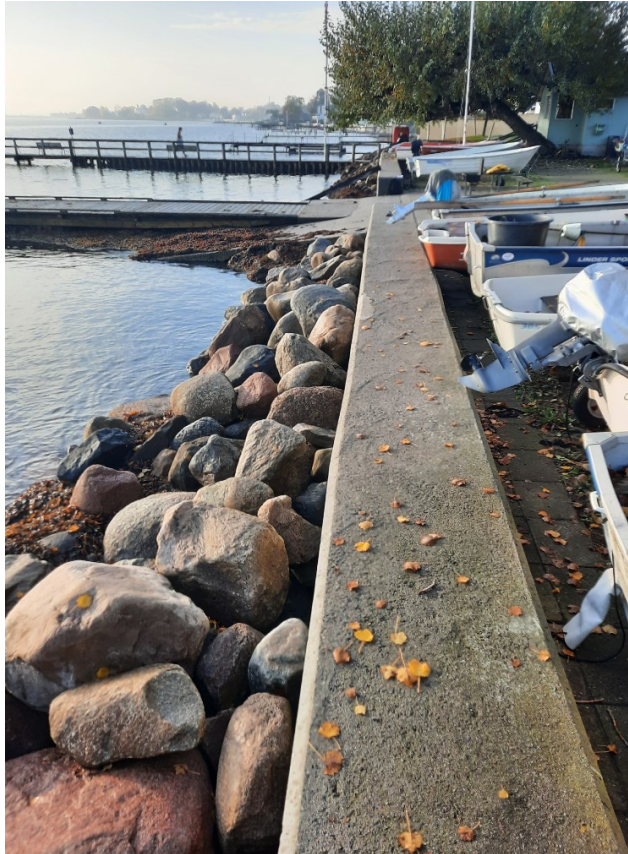
Ts14-15

God kvalitet, ingen synlige skrammer.





Ts16



God kvalitet, ingen synlige skrammer.



Ts17



God kvalitet, ingen synlige skrammer.



Ts18

God kvalitet, ingen synlige skrammer.



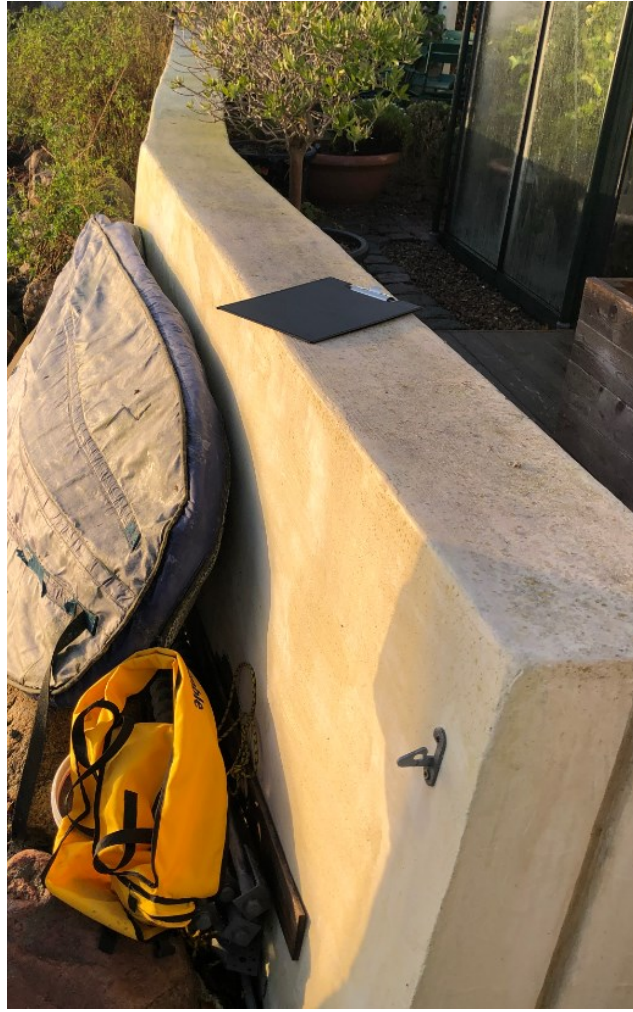


Ts19



God kvalitet, ingen synlige skrammer.





Bilag 2

Økonomiske overslag over 3 løsninger i skitseprojektet

Introduktion til dokument "Økonomisk overslag over 3 løsninger i skitseprojekt"

Dette dokument er inddelt i flere undermapper med indhold, der er præsenteret nedenfor:

Eksisterende mængder:

Her ses et overblik over de mure og stensætninger, der findes langs Taarbæk kyst. Kysten er inddelt i mindre afsnit, der er vist på indlagte billeder, og priserne for den nye kystsikring er udregnet på baggrund af disse opgørelser.

Overordnet pris:

Her kan det overordnede prisoverslag for de 3 skitseforslag findes. Overslag er baseret på gennemsnitlige enhedspriser for samlede anlægselementer og uden tekniske forundersøgelser (geoteknik m.m.). Alle priser er excl. moms

Pris opdelt:

Her kan et prisoverslag over de 3 skitseforslag findes, men hvor prisen for hvert skitseforslag er inddelt i syd for Bombegrunden (snit 1), nord for bombegrunden op til Havnen (snit 2) og nord for havnen (snit 3) og yderligere i de særlige lokaliteter som Havnen, Jollehavnen og Bombegrunden. Denne opdeling er baseret på den foreslåede opdeling til bidragsfordelingen, og en skitsering af opdelingen kan findes i "bilag 3 - Forslag til bidragsfordelingen" Her er overslag også udarbejdet baseret på gennemsnitlige enhedspriser for samlede anlægselementer og uden tekniske forundersøgelser (geoteknik m.m.). Alle priser er ex. Moms.

Priser: Enhedspriserne, der er brugt i dette økonomiske overslag, er baseret på Hasløv og Kjærsgaards erfaringer fra projekter af lignene karakter samt input fra anlægsprenør.
Priserne, der er brugt, repræsenterer prisniveauet i efteråret 2022

Der er under hvert af de økonomiske overslag tillagt tre procentsatser, der modsvarer følgende:

- Anstilling: Etablering af byggeplads med maskiner og platform udregnet som en procentdel af det totale beløb. Den er estimeret til 10 %, hvilket er lidt højere end normalt, da problematikken omkring adgangsforhold vil kræve en platform i vandet.
- Uforudsete: Pris, der tager højde for de uforudsete udgifter, der kan komme undervejs i projektet. Udregnet som en procent af det totale beløb estimeret til 20 %, Dette niveau er valgt i lyset af, at anlægsprojektet er forholdsvist simpelt med indbygning af primært sand- og stensætninger. Da priserne samtidig er indhentet i år 2022, så er prisniveauet relativt højt sammenlignet med bare 2021.
- Rådgivning: Pris for tilhørende projektering og rådgivning til projektet. Udregnet som en procentdel af det totale beløb, og estimeret til 15 %.

Eksisterende mængder

Kysten syd for havnen

Snit med farvekordinering af murkvalitet	Længde af snit [m]	Gennemsnits højde af mur [m]	Mængde af murever vandoverflade [m3]	Gennemsnits højde af støvsætning [m]	Brede af støvsætning [m]	Mængde af støvsætning [m3]	Brede af sand [m]	Antal badebroer
Farvekode: dårlig , mellem, god								
Snit 1	74	1,612	35,79	-	-	-	4	3
Snit 2.1	75	1,636	36,81	1,404	3	158	-	1
Snit 2.2	54	2,285	37,02	1,263	3,2	109,1	-	2
Snit 2.3	42	2,738	34,5	-	-	-	1	1
Snit 4.1	64	2,185	41,95	-	-	-	3,2	6
Snit 4.2	21	2,138	13,47	-	-	-	1	1
Snit 5	31	1,906	17,73	0,971	1,6	24,1	-	2
Snit 6	55	2,059	33,97	-	-	-	5,4	2
Snit 7	70	2,319	48,7	-	-	-	7	2
Snit 8	58	2,956	51,43	-	-	-	16,8 og 4,8	1
Snit 9.1	47	1,471	20,74	0,955	1,6	35,9	-	2
Snit 9.4	64	2,394	45,96	2,23	5,6	399,5	-	4

Bombegrunden

Snit 3	45	1,381	18,64	1,076	5	10,8	-	0
--------	----	-------	-------	-------	---	------	---	---

Jollehavnen

Snit 9.2	44	1,471	19,42	0,955	1,6	33,6	-	1
Jollehavn åbning	7	-	-	-	-	-	-	1
Snit 9.3	50	1,788	26,82	1,35	1,6	87,4	-	0

Havnen

Havnen løsning 1	238	*Denne længde er murens estimerede længde i forslag 1						0
Havnen løsning 2	238	*Denne længde er murens estimerede længde i forslag 2						0
Havnen løsning 3	167	*Denne længde er murens estimerede længde i forslag 3						0

Kyst nord for havnen

Snit 14.1	65	2,8	39,48	-	4,3	-	-	1
Snit 14.2	77	2,5	71,25	0,954	2,4	108,8	-	8
Snit 15	180	2,834	153,04	1,22	2,4	263,5	-	7
Snit 16.1	116	2,065	71,86	1,5115	2,4	210,4	-	5
Snit 16.2	169	2,568	130,2	1,199	2,4	243,2	-	5
Snit 17.1	116	2,425	84,39	1,752	2,4	243,9	-	4
Snit 17.2	96	2,468	71,08	1,752	2,4	201,8	-	4

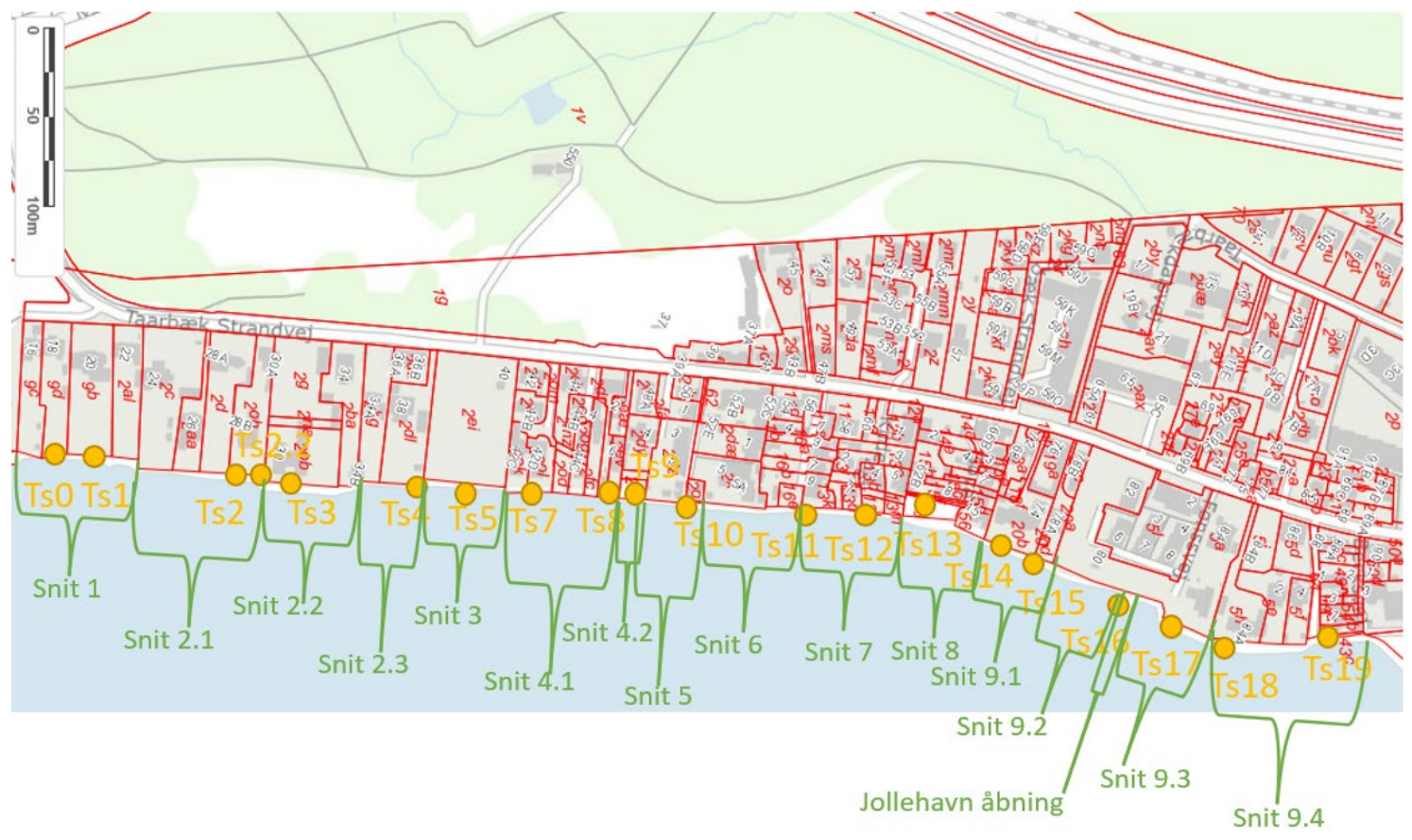
Længder af snit:

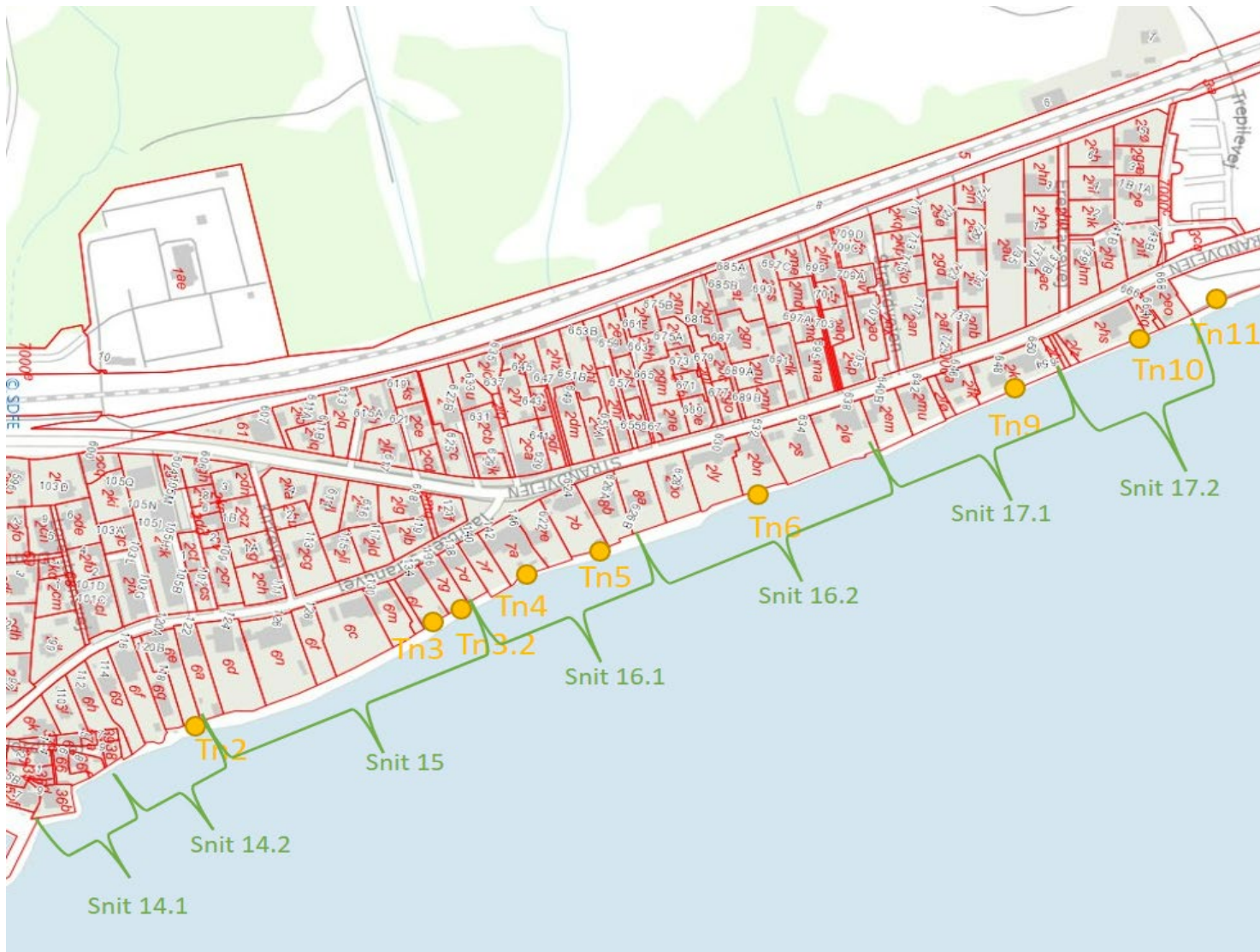
Snit 1	245
Snit 2	930
Snit 3	754

Ekstra information

Mur længde i alt uden havn	1651
Gennemsnits brede af mur	0,3
Længder af fløjmur:	
Bellevue	40
Bombegrunden	118
Springforbi	6

Billeder over opdeling af snit:





Overordnet pris - Skitseforslag 1

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (4 fløjmur)	m	164	10.000 kr.	1.640.000 kr.
Nye mure mod vand inkl. nedbrydning (3 matrikler, 2 bådoptag, Rosenhaven)	m	539	20.000 kr.	10.780.000 kr.
Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure (inkl. havnen på 238 meter)	m	1274	14.000 kr.	17.836.000 kr.
Forstærkninger af stensætninger som individuelle løsninger (ikke prissat)	m	1474	5.000 kr.	7.370.000 kr.
Porte/skot, (1 Nordlyvej, 1 Christiansrovej, 2 Søvej, 2 Rosenhaven/Jollehavnen, 9 Havnen,), 15 stk. (enhedspris: gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	15	200.000 kr.	3.000.000 kr.
Ledningsomlægning	m	1	50.000 kr.	50.000 kr.
Geotekniske undersøgelser (pris sammelagt fra de 3 snit og specialgrunde)				860.000 kr.
Afvandingsrende	m	384	1.000 kr.	384.000 kr.
Anstilling 10%				4.192.000 kr.
Uforudsete 20%				8.384.000 kr.
Rådgivning 15%				6.288.000 kr.
Total				<u>60.784.000 kr.</u>
Driftsøkonomi				6.078.400 kr.

Overordnet pris - Skitseforslag 2

		Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (4 fløjmure)	m	164	10.000 kr.	1.640.000 kr.
Nye mure mod vand, inkl. nedbrydning (Jollehavnen)	m	101	20.000 kr.	2.020.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (kote 2,8-3,0)	m	1057	20.000 kr.	21.140.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (kote 2,5-2,8)	m	245	18.000 kr.	4.410.000 kr.
Stejlstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	999	10.000 kr.	9.990.000 kr.
Stenforstækning af bund (ved stejlstensætning i nord)	m	754	1.500 kr.	1.131.000 kr.
Nedbrydning af eks. mur	m	45	10.000 kr.	450.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (kote 2,3-2,5)	m	410	16.000 kr.	6.560.000 kr.
Bredstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	475	20.000 kr.	9.500.000 kr.
Kystlandskab Bombegrunden	m	45	15.250 kr.	686.250 kr.
Porte/skot (1 Nordlyvej, 1 Christiansrovej, 2 Søvej, 3 Rosenhaven/Jollehavnen), 4 stk. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	7	200.000 kr.	1.400.000 kr.
Porte/skot, svinerysplanker (3 stk havnen i alt 27 meter)	m	27	12.000 kr.	324.000 kr.
Ledningsomlægning	m	1	50.000 kr.	50.000 kr.
Afvandingsrende bagside af mur	m	339	1.000 kr.	339.000 kr.
Jollehavnen, mole	m	105	46.000 kr.	4.830.000 kr.
Jollehavnen, ombygning af rampeanlæg	m2	16	10.000 kr.	160.000 kr.
Jollehavnen, uddybning og genplacering i anlægsområdet	m3	1000	100 kr.	100.000 kr.
Jollehavnen, vandskibro, forbindelsesbro	m2	52	10.000 kr.	520.000 kr.
Bølgedæmpende indfatning (Jollehavnen)	m2	67,5	15.000 kr.	1.012.500 kr.
Opfyld (Jollehavnen)	m3	816	110 kr.	89.760 kr.
Belægning (Jollehavnen)	m2	480	500 kr.	240.000 kr.
Taarbæk Havn, ny kaj integreret med mur inkl. nedbrydning	m	80	160.000 kr.	12.800.000 kr.
Taarbæk Havn, mur på gammel kaj inkl. nedbrydning	m	88	160.000 kr.	14.080.000 kr.
Taarbæk Havn, forstærkning af nord mole	m	68	8.000 kr.	544.000 kr.
Geotekniske undersøgelser (pris sammelagt fra de 3 snit og specialgrunde)				1.010.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	m	128	15.000 kr.	1.920.000 kr.
Anstilling 10%				9.694.651 kr.
Uforudsete 20%				19.389.302 kr.
Rådgivning 15%				14.541.977 kr.
Total				<u>140.572.440 kr.</u>
Driftsøkonomi				3.514.311 kr.

Overordnet pris - Skitseforslag 3

		Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (2 fløj mure)	m	56	10.000 kr.	560.000 kr.
Nye mure mod vand, inkl. nedbrydning (Jollehavnen, Taarbæk Havn syd)	m	101	20.000 kr.	2.020.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (Kote 2,8-3,0)	m	677	20.000 kr.	13.540.000 kr.
Stejlstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	922	10.000 kr.	9.220.000 kr.
Stenforstækning af bund (ved stejlstensætning i nord)	m	677	1.500 kr.	1.015.500 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (kote 2,5-2,8)	m	245	18.000 kr.	4.410.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (kote 2,3-2,5)	m	142	16.000 kr.	2.272.000 kr.
Bredstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	142	20.000 kr.	2.840.000 kr.
Naturligt kystlandskab inkl. stenbestrøning, eksisterendestensætninger fjernes ikke (sandindpumpning, 500 kr. pr. m ³)	m	455	15.250 kr.	6.938.750 kr.
Beplantning af kystlandskab, 6 planter pr. m ²	stk.	1	600.000 kr.	600.000 kr.
Bombegrunden hofde	m	20	33.000 kr.	660.000 kr.
Porte/skot (1 Nordlyvej, 3 Rosenhaven/Jollehavnen, 3 Havnen) 7 antal (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	7	200.000 kr.	1.400.000 kr.
Ledningsomlægning	m	1	50.000 kr.	50.000 kr.
Afvandingsrende	m	384	1.000 kr.	384.000 kr.
Jollehavnen, mole	m	105	43.000 kr.	4.515.000 kr.
Jollehavnen, nyt rampeanlæg inkl. nedbrydning	m ²	109	10.000 kr.	1.090.000 kr.
Jollehavnen, uddybning og genplacering i anlægsområdet	m ³	1000	100 kr.	100.000 kr.
Jollehavnen, vandskibro, badebro for morgenvinterbadere, indre badebro	m ²	74,5	10.000 kr.	745.000 kr.
Bølgedæmpende indfatning (Jollehavnen)	m ²	75	15.000 kr.	1.125.000 kr.
Opfyld (Jollehavnen)	m ³	700	110 kr.	77.000 kr.
Belægning (Jollehavnen)	m ²	500	500 kr.	250.000 kr.
Taarbæk Havn, nye moler inkl. højvandsmur og molehoved, inkl. nedbrydning	m	167	75.000 kr.	12.525.000 kr.
Taarbæk Havn, indre mole inkl. træbro	m	52	60.000 kr.	3.120.000 kr.
Taarbæk Havn, højvandsport	stk.	1	12.000.000 kr.	12.000.000 kr.
Geotekniske undersøgelser (pris sammelagt fra de 3 snit og specialgrunde)				1.010.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	m	63	15.000 kr.	945.000 kr.
Anstilling 10%				8.341.225 kr.
Uforudsete 20%				16.682.450 kr.
Rådgivning 15%				12.511.838 kr.
Total				<u>120.947.763 kr.</u>
Driftsøkonomi				6.047.388 kr.

Prisestimat opdelt på strækninger og specialgrunde - Skitseforslag 1

Snit 1, Bellevue til Bombegrunden

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (1 fløjmur)	m	40	10.000 kr.	400.000 kr.
Nye mure mod vand inkl. nedbrydning	m	74	20.000 kr.	1.480.000 kr.
Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure	m	171	14.000 kr.	2.394.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	12	10.000 kr.	120.000 kr.
Forstærkninger af stensætninger som individuelle løsninger	m	245	5.000 kr.	1.225.000 kr.
Anstilling 10%				561.900 kr.
Uforudsete 20%				1.123.800 kr.
Rådgivning 15%				842.850 kr.
Total				<u>8.147.550 kr.</u>

Bombegrunden

Nye mure på land (2 fløjmur)	m	118	10.000 kr.	1.180.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	20.000 kr.	20.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Afvandingsrende	m	45	1.000 kr.	45.000 kr.
Anstilling 10%				125.750 kr.
Uforudsete 20%				251.500 kr.
Rådgivning 15%				188.625 kr.
Total				<u>1.823.375 kr.</u>

Snit 2, Bombegrunden til havnen samt grunde nord for havnen ved Nordlyvej

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure mod vand inkl. nedbrydning	m	156	20.000 kr.	3.120.000 kr.
Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure	m	319	14.000 kr.	4.466.000 kr.
Forstærkninger af stensætninger som individuelle løsninger	m	475	5.000 kr.	2.375.000 kr.
Porte/skot, (1 Christiansrovej, 2 Søvej, Nordlyvej), 4 stk. (enhedspris: gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	4	200.000 kr.	800.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	26	10.000 kr.	260.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Anstilling 10%				1.103.350 kr.
Uforudsete 20%				2.206.700 kr.
Rådgivning 15%				1.655.025 kr.
Total				<u>15.998.575 kr.</u>

Jollevad

Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure	m	101	14.000 kr.	1.414.000 kr.
Porte/skot, 2 stk. (enhedspris: gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	2	200.000 kr.	400.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	20.000 kr.	20.000 kr.
Afvandingsrende	m	101	1.000 kr.	101.000 kr.
Anstilling 10%				194.750 kr.
Uforudsete 20%				389.500 kr.
Rådgivning 15%				292.125 kr.
Total				<u>2.823.875 kr.</u>

Havnen

Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure	m	238	14.000 kr.	3.332.000 kr.
Porte/skot, 9 stk. (enhedspris: gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	9	200.000 kr.	1.800.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	30.000 kr.	30.000 kr.
Afvandingsrende	m	238	1.000 kr.	238.000 kr.
Anstilling 10%				541.250 kr.
Uforudsete 20%				1.082.500 kr.
Rådgivning 15%				811.875 kr.
Total				<u>7.848.125 kr.</u>

Snit 3, Nord for havnen

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (1 fløj mure)	m	6	10.000 kr.	60.000 kr.
Nye mure mod vand inkl. nedbrydning	m	309	20.000 kr.	6.180.000 kr.
Forhøjelse og renoveringer af eksisterende mure	m	445	14.000 kr.	6.230.000 kr.
Forstærkninger af stensætninger som individuelle løsninger	m	754	5.000 kr.	3.770.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	41	10.000 kr.	410.000 kr.
Porte/skot, (enhedspris: gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	0	200.000 kr.	0 kr.
Anstilling 10%				1.665.000 kr.
Uforudsete 20%				3.330.000 kr.
Rådgivning 15%				2.497.500 kr.
Total				<u>24.142.500 kr.</u>

Prisestimat opdelt på strækninger og specialgrunde - Skitseforslag 2

Snit 1, Bellevue til Bombegrunden

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (1 fløjmur)	m	40	10.000 kr.	400.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. stejlstenssætning, kote 2,5-2,8)	m	245	18.000 kr.	4.410.000 kr.
Stejlstenssætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	245	10.000 kr.	2.450.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	12	10.000 kr.	120.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	7	15.000 kr.	105.000 kr.
Anstilling 10%				748.500 kr.
Uforudsete 20%				1.497.000 kr.
Rådgivning 15%				1.122.750 kr.
Total				<u>10.853.250 kr.</u>

Bombegrunden

Nye mure på land (2 fløjmur)	m	118	10.000 kr.	1.180.000 kr.
Nedbrydning af eks. mur	m	45	10.000 kr.	450.000 kr.
Kystlandskab	m	45	15.250 kr.	686.250 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	20.000 kr.	20.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Anstilling 10%				234.875 kr.
Uforudsete 20%				469.750 kr.
Rådgivning 15%				352.313 kr.
Total				<u>3.405.688 kr.</u>

Snit 2, Bombegrunden til havnen inkl. grunde nord for havnen ved Nordlyvej

Nye mure, inkl. nedbrydning (v. bredstenssætning, grunde nord for havnen ind til Nordlysvej, kote 2,8-3,0)	m	65	20.000 kr.	1.300.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. bredstenssætning, kote 2,3-2,5)	m	410	16.000 kr.	6.560.000 kr.
Bredstenssætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	475	20.000 kr.	9.500.000 kr.
Porte/skot (1 Christiansrovej, 2 Søvej, Nordlyvej) 3 stk. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	4	200.000 kr.	800.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	26	10.000 kr.	260.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	20	15.000 kr.	300.000 kr.
Anstilling 10%				1.873.250 kr.
Uforudsete 20%				3.746.500 kr.
Rådgivning 15%				2.809.875 kr.
Total				<u>27.162.125 kr.</u>

Jollehavnen

Nye mure mod vand, inkl. nedbrydning (Jollehavnen)	m	101	20.000 kr.	2.020.000 kr.
Porte/skot (1 jollerampen, 1 nordlig mole, 1 eksisterende badebro mod syd) 3 stk. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	3	200.000 kr.	600.000 kr.
Jollehavnen, mole	m	105	46.000 kr.	4.830.000 kr.
Jollehavnen, ombygning af rampeanlæg	m2	16	10.000 kr.	160.000 kr.
Jollehavnen, uddybning og genplacering i anlægsområdet	m3	1000	100 kr.	100.000 kr.
Jollehavnen, vandskibro, forbindelsesbro	m2	52	10.000 kr.	520.000 kr.
Bølgedæmpende indfatning (Jollehavnen)	m2	67,5	15.000 kr.	1.012.500 kr.
Opfyld (Jollehavnen)	m3	816	110 kr.	89.760 kr.
Belægning (Jollehavnen)	m2	480	500 kr.	240.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Afvandingsrende	m	101	1.000 kr.	101.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	50.000 kr.	50.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	34	15.000 kr.	510.000 kr.
Anstilling 10%				1.024.576 kr.
Uforudsete 20%				2.049.152 kr.
Rådgivning 15%				1.536.864 kr.
Total				<u>14.856.352 kr.</u>

Havnen

Porte/skot, svinerysplanker (3 stk havnen i alt 27 meter)	m	27	12.000 kr.	324.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. bredstensætning kote 2,8-3,0)	m	238	20.000 kr.	4.760.000 kr.
Taarbæk Havn, ny kaj integreret med mur inkl. nedbrydning	m	80	160.000 kr.	12.800.000 kr.
Taarbæk Havn, mur på gammel kaj inkl. nedbrydning	m	88	160.000 kr.	14.080.000 kr.
Taarbæk Havn, forstærkning af nord mole	m	68	8.000 kr.	544.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Afvandingsrende	m	238	1.000 kr.	238.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	150.000 kr.	150.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	33	15.000 kr.	495.000 kr.
Anstilling 10%				3.340.350 kr.
Uforudsete 20%				6.680.700 kr.
Rådgivning 15%				5.010.525 kr.
Total				<u>48.435.075 kr.</u>

Snit 3, Nord for havnen

Nye mure på land (1 fløjmur)	m	6	10.000 kr.	60.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. stejlstensætning, kote 2,8-3,0)	m	754	20.000 kr.	15.080.000 kr.
Stejlstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	754	10.000 kr.	7.540.000 kr.
Stenforstækning af bund (ved stejlstensætning i nord)	m	754	1.500 kr.	1.131.000 kr.
Porte/skot. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	0	200.000 kr.	- kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	41	10.000 kr.	410.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	34	15.000 kr.	510.000 kr.
Anstilling 10%				2.473.100 kr.
Uforudsete 20%				4.946.200 kr.
Rådgivning 15%				3.709.650 kr.
Total				<u>35.859.950 kr.</u>

Prisestimat opdelt på strækninger og specialgrunde - Skitseforslag 3

Snit 1, Bellevue til Bombegrunden

	Enhed	Antal	Kr	I alt
Nye mure på land (1 fløjmur)	m	40	10.000 kr.	400.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. stejlstensætning kote 2,5-2,8)	m	245	18.000 kr.	4.410.000 kr.
Stejlstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	245	10.000 kr.	2.450.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	12	10.000 kr.	120.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	7	15.000 kr.	105.000 kr.
Anstilling 10%				748.500 kr.
Uforudsete 20%				1.497.000 kr.
Rådgivning 15%				1.122.750 kr.
Total				<u>10.853.250 kr.</u>

Bombegrunden

Nye mure på land (1 fløjmur)	m	10	10.000 kr.	100.000 kr.
Naturligt kystlandskab inkl. stenbestrøning, eksisterende støvsætninger fjernes ikke (sandindpumpning, 500 kr. pr. m3)	m	45	15.250 kr.	686.250 kr.
Bombegrunden hofde	m	20	33.000 kr.	660.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	20.000 kr.	20.000 kr.
Afvandingsrende (Bombegrund, Jollehavn, Hvanen)	m	45	1.000 kr.	45.000 kr.
Anstilling 10%				152.375 kr.
Uforudsete 20%				304.750 kr.
Rådgivning 15%				228.563 kr.
Total				<u>2.209.438 kr.</u>

Snit 2, Bombegrunden til havnen inkl. grunde nord for havnen ved Nordlyvej

Naturligt kystlandskab inkl. stenbestrøning, eksisterende stensætninger fjernes ikke (sandindpumpning, 500 kr. pr. m3)	m	410	15.250 kr.	6.252.500 kr.
Beplantning af kystlandskab, 6 planter pr. m2	stk.	1	600.000 kr.	600.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. bred stensætning kote 2,3-2,5)	m	65	16.000 kr.	1.040.000 kr.
Bred stensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	65	20.000 kr.	1.300.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	26	10.000 kr.	260.000 kr.
Porte/skot (Nordlyvej) (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	1	200.000 kr.	200.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	20	15.000 kr.	300.000 kr.
Anstilling 10%				996.500 kr.
Uforudsete 20%				1.993.000 kr.
Rådgivning 15%				1.494.750 kr.
Total				<u>14.449.250 kr.</u>

Jollehavnen

Nye mure mod vand, inkl. nedbrydning (Jollehavnen, Taarbæk Havn syd)	m	101	20.000 kr.	2.020.000 kr.
Jollehavnen, mole	m	105	43.000 kr.	4.515.000 kr.
Jollehavnen, nyt rampeanlæg inkl. nedbrydning	m2	109	10.000 kr.	1.090.000 kr.
Jollehavnen, uddybning og genplacering i anlægsområdet	m3	1000	100 kr.	100.000 kr.
Jollehavnen, vandskibro, badebro for morgenvinterbadere, indre badebro	m2	74,5	10.000 kr.	745.000 kr.
Opfyld (Jollehavnen)	m3	700	110 kr.	77.000 kr.
Belægning (Jollehavnen)	m2	500	500 kr.	250.000 kr.
Bølgedæmpende indfatning (Jollehavnen)	m2	75	15.000 kr.	1.125.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Afvandingsrende	m	101	1.000 kr.	101.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	2	15.000 kr.	30.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	50.000 kr.	50.000 kr.
Porte/skot 3 stk. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	3	200.000 kr.	600.000 kr.
Anstilling 10%				1.071.550 kr.
Uforudsete 20%				2.143.100 kr.
Rådgivning 15%				1.607.325 kr.
Total				<u>15.537.475 kr.</u>

Havnen

Taarbæk Havn, nye moler inkl. højvandsmur og molehoved, inkl. nedbrydning	m	167	75.000 kr.	12.525.000 kr.
Taarbæk Havn, indre mole inkl træbro	m	52	60.000 kr.	3.120.000 kr.
Taarbæk Havn, højvandsport	stk.	1	12.000.000 kr.	12.000.000 kr.
Ledningsomlægning	m	0,25	50.000 kr.	12.500 kr.
Afvandingsrende	m	238	1.000 kr.	238.000 kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	1	150.000 kr.	150.000 kr.
Porte/skot 3 stk. (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	3	200.000 kr.	600.000 kr.
Anstilling 10%				2.864.550 kr.
Uforudsete 20%				5.729.100 kr.
Rådgivning 15%				4.296.825 kr.
Total				<u>41.535.975 kr.</u>

Snit 3, Nord for havnen

Nye mure på land (1 fløj mure)	m	6	10.000 kr.	60.000 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. stejlstensætning kote 2,8-3,0)	m	677	20.000 kr.	13.540.000 kr.
Stejlstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	677	10.000 kr.	6.770.000 kr.
Stenforstækning af bund (ved stejlstensætning i nord)	m	677	1.500 kr.	1.015.500 kr.
Nye mure, inkl. nedbrydning (v. bredstensætning, kote 2,3-2,5)	m	77	16.000 kr.	1.232.000 kr.
Bredstensætning, inkl. nedbrydning (sprængsten)	m	77	20.000 kr.	1.540.000 kr.
Porte/skot (gns. eksempel på 3 meter port)	stk.	0	200.000 kr.	- kr.
Geotekniske undersøgelser	grunde	41	10.000 kr.	410.000 kr.
Nedtagning og opsætning af eksisterende badebroer	stk.	34	15.000 kr.	510.000 kr.
Anstilling 10%				2.507.750 kr.
Uforudsete 20%				5.015.500 kr.
Rådgivning 15%				3.761.625 kr.
Total				<u>36.362.375 kr.</u>

Bilag 3

Forslag til bidragsfordeling

Principper for bidragsfordeling skitseforslag 1, 2 og 3

Bidragsfordelingen kan fastlægges ud fra nytteværdi ift. oversvømmelser, kystnedbrydning eller anden fordel jf. Lov om Kystbeskyttelse § 9 a.

Skitseprojektet foreslår Taarbæk opdelt i 4 områder med væsentlige forskelle imellem oversvømmelse, kystnedbrydning eller anden fordel.

Område 1

Området er karakteriseret ved at bestå af en række enkeltejendomme, som alle er kystgrundejere, påvirket af oversvømmelser og ingen offentligt tilgængelige områder.

- Bidrag fordeles efter kystlængde eller grundstørrelse, og alle bidrager i samme omfang
- Kystbeskyttelsen vil omfatte beskyttelse både mod kystnedbrydning og oversvømmelse

Område 2

Området er karakteriseret ved at bestå af et stort antal ejendomme, nogle er kystgrundejere, oversvømmes og bagved mange ejendomme som alene oversvømmes. Der er flere offentlige områder og offentlige adgangsmuligheder til kysten for øvrige områder i Taarbæk og almenheden. Havnen indgår ikke i skitseforslag 1, delvist i skitseforslag 2 og i fuldt omfang i skitseforslag 3.

- Bidrag fordeles efter kystlængde og grundstørrelse, evt. med forskellige bidrag til beskyttelse mod kystnedbrydning, oversvømmelse og anden fordel. Bidrag til offentlige områder og offentlige adgangsmuligheder kan fordeles efter en særlig fordelingsnøgle mellem alle ejendomme i Taarbæk og evt. også Lyngby-Taarbæk Kommune i sin helhed
- Kystbeskyttelsen vil omfatte beskyttelse både mod kystnedbrydning og oversvømmelse

Område 3

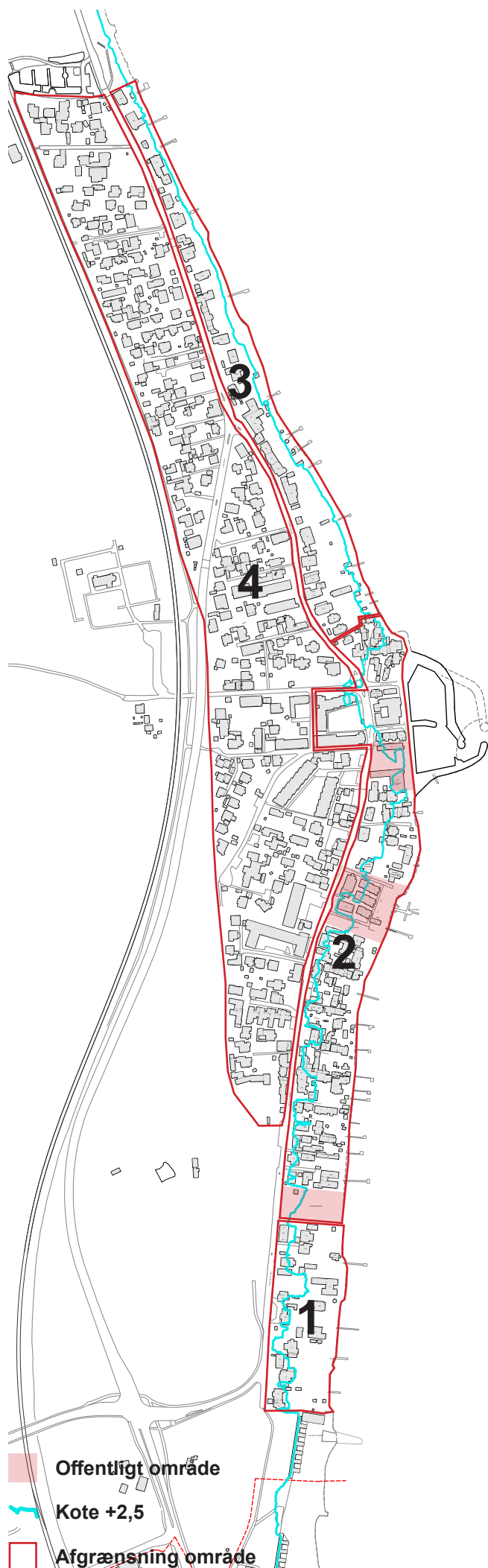
Området er karakteriseret ved at bestå af en række enkeltejendomme, som alle er kystgrundejere, ingen offentligt tilgængelige områder, men 3-5 foreningsejede adgangsteder for "ikke-kystgrundejere".

- Bidrag fordeles efter kystlængde eller grundstørrelse, og alle bidrager i samme omfang
- Kystbeskyttelsen vil omfatte beskyttelse både mod kystnedbrydning og med et begrænset omfang af beskyttelse mod oversvømmelse

Område 4

Området er karakteriseret ved et stort antal ejendomme, hvoraf ingen er kystgrundejere, med mindre de er en del af de foreningsejede adgangsteder til kysten. Ejendommene er alle en del af Taarbæk by og bidrag kan fordeles efter vurdering af "anden fordel"

- Bidrag fordeles efter grundstørrelser
- Anden fordel for område 4 er primært beliggende i område 2



Område 2:

Der er en mere fyldig beskrivelse i afsnit 3 i DHI's tekniske notat, hvor beregningerne beskrives – især under oversvømmelsesberegninger, hvor kortene over de beregnede oversvømmelser er vist.

Antallet af bygninger der oversvømmes ved følgende koter – svarende til fremskrevne højvander ved forskellige hyppigheder (som angivet i den tekniske rapport):

Tabel 1 Fremskrevne stormflodshøjder baseret på ~~Kystdirektoratets~~ højvandsstatistik for Københavns Havn

DVR 90	20 år	50 år	100 år	500 år
+0 (2017)	143 cm	152 cm	158 cm	172 cm
+35 cm	178 cm	187 cm	193 cm	207 cm
+50 cm	193 cm	205 cm	208 cm	232 cm
+100 cm	243 cm	252 cm	258 cm	272 cm

er (på baggrund af et par antagelser) beregnet til at være

Tabel 2 Antal oversvømmede bygninger (> 35 cm oversvømmelsesdybde) for 4 forskellige havspejlsstigninger 0 cm, 35 cm, 50 cm og 100 cm – for 5 returperioder 20 år, 50 år, 100 år og 500 år

DVR 90	20 år	50 år	100 år	500 år
+0 (2017)	0	0	6	28
+35 cm	38	52	62	84
+50 cm	62	81	86	124
+100 cm	142	156	166	188

Af dette kan man læse, at der i Taarbæk er en fordeling af, hvilke bygninger der oversvømmes ved forskellige stormflodshøjder (med forskellige hyppigheder). Dem der oversvømmes ved lavere hyppigheder (20 års retur periode) oversvømmes også ved højere hyppigheder og er selvfølgelig derfor mest udsatte etc.

Analysen viser, at der er et vist antal bygninger, der oversvømmes ved forskellige stormfloder nu og i fremtiden, men det er ikke eksplicit angivet her, ved hvilke koter disse bygninger er beliggende – dette kan man f.eks. antage ved at referere til stormflodshøjden for de forskellige hyppigheder.

Det vil sige, at hvis man vil differentiere ud fra stormflodshøjder og koter, så kan man overveje, hvordan det skal differentieres ift antallet af bygninger, der oversvømmes. Det kan være mere eller mindre "fintmasket" i bidragsfordelingen, men forslaget er så, at man minimum skal have 0,5 m's intervaller, men det er stadig problematisk, om grundens kote vurderes ud fra kælderniveau, stueniveau, haveniveau ned mod vandet, entredør op mod Taarbæk Strandvej? Den diskussion følger efter diskussionen om koter/hyppigheder for bidragsfordelingen.

Bilag 4

Skadesøkonomi

Skadesøkonomi

Skader på bygninger

Ved oversvømmelser fra havet vil bygninger kunne tilskrives en skadesværdi afhængig af konstruktion, materialer anvendt ved de enkelte bygninger, herunder sokkelhøjde, kælderarealer, gulves modstandskraft overfor havvand, interiør og placering af elektriske installationer. For at udregne et samlet tab i området er der udført en analyse, for tabsomkostningerne, ved at anvende en model for gennemsnitlige tabsværdier, baseret på empiriske data for hele landet – dvs. ikke differentierer mellem individuelle bygningsforhold.

Analysen har til formål at udvikle estimater for udviklingen af tabsomkostninger frem i tiden formuleret som gennemsnitligt forventede årlige direkte tabsomkostninger (Expected Annual Loss, EAL) på bygninger. Metodikken følger /1/.

Ved at beregne omkostningerne for et given stormflods-scenarie, hvor der ingen oversvømmelsesbeskyttende tiltag udføres de næste 100 år, redegør vi for, hvilke skadesøkonomiske værdier, der er på spil i form af udgifter til at reparere skader.

Gennem denne øvelse opnås en udvikling af den gennemsnitlige (forventede) omkostning, som kan omsættes til en integreret udgift over flere år ved at summere de årlige skades-omkostninger.

Tabsomkostningerne vil - som nævnt - blive opgjort som (årligt forventede) tab ved *direkte håndgribelige skader på bygninger* i området. Denne type af tab er den mest håndgribelige omkostning af flere og udgør dermed en delmængde af andre mindre veldefinerede typer af tab opstået af mere diffuse årsager - direkte eller indirekte forbundet ved oversvømmelseshændelser i et lokalt samfund. Dette diskuteres i et separat afsnit.

Som det vil blive klart ved gennemgangen i det følgende, er den direkte type af tabsomkostning i sig selv af en størrelsesorden, der giver et vægtigt argument til at påbegynde arbejdet med at sikre området. At der derudover er knyttet flere omkostninger til oversvømmelser i Taarbæk, end de direkte tab, styrker argumentet yderligere. En yderligere styrkelse i argumentet for at udvikle en *bæredygtig* beskyttelse, er at man i visse af de foreslåede løsninger kan knytte yderligere værdiskabelse til anlæggene, idet de ikke blot sikrer området mod bygningskader, men yderligere også sikrer og udvikler velfærden i området (jf. rekreativ anvendelse af kysten).

I det følgende gennemgås analysen for beregningen af de direkte skader og betydningen af andre forhold vil ligeledes blive diskuteret - informationer der tilsammen munder ud i konklusionen.

Alle beløb refererer til et prisindeks for år 2022.

Returperioder og fremskrivning af havniveau

For at opgøre betydningen af oversvømmelser i forhold til skader på bygninger beregnes estimater for antal oversvømmede bygninger (baseret på dynamisk oversvømmelsesmodellering) for en 20-års, 50-års, 100-års og 500-års stormflodshændelse ved forskellige havniveauer.

Skadesøkonomi-modellen

Der knyttes til disse tal estimater for skadesøkonomien som et gennemsnitligt forventet tab (EAL). Tabene ved oversvømmede ejendomme er beregnet på basis af modellen "Skadesøkonomi", jf. [Modelværktøj til Skadesøkonomi \(klimatilpasning.dk\)](#).

Direkte og indirekte tab

Estimater i denne analyse henviser til omstændigheder og omkostninger ved *direkte* tab, dvs. økonomiske tab pga. skader på bygninger, dvs. skader, der skal udbedres. Dette angiver således et minimumsbeløb i forhold til en længere række af afledte, direkte som indirekte effekter af, at et byområde som Taarbæk oplever oversvømmelser – herunder tab påført infrastruktur- og bygningsejere der ikke selv er berørt direkte.

Der er f.eks. en række ofte uforudsete direkte effekter på lokalsamfundets funktioner i spil under og lige efter oversvømmelsessituationen.

Der kan være en lang række skader – dvs. direkte tab - på forskellige typer af værdier, som det er vanskeligt at redegøre for teoretisk, f.eks. skader på indbo ved oversvømmede huse eller skader på både, der ikke er forsvarligt fortøjret under forhøjet vandstand. Der kan ligeledes være skader på infrastruktur pga. akut erosion – f.eks. underminering ved moler enten ved fronterosion eller bagsideerosion ved bølgepåvirkning.

Trafikale problemer ved forhøjet vandstand kan ligeledes være et problem for beboere og detailvirksomheder – herunder påvirkning af daginstitutioner, plejecentre og skoler.

Ofte vil sådanne effekter i sidste ende spejles i faldende huspriser, idet huspriser kan opfattes som et mål for hvor attraktivt et givent område er. Det er vanskeligt at oversætte hvordan ydre fysiske forhold og ændringer i sådanne situationer vil påvirke ejendomsmarkedet, men det er et kendt fænomen af der er en effekt, som det f.eks. er vist i empiriske undersøgelser udført i Jyllinge Nordmark angående sociologiske, psykologiske og socio-økonomiske effekter af oversvømmelserne under stormen Bodil (2013).

Af ovenstående eksempler på negative effekter ved oversvømmelser fremgår det at en økonomisk analyse af direkte skader altid vil udgøre et mindstebeløb, hvortil andre effekter og hensyn skal inkluderes ved beslutningstagningen angående hvilken løsning, der skal investeres i.

I det følgende gennemgås en række forhold, der beskriver omfanget af oversvømmelserne, herunder omfanget af de direkte omkostninger, der vil være ved tab af materiel karakter for bygninger.

Vi gennemgår nedenfor følgende:

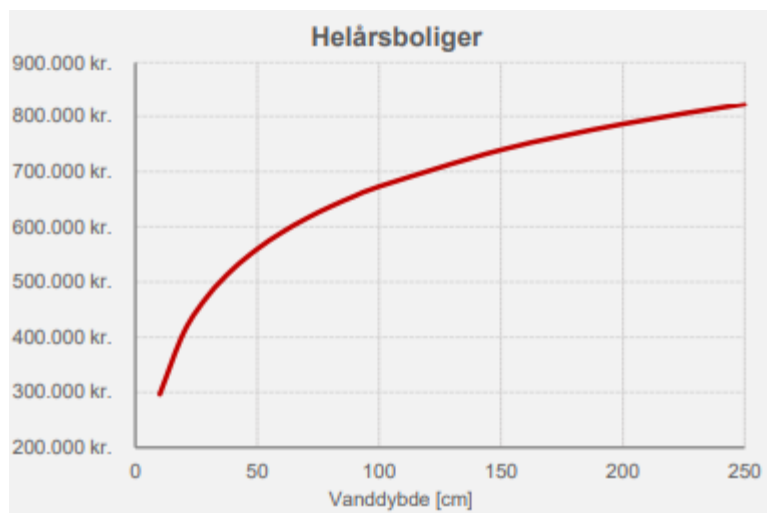
- Den økonomiske model
- Validering af model
- Tabsomkostninger – risikoanalyse

Er man således udelukkende interesseret i et resultat for det direkte materielle tab af værdi for bygninger, der oversvømmes, kan man springe hen til sidste sektion.

Økonomisk model til vurdering af tabsøkonomi

Et videre økonomisk overslag udføres nu på baggrund af følgende antagelser og modeller:

Gennemsnitlige centrale estimater for helårsboliger kan beregnes med en simpel model som beskrevet på [Modelværktøj til Skadesøkonomi \(klimatilpasning.dk\)](http://Modelværktøj til Skadesøkonomi (klimatilpasning.dk)), hvor skadesværdien i nutidsværdi er en funktion af oversvømmelsesdybden. Denne skadesfunktion giver et centralt estimat på landsplan, men der er geografiske variationer af en boligs værdi.



Figur 1 Skadestab som funktion af vanddybde ifølge Skadesøkonomi-model jf. [Modelværktøj til Skadesøkonomi \(klimatilpasning.dk\)](http://Modelværktøj til Skadesøkonomi (klimatilpasning.dk))

Stormen Bodil (2013)

Formlens anvendelighed er testet i forhold til de skader og skadesomkostninger, der rapporteres i COWI's undersøgelse (Stormflod og havvandsstigning, 2018, /1/), nemlig at der under stormen Bodil (2013) rapporteredes "skader for 7 millioner kroner fordelt på 16 sager" – prisindeks 2018. Som DHI forstår det har følgende forhold været gældende under stormen:

- Oversvømmelserne på terræn sker i første fase af forløbet og er forårsaget af direkte oversvømmelser og bølgeoverskyl fra havet
- Derefter observeres der tegn på indtrængning og opstuvning af havvand igennem kloaksystemet (tidsforskudt trykopbygning og problemer med afvanding fra land til havet)
- Der har været foretaget pumpninger under storm-forløbet, hvor en pumpe dog har været trådt ud af kraft
- Der har ikke været kontraktapper på udløbene, hvorfor havvand direkte har påvirket kloakker med hydraulisk kontrakt til udløbene

Forløbet fortolkes således fysisk som at højvandet, der opbygges under stormfloden, på en gang forårsager oversvømmelser på overfladen og belastninger af kloaksystemer / afvandingssystemer. Der er således en integreret sammenhæng mellem disse fænomener. Den økonomiske model korrelerer tab

til oversvømmelsesdybder, men tabene kan godt være forårsaget af både direkte tab fra oversvømmelser og overløb fra kloaker, der indirekte skyldes høje vandstande i havet.

Bodil-stormen 2013 afstedkom i årene efter visse forbedringer af forsvaret mod stormflodsvand, f.eks. etablering af kontraklapper. Disse forbedringer er udmærkede foranstaltninger, men vurderes til ikke kunne afhjælpe oversvømmelsesfaren ved større højvander end under Bodil. Hertil kan lægges, at der kan være yderligere pres fra sammenfaldende hændelser med kraftige regnforløb.

Dynamiske oversvømmelsesberegninger er i den forbindelse udført med MIKE-modellen for en 100-års hændelse hhv. en 500-års hændelse ved +0 cm havspejlsstigning. Det noteres, at COWI vurderer at stormen Bodil (2013) er en 250-års hændelse, hvorimod DHI vurderer at den har været en 500-års hændelse. Dette spænd henviser til at der i dette tilfælde er en vis usikkerhed på bestemmelsen af returperioder for meget ekstreme hændelser – og at COWI og DHI anvender forskellige returperiodekurver. DHI anvender i modsætning til COWI den officielle højvandsstatistik fra Kystdirektoratet.

De dynamiske oversvømmelsesberegninger viser et antal oversvømmede bygninger i størrelsesordenen 10 bygnings-enheder for stormfloder i intervallet 100-års og 500-års hændelser.

Det økonomiske tab ifølge Skadesøkonomi-modellen giver ved direkte anvendelse tab i størrelsesorden 10 mill. DKK for disse returperioder (9 mill. DKK hhv. 12 mill. DKK – prisindeks 2022).

Hvis COWI's omkostningstal prisreguleres med en faktor 1,17 fra 2018 til 2022 ses at DHI's tal rammer samme størrelsesorden som de af COWI rapporterede antal skader og skadesomkostninger. Dette vurderes til at være acceptabelt set i lyset af de gennemgåede forhold.

Tallene for en enkelt hændelse i 2013 er behæftede med usikkerhed, men de indikerer stadig, at vandstandene oplevet under stormen Bodil (2013) har været høje nok til at skabe oversvømmelser i Taarbæk - og som beregningerne i det efterfølgende viser, varsler dette at endnu større problemer vil kunne vise sig på større skala når Taarbæk rammes af stormfloder ved højere vandstande i fremtiden.

En analyse af tabsudviklingen frem i tiden gennemføres nu ved at integrere tab ved forskellige returperioder / sandsynligheder for stormflod for forskellige fremtidige havniveauer, svarende til fremskrivningen over de næste 100 år, som gennemgået i nedenstående afsnit.

Gennemsnitlige forventede tabsomkostninger EAL

Fremgangsmåden for beregningen af EAL består af følgende trin (se f.eks. Spildevandskomiteens Skrift 31 for gennemgang af denne metode):

- 1) Beregning af oversvømmelserne for de udvalgte returperioder for udvalgte havniveauer – her udført med DHI's dynamiske model MIKE Flood
- 2) Udtrækning af oversvømmelsesdybden ved hvert bygningsselement i området
- 3) Beregning af skade ved oversvømmelsesdybden, ved at anvende skadesfunktion, jf. Skadesøkonomi-modellen - og summere alle skadestab for området
- 4) Integrering af tabene over sandsynligheder for at opnå den gennemsnitlige forventede omkostning (EAL)

Der er med denne metode beregnet et estimat for det gennemsnitlige forventede tab EAL ved en havspejlsstigning på 50cm (om ca. 50 år) og 100cm (om ca. 100 år) baseret på de fire returperioder: 20 år, 50 år, 100 år og 500 år.

Hermed fås følgende sammenhæng mellem forskellige havvandsstigninger (SLR), stormflodsvandstande (Max VS), returperioder (RP) og gennemsnitlige årlige tab jf. nedenstående tabel.

Tabel 1 Fordelingen af tab ved forskellige stormflodshændelser ved forskellige havniveauer.

RP SLR +100cm				1	2.5	3.3	3.5	4.5	20	50	100	500
RP SLR +50cm		3	3.5	5	20	50	100	500				
RP SLR +0cm	20	50	100	500								
Max VS (cm)	143	152	158	172	193	205	208	232	243	252	258	272
Tab (mill DKK)	0	0	9	12	53	63	69	63	60	68	72	81

Det bemærkes hvordan returperioder *udenfor* intervallet 20-500 år er tilføjet til integrationen – dette er gjort ved – vha. ekstrapolation i Kystdirektoratets højvandsstatistik – at estimere, hvilken returperiode en given max vandstand svarer til ved et anden havniveau (SLR). F.eks. ses det hvordan en returperiode der i dag (+0cm) er en 500-års hændelse vil være en 5-års hændelse ved +50cm og en årligt forekommende hændelse (mindst) ved +100cm.

Disse tal anvendes til at beregne et estimat for EAL, ved at integrere tabet afstedkommet af de enkelte hændelser:

$$EAL = \int_{p_1}^{p_2} Tab_p dp$$

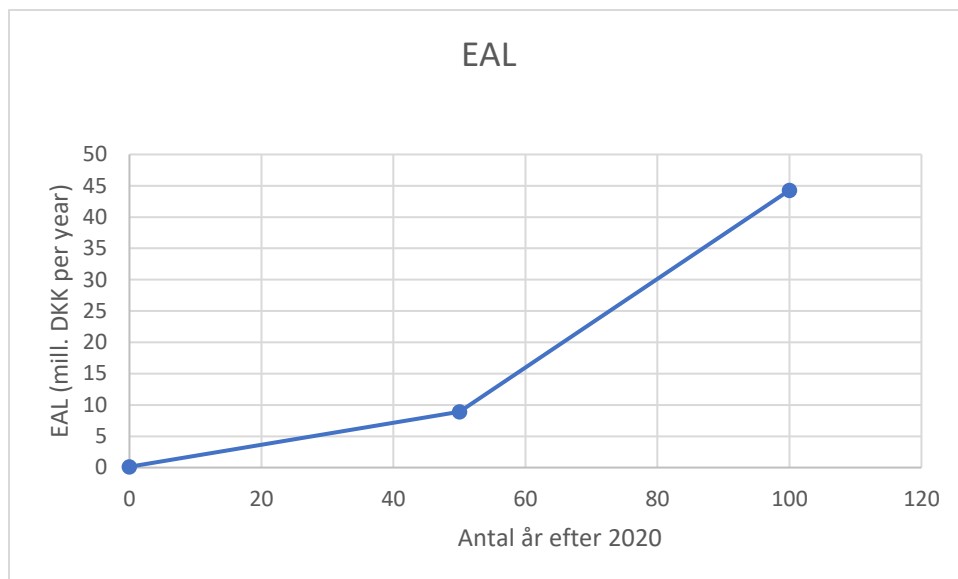
Her er sandsynlighedsvariablen p den inverse af returperioden, i.e. $p = 1/RP$ - se også /1/.

Integrationsgrænserne er valgt så integrationen løber fra en "lav" sandsynlighed, her valgt til at RP = 500 år ($p = 1/500 = 0,002$ per år), til sandsynligheden over hvilken oversvømmelser ikke længere sker – her antaget at være ved 152 cm – svarende til en 50-årshændelse ved 0cm havstigninger (i.e. $p = 1/50 = 0,2$ per år).

Resultatet af beregningerne er angivet i følgende tabel 2 og figur 2.

Tabel 2 SLR versus EAL

SLR (cm)	År efter 2020	EAL (mill. DKK)
100cm	100år	45
50cm	50år	8.9
0cm	0år	0.13



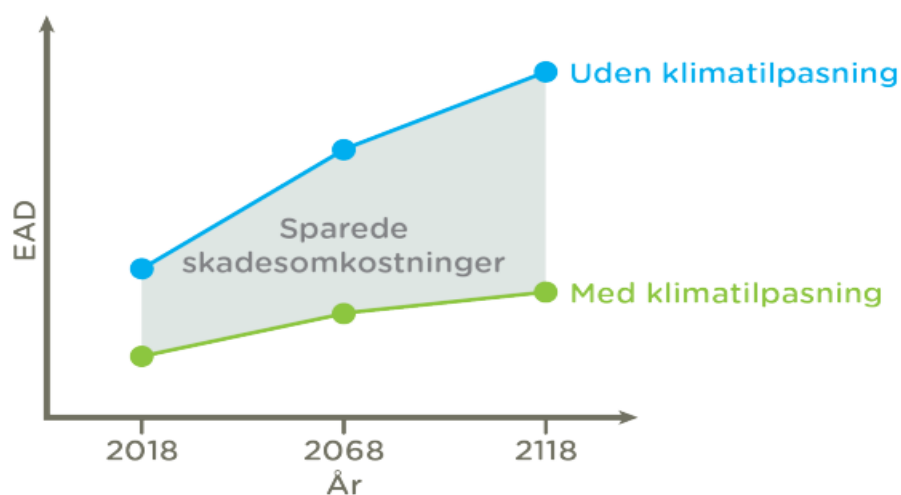
Figur 2 Udviklingen af EAL som funktion af havniveaustigningen SLR

Sammenligning med COWI's screening for Taarbæk /2/, viser nærværende EAL-estimat sig at være:

- +0år: En smule mindre (COWI 0,3 mill. DKK (2018), 0,35 mill. DKK (prisindeks 2022))
- +50cm/50år: Samme størrelsesorden (COWI ca. 7 mill. DKK (2018), 8,2 mill. (prisindeks 2022))
- +100cm/100år: Mindre (COWI 68 mill. DKK, (2018), 80 mill. DKK (prisindeks 2022))

Sparede skadesomkostning ved kystbeskyttelse

Den totale skadesomkostning fås ved at integrere mellem EAL-kurven for basissituationen og en tilsvarende EAL-kurve for situationen med klimasikring.



Figur 3 Arealet mellem EAL (som her angives EAD) med og uden klimatilpasning udgør de sparede skadesomkostninger - taget fra /1/

I vores tilfælde ønsker vi at forstå, hvad det fulde potentiale for besparelser er ved at udvikle klimasikring, dvs. en sikring, der sikrer området 100% (hypotetisk). Vi beregner dette potentiale for sparede direkte skadesomkostninger ved at finde arealet under kurven for EAL uden klimatilpasning ved forskellige havniveaustigninger og noterer stigning i skadesomkostninger ved stigende havniveau.

Endelig differentierer vi mellem to intervaller 0cm-50cm og 50cm-100cm, hvilket (som nævnt andetsteds også) antages at være en højt sat udvikling – RCP8.5 - i tidsrummene 0-50år hhv. 50-100år.

Perioden 0-50år

I denne periode anser vi estimerne for havniveaustigninger for relativt pålidelige, idet atmosfæriske forhold og udledning af drivhusgasser, som vi kender det i dag, kommer til at være dominerende dekader ind i fremtiden, også selvom det globale samfund hypotetisk set ikke udledte mere drivhusgasser ud fra dags dato.

Vi kender ikke det tidlige forløb i perioden 0-50år - hvilket er vigtigt da det påvirker udviklingen i totalomkostningerne over en periode direkte. Vi undersøger derfor to yderligheder, en eksponentiel vækst og en lineær vækst:

Hvis vi antager en eksponentielt forløb fra +0cm til +50cm fås (prisindex 2022)

$$\int_{0\text{år}}^{50\text{år}} EAL(t)dt = ca. 130 \text{ mill DKK}$$

Antager vi et lineært forløb fås et omkostningsestimat på (prisindex 2022)

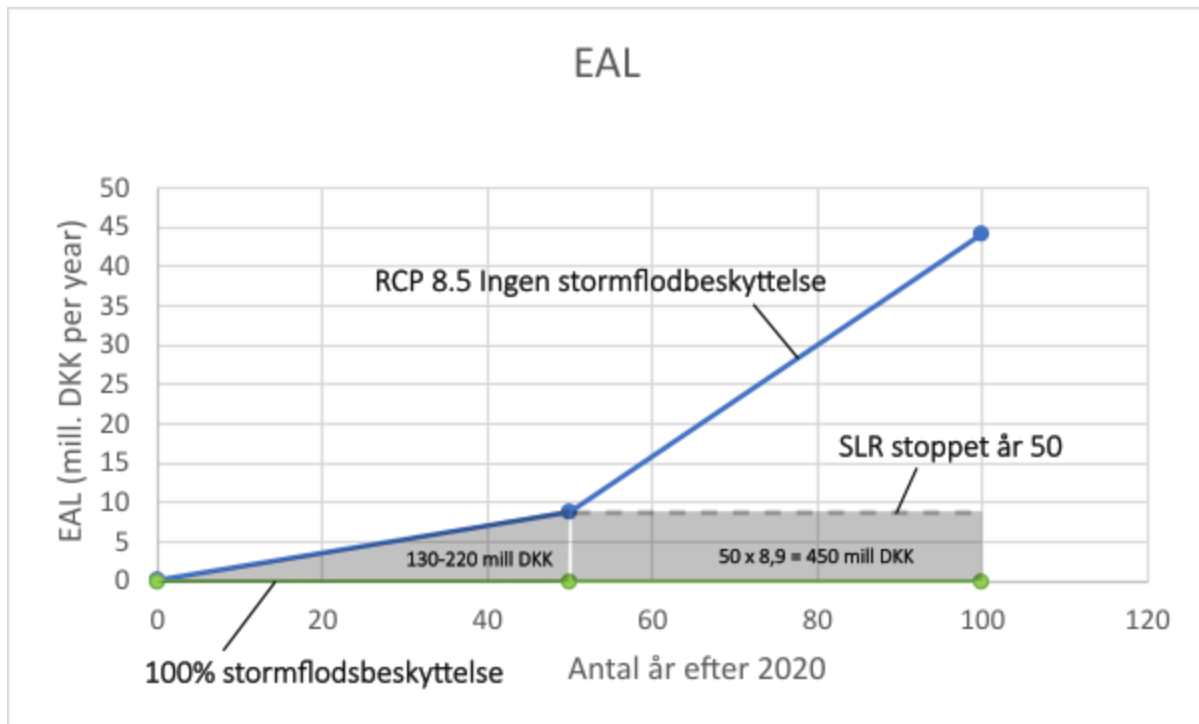
$$\int_{0\text{år}}^{50\text{år}} EAL(t)dt = ca. 220 \text{ mill DKK}$$

Vi angiver på denne baggrund omkostning for perioden 0-50år (0-50cm) med en usikkerhed i forhold til det tidlige forløb som: **130-220 mill. DKK.**

Perioden 50-100år – et scenarie

I denne periode er der en lang række faktorer, der simpelthen ikke er kendte, især om udledning af drivhusgasser og atmosfærens reaktion på samme følger RCP8.5 scenariet eller ej.

For at få en ide om størrelsesorden på skader efter 50 år foreslås at betragte et scenarie, hvor vandstanden ikke øges efter 50 år – altså et tilfælde hvor drivhusgas-effekten er afviklet på globalt plan på dette tidspunkt. Fortsætter en sådan situation fra om 50 år til om 100 år (som et eksempel) fås en yderligere total-omkostning i størrelsesordenen **ca. 450 mill. DKK** i perioden 50-100 år idet dette tilfælde svarer til et konstant havspejlsstigningsniveau på +50cm, hvor EAL er 8,9 mill. DKK (i hele perioden – 50 x 8,9 mill. DKK = 450 mill. DKK).



Figur 4 Udvikling af EAL over en 100-årig periode fra 2020. Forventede omkostnings-besparelser ved at indføre stormflodsbeskyttelse for 0-50 år hhv. 50-100 år frem i tiden er vist som arealer mellem blå og grøn kurve (uden og med stormflodsbeskyttelse). Det skal noteres, at to scenarier er vist for perioden 50-100 år, hvor kun scenariet svarende til en stagneret havstigning er benyttet i det økonomiske overslag. EAL = Expected Annual Loss (forventet årligt tab), SLR = Sea Level Rise (havniveaustigning), RCP = Representative Concentration Pathway (IPPC's klimascenarier for drivhusgasser)

Diskussion af resultater i forhold til COWI's analyse

Som det fremgår af nedenstående sammenligning, er der en række forskelle mellem nærværende arbejde og analyser udført af COWI.

Følgende forskelle mellem DHI's og COWI's analyser er identificeret:

Tabel 3 Forskelle mellem DHI's og COWI's analyser

	DHI	COWI
Analyse udarbejdet årstal	2023	2018
Havspejlstigninger	50cm om 50år 100cm om 100år (højt scenarie)	70cm om 100år
Returperioder	Kystdirektoratets højvandsstatistik	COWI /2/, /3/
Sokkelkote	30cm	20cm
Oversvømmelsesmodel	MIKE 21 FM HD + SW (koblet) Dynamisk simulering af stormfloder og bølger - inkl. eksisterende mure langs kysten	Statisk kortlægning (screening)

	DHI	COWI
Økonomisk model	Skadesøkonomi for direkte skader på bygninger, jf. Klimatilpasning.dk	COWI /2/, /3/
Prisindeks	2022	2017
EAL resultater – forskelle	Højere EAL om 50år (end COWI) Lavere EAL om 100år (end COWI)	Lavere EAL om 50år (end DHI) Højere EAL om 100år (end DHI)
Totale omkostningstab	<u>0-50år:</u> 130-220 mill. DKK <u>50år-100år:</u> Mindst 450 mill. DKK i hele perioden. 8,9 mill. DKK per år i år 50 8,9-45 mill. DKK per år i år 100 alt efter klimaudvikling	<u>0-100år:</u> 134 mill. DKK, prisindeks 2018, /3/

I det følgende diskuteres resultaterne og der udtrages en række konklusioner af analyserne.

Diskussion og konklusion

Med de estimerede beløb for direkte skader på bygninger og med det faktum in mente, at der til de direkte skader skal lægges en række både økonomiske ekstraudgifter og tab (f.eks. fald i huspriser i området) og at der skabes et lokalmiljø, der generelt kan tænkes at have lavere velfærd i fald ingen beskyttelsesindsatser indføres, gør at vi konkluderer følgende:

0-50år

Det er relevant at begynde udvikling af kystbeskyttelsen ved Taarbæk, med henblik på som minimum at følge udviklingen i havniveau-stigninger de næste 50 år og adressere eventuelle yderligere havniveaustigninger ud over hvad der måtte ske om 50 år.

Udgifter til anlæg der adresserer situationen om 50 år i størrelsesorden 130-220 mill. DKK synes at være retfærdiggjort gennem de udførte analyser.

50-100år

Udviklingen er mere usikker i denne periode. Under alle omstændigheder vil *investeringer gjort i perioden 0-50år komme perioden (50-100år) til gode*. Man kan tænke sig to ydertilfælde:

Scenarie 1: Havet stiger ikke mere efter de første 50 år pga. hurtig nedskalering af drivhusgasemission i det globale samfund (snarest anno 2023): Med et allerede etableret anlæg vil man for hvert år spare i størrelsesorden 8,9 mill. DKK (prisindeks 2022).

Scenarie 2: Havet fortsætter med at stige efter 50 år (f.eks. efter RCP8.5 scenariet): Eksistensen af en allerede etableret kystbeskyttelse vil på dette tidspunkt skabe et godt fundament for yderligere klimatilpasning. Klimatilpasning af eksisterende - forberedte - anlæg er nemmere og billigere end at etablere anlæggene fra bunden.

Andre forhold

Såfremt løsninger indført i perioden 0-50år (0-50cm) er udført med henblik på 1) senere at kunne klimatilpasses og 2) ydermere tilføjer økonomisk og bymæssig merværdi, vil disse løsninger indgå som

yderligere positive faktorer i beslutningstagningen – hvor samfundsforhold og klimasikring udgør et forhold i synergi.

Referencer

/1/ Rambøll, 2021, Manual til anvendelsen af Skrift 31, version 1.1 udarbejdet for Miljøstyrelsen

/2/ COWI, 2018, Stormflod og Havvandsstigninger, Projektnr. A095193-001, ver. 7.0, feb. 2018, Regnvandsforum

/3/ COWI, 2019, Udredning om stormflod og havvandsstigninger i regi af regnvandsforum – Stormflodssikring, projektnummer A095193-003, ver. 2, juni 2019

Dokument historik

Projektleder:	Nils Drønen
Kvalitetsansvarlig:	Henrik Madsen
Udarbejdet af:	Nils Drønen
Projektnr.:	11827674
Godkendt af:	Kasper Kærgaard
Godkendelsesdato:	03.04.2023
Revision:	Final 1.01
Klassifikation:	Begrænset: Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen, men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.
<small>DHI A/S • Agern Allé 5 • DK-2970 Hørsholm • Denmark Telefon: +45 4516 9200 • dhi@dhigroup.com • www.dhigroup.com • CVR-nr.: 36466871</small>	

Bilag 5

Gennemgang af hydrauliske forhold

Klimasikring af Taarbæks kyststrækning

Kysttekniske forudsætning: Analyser af
oversvømmelsestrussel og input til skitseforslag til tiltag

Rapport
Projektnr. 11827674

Dato 23-03-2023

Udarbejdet for Lyngby Taarbæk Kommune

Klimasikring af Taarbæks kyststrækning

Analyser af oversvømmelsestrussel og input til skitseforslag til tiltag

Rapport
Projektnr. 11827674

Udarbejdet for: Lyngby Taarbæk Kommune
Repræsenteret ved: Specialkonsulent, Bo Henrik Mogensen

Kontaktperson: Bo Henrik Mogensen, BOHEM@ltk.dk, +45 21 42 90 33
Projektleder: Nils Drønen
Kvalitetsansvarlig: Bo Brahtz Christensen
Udarbejdet af: Nils Drønen
Projektnr.: 11827674
Godkendt af: Kasper Kærgaard
Godkendelsesdato: 23-03-2022
Revision: Final 1.01
Klassifikation: **Begrænset:** Dette dokument er tilgængeligt for personer ansat i DHI-koncernen men må ikke deles med andre udenfor DHI-koncernen uden kundens forhåndsgodkendelse.
Filnavn: 11827674 Taarbæk kystsikring - Teknisk note - final 1.01.docx

Indholdsfortegnelse

1	Indledning	6
2	Hydrografiske forhold	8
2.1	Havniveau	8
2.1.1	Absolutte havniveaustigninger	8
2.1.2	Landhævninger og relativ (oplevet) havniveaustigning	9
2.1.3	Den oplevede havstigning	10
2.1.4	Beslutningshorisonter.....	10
2.2	Stormfloder	10
2.3	Bølgeforld	12
2.4	Topografi	15
2.5	Bundkoter	16
2.6	Eksisterende sikring (2022)	18
3	Sedimenttransport-forhold	19
3.1	Sedimentets karakter	19
3.2	Karakteristiske strækninger	20
3.2.1	Sedimenttransportforhold.....	21
4	Dimensionering af skitseløsninger	22
4.1	Dimensionering	22
4.2	Forbehold	22
4.3	Dimensioneringens elementer	22
4.4	Historisk oplevede stormfloder.....	22
4.4.1	Designscenarie for højvande - havniveau og stormflodshøjde	23
4.5	Design-bølgehøjde.....	23
4.6	Bølgestuvning.....	24
4.7	Tillæg pga. bølgeoverskyl	24
4.8	Bølgehøjdenes variation langs kysten.....	24
5	Konsekvenser af ingen tiltag	25
5.1	Dynamisk modellering af oversvømmelser.....	25
5.1.1	Højdeforhold i modellen	25
5.1.2	Stormflod og bølgeforld.....	27
5.2	Modelresultater og oversvømmelseskader	28
5.3	Bølgehøjdenes variation langs kysten - designværdier	31
6	Profil-løsninger og deres virkemåder	34
6.1	Overvejelser	34
6.1.1	Overskyl	34
6.1.2	Risiko for strukturel skade ved overskyl	34
6.1.3	Risiko for oversvømmelse fra overskyl	35
6.1.4	Bølgedæmpning i profilet - 3 principper.....	35
6.1.5	Reduktioner af bølgehøjder og overskylsrater.....	36
6.2	Løsninger med profiltype 1	37
6.2.1	Pumpekapacitet ved overskyl - overvejelser	39
6.3	Løsninger med profiltype 2	39
6.4	Løsninger med profiltype 3	39
6.5	Løsninger med profiltyper i kombination	40
7	Andre forhold	44
7.1	Samspil med afvandingen af terræn	44
7.2	Klimatilpasning, implementering og faseinddeling.....	44
8	Konklusioner	46
9	Referencer	48

Figurer

Figur 1 Det globale havniveau stigninger og 100 år hhv. 300 år – se reference /1/.	9
Figur 2 Landhævninger i Danmark i mm per år.	9
Figur 3 De højeste vandstande målt i Københavns havn i cm DVR 90 /2/.	11
Figur 4 Fordeling af bølgehøjder (Hs - "signifikant" bølgehøjde) og retninger i et punkt ud for Taarbæk havn ved ca. 6m dybde (fra DHIs model baserede MetOcean data portal, jf. /3/). Bølgerne vises som retning kommende fra.	13
Figur 5 Ekstrem værdi analyse for hindcast data ved punkt på 6m dybde udenfor Taarbæk havn – returperioder for ekstrem bølgehøjde ("omni directional").	14
Figur 6 DK højdemodel – hydraulisk tilpasset.	15
Figur 7 Placering af 11 linjer hvor profilopmålinger er foretaget. Profiler nummereres fra 1-11 fra nord mod syd.	16
Figur 8 Profil 1-5 nord for havnen – fuldt optrukne blå linjer er data fra opmålinger med drone, røde punkter data fra målinger med håndholdt GPS.	16
Figur 9 Profil 6-11 syd for havnen – fuldt optrukne blå linjer er data fra opmålinger med drone, røde punkter data fra målinger med håndholdt GPS.	17
Figur 10 Kombinerede opmålte og satellitbaserede bundkoter.	17
Figur 11 Eksisterende mure (her er kun mure i lavtliggende områder vist).	18
Figur 12 Gule markører viser lokationer, hvor der er udtaget sedimentprøver.	19
Figur 13 Mure foran de mest lavtliggende dele af kysten.	26
Figur 14 Beregningsnet for hele området.	27
Figur 15 Vandstandsforløb ved vandstandsrand i dynamisk model.	28
Figur 16 Oversvømmelse ved maksimal vandstand under 100-års stormflod nu og i fremtiden. Øverst 0cm højere vandstand (i dag). Nederst 35cm højere vandstand.	29
Figur 17 Oversvømmelse ved maksimal vandstand under 100-års stormflod nu og i fremtiden. Øverst 50cm højere vandstand. Nederst 100cm højere vandstand.	30
Figur 18 Antal oversvømmede bygninger efter en 100-års stormflodhændelse, som funktion af havniveau stigning regnet fra 2020.	31
Figur 19 Fordelingen af bølgehøjder langs kysten ved Taarbæk for en bølgeindfaldsvinkel på 10° for en 100-årshændelse for stormflod ved en 50 cm vandstandsstigning (om ca. 50 år).	32
Figur 20 Forskellige bearbejdningsformer af kystprofilen foran stormflodsmur. Øverst: Ingen ændringer. Midt: Bølgedæmpende struktur foran mur. Nederst: Sandfodring – strand hæves og kystprofilen forskydes væk fra kystlinjen.	36
Figur 21 Fra EuroTop /3/ – definitioner af variable – kun fribord R_c og bølgehøjde H_{m0} indgår i den benyttede formel.	37
Figur 22 Skitse til Jollehavnen – version med profiltype 2 nord og syd for havnen, som udviklet af H&K.	41
Figur 23 Skitse til Jollehavnen – version med profiltype 3 nord og syd for havnen, som udviklet af H&K.	43

Tabeller

Tabel 1 Resulterende landhævninger frem i tiden.	10
Tabel 2 Havspejlsstigninger relativ til landhævninger, vurderet (oplevede havniveauer).	10
Tabel 3 Usikkerhedsintervaller for tidspunkt for forøget vandstand (RCP8.5)..	10
Tabel 4 Fremskrevne ekstremværdier for udvalgte oplevede vandstandsstigninger baseret på Kystdirektoratets højvandsstatistik for Københavns Havn.	11
Tabel 5 Resultater af kornstørrelsesfordeling for de 5 sedimentprøver.....	19
Tabel 6 Fremskrevne maksimale vandstande under stormflod for forskellige returperioder – inklusive markering af valgte værdier for dimensioneringen.....	23
Tabel 7 Antal oversvømmede bygninger under stormflod ved forskellige havniveaustigninger.....	31
Tabel 8 Overskylsvolumener og risiko for skader ved forskellige overskylsrater.	34
Tabel 9 Estimerede overskylsrater ved forskellige bølgehøjder (signifikant bølgehøjde) foran konstruktionen.....	38

Bilag

Bilag A **(no appendices)**

1 Indledning

I denne rapport udvikles 1) den forståelse for hvilke trusler havet udgør i forhold til oversvømmelser af lavtliggende dele af Taarbæk og 2) forslag til virkemidler i forhold til at beskytte området.

Dette indebærer en model-baseret analyse af faren for oversvømmelse ved Taabæks kyststrækning, som den vurderes at udvikle sig over de næste 50 år hhv. 100 år samt en udvikling af forslag til tekniske beskyttelsestiltag overfor denne fare, herunder estimering af størrelsesordner af dimensioner for stormflodsikringen.

Først udføres - på baggrund af en gennemgang af styrende parametre for situationen - en screening af oversvømmelsestruslen fra havet, som den ser ud i dag og som den kommer til at udvikle sig, herunder hvad der vil ske uden at en indsats gøres for at beskytte området (nul-scenarie). Truslen er i den forbindelse vurderet til især at være en følge af det globalt stigende havniveau og den større og større indflydelse dette får for faren for oversvømmelser ved passage af moderate og ekstreme stormfloder.

Der er på denne baggrund i med DHI og Hasløv og Kærsgaard som underleverandør til EKJ udviklet tre løsningsprincipper for bearbejdning af kystprofilet langs kysten med henblik på at afbøde faren for oversvømmelse fra havet nu og i fremtiden. Disse løsningsprincippers virkemåder beskrives og ud fra et udvalgt dimensioneringsgrundlag med tilhørende screeningsanalyser udledes dimensionerende sikringskoter for de forskellige løsninger med formål, at disse kan indgå i skitseprojekteringen af beskyttelsesforanstaltninger og sammensætninger af løsninger langs kysten.

I den forbindelse er det vigtigt at understrege, at de i dette arbejde udledte dimensioner er udviklet til at passe med et screeningsniveau, sådan at de kan anvendes til skitseforslagene, ikke må forveksles med de endelige designparametre til dimensioneringer ved det endelige design. Ved det endelige design skal de i dette arbejde udviklede designforhold og dimensioneringsstørrelser opgraderes gennem en vurdering af de udviklede størrelser og derigennem en vurdering af behovet for yderligere detaljering og kvalitetssikring.

Rapporten er inddelt i følgende kapitler:

Hydrografiske forhold – gennemgang af vandstands- og bølge-forhold - inklusive beskrivelser af tilgængelige data og beskrivelse af havniveaustigninger

Sedimentdynamiske forhold – sediment transport og erosion / tilsandingsforhold

Dimensionering for skitseløsninger - dimensioneringsgrundlag bestemmes på baggrund af de foregående beskrivelser

Konsekvenser ved ingen tiltag – modellering med dynamisk model viser konsekvenserne ved ikke at udarbejde en plan for sikring af Taarbæk mod oversvømmelser fra havet

Profilløsninger og deres virkemåde – de valgte løsningstyper og deres virkning som oversvømmelsesbeskyttende foranstaltninger beskrives og kvantificeres

Andre forhold – kystbeskyttelsen sættes i perspektiv i forhold til en konkret udførelse af klimasikringen, herunder diskussioner af faseinddelt klimasikring og sammenspillet med nedbørshåndtering.

2 Hydrografiske forhold

2.1 Havniveau

Havniveauet ved Taarbæk er – som det er gældende for det globale havniveau – stigende, det faktum klimaforskere sætter i forbindelse med globale temperaturstigninger forårsaget af stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren, hvilket bl.a. forårsager en øget afsmeltning af iskapper ved Arktis og Antarktis og en termisk udvidelse af vandet i verdenshavene. Disse globale forhold har på forskellig måde indflydelse på havniveauet ved verdens kyster, også i Danmark - i dette tilfælde mere specifikt i Øresund og dermed i havet ud for Taarbæk.

Ved en given kyststrækning er *det oplevede havniveau* altid relativ til lokalitetens kote. På denne måde er det oplevede havniveau ved Taarbæk summen af det egentlige - eller absolutte - havniveau fratrukket ændringer i koten af undergrunden – i Danmark pga. eftervirkninger fra bortsmeltede ismasser fra istiden.

2.1.1 Absolutte havniveaustigninger

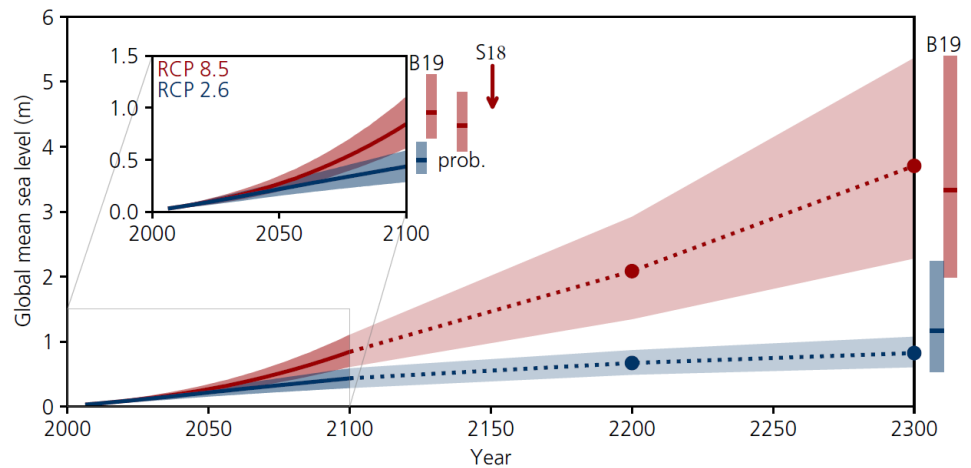
Det absolutte havniveau stiger globalt ifølge /1/ som funktion af raten for emission af drivhusgasser, hvor sidstnævnte er afhængig af især menneskelige aktiviteter og verdenssamfundets evne til at regulere dette forhold.

For at anskueliggøre hvad fremtiden kan bringe anvender IPPC forskellige "scenarier" for hvordan drivhusgaskoncentrationen i atmosfæren tænkes at udvikle sig på baggrund af forskellige forløb af udledninger. Disse "scenarier" benævnes "Representative Concentration Pathways" forkortet RCP.

I Figur 1 ses udviklingen af det globale havniveau dels over de første 100 år, dels over 300 år. Figuren viser i hovedtræk udviklingen af havspejlsniveauet for to emissions-forløb nemlig RCP 2.6 og RCP 8.5. Disse kan betragtes som yderpunkter i forventede udviklinger i emissionsrater i fremtiden.

RCP 2.6 svarer til en reduktion fra år 2020 til nul i 2100 – herunder en række antagelser om en vis masse af vegetation der vil trække CO₂ ud af atmosfæren – /1/. Scenariet svarer til en global temperaturstigning på 0,8 °C ved århundredskiftet.

RCP 8.5 svarer til at emissionen fortsætter med at vokse og udgør det mest konservative estimat på udviklingen. På den korte bane kan dette scenarie bruges for at afgøre et pessimistisk men alligevel ikke urealistiske forløb. På længere sigt er det et pessimistisk scenarie hvor der ydermere er større usikkerheder på de klimafysiske processers virkning, men ikke desto mindre vurderes effekten af være signifikant – /1/. Scenariet svarer til en global temperaturstigning på 4,5 °C ved århundredskiftet.

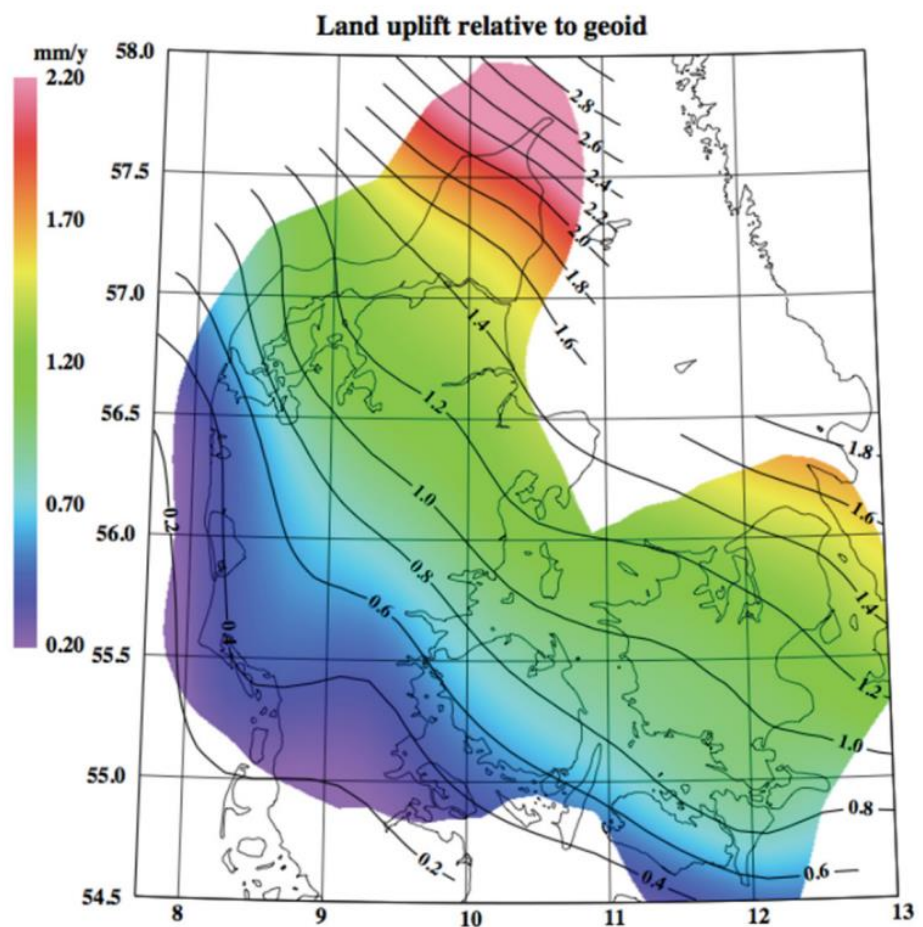


Figur 1 Det globale havniveau stigninger og 100 år hhv. 300 år – se reference /1/.

Det vurderes at udviklingen af havniveauet ved Taarbæk tilnærmelsesvist vil følge de globale gennemsnitlige stigninger.

2.1.2 Landhævninger og relativ (oplevet) havniveaustigning

Fra sidste istid har den danske undergrund hævet sig. I Figur 2 ses landhævnings fordelingen over landet.



Figur 2 Landhævninger i Danmark i mm per år.

Landhævning ved Taarbæk vurderes nu til at være ca. 1,4 mm per år, hvilket afsted kommer følgende nettohævninger over en periode på 50 år hhv. 100 år.

Tabel 1 Resulterende landhævninger frem i tiden.

	Nu	+50 år	+100 år
Landhævning	0,0 cm	7,0 cm	14,0 cm

2.1.3 Den oplevede havstigning

Den oplevede – eller relative – havspejlstigning for et RCP 8.5 scenarie vurderes nu til at være i givet i størrelsesordener angivet i nedenstående tabel.

Tabel 2 Havspejlsstigninger relativ til landhævninger, vurderet (oplevede havniveauer).

	Nu	+50 år	+100 år
RCP 8.5	+0 cm	+ ca. 35-50 cm	+ ca. 70-100 cm

2.1.4 Beslutningshorisonter

Værdierne for havspejlsstigningerne er behæftet med stor usikkerhed – hvor IPCC antyder denne med usikkerhedsintervaller som angivet i Figur 1.

Ofte fortolkes angivne usikkerhedsintervaller jf. hvor højt vandet kommer til at stå et givent årstal.

I forhold til beslutningsprocesser omkring klimatilpasning er det dog mere hensigtsmæssigt at betragte usikkerheden på en anden måde, nemlig som usikkerhed på *hvornår* et givent (kritisk niveau) nås.

Dette betyder at usikkerhederne på IPCC's fremskrivninger skal aflæses horisontalt (tid) i stedet for vertikalt (vandstand).

Usikkerhedsintervaller på tidspunktet vurderet ud fra IPCC fremskrivning for RCP8.5 er givet i Tabel 3.

Tabel 3 Usikkerhedsintervaller for tidspunkt for forøget vandstand (RCP8.5).

RCP 8.5	+0 cm	+ 50 cm	+ 100 cm
Årstal usikkerhed	I dag	Om 40-60 år	Om 80-110 år

2.2 Stormfloder

Kystdirektoratets statistik for ekstremvandstande for Københavns Havn /2/ anvendes her som en tilnærmelse af forholdene i Taarbæk.

De målte ekstremvandstandene er en sum af effekten af stormflod og havniveau for et givent år. Til angivelse af vandstande anvendes derudover middelvandstanden i år 1990 som referenceniveau – markeret med "DVR 90".

Kystdirektorats liste over de højeste målte vandstande i Københavns havn er listet i følgende Figur 3

Højeste registrerede vandstande [cm] i DVR90							
6. december 2013	172	27. december 2016	138	2. november 1921	123	1. november 2006	121
31. december 1921	152	19. januar 2007	132	20. november 1973	123	9. november 2007	121
18. december 1921	149	10. januar 2015	130	10. december 2011	123	04. oktober 1927	118
26. december 1902	148	05. december 1899	125	9. februar 1934	122	29. september 1914	117
27. november 2011	138	23. december 1894	124	7. november 1985	121	21. januar 2005	117

Figur 3 De højest vandstande målt i Københavns havn i cm DVR 90 /2/.

Ekstremhændelsen Bodil ved måleren i Københavns Havn gav således ifølge /2/ et maksimalt højvande – justeret til 2017 niveauer vil dette svare til 172 cm DVR90.

Derimod er den næsthøjeste ekstreme vandstand hele 20 cm lavere, hvilket illustrerer at Bodil er en meget usædvanlig hændelse for området.

Det vurderes på den baggrund at højvandet under Bodil svarer til ca. en 500-årshændelse. Dette er således en uhyre sjælden hændelse, der for et givent år vil kunne forekomme med $1/500 = 0,2 \%$ sandsynlighed.

Effekten af havniveaue på sandsynligheden af forskellige højvander beregnes som summen af det generelle havniveau og havniveaustigningen under stormflod for de forskellige returperioder.

I nedenstående tabel er der angivet en række fremskrevne ekstreme højvander med udgangspunkt i Kystdirektoratets statistik for 2017.

Som illustration af områdets følsomhed overfor havniveaustigninger er niveauerne +35 cm, + 50 cm og +100 cm havniveaustigning vist for 4 forskellige returperioder 20 år, 50 år, 100 år og 500 år (sidstnævnte er svarende til stormen Bodil).

Tabel 4 Fremskrevne ekstremværdier for udvalgte oplevede vandstandsstigninger baseret på Kystdirektoratets højvandsstatistik for Københavns Havn.

DVR 90	20 år	50 år	100 år	500 år
+0 (2017)	143 cm	152 cm	158 cm	172 cm
+35 cm	178 cm	187 cm	193 cm	207 cm
+50 cm	193 cm	205 cm	208 cm	232 cm
+100 cm	243 cm	252 cm	258 cm	272 cm

Det ses at en hændelse svarende til mindst Bodil's niveau (172cm) vil være meget oftere forekommende ved f.eks. en hævnig af havniveaue med 35 cm. Her vil en lignende hændelse nu være mindre end en 20 årshændelse og ikke en 500 årshændelse (en 20 års hændelse svarer i 178cm ved 35cm højere vandspejl).

Alt efter hvor meget det generelle havniveau ender med at stige ved Taarbæk vil sandsynligheden for at hændelser med en stormflodshøjde mindst svarende til Bodil's stige dramatisk.

Hvilket tidspunkt (årstal) havet er steget f.eks. ca. 35 cm kan man ikke med sikkerhed sige, men *at det under alle omstændigheder vil ske indenfor 50-100 år*, synes der ikke at være tvivl om (under antagelse af IPPC's fremskrivninger er korrekte for RCP 2.6 hhv. RCP 8.5).

Endelig skal det noteres, at sammenligner man typiske stormretninger over regionen /3/ og de målte højvander, finder man at *de højeste vandstande er forekommet under stormfloder fra nord*.

2.3 Bølgeforshold

I nedenstående figur ses den statistiske retningsfordeling af bølgehøjder, som udtrukket fra DHI's MOOD database – se /3/ - (pågældende data er beregnet med DHIs hindcast model for de danske farvande) – data er udtrækket ved et punkt uden for havnen ved en dybde på 6 m. Data svarer til perioden 1995-2018 (23 år).

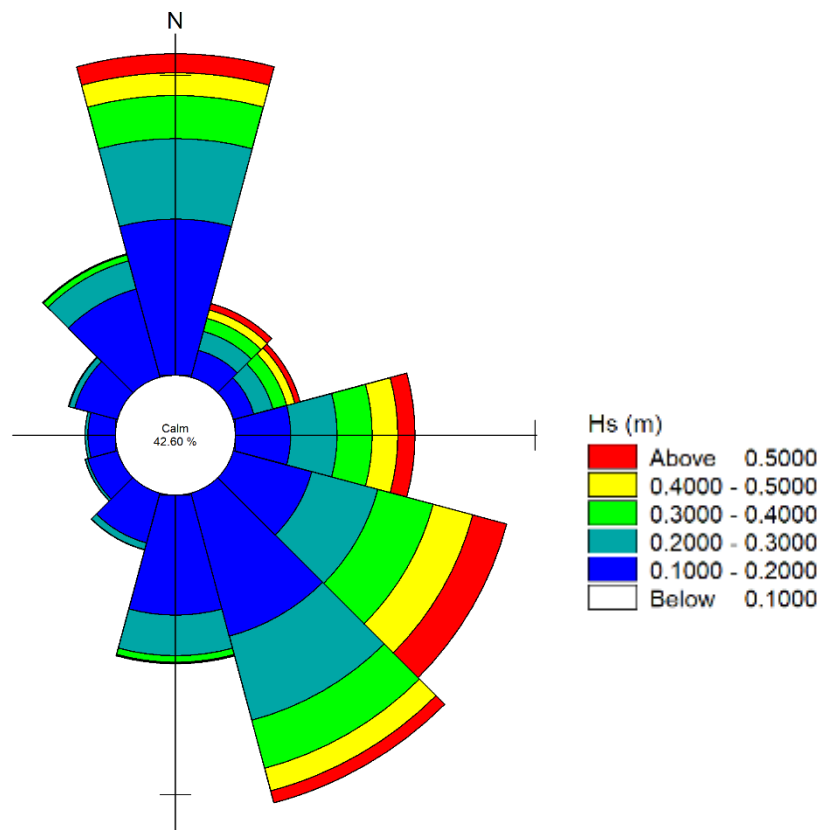
Bølgers karakter (højde, retning, periode, forekomst) er et resultat af stormes forekomst og karakteristika, herunder vindretning, styrke og varighed, samt længden af strækket (i den pågældende retning), hvor der er åbent hav.

Ved Taarbæk er bølgerne typisk begrænsede i højde og bølgernes dominerende retninger er nord hhv. syd-sydøst / øst.

At der er en ikke ubetydelig andel af bølger fra øst, viser at der er et langt nok stræk mellem Danmark og Sverige til, at bølger med en vis højde kan nå at blive genereret af vinden fra den retning og at der ofte nok er østenvinde af tilstrækkelig lang varighed til at dette sker.

Det vurderes, at dønninger fra storme i Kattegat (fra nord) eller Øresund (fra syd) kun i meget lille grad vil nå Taarbæk, idet disse må antages at være dæmpet i betydelig grad pga. friktion.

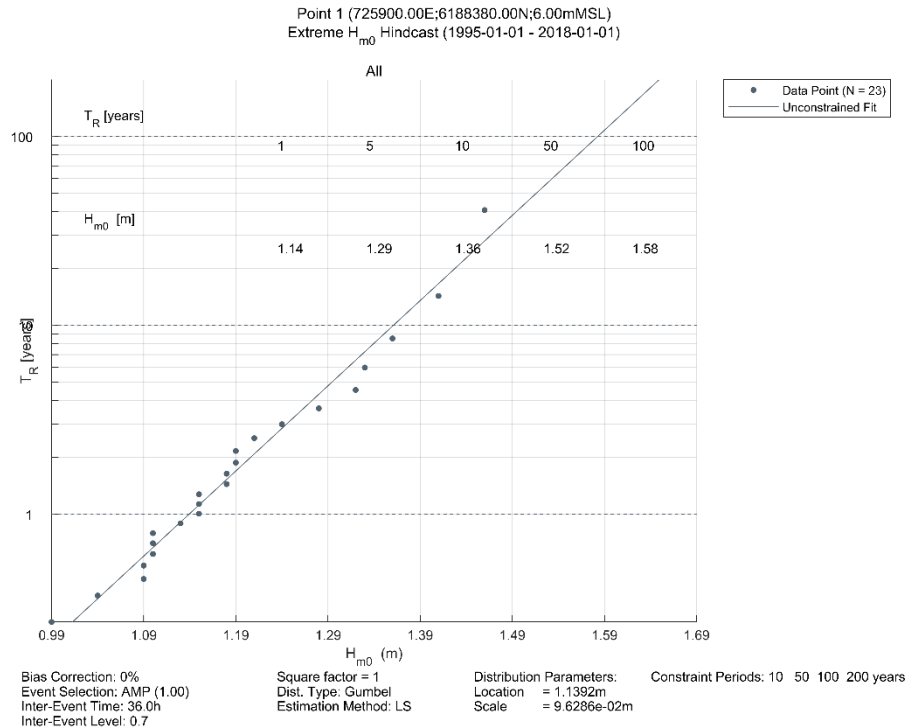
Den andel af bølgerne, der et stykke væk fra kysten ikke er parallelle med hhv. vandrer væk fra kystlinjen, vil pga. dybde-refraktion tendere til vandre og dreje ind mod kysten for til sidst at ramme mod kysten med en vinkel på 90 grader, hvor de ydermere bryder på strækninger med strande og/eller evt. reflekteres fra skrånninger eller konstruktioner.



Figur 4 Fordeling af bølgehøjder (Hs - ”signifikant” bølgehøjde) og retninger i et punkt ud for Taarbæk havn ved ca. 6m dybde (fra DHIs model baserede MetOcean data portal, jf. /3/). Bølgerne vises som retning kommende fra og at der i 42.6% af tiden ingen bølger er (f.eks. pga. læ for vestenvind).

Vandstande og bølger

En udført ekstremværdianalyse (EVA) af bølgedata fra 1995-2018 viser, at bølgehøjden på 6 m vanddybde for en 100-årshændelse svarer til en størrelsesorden på 1,6 m (signifikant bølgehøjde).



Figur 5 Ekstrem værdi analyse for hindcast data ved punkt på 6m dybde udenfor Taarbæk havn – returperioder for ekstrem bølgehøjde ("omni directional").

Ved inspektion af bølgehøjderne under de højeste vandstande er det fundet, at disse i perioden 1995-2018 typisk er i størrelsesorden 0,8-1 m (signifikant bølgehøjde) – under Bodil omkring 1,0-1,2 m – og i reglen fra nordlige retninger.

Der er således forskel på sammenhængen mellem bølger og vandstand om disse er generet fra syd eller nord:

Bølger under stormflod fra nord tenderer til at være mindre end de højeste bølger fra de sydlige sektorer. Bølger fra sydlige sektorer er statistisk set mere forekommende og større og ankommer typisk til kysten ved lavere vandstande.

Grunden til at stormfloder fra syd ikke ses ved Taarbæk er *ikke* at der ikke skabes stormfloder fra denne retning. At Taarbæk ikke oplever stormfloder fra syd, skyldes Drogden-tærsklen, der virker dæmpende for sådanne fra sydlige retninger kommende stormfloder.

Bølger tæt ved kysten

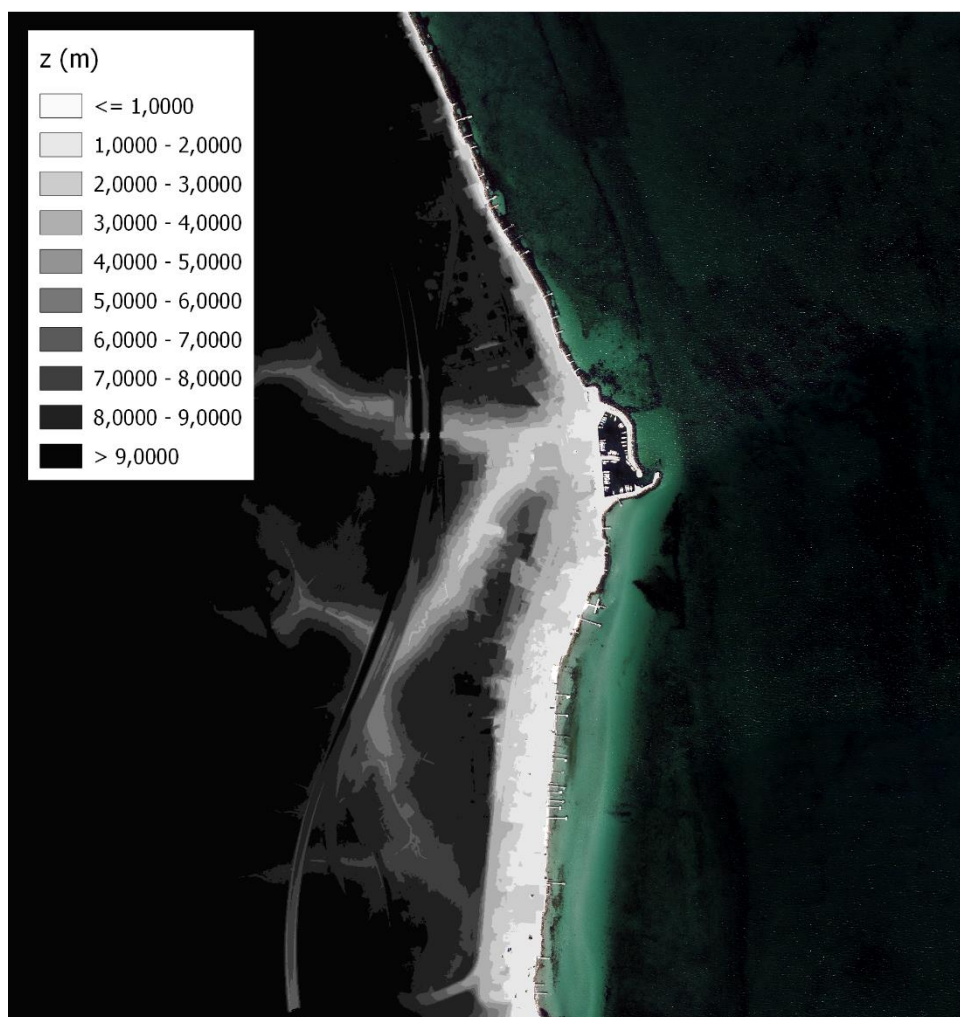
Kystfremspringet ved Knud Rasmussens mindesmærke og havnen i Taarbæk vil skygge for bølger, der vandrer fra skarpe sydlige retninger hhv. nordlige retninger, således at kysten vil opleve forskellige grader af skyggevirksomhed for den indkomne bølgeenergi, der ellers ville nå kysten fra disse retninger.

Dette forhold vil blive vurderet videre ved udvælgelsen af dimensionerende bølgehøjder (se senere under beskrivelse af dimensioneringsværdier).

2.4 Topografi

Topografien ved Taarbæk er karakteriseret ved at være lavtliggende i et område tæt på kysten, med en kraftigt stigende kote i retning mod Strandvejen.

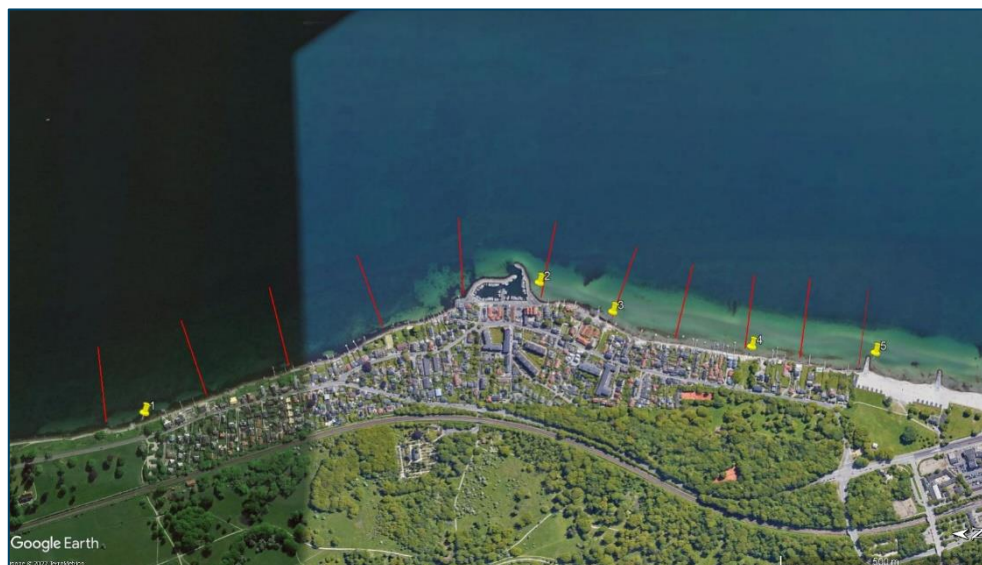
Kotedata for topografien over havniveau anvendt i oversvømmelsesmodelleringen er hentet fra den seneste hydraulisk tilpassede version af DK højdemodel. For at repræsentere stormflodssikrende barrierer med små horisontale dimensioner (< 1m) benyttes i modellen i stedet en såkaldt linjestruktur.



Figur 6 DK højdemodel – hydraulisk tilpasset.

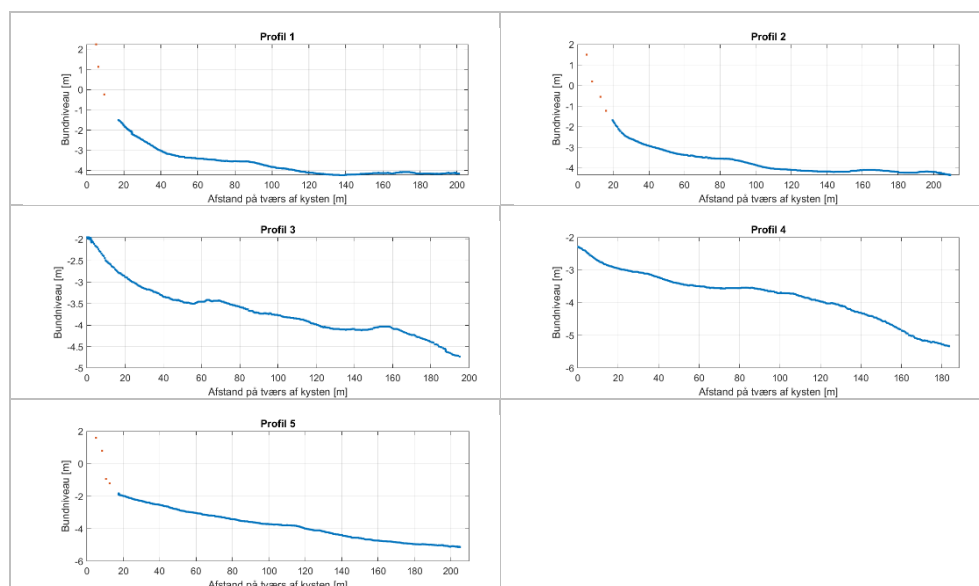
2.5 Bundkoter

I parallel med nærværende projekt er der udført 11 opmålinger af kystprofiler ud for Taarbæk kyst. Fordelingen af disse profiler er vist i Figur 7



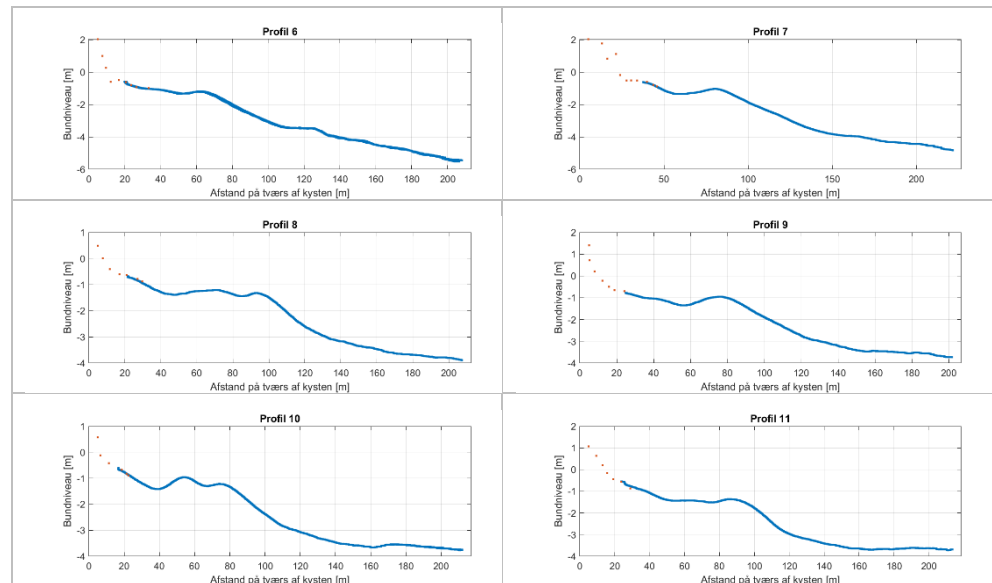
Figur 7 Placering af 11 linjer hvor profilopmålinger er foretaget. Profiler nummereres fra 1-11 fra nord mod syd.

Nord for havnen er dybden ud for kysten typisk i størrelsesorden 2m med et stejlt profil fra denne dybde tæt ved land, jf. Figur 8



Figur 8 Profil 1-5 nord for havnen – fuldt optrukne blå linjer er data fra opmålinger med drone, røde punkter data fra målinger med håndholdt GPS.

Syd for havnen er profilerne typiske fladere tæt ved land, jf. Figur 9. Det noteres ydermere at der langs dette stræk løber en mere eller mindre udtalt revle med en topkote omkring -1,0 m.



Figur 9 Profil 6-11 syd for havnen – fuldt optrukne blå linjer er data fra opmålinger med drone, røde punkter data fra målinger med håndholdt GPS.

Disse målinger er anvendt til at sammenholde med satellitdata og derigennem opnå bundkotedata der er dækkende for hele området, som vist på Figur 10.



Figur 10 Kombinerede opmålte og satellitbaserede bundkoter.

2.6 Eksisterende sikring (2022)

Som et led i projektet er der udført en opmåling og inspektion af mure langs kysten.

Disse opmålinger indikerer størrelsesordenen for murenes topkoter samt variabiliteten i området:

Opsummerende ses i dette datasæt følgende middelkoter

- Nord for havnen 2,2 m
- Havnen 1,4 m
- Syd for havnen 1,8 m

Derudover er det noteret, at der er en del variation i disse koter langs kysten og nogle "huller" i forsvaret, f.eks. ved mindre veje / kyststier til kysten.



Figur 11 Eksisterende mure (her er kun mure i lavtliggende områder vist).

3 Sedimenttransport-forhold

Udover de hydrografiske forhold i form af ekstreme vandstande og bølgeforhold er det vigtigt at afdække de sedimentdynamiske forhold, idet sådanne forhold kan spille ind ved etablering af løsninger i kystprofilen – f.eks. ved at en stenkonstruktion kan øge erosion af kystlinjen eller sandfodring kan skabe øget tilsanding i områder, hvor dette ikke er hensigtsmæssigt.

3.1 Sedimentets karakter

Taarbæk-kystens bundmateriale er sandholdigt og på grund af bølger og strøm vil dette sand flytte sig både på langs og på tværs af kysten. Bevægelserne skyldes hovedsageligt bølgenes bevægelser, herunder ophvirvling af sediment fra bunden og strømme genereret af bølgebrydningen (der flytter det ophvirvlede materiale).



Figur 12 Gule markører viser lokationer, hvor der er udtaget sedimentprøver

De langsgående sedimenttransportrater over et år vurderes overordnet til at være forholdsvis små og kystlinjen mod nord og mod syd vurderes til at være tæt på ligevægt, så der hverken optræder litoral aflejring eller erosion. Til dette overordnede billede skal der lægges at der er lokale variationer, jf. observationer af variationer i dybden i strækket fra Bombegrunden til Havnens sydlige mole – se også uddybende kommentarer om netop dette i det følgende sektion "Karakteristiske strækninger".

Tabel 5 Resultater af kornstørrelsesfordeling for de 5 sedimentprøver

Prøve nummer	Median diameter d50 (mm)	Geometrisk spredning Sqrt(d84/d16) (-)
1	0.214	1.405
2	0.299	1.226
3	0.302	1.429
4	0.448	1.438
5	0.265	1.342

3.2 Karakteristiske strækninger

Forskellige præciseringer af forholdene i områderne 1-3 gives herunder:

Nord (1)

Den bebyggede del af kystlinjen nord for Taarbæk havn og længere nord på vurderes til at være tæt på ligevægt i forhold til langsgående sedimenttransport, dvs. den årlige langsgående nettotransport vurderes til i gennemsnit at være meget lille. Dette skyldes, at en del bølger fra den sydlige sektor ikke kan nå at dreje ind på kysten, da kystens orientering vender væk fra disse bølgeretninger. Derudover skygger Taarbæk havn også effektivt for bølger fra disse retninger.

I den grad der er transport langs kysten i dette område, kan der opleves en vis ustabilitet i kystlinjeudviklingen, men da transportraterne på den anden side er meget små, er dette potentielle fænomen muligvis forsvindende lille.

Akut erosion højt i profilet kan forekomme, når store bølger fra nordlige og østlige retninger bryder mod kysten ved sammenfald mellem højvande og store bølger.

Havnen (2)

Havnen har en tilladelse til årligt at oprense og fjerne op til 700 m³ sediment ved havnemundingen. En umiddelbar vurdering fra havnefogeden lyder at sedimentet bevæger sig fra syd mod nord.

Syd (3)

Den sydlige kystlinje refererer her til strækket mellem Taarbæk havn mod nord og pynten syd for Bellevue (Knud Rasmussens mindesmærke).

Hele strækket oplever varierende skyggeeffekter i forhold til bølger med meget skrå indfaldsvinkler - hvilket kan give forskellige langsgående gradienter i den langsgående transport.

Da bølger fra nord typisk forekommer ved højvander, kan der være en forskel i den langsgående sedimenttransportretning set over profilet – selvom nettotransporten vurderes til at være nordgående på strækket, kan der være mindre sydgående transportrater i den øvre del af profilet (tæt ved strandlinjen).

Ansvarlig (havnefoged) for driften af stranden beretter, at stranden tenderer til at erodere mod nord og akkumulerer mod syd – hvilket der kompenseres for ved at tilbagefylde stranden ved at flytte sand fra syd til nord. Derudover tilføres mindre mængder sand i den nordlige sektion (400 m³).

Dette kan tolkes som, at strækket ikke er 100% i ligevægt – kystlinjen mellem konstruktionerne (kunstige fremspring) drejer i retning mod uret over strækket pga. lokale omlejring af sandet - og at der derudover (netto) mistes en smule sand – sandsynligvis til strækningen mod nord, der fører sandet videre mod nord til havnemundingen.

Det bemærkes også at der lokalt er observeret tendenser til variationer i dybdeforholdene mellem årene i området mellem Bombegrunden og Havnens sydlige mole. Dette skyldes sandsynligvis forskellige lokale forhold relateret til

bølgeindfaldet, herunder skyggevirksomheder fra havnen når der er bølger fra nordlige retninger, men evt. også erosion i de indre dele af profilet fra bølger fra sydlige retninger. Endelig kan kontraktion af den langsgående strøm fra syd mod nord rundt om havnen muligvis give anledning til en vis grad af lokal erosion (ned til et vist ligevægtsniveau) når bølger slår ind mod området fra syd. Der er i den sammenhæng i området bygget en række stensætninger til at sikre positionen af kystlinjen.

3.2.1 Sedimenttransportforhold

Sedimenttransportforholdene langs strækket nord for Bellevue er vurderet ved brug af DHIs model LITDRIFT der beregner den langsgående transport med input fra de opmålte bundprofiler, bølgedata foran havnen og analyser af kornstørrelser i området. Beregningen er set at være følsom overfor skyggevirksomhederne fra havnen og pynten, men indikerer at området i gennemsnit oplever nordgående årlige nettotransportater i størrelsesordenen 100 m³.

4 Dimensionering af skitseløsninger

4.1 Dimensionering

På baggrund af analysen og vurdering af data er der udviklet et sæt af dimensionsgivende parametre. Baggrund for bestemmelse af disse og resultaterne gennemgås i det følgende.

4.2 Forbehold

Nedenstående dimensioneringsdata er udviklet som et led i skitseringen af løsningerne. Det forventes at koter mv. anviser de rette størrelsesordner, dvs. er tæt på de endelige design-forhold, men det anbefales ikke at anvende de vurderede dimensioneringsdata direkte til design uden en grundig, kritisk stillingtagen og en evt. yderligere udvikling af datasættet i forbindelse med detaildesign.

4.3 Dimensioneringens elementer

Koten for en stormflodsbeskyttende foranstaltning bestemmes (som nævnt i tidligere beskrivelse) som en sum af forskellige bidrag:

Kote

=

Generelt havniveau

+

Stormflodshøjde

+

Bølgestuvning

+

Tillæg til at minimere bølgeoverskyl

I det følgende diskuteres disse enkelt-fænomener kvalitativt og fastsættes kvantitativt med det formål at bestemme de dimensionerende størrelser for skitseprojekteringen – forhold der bringes i anvendelse i kapitlet "5. Konsekvensberegninger af ingen tiltag" og "6. Profilløsninger og deres virkemåde".

4.4 Historisk oplevede stormfloder

Under stormen Bodil regnes det jf. med, at havniveauet har stået i et niveau på mindst 172 cm under stormen (svarende til vandstandsmålingen i Københavns Havn under Bodil). Denne hændelse vil – hvis den forekom i dag – vurderet være i størrelsesorden en 500-årshændelse.

Det næsthøjeste målte højvande i området siden 1888 (i Københavns havn) er hændelsen i 1921 på 152 cm. Med en tilnærmet korrektion for havniveaustigning og landhævning vil en tilsvarende hændelse - hvis den skete i dag - fremstå som ca. en 100-årshændelse.

4.4.1 Designscenarie for højvande - havniveau og stormflodshøjde

Baseret på vurderingen af risikobilledet, er nedenstående dimensionerende størrelser for vandstandsstigninger valgt. Der anvendes den af Kystdirektoratet udarbejdede højvandsstatistik for Københavns Havn, som en forventet god tilnærmelse af forholdene ved Taarbæk.

- Der vælges en 100-års returperiode som grundlag for undersøgelsen herunder skitsedimensioneringen
- 35-50 cm havspejlstigning anvendes for den umiddelbare designhorisont svarende til ca. 50 år.
- 100 cm havspejlstigning anvendes som langtidshorisont svarende til situationen om ca. 100 år svarende til tilfældet, hvor det globale samfund ikke har formået at reducere emissionen af drivhusgasser i tilstrækkelig grad.

Tabel 6 Fremskrevne maksimale vandstande under stormflod for forskellige returperioder – inklusive markering af valgte værdier for dimensioneringen

DVR 90	20 år	50 år	100 år	500 år
+0 (2017)	143 cm	152 cm	158 cm	172 cm
+35 cm	178 cm	187 cm	193 cm	207 cm
+50 cm	193 cm	205 cm	208 cm	232 cm
+100 cm	243 cm	252 cm	258 cm	272 cm

Scenarierne med 35-50 cm havstigning svarer til forholdene om ca. 50 år og anvendes ved de efterfølgende analyser af oversvømmelser uden tiltag og ved skitse-dimensionering af profil-løsninger.

Scenariet med en havstigning på 100 cm er medtaget for at forstå perspektivet på lang bane. Denne anvendes ikke som dimensionsgivende størrelse, da udviklingen af drivhusgaskoncentration er en funktion af mange ukendte faktorer – herunder politiske beslutninger på globalt plan.

4.5 Design-bølgehøjde

For både at bestemme sikringskoter for bølgestuvning, bølgeoverskyl samt variationen langs kysten med henblik på at bestemme designbølgehøjden lige foran stormflodssikringen bestemmes en designbølge på dybere vand.

For design-bølgehøjden ved en dybde på ca. 6 m, hvor bølgerne ikke er væsentligt påvirket af kystens geometri, er der valgt en bølgehøjde, der svarer til den bølgehøjde, som observeredes ved de højeste vandstande under stormen Bodil.

Ifølge DHIs hindcast data tidsserie anvendt i dette studie har bølgehøjden under Bodil som nævnt været i størrelsesorden ca. 1,0m (signifikant

bølgehøjde) under stormflodens højeste niveau, og af samme tidsserie ses, at bølgehøjder ved andre større stormfloder oplevet over de sidste dekader har været i samme størrelsesorden.

En sådan bølgehøjde vurderes til ikke at være urealistisk i forhold til at en lignende bølgesituation under stormflod, vil kunne forekomme i et fremtidigt scenarie over de næste 50-100 år.

Bølgernes vandring, øgede stejlehed, drejning og brydning fra dybere vand mod land beskrives og beregnes ved hjælp af en model for området, således at bølgehøjden på dybere vand omsættes til en bølgehøjde ved stormflodsmuren (under stormflod).

4.6 Bølgestuvning

Hvis bølgerne bryder over et vist stykke før de når kystlinjen under stormflod, vil der ske en grad af yderligere opstuvning af vandstanden (bølge setup).

Bølger indeholder en vis energimængde, som afhænger af bølgens højde, og når bølgehøjden dæmpes pga. bølgebrydning, vil en del af den energi, der er bundet i bølgen, omsættes til en opstuvning af middelvandstanden mod land.

Effekten medtages her indirekte ved anvendelse af en model, der netop har denne effekt med.

4.7 Tillæg pga. bølgeoverskyl

Der skal ud over dimensionering i forhold til vandstande også tages hensyn til bølgeoverskyl.

Bølgeoverskyllet er en funktion af de ved stormflodssikringen indkomne bølger og stormflodssikringens topkote. Dimensioneringen af bølgeoverskyls-tillægget til sikringskoten for høj vandstand bestemmes som en balance mellem, hvor meget overskyl der kan accepteres og effekten af et givent tillæg.

4.8 Bølgehøjdernes variation langs kysten

Kysten vil under en stormflod i realiteten blive eksponeret af bølger med en vis varierende styrke langs kyststrækningerne. Dvs. kysten nord for og ved havnen – henholdsvis syd for havnen - vil opleve grader af forskellige bølgehøjder alt efter hvordan forløbet af især retningen af vind og bølgeforhold er under stormfloderne.

De dimensionerende bølgehøjder tæt ved stormflodsmurene bestemmes i den efterfølgende analyse af konsekvenserne af ikke at udvikle yderligere tiltag på kysten.

5 Konsekvenser af ingen tiltag

Sikringsanlæg i dag

Under nuværende forhold vil husene tæt på kysten lokalt være beskyttet for ekstreme stormfloder i den grad at:

- Stormflodsmure har høj nok sikringskote i forhold til den givne stormflod
- Sikringslinjen er ubrudt

Ved inspektion af murene og ved vurdering af de udførte opmålinger ses det, at *disse forhold ikke er gældende langs hel kyststrækningen*: Sikringskoterne svinger en hel del mellem de enkelte parceller, og mange af de laveste koter tenderer til at være på den lave side i forhold til f.eks. en 100-årshændelse med bølger, som en sådan hændelse kan forventes at ske i dag.

Der er således en risiko for, at mange bygninger vil blive oversvømmet, også selvom stormflodsmurene lokalt kan være valgt høje nok, idet naboparceller kan oversvømmes og udbrede oversvømmelsen fra siden / bagfra.

5.1 Dynamisk modellering af oversvømmelser

Til at modellere virkningen af stormfloders virkning sammen med havspejlsstigninger er der opstillet en dynamisk MIKE 21 model for området til at beregne oversvømmelser for en 100-årshændelse ved forskellige havspejlsstigninger med effekten af bølger.

Modellen medtager således den samtidige effekt af:

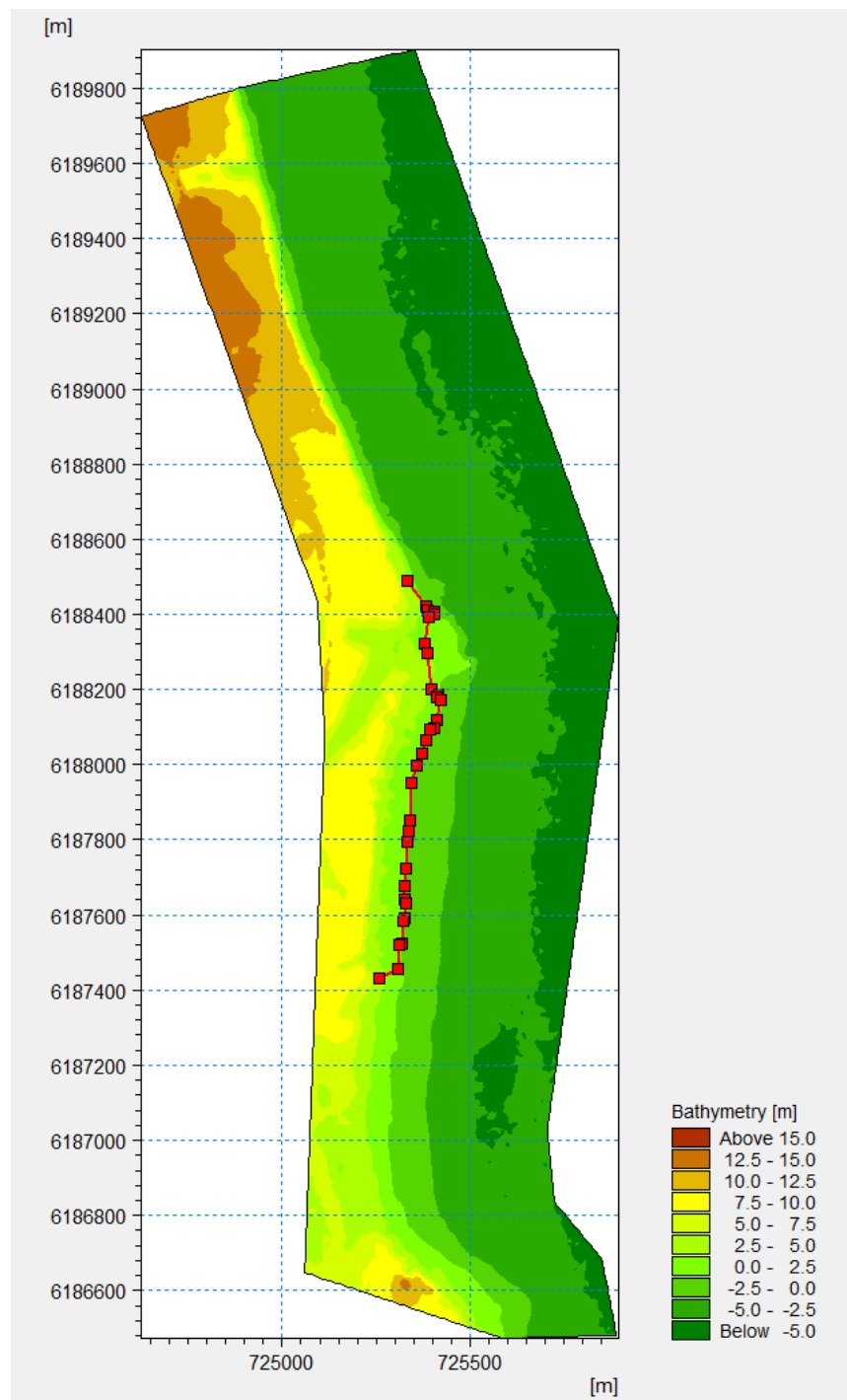
- Vandstandsstigninger genereret af stormflod
- Opstuvning af vand pga. bølger og bølgebrydning mod kysten

Den dynamiske modellering er en fordel selv i det ellers arealmæssigt forholdsvis lille område (med meget kort responstid på en oversvømmelsesgenererende stormflodshøjde), idet modellen vil kunne afsløre eventuelle dynamiske spredningsveje i oversvømmelsesforløbet og kan medtage effekten af bølgeopstuvning – begge dele noget en statisk kortlægning ikke vil give.

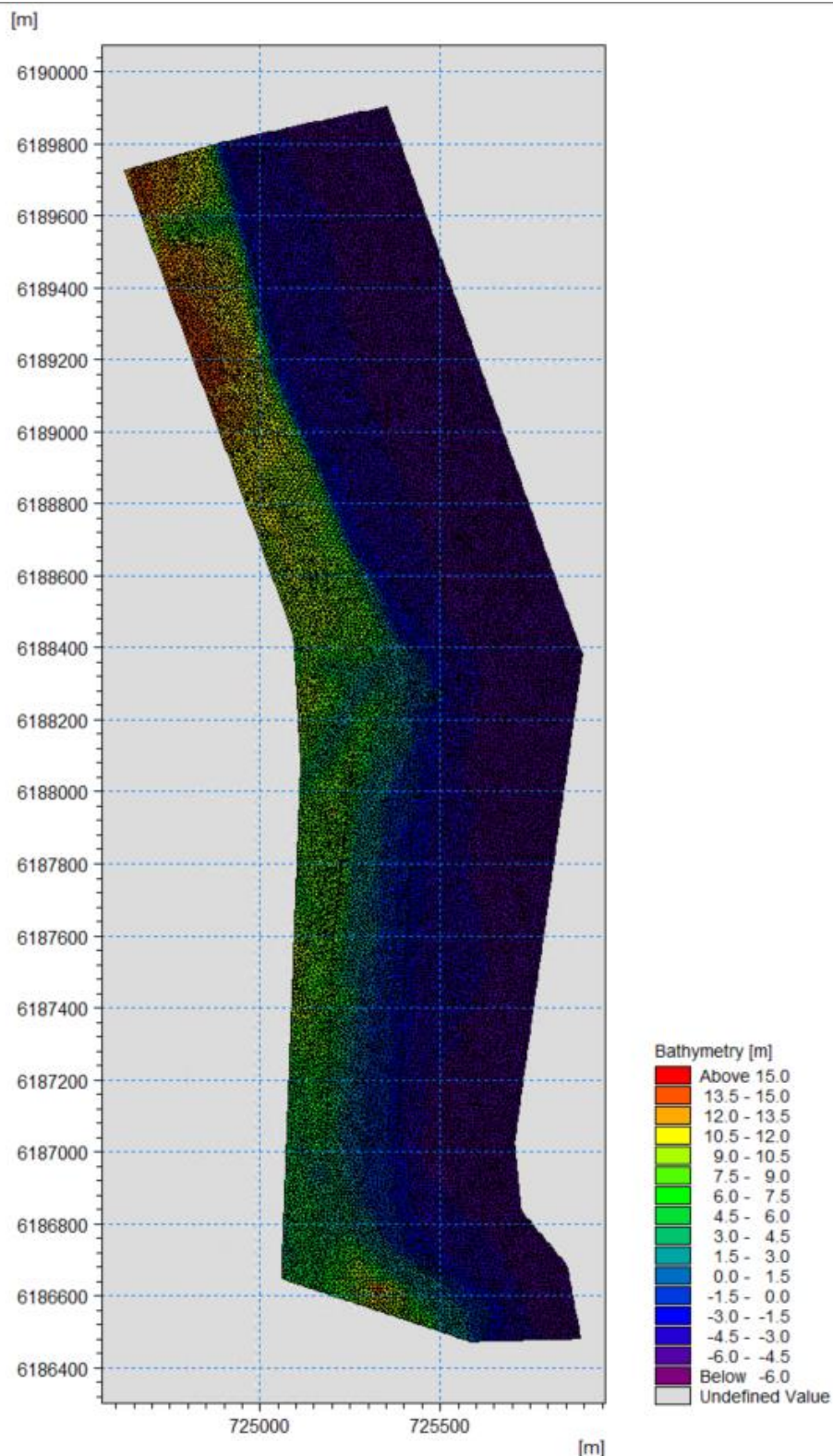
5.1.1 Højdeforhold i modellen

Modellens højdeforhold er baseret på to datasæt nemlig 1) seneste DKs højdemodel og 2) lokale dybde-opmålinger parret med satellitdata udført af DHI i forbindelse med nærværende projekt. Ud fra dette er der genereret et beregningsnet til beregning i en dynamisk MIKE 21 model med effekten af stormflodsvandstande og bølger. I modellen inkluderes de målte / vurderede murhøjder langs kysten ved hjælp af barriere-linjer.

I Figur 13 ses forløbet af mure langs kysten. Der er ikke indført mure i modellen, hvor de kystnære terrænkoter er over 3m. I Figur 14 er beregningsnettet vist.



Figur 13 Mure foran de mest lavtliggende dele af kysten.

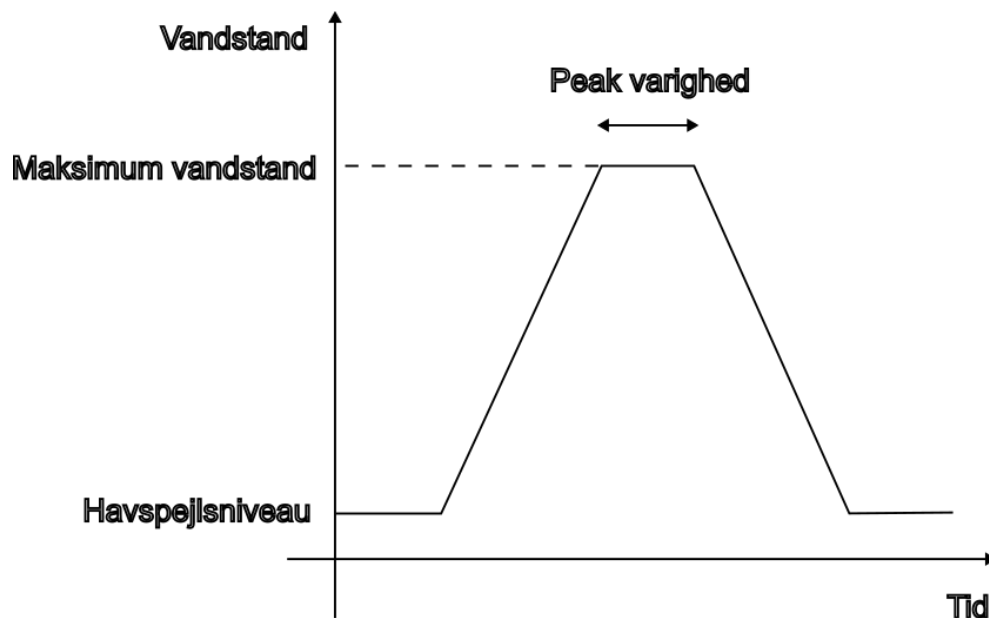


Figur 14 Beregningsnet for hele området.

5.1.2 Stormflod og bølgeforhold

Der er regnet på 4 forskellige scenarier karakteriseret ved stormflodsforløb med forskellige havspejlsniveauer. Det antages generelt – som en mindre tilnærmelse - at stormflodshøjden er uniform fordelt over den ydre østlige rand.

Der er konstrueret et tidsligt forløb af vandstanden under stormflod i lighed med retningslinjerne for Kystdirektoratets arbejde med risikokortlægning af Danske kyststrækninger.



Figur 15 Vandstandsforløb ved vandstandsrand i dynamisk model.

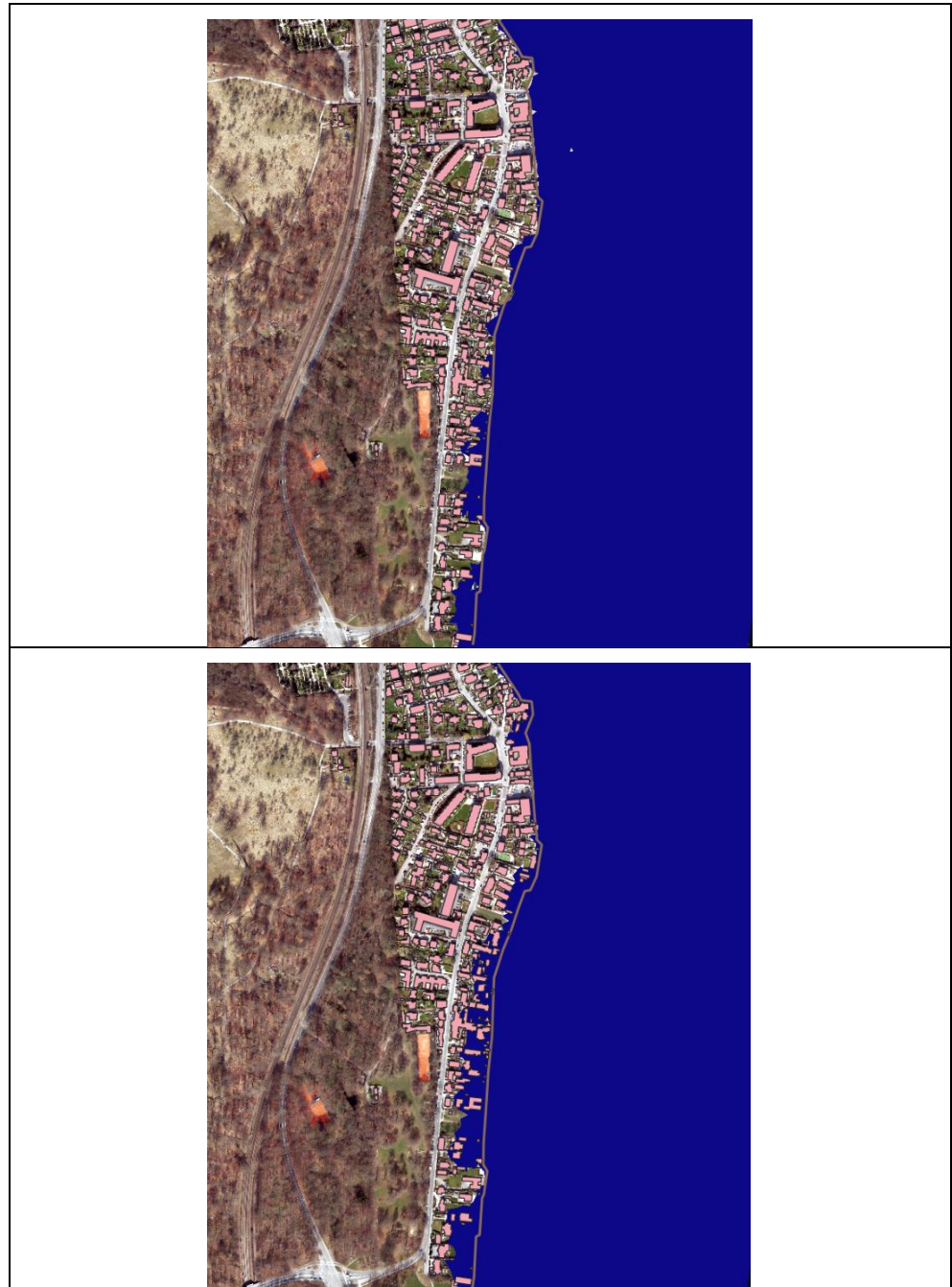
Der er valgt en varighed på maksimum vandstand på 3 timer og en total varighed på stormfloden fra start til slut på 12 timer.

Bølger med en signifikant bølgehøjde på 1,2m fra nord-nord-øst antages i disse simuleringer, vurderet ud fra hindcast data under de største storme i perioden.

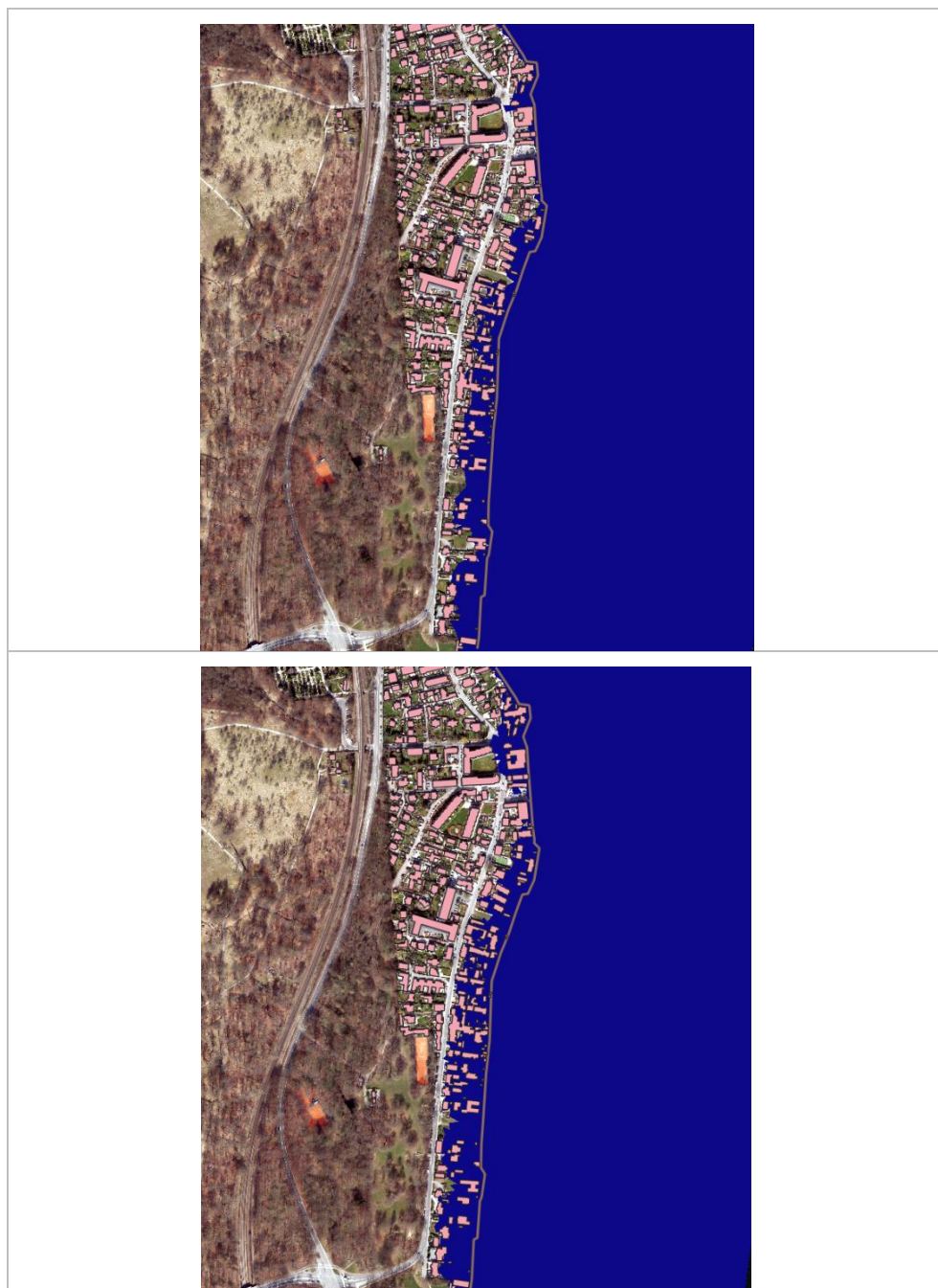
5.2 Modelresultater og oversvømmelseskader

Hvis det antages, at oversvømmelseskader på bygningsniveau (f.eks. oversvømmelses af gulve, kældre og installationer) sker ved, at vandet står højere end 30cm, er der ved hjælp af DHIs skadesberegningværktøjer foretaget en beregning af en 100-årshændelse nu og frem til ca. 100 år fra nu. Offentligt tilgængelige data for bygningers geometri er anvendt til disse beregninger.

Der er her regnet med, at havniveaustigninger er ca. 35-50cm om 50 år og ca. 100cm om 100 år. Hvis havniveauet stiger i en anden takt, kan man nemt regulere resultaterne svarende hertil.



Figur 16 Oversvømmelse ved maksimal vandstand under 100-års stormflod nu og i fremtiden. Øverst 0cm højere vandstand (i dag). Nederst 35cm højere vandstand.



Figur 17 Oversvømmelse ved maksimal vandstand under 100-års stormflod nu og i fremtiden. Øverst 50cm højere vandstand. Nederst 100cm højere vandstand.

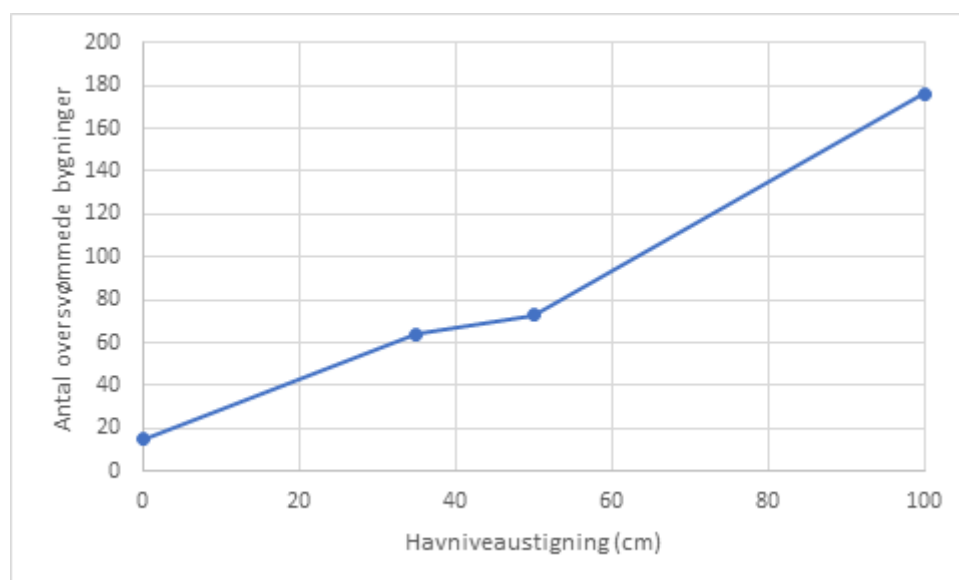
Beregningerne viser, at det ved at betragte stormfloders oversvømmelser ved gradvist højere og højere middel vandspejlsniveau først er bygninger langs den sydlige kyststrækning, dernæst havnen og de ved havnen beliggende bygninger, der vil gradvist blive mere oversvømmelsestruet.

Et stykke nord for havnen er der ingen oversvømmelse, svarende til at bygninger er beliggende i en højere kote – men som nævnt andetsteds vil erosion af kystlinjen under stormflod her kunne udgøre et problem.

Resultaterne fra oversvømmelsesberegningerne i form af antal berørte bygninger er angivet i nedenstående tabel og figur:

Tabel 7 Antal oversvømmede bygninger under stormflod ved forskellige havniveaustigninger.

Havspejlsstigning	Antal oversvømmede bygninger
0 cm	15
35 cm	64
50 cm	73
100 cm	175



Figur 18 Antal oversvømmede bygninger efter en 100-års stormflodhændelse, som funktion af havniveaustigning regnet fra 2020.

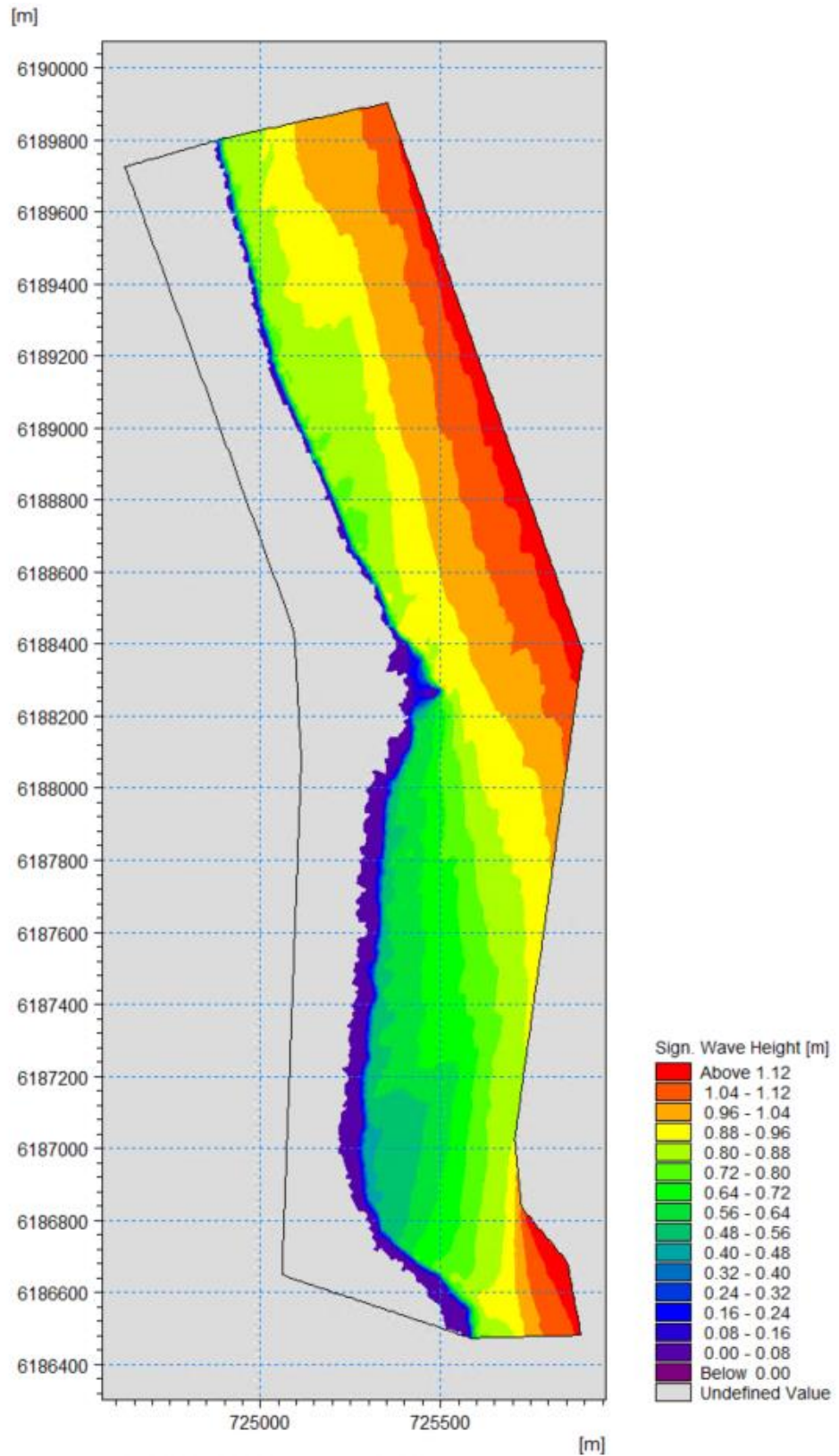
Af resultaterne kan man aflæse, at Taarbæk by er følsom overfor havniveaustigninger og at stormfloder potentielt vil kunne afstedkomme betragtelige skader på bygninger beliggende tæt ved kysten.

Det vurderes at omfanget af skader beregnet her er sammenlignelig med COWI's screening af oversvømmelsesrisikoen i Taarbæk (COWI rapporten angiver - i modsætning til nærværende opgørelse - ikke antal oversvømmede bygninger, men en integreret størrelse for skader baseret på en række vurderinger). I nærværende analyse er der anvendt et højt scenarie for havniveaustigning, nemlig RCP 8.5, der under alle omstændigheder er realistisk de næste 50 år og om 100 år er mere usikker, da det afhænger af om reduktioner af drivhusgasser på globalt plan udføres i tilstrækkelig grad og hvordan sådanne eventuelt gennemførte reduktioner rent faktisk virker når udført.

5.3 Bølgehøjdernes variation langs kysten - designværdier

Sensitiviteten overfor bølgeskygning fra havnen af bølger der kommer fra nord og rammer kysten syd for havnen (under stormflod) er undersøgt i modellen ved at beregne bølgeudbredelsen ved 3 forskellige indfaldsvinkler for en

bølgehøjde på 1,2m ved en dybde på 6m – nemlig 0°, 10° og 20° retning regnet fra nord.



Figur 19 Fordelingen af bølgehøjder langs kysten ved Taarbæk for en bølgeindfaldsvinkel på 10° for en 100-årshændelse for stormflod ved en 50 cm vandstandsstigning (om ca. 50 år).

Ud fra denne øvelse er følgende dimensionerende bølgehøjder foran stormflodssikringen under stormflod bestemt:

Nord for havnen:	1,0 m
Havnen (tilbagetrukket stormflodsbarriere):	0,5-0,7 m
Syd for havnen til og med Bombegrunden:	0,5-0,7 m
Syd for Bombegrunden:	0,5-0,7 m

6 Profil-løsninger og deres virkemåder

6.1 Overvejelser

I det følgende vælges 3 forskellige profil-løsningstyper på baggrund af især 2 forhold

- 1) Stormflodsmur valgt med et givent *accept-krav til overskylsmængde* under stormflod
- 2) Profilbearbejdning med henblik på at *dæmpe bølgerne* og dermed styre graden af overskyl

6.1.1 Overskyl

Overskyl af en stormflodsbarriere er afhængig af, hvor stor bølgehøjden er lige foran denne. På den måde vil en reduktion af bølgehøjden foran barrieren også reducere overskyllet. Dette kan man forsøge at opnå ved at få bølgen til at bryde mere i kystprofilet foran stormflodssikringen. Ved bølgebrydning i kystprofilet omsættes bølgens energi ved brydning, sådan at der samtidig vil ske en vis grad af opstuvning af middel-vandspejlet. På den måde er der en balance mellem, hvad der "vindes" ved at reducere bølgehøjden ved brydning i forhold til hvad der "tabes" ved opstuvning af middelvandstanden pga. bølgebrydning. Ofte ser man erfaringsmæssigt, at der er en samlet fordel ved at reducere bølgehøjden, hvis man kan lade bølgerne bryde på en konstruktion eller en kunstig strand foran kysten på en sådan måde, at der ingen eller meget lidt bølgeuro er tilbage helt tæt ved oversvømmelsesbarrieren. Dette princip er baggrunden for de senere foreslåede ændringer i profilerne (profil 2 og 3).

6.1.2 Risiko for strukturel skade ved overskyl

Man kan vælge forskellige kriterier i forhold til at acceptere graden af acceptabelt overskyl – typiske niveauer for antal liter per sekund bølgeoverskyl over barrieren (over 1m løbende langs kysten) – herunder deres påvirkning af konstruktioner. Overordnede tommelfingerregler kan opstilles til at vurdere sagen på screeningsniveau /4/.

Tabel 8 Overskylsvolumener og risiko for skader ved forskellige overskylsruater.

Max overskylsvolumer liter / s / løbende meter	Voluminer for storm af varighed 2-6 timer Kubikmeter / løbende meter	Strukturel skade
1	7,2 – 21,6	Risiko for mindre skader
10	72 – 216	Risiko for oversvømmelser på land Risiko for bagsideerosion

		Direkte pres på konstruktion
--	--	------------------------------

Risikoen for strukturel skade er selvfølgelig derudover afhængig af udformningen af den stormflodssikrende foranstaltning (stormflodsmur mv.) og dennes strukturelle styrkeforhold. Dette forhold udarbejdes ikke i detalje i skitsefasen, men skal derimod udvikles i sin endelige form i designfasen.

6.1.3 Risiko for oversvømmelse fra overskyl

Ved de større overskyls-volumener vil der under stormen dannes lokale oversvømmelser på bagsiden af barrieren. Dette volumens udbredelse på terrænet (areal og dybde) vil afhænge af forholdene på landsiden:

- 1) Terrænets hældning mod kysten
- 2) Graden af netto tilløb / bortløb (langs kysten) i et givent snit
- 3) Bortpumpning

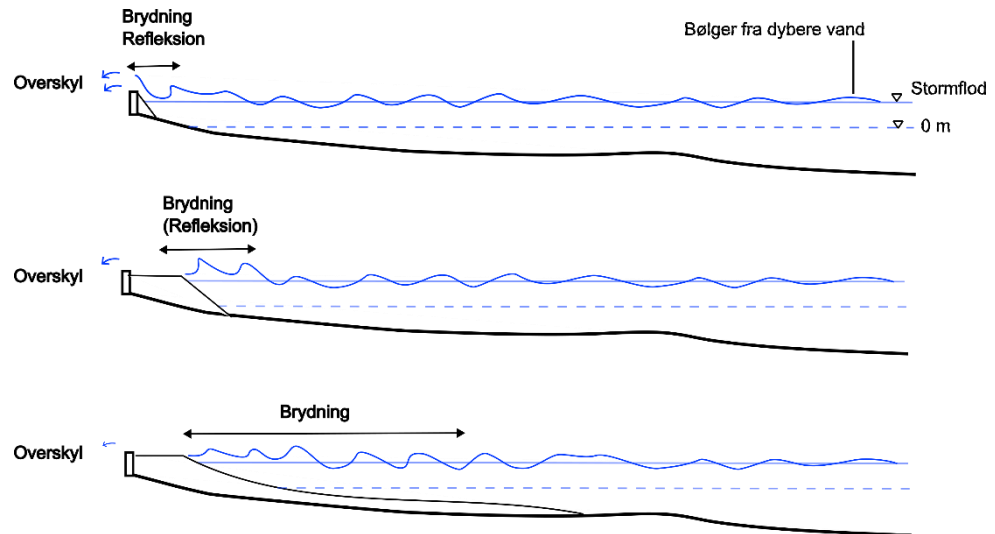
Forskellige løsninger kan således tænkes udført i forbindelse med adressering af overskyl f.eks.:

- Bortledning af vand langs kysten mod pumpesump med aktiv pumpe under oversvømmelsen
- Bearbejdning af terrænet til at styre horisontale udbredelse af overskyllets vandvolumener

6.1.4 Bølgedæmpning i profilet - 3 principper

Tre måder at adressere bølgedæmpning for at minimere overskyllet er angivet i Figur 20.

- Profiltype 1: Stormflodsmure – ingen andre bearbejdninger af kystprofilet
- Profiltype 2: Opbygning af en høj stenkonstruktion foran stormflodsmur
- Profiltype 3: Sandfodring op til stormflodsmurens topkote og forskydning af kystprofilet søværts



Figur 20 Forskellige bearbejdnings af kystprofilet foran stormflodsmur.
 Øverst: Ingen ændringer. Midt: Bølgedæmpende struktur foran mur. Nederst: Sandfodring – strand hæves og kystprofilet forskydes væk fra kystlinjen.

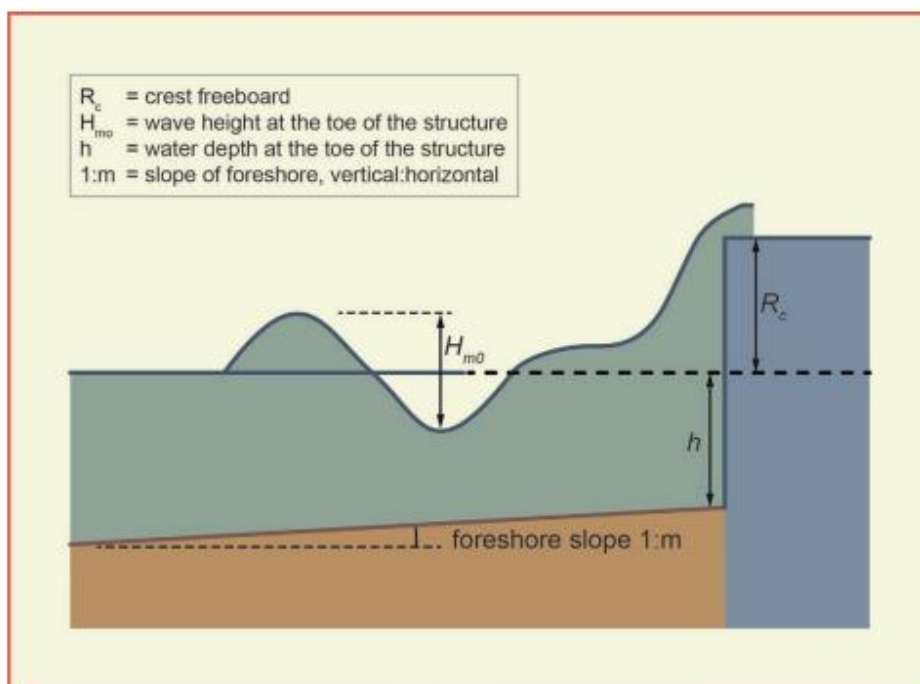
6.1.5 Reduktioner af bølgehøjder og overskylsrater

I de efterfølgende afsnit gennemgås effekterne (herunder overskylsrater) af de 3 udvalgte profiltyper anvendt i skitseløsningerne.

Til bestemmelse af overskylsrater er en empirisk formulering ligning 7.2 fra /3/ benyttet

$$\frac{Q}{\sqrt{gH_{m0}^3}} = 0.054 \exp \left(- \left(2.21 \frac{R_c}{H_{m0}} \right)^3 \right)$$

Hvor Q er overskylsraten, g er tyngdeaccelerationen, H_{m0} er den signifikante bølgehøjde ved foden af stormflodsmuren, R_c er fribordet defineret som forskellen på topkoten af muren og middelvandspejlet.



Figur 21 Fra EuroTop /3/ – definitioner af variable – kun fribord R_c og bølgehøjde H_{m0} indgår i den benyttede formel

Til bestemmelse af vandstanden og bølgehøjden foran muren er DHIs profil-model LITPROF anvendt ved at simulere effekten af brydning på bølgehøjderne og vandstand foran stormflodsmurene over et karakteristisk profil uddraget af bundkote-målingerne.

De vurderede størrelsesordner for bølgehøjdereduktioner for de forskellige profiltyper er bestemt ved højvande for beregninger med normalt indkomne bølger i spændet 0,8m-1,2m på 6 m vand (jf. bølger under stormflod). Modellen beregner bølgehenfaldet (tab af energi og dermed højde) og vandstandsstigningen (jf. bølge-opstuvning) hen over profilet, og værdierne af bølgehøjde og vandstand udtrækkes foran stormflodsmurene – til bestemmelse af de i den empiriske formel indgående parametre.

Anvendes designparametre svarende til en 100-års stormflodshændelse ved 50 cm højere vandstand end i dag (om ca. 50 år) – svarende til en maksimal stormflodshøjde på 208 cm DVR 90, opnås følgende vurderinger af tiltagens bølgehøjde-reducerende effekt:

Profiltipe 1 (ingen profiltbearbejdning):	ca. 0% reduktion
Profiltipe 2 (stensætning med hældning):	ca. 65 % reduktion
Profiltipe 3 (sandprofil op til beskyttelseskote):	ca. 85 % reduktion

6.2 Løsninger med profiltipe 1

Denne løsning udføres som helt lokale forstærkninger og forhøjninger af mure, uden udbygning af bølgedæmpende foranstaltninger foran kysten. Murene skal således både 1) virke beskyttende mod den generelle vandstand under

stormfloder (nu og i fremtiden) og 2) tåle det overskyl som måtte forekomme uden at disse forvolder strukturelle skader på murene.

Under de nævnte forudsætninger er følgende overskylsrater beregnet (de forskellige bølgehøjder svarer til områderne beskrevet under "variationer langs kysten"):

Tabel 9 Estimerede overskylsrater ved forskellige bølgehøjder (signifikant bølgehøjde) foran konstruktionen.

Kote (m)	Overskylsrate - liter / s / løbende meter		
	0,5 m bølgehøjde	0,7 m bølgehøjde	1,0 m bølgehøjde
2,5	7	25	72
3,0	<1	2	16
3,5	<<1	<1	3

Resultaterne viser at den i problemstillingen iboende usikkerhed på bestemmelse af bølgehøjderne under stormflod giver anledning til en usikkerhed på den endelige bestemmelse af sikringskoter.

Følgende konklusioner drages nu med hensyn til sikring i forhold til oversvømmelsesfaren (*gældende for en 100-års stormflodshændelse ved et 50 cm højere havniveau*):

- *Med de nævnte usikkerheder in mente forventes en topkote på stormflodbarrierer på 3,0 m at være tilstrækkelig for strækket syd for havnen.*
- *Ved åbne bølge-eksponerede stræk - såsom området akkurat nord for havnen - skal man ved anvendelse af profiltype 1 overveje en murforhøjning på op til ca. 3,5 m, hvis man ønsker at nedbringe risikoen for overskyl til et minimum.*

Det bør overvejes at modgå usikkerheden ved bestemmelse af bølgepåvirkningen med beredskabstiltag:

- 1) Opbygning af et beredskab – herunder uddannelse og en solid plan for aktiviteter under stormflod
- 2) Etablering af pumpeområder, hvor overskyllet kan opsamles
- 3) Indkøb / leje af pumpeudstyr

En udvikling af et sådan "afvandings-system" kan være en relativt kompleks opgave, der skal udvikles under myndighedsprojektet i samspil mellem kommune, forsyning, beredskabet og de berørte borgere – herunder adressere problemet ang. beredskabets adgang til berørte borgeres parceller.

Med hensyn til for akut erosion anbefales følgende:

- *Ved et stigende havniveau vurderes det, at der er en vis fare for øget akuterrosion - især på den nordlige strækning*
- *For strækningen nord for havnen vil en erosionsbeskyttende skråningsbeskyttelse med en sikringskote på ca. 3,0 m (eller mere) kunne beskytte værdier, der ligger umiddelbart ved kystlinjen.*

6.2.1 Pumpekapacitet ved overskyl - overvejelser

Hvis man skal holde overskyls-vandet væk under stormflod (uden at vælge en uhørt høj stormflodsmur) er der 1) brug for en total pumpekapacitet for hele området, der modsvarer at det totale overskylsvolumen kan pumpes væk over en overskuelig tidshorisont, evt. i realtid og 2) en måde at lede det overskyllede vand hen til passende pumpe-sumpe væk fra bygninger, mv., hvorfra pumpningen kan ske kontrolleret under / efter stormfloden.

Der vil således ved valg af profiltype 1 være en balance mellem risikoniveauet, praktisk mulighed for at samle vandet på en kontrolleret måde og pumpekapaciteten nødvendig for at pumpe vandet væk. Denne afvejning bør gøres ved en nøje granskning af det endelige design, herunder løsninger til at bortlede vandet.

6.3 Løsninger med profiltype 2

I dette forslag etableres en forbedret og lidt bredere konstruktion, hvis formål er at dæmpe / reflektere bølgerne under stormflod. Beregninger indikerer, at bølgerne kan delvist dæmpes og at det foreslåede design således giver mindre bølgeoverskyl sammenlignet med løsning 1.

Følgende konklusioner drages nu med hensyn til sikring i forhold til oversvømmelsesfaren (*gældende for en 100-års stormflodshændelse ved et 50cm højere havniveau*):

- *Med et krav om minimal overskyl < 1 liter / s per løbende meter vurderes koten under en 100-års stormflodshændelse ved et 50 cm højere havniveau, at skulle være i størrelsesordenen 2,5 m DVR90 syd for havnen.*
- *Ved åbne bølge-eksponerede stræk - såsom området lige nord for havnen - skal man ved anvendelse af profiltype 2 sigte mod en murforhøjning til omkring 2.8 m - 3,0 m DVR90, hvis man ønsker at nedbringe risikoen for overskyl i dette område.*

Ved denne løsning nedbringes således graden af overskyl samtidig med, at den strukturelle styrke af kystlinjen med stormflodsmuren ved ekstreme højvander øges betragteligt.

Således forventes det, at man kan nedskalere behovet for beredskab, pumper mv. betragteligt sammenlignet med profiltype 1.

6.4 Løsninger med profiltype 3

I dette forslag lægges sand ud i profilet med henblik på at dæmpe bølgerne effektivt under stormflod. Det er her vigtigt, at sandet lægges ud, således at stranden hæves fra det yderste brydningspunkt og hele vejen til stormflodsmurens overkant. Derudover skal fodringssandet længere ude ideelt set placeres, således at det fodrede profil ligner det oprindelige profil forskudt horisontalt. Fodringssandets sammensætning må ikke være finere, men kan vælges en smule grovere end det allerede eksisterende sand. Det antages her,

at sandfodringen kan udføres på ovenstående måde mht. sandets sammensætning og den geometriske form af sandudlægningen.

Udformning af sandfodringens endelige geometri afhænger af kornstørrelsesfordelingen og skal bestemmes endeligt ved det endelige design.

Over det fodrede profil vil bølgerne reduceres ved, at bølgerne bryder længere ude og over en større del af profilet helt ind til stormflodsmuren – bølgehøjden er altså i dette tilfælde minimal ved stormflodsmuren.

Følgende konklusioner drages nu med hensyn til sikring i forhold til oversvømmelsesfaren (*gældende for en 100-års stormflodshændelse ved et 50cm højere havniveau*):

- *Syd for havnen vil et minimalt overskyl < 1 liter / s per løbende meter kunne sikres, hvis kystprofilet fodres med sand som beskrevet og stormflodsbarrierens sikringskote vælges til 2,5m DVR90.*

6.5 Løsninger med profiltyper i kombination

Man kan sammensætte de forskellige profilløsninger under hensyntagen og nøjere overvejelser om overgangene mellem løsninger langs kysten.

Nogle relevante overordnede overvejelser er som følger:

Overgange

Nord for havnen og syd for bombegrunden hvor bølgepåvirkningen forventes at være kraftigere end over strækket syd for havnen til og med bombegrunden hhv. på havnekajen, vurderes det, at man med fordel kan etablere en stensætning med koten 3,0 m (profilløsning 2). Man bør her overveje de dybere dele af konstruktion med sand, svarende til at man dermed opnår en glat overgang mellem dette område og Bombegrunden. Et sådan design vil kunne forstærke bølgebrydningen i de dybereliggende områder og medvirke til at sandtransporten ikke forstyrres unødigt.

I dette forslag skal man under detailprojektering udvikle et design af overgangene mellem de forskellige løsningstyper, så der sikres god by-pass af sand mellem Bellevue, forbi Bombegrunden og videre mod nord – under hensyntagen til / udnytte, at en stor del af sandtransport fra syd mod nord sker ved lavvande.

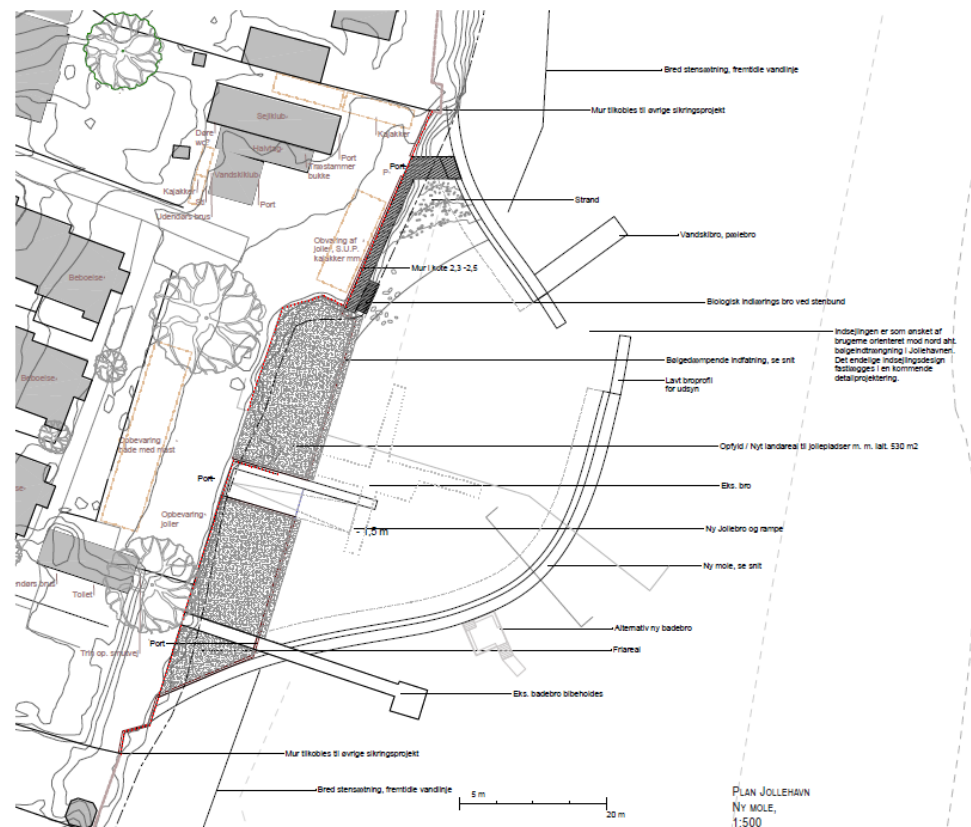
Havnen

Stormflodsmure på havnen vil være tilbagetrukket i forhold til direkte bølgepåvirkning, idet havnemoler vil fungere som bølgebrydere under stormflod. Såfremt der ydermere udvikles en bølgebrydende konstruktion (jf. profiltipe 2) ved overgangen mellem havn og kyst mod nord, vurderes det, at kravet til kotehøjde for stormflodssikringen vil være i størrelsesorden 2,5 m - 3,0 m. Denne vurdering kan bruges i skitsefasen, men bør forfines ved udviklingen af det endelige design.

Jollehavnen – version med profiltipe 2

I dette tilfælde ønskes der en krummende mole-konfiguration med en længere mole, der begynder fra land syd for jollehavnen, hvor den strækker sig ud i vandet og drejer op langs kysten – og dermed skærmer for alle bølgeretninger

fra syd til øst. Havneåbningen placeres for enden af denne konstruktion og peger således mod nord.



Figur 22 Skitse til Jollehavnen – version med profiltype 2 nord og syd for havnen, som udviklet af H&K.

Udviklingen af det endelige design opnås ved at optimere udformningen efter følgende forhold:

- Der skal sørges for, at havnen udformes således, at der er optimal bypass for nordgående sandtransport, som den kommer til at forløbe ved etablering af profiltype 2 (i situationer med bølger fra sydlige retninger), så der ikke opstår nedstrøms erosion nord for konstruktionerne.
- Ved stormfloder vil der være højvande og bølger fra nord – som delvist vil kunne dreje ind i området ved denne nye havnekonstruktion og påvirke havnen gennem den mod nord vendende havnemunding.
- Strømme og bølgedrift tæt ved kysten vil muligvis kunne føre sediment (og evt. tang) ind i havnen under stormflod.
- Bølgeuroen minimeres i denne løsning, hvilket giver en vis risiko for mudderdannelse.

Yderligere skal man være opmærksom på:

- Det kan ikke garanteres, at risikoen for import af sand samt fint materiale og tang pga. vind og bølgedrift kan fjernes 100%. Yderligere må det forventes, at der indimellem kan opstå behov for oprensning.

Med hensyn til oversvømmelsessikringen vurderes følgende:

- Kravet til kote af oversvømmelsessikring for en tilbagetrukket barriere på jollepladsen anbefales i denne version til at være *mindst* 2,5m (eller højere).

- Kravet til sikringskote skal vurderes endeligt ved det færdige design, idet det faktisk at havnemundingen vender mod nord, kan afstedkomme *en mindre grad af oversvømmelsesbeskyttelse* end "Jollehavnen version med profiltype 3", hvilket bør undersøges nærmere ved endeligt design.
- Barrieren skal være sammenhængende med barriere syd og nord for arealet.

Jollehavnen – version med profiltype 3

Udviklingen af Jollehavne indbefatter her en udbygning af havnen med moler, der på en "strømlinet måde" omkranser havnen og dens arealer, sådan at molerne danner en buet formation fra kystlinjen syd hhv. nord for området og placerer en havnemunding centrert i midten (pegende mod øst).

Det endelige layout af disse moler, havnemunding og sandstrand skal udformes sådan, at der opnås optimal sedimenttransport forbi havnemundingen og optimal bølgereduktion og bølge-induceret selvrensende effekt.

Placeringen af havnemundingen i midten gør, at de indre dele af havnen indimellem bliver eksponeret overfor bølger fra øst – hvilket åbner op for en mulighed for at etablere en kurvet "sandlomme" inde i havnen. Her vil sandet dæmpe de indkomne bølgerne, og samtidig vil det, at der nogle gange er bølger have en rensende effekt på sandet, idet sådanne bølger vil virke i forhold til udvaskning af finkornet materiale (hvormed tendenser til mudder- / silt dannelse mindskes).

Udviklingen af det endelige design opnås ved at optimere udformningen efter følgende forhold:

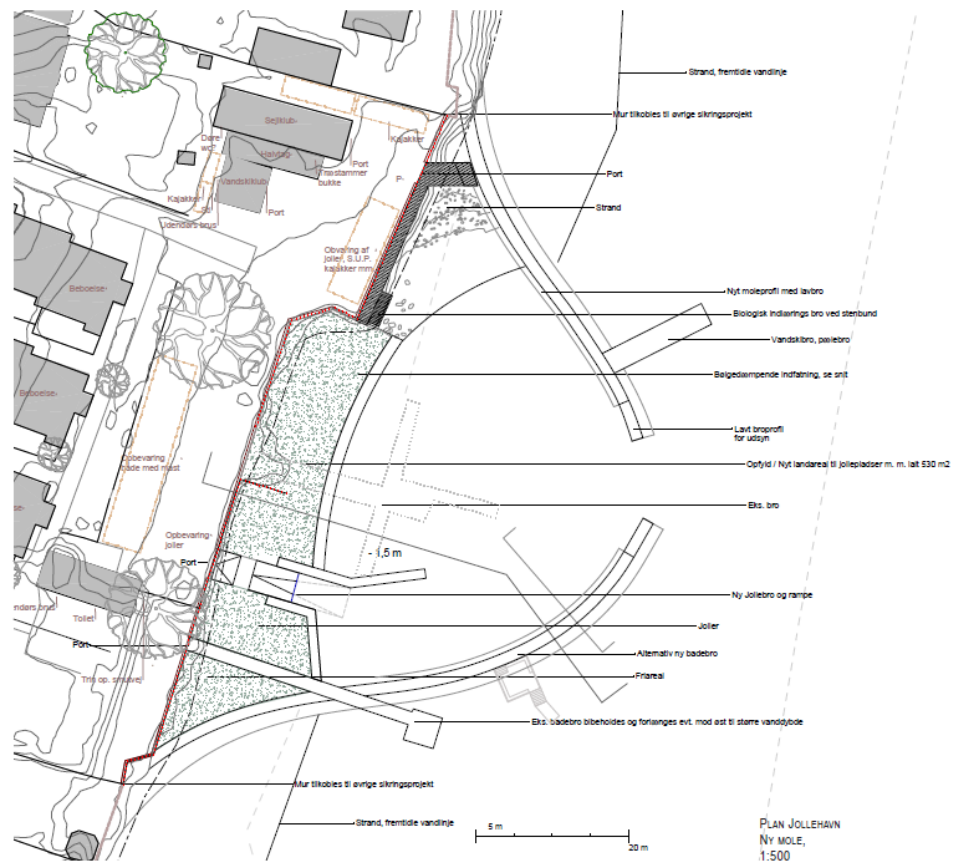
- Tilstrækkelig by-pass af sediment kræver, at der kan opnås en dybde ved munden svarende til dybden for de områder i profilet, hvor sandtransporten op og nedstrøms (by-pass dybde).
- De omkransende strækninger kan med fordel være sandfodrede, sådan at profilet er forskudt ud fra kysten sammenlignet med, hvor profilerne er i dag (horisontal forskydning – profiltype 3).
- Der skal udvikles et layout af molernes forløb, der giver maksimal kontraktion af strømmingen fra syd mod nord.
- Optimering af vandudskiftning og grad af bølgeuro til naturlig opslæmning af finkornet materiale for at modgå mudderdannelse ved placering af havnemundingen, sker ved at dimensionere havnemundingen, så den peger mod østlig retning og sikrer en vis bølgeuro under østlige storme

Yderligere skal man være opmærksom på:

- Det kan ikke garanteres, at risikoen for import af sand - samt fint materiale og tang pga. vind og bølgedrift kan fjernes 100% og at der indimellem kan opstå behov for oprensning.

Med hensyn til oversvømmessikringen vurderes følgende:

- Kravet til kote af oversvømmessikring for en tilbagetrukket barriere på jollepladsen vil være i størrelsesorden 2,5m.
- Barrieren skal være sammenhængende med barriere syd og nord for arealet.



Figur 23 Skitse til Jollehaven – version med profiltype 3 nord og syd for havnen, som udviklet af H&K.

7 Andre forhold

7.1 Samspil med afvandingen af terræn

Der skal gøres opmærksom på at forhold angående afvanding af vand fra nedbør på terrænet hhv. afvanding gennem regnvandsledninger og kloakker skal løses i samspil med den kysttekniske løsning, hvis formål alene er at forhindre havvand i at trænge ind i terrænet, men som kan komme til at virke som en forhindring for afledning af vand fra land til kysten.

Eksempler på løsningselementer i den sammenhæng er etablering af kontraklapper ved udledning til havet, midlertidig opstrøms opmagasinering / tilbageholdelse i oplandet af vand fra nedbør under stormflod samt pumpning fra land til hav.

Behov og løsninger skal på den måde samtænkes de lokale kloakker og afvandingsystemer, herunder forsyningens anlæg i området samt lokale forhold for bygninger og arealer, der ligger helt tæt ved kysten.

7.2 Klimatilpasning, implementering og faseinddeling

Risikoberegningerne af antallet af berørte / skadede huse som funktion af havniveaustigningen peger på følgende forhold:

- Det er en fordel at begynde processen omkring løsningsudvælgelse og igangsætte de dertil hørende processer, herunder finansiering, detaildesign og plan for implementering
- Processerne der skal til for at lede hen mod implementering af løsninger, der skal beskytte området fra nu og hen mod forholdene om 50 år, kan med fordel igangsættes nu

Der kan med fordel arbejdes med en vis form for faseinddeling af udførelse og forløbet omkring samme. Her kan man opstille en række koordinerede delprojekter og deadlines for udførelse, eksempelvis:

- 1) Planlægning af miljøvurdering, finansiering og afklaring af diverse lovkrav
- 2) Teknisk løsning på afvandingsforhold udvikles
- 3) Etablering af kystlav og aftaler om koordinering med kommune og internt mellem borgere i byen
- 4) Plan for beredskab - nu og i fremtiden
- 5) Plan for udført kote-tilpasning af stormflodsmure – herunder dato for hvornår disse senest skal være udført
- 6) Plan for bearbejdning af profilet langs kysten, herunder evt. sandfodring – herunder dato for hvornår disse skal være udført – herunder udførelse i lokale områder, syd for Bombegrunden, Bombegrunden, mellem Bombegrunden og Havnen, Havnen, nord for havnen – med skræntsikring hhv. sandfodring
- 7) Plan for etablering af lokale varianter – f.eks. stenbestrøning, høfder, løsninger på havnen, yderligere bearbejdning af stensætninger.
- 8) Plan for monitoring og løbende vurdering af fremtidige behov for yderligere tilpasning

Det overordnede formål er, at oversvømmelsesbeskyttelsen kommer i stand inden risikoen bliver for stor.

8 Konklusioner

Vurdering af behovet for og forslag til principper for stormflodssikring og erosionsbeskyttende tiltag er udviklet baseret på en fremskrivning af havspejlsstigninger, der følger et RCP 8.5 scenarie svarende til om ca. 50 år (35 cm – 50 cm) og om ca. 100 år (ca. 100 cm), under antagelse af en 100-årshændelse stormflod, som den ser ud i dag (relativt til havniveauet).

Bølgeindfaldet under stormflod er i den forbindelse ydermere vurderet til at være i størrelsesorden 1m (signifikant bølgehøjde) med en nordlige retning under stormflod ved 6m dybde ud for kysten.

En dynamisk arealdækkende model for hele området, der beskriver både vandstandsforhold og bølgers vandring og brydning mod kysten, er anvendt til at:

- 1) Beregne oversvømmelser i området – herunder opgøre udviklingen af skadesomfang i form af antal berørte bygninger - for 4 havniveauer (0 cm, 35 cm, 50 cm og 100 cm)
- 2) Vurdere den langsgående variation af bølgehøjder langs kysten foran eksisterende mure

Tre forskellige typer af profilløsninger er på den baggrund foreslået, herunder dimensioneringen af disse under hensyntagen til placering langs kyststrækkene, risiko i forbindelse med bølgeoverskyl samt behovet for beredskab.

De tre løsningstypers fordele og ulemper er diskuteret, herunder overordnede diskussioner af behov for detailvurderinger / dimensionering, når det endelige design er valgt og layoutet i forhold til placering og overgange mellem løsninger er besluttet.

På denne baggrund vurderes den tekniske virkning af de alternative anlæg som følger:

Minimal løsning med vægt på profiltype 1

Det vurderes at en minimal løsning, der udelukkende adresserer forhøjning af eksisterende mure hhv. lokalt tilføjer nye mure, men uden at bearbejde profilet på flere områder er uhensigtsmæssig.

Dette skyldes et besvær i at integrere løsninger til en uniform totalløsning, der undgår, at der er et svageste led hvor igennem større oversvømmelser bag stormflodsværkerne kan ske.

Det er i den sammenhæng svært at indarbejde en tilstrækkelig uniform strukturel styrke af oversvømmelsesmurene langs kysten.

Endelig er kravet til murenes højde og styrke en del større end i tilfældet med bearbejdede kystprofiler (profiltype 2 og 3), idet murene med profiltype 1 vil blive udsat en del mere for bølgepåvirkning, og at der i den sammenhæng vil være usikkerheder for fejl dimensionering overfor bølger – med øget risiko for erosion og underskæring af fundamentet hhv. oversvømmelse pga. overskyl fra bølger der vil kunne skylle over murene.

Løsninger baseret på profiltyperne 2 og 3

Det anbefales at kystprofilet på den ene eller anden måde bearbejdes enten ved at indføre stensætninger (profiltype 2) eller ved sandfodring (profiltype 3)

for at reducere eller helt at undgå bølgepåvirkninger af stormflodsmurene. Det anbefales her, at murene bygges op fra ny, så forsvarsværkerne langs kysten får en ensformig karakter og styrke langs kysten, for således at undgå, at der opstår et svageste punkt, dvs. at man lader murene designe og implementere efter uniforme principper. Ved profilbearbejdning relaxeres (mindskes) kravet til murenes dimensioner og ved at bygge murene op fra ny vil en uniform løsning med tilstrækkelig styrke kunne sikres.

Det anbefales på det kraftigste ved udvikling af det endelige design og implementering af murene, at der foreskrives en måde, hvorpå man vil kunne tilpasse murene i højden, såfremt havniveaustigninger og stormfloders styrke udvikler sig mere u hensigtsmæssigt end forudsat på designtidspunktet.

Det vurderes at anvendelse sandfodring som det primære tiltag vil være det teknisk set mest hensigtsmæssige, men at man dertil kan supplere med yderligere lokal styrkelse af kysten, hvor dette vurderes nødvendig - herunder integration af både profiltipe 2 og 3 ved særlige udsatte lokale strækninger og integration med andre lokale løsninger, f.eks. løsninger foreslået ved Jollehavnen.

9 Referencer

/1/ IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate, 2019, [www:Chapter 4: Sea Level Rise and Implications for Low-Lying Islands, Coasts and Communities — Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate \(ipcc.ch\)](http://www.ipcc.ch)

/2/ Højvandsstatistikken, Kystdirektoratet, 2017, [www:https://kyst.dk/media/80372/hoejvandsstatistikker2017revideret11022019.pdf](https://kyst.dk/media/80372/hoejvandsstatistikker2017revideret11022019.pdf)

/3/ MOOD, MetOcean On Demand – DHI's dataportal for MetOcean data, [www:MetOcean Data Portal - Global Metocean Data | DHI Group](http://www.metoccean.com)

/4/ EurOTop, 2018, Manual on wave overtopping of sea defences and related structures - An overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application, 2018 – second edition.

/5/ Mangor, K, Drønen, N., Kristensen, S, Kærgaard, K., 2017, Shoreline Management Guidelines, DHI e-book (free download from www.dhigroup.com)

/6/ COWI, 2018, Stormflod og Havvandsstigninger, Projektnr. A095193 – 001, ver. 7.0, Feb. 2018, Regnvandsforum

Bilag A (no appendices)

Bilag 6

Erosion og bidragsfordeling

NOTAT

Sag nr.: 21-0241
Sagsnavn: Taarbæk Kyst
Emne: Erosion og bidragsfordeling

Udført/kontrol: FOE

Notat nr.:

Dato: 2023-02-02

Rev. dato: 2023-03-30

1. Baggrund og formål

LTK har i forbindelse med Hortens udvikling af model for bidragsfordeling for Taarbæk-kystprojektet spurgt til en uddybning/nuancering af spørgsmålet om erosions-elementets betydning, som argument for at etablere kystbeskyttelse og for at etablere kystlaug som "administrerer" kystbeskyttelsen. Endvidere er det ønsket at få uddybet, hvilke øvrige fordele, der opnås med kystbeskyttelsen, således at Horten har mulighed for at vurdere en mulig rimelighed i at beboerne ud over dem som bor i 1. række og dem i område 2 skal bidrage til kystbeskyttelsen.

Vi skal her kort søge at besvare kommunens/Hortens spørgsmål.

Vi skal indledningsvis bemærke, at spørgsmål om erosionsbeskyttelse og økonomi er et ekstremt komplekst spørgsmål, og besvarelsen rummer – ud over vurdering af kystmorfologiske træk og iagttagelser en række antagelser.

2. Erosion

Baggrunden for ønsket om at udbygge kystbeskyttelsen ved Taarbæk har mange årsager.

Et væsentligt udgangspunkt er Cowi's notater fra 2018/2019, hvori dels de samfundsøkonomiske omkostninger ved skader ved en vandstandsstigning på 70 cm i perioden frem til 2100 er beregnet til 137 mio. kr. for Taarbæk-kysten (Prisindeks 2017), og dels blev estimeret at kystbeskyttelsesforanstaltninger kunne etableres for 17-34 mio. kr. afhængig af sikringshøjde, hvilket retfærdiggjorde at starte skitseprojektet til kystsikring af Taarbæk.

Vi har under udarbejdelse af dette skitseprojekt indgående analyseret forskellige løsninger og den økonomi, der vil være forbundet med løsninger for de enkelte delstrækninger. Det skal bemærkes, at udgifter til kystbeskyttelse er steget på grund af stigende materialepriser og de analyser som er gennemført under skitseprojektering er betragteligt mere detaljerede, og derfor vil der være priser som er afvigende fra Cowi's beregninger.

For de økonomiske overslag for de foreslåede løsninger henvises til de økonomiske overslag i bilag 2, hvor skadesøkonomien for boliger er gennemgået og til bilag 4 med tillægsnoter om skadesøkonomi.

Horten spørger ind til erosionsbeskyttelsen som et element i bidragsfordelingen, idet det primært og i første omgang vil være de huse der ligger i 1. række, som sikres mod erosionsbeskyttelse.

Den eksisterende kystbeskyttelse i form af mure/stensætning/skråningsbeskyttelse foran 1. husrække, både i område 2 og i de øvrige områder, har frem til i dag været etableret og vedligeholdt af kystgrundejerne. Hvor mange penge, der i historisk tid er brugt af de enkelte grundejerne, kender vi af gode grunde ikke.

En gennemgang af flyfotos og othofotos antyder, at murene gradvist er blevet etableret i mellemkrigstiden og fremefter. Der er således tale om bygværker, der har været langs kysten i i hvert fald 60-100 år. En mere præcis beskrivelse vil kræve en nærmere historisk og kulturhistorisk gennemgang af bygningshistorisk arkiver.

Foranstaltninger har i den periode beskyttet kysten og de bygværker (husene/ejendommene er der endnu!) - som vender ud mod Øresund, og der ses ikke på luftfoto fra perioden en tydelig nedbrydning af kysten.

Af matrikelkort med skelgrænser for Taarbæk-området ses at mange matrikelskel følger kystsikringsmurene. Der er dog enkelte ejendomme – især nord for Bombegrunden, hvor matrikelskellet ligger på selve "sandstranden" (se nedenstående luftfoto), og altså under højvande sandsynligvis ude i vandet, men i det samlede billede ses ikke nogen tydelig indikation af en voldsom erosion.



Vi kan på baggrund af observationer af de faktiske forhold ikke sige, hvor meget Øresund naturligt æder af kysten ved Taarbæk hvert år – eller i snarere, hvor meget den ville æde af kysten, hvis kystværnet ikke havde været der.

Derimod kan man, med de indbyggede usikkerheder in mente, teoretisk estimere nogle størrelsesordener på erosionsgrader ved kysten. Erosion som fænomen inddeles typisk i tre typer:

1. Akut erosion – der er kortvarige hændelser af erosion under storme
2. Kronisk erosion a. – der er erosion over længere perioder pga. en generel naturlig "eksport" af sedimenter fra området pga. særlige bølge og strømforhold.
3. Kronisk erosion b. – der er erosion over længere perioder pga. stigende havvand, hvor kystprofilen tilpasser sig havniveauet over længere tid.

Hvis der er tilstrækkelige mængder sand i området vil kysten ofte naturligt "reparere" sig selv mellem stormene, i det sandet tenderer til at vandre tilbage på kysten i vejr-mæssigt mildere perioder. Hvis kysten rent faktisk ses at tendere til at trække sig tilbage over længere periode efter hver storm, er den akutte erosion i virkeligheden et udtryk for at den kroniske erosion gør kysten eksponeret under storme, ved at sandet foran kysten mangler.

Derfor vil det over længere perioder være interessant at forstå forholdene omkring især den kroniske erosion (af type a. og b.

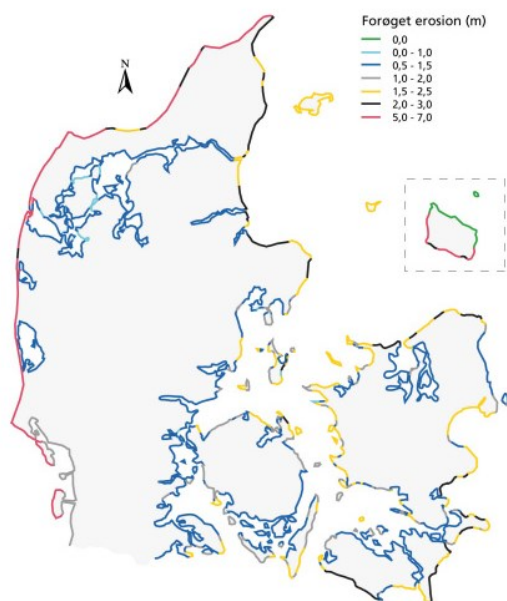
I forhold til det fremadrettede kroniske erosionstryk kan bl.a. henvises til Kystdirektoratets Erosionsatlas for Øresundskysten ("*DHI/Kystdirektoratet. Erosionsatlas. Pilotprojekt. 2013*"). Her er det vurderingen kysterosionen på

Taarbæk-kysten lille. Lille erosionstryk defineres som en ændring af kystlinien på mellem større end 0 meter og mindre end 0,5 meter. Se nedenstående figur.

Kategorisering af erosionspres	Ændring i kystlinje	Sedimentunderskud	Bølgepåvirkningsindeks	Transportkapacitet	Eksempel
Aflejring	> 0	-	-	-	Bunden af Sejerø bugt
Stabil	≈ 0	-	-	-	Kysterne i det sydfynske øhav
Lille	> -0.5m/år	0.1 m ³ /m/år	0.01 m ^{3.8} /s	10.000 m ³ /år	Sjællands østkyst ud til Øresund.
Moderat	-0.5 til -1.5m/år	1 m ³ /m/år	0.1 m ^{3.8} /s	100.000 m ³ /år	Sjællands nordkyst
Stort	> -1.5 m/år	10 m ³ /m/år	1 m ^{3.8} /s	1.000.000 m ³ /år	Jyllands vestkyst

Tabel 5.1 Kategorier for kronisk erosion. Bemærk at for sedimentunderskud, bølgepåvirkningsindeks og transportkapacitet repræsenterer den angivne værdi størrelsesordenen.

På www.klimatilpasning.dk angives erosion på Taarbæk-kysten som værende af størrelsesordenen 0,5-1,5 meter frem til 2050, svarende til mellem 2 og 5 cm om året. Se nedenstående figur.



De kystmorfologiske karakteristika og strømforhold ved den østvendte Taarbæk-kyst er komplekse. Der vurderes overordnet f.eks. en naturlig netto-sandtransport fra syd mod nord, hvorfor stykket mellem Bellevue og Taarbæk Havn over tid til en vis grad får beskyttelse af sandfordringen på Bellevue. Tilsvarende kan man sige, at Taarbæk Havn i forhold til ejendommene syd for havnen yder en vis beskyttelse mod bølger og strømninger ved nordlige og nordøstlige vindforhold. Omvendt er der sandsynligvis nogle få grunde på arealet lige nord for Taarbæk Havn, hvor havnens nordmole kan betyde øget belastning af "hjørnegrundene".

Oprensninger af havneindløb langs Øresundskysten, herunder oprensning ved Taarbæk Havn og klappning af materialerne på lokaliteter på klappsteder tæt på kysten påvirker ligeledes kysten og erosionen på den.

Endelig skal det bemærkes, at der for visse ejendomme – og det er nok især nord for Taarbæk Havn – er sket en udbygning af ejendommene mod Øresund, og at dele af bygværket nærmest er vokset sammen med selve kystbeskyttelsen, og her vil det i bidragssammenhæng være særdeles vanskeligt at skelne mellem kystbeskyttelse og ejendomsbygværker.

I forhold til effekten af havspejlsstigninger vil kystens tilbagetrækning kunne udregnes som forholdet mellem kystprofilen hældning og havspejlsstigningen. Ved Taarbæk vurderes denne form for tilbagerykning til at være i størrelsesorden 5 cm om året.

Som centralt estimat kommer vi derfor frem til en generel tilbagerykning af kysten i størrelsesorden 10 cm om året i fald der ingen skræntbeskyttelse er etableret i profilet. Den ene halvdel af denne tilbagerykning kan som nævnt knyttes til kronisk erosion pga. bølger og strømme i området (type a.), mens den anden halvdel skyldes havspejlsstigninger (type b.).

Disse estimater er udtryk for det *potentielle* erosionstryk, dvs. erosion der ville forekomme, hvis der ikke var skræntbeskyttelse mv..

3. Antagelser og beregning af beskyttelsen

Da vi ikke 1:1 kan sige noget præcist om den naturlige naturlig erosion ved Taarbæk vil en beregning på erosionen ske på baggrund af antagelser. Det skal bemærkes og understreges, at den klimabetingede havvandsstigning indtil videre trods alt har været lav, men at klimaforandringerne grundlæggende – og vi betragter dette som facts og som dokumenteret med klimamodeller – vil betyde, at havvandstigningen vil intensiveres.

Ligeledes er det sandsynligt, at storme vil betyde at bølgehøjden vil øges. Derfor må forudses, at selvom der kun er sket de små ændringer frem til i dag – så vil erosionstrykket fremadrettet blive til større og langt mere omfattende i de kommende årtier. Kystsikring skal således ses i det lys og ikke kun på hvad der er oplevet i dag.

Det er klart, at hvis kystbeskyttelsen ikke forstærkes eller udbygges som foreslået i skitseprojektet, så er der en meget stor sandsynlighed for at Øresund vil gnave af kysten år efter år – om det er 2 cm eller 15 cm – er ikke til at sige. Det er ikke noget, der sker jævnt og med samme hastighed hvert år. Der vil være år uden voldsomme storme og med vinde fra uheldige retninger og højvande, hvor der stort set ikke sker noget, og der vil omvendt være år hvor storme, højvande, vindretninger og bølger vil være uheldige og kysterrosionen i et ryk kan tage væsentlige stykker af kysten.

Med hvis vi skal sætte et regnestykke op så vil vi gøre følgende teoretiske antagelser:

- Fremadrettet kystlinie-erosion, hvis kystsikring ikke udbygges: 0,1 meter/år (jf. ovenfor begrundede estimater)
- Ejendomsvurdering (= grundværdi+værdi af huse på grunden): 10-50.000 kr./m² grund (baseret på et par tjek på www.skat.dk med Vurderingsportalen).
- Der beregnes et permanent tab, hvor grund/ejendom forsvinder i Øresund for stedse

Ved disse forudsætninger kan følgende **ejendomsværditab over 10 år** for 1 km kystlinie beregnes som:

$$10 \text{ år} \times 0,1 \text{ meter/år} \times 1.000 \text{ m} \times 10-50.000 \text{ kr./m}^2 = \mathbf{10 \text{ mio.} - 50 \text{ mio. kr.}}$$

En investering i kystbeskyttelse nu vil sikre, at værdierne kan bevares for mange årtier fremadrettet. Der opereres i skitseprojektet med en foreslået kystbeskyttelse, der i set i tidsperspektiv skal kunne modstå en 100-års hændelse om 50 år.

Det er et væsentligt udgangspunkt at erosionen til dato ikke har været tydelig og derfor er erosionsvinklen i dag er et lidt vanskeligt juridisk argument for kystbeskyttelsen, men det er omvendt meget væsentligt at pointere, at med de forventede vandstandsstigninger så vil erosionstrykket stige væsentligt de kommende år, såfremt der ikke gennemføres kystbeskyttelse og dermed vil det økonomiske og samfundsmæssige værditab stige, og dette vil kunne retfærdiggøre erosionsvinklen og investeringer i kystbeskyttelse.

4. Bidragsfordeling

I de drøftelser vi har haft med Lyngby-Taarbæk Kommune og Horten har vi foreslået en simpel bidragsfordeling, som primært lægger op til indregning af skadesomkostninger, der er en konsekvens af oversvømmelseskader i område 2,

og at der til en vis grad er tale om at alle huse og ejendomme i området blive skadet. Det er sket ud fra en betragtning om, at der generelt er tale om et lavtliggende område, og at der ved stormflod må forventes at ske en skade på næsten alle ejendomme i området.

Hvis der skal ses mere individuelt på de højest liggende grunde i område 2 og generelt til øvrige delområder i Taarbæk, vil der skulle ses på de fordele, der i øvrigt opnås ved en kystbeskyttelse.

En nedbrydning af kysten vil have en negativ effekt på værdier og i princippet vil både de højest liggende ejendomme i område 2 og alle øvrige grunde i Taarbæk opnå fordele ved en kystbeskyttelse. De fordele – altså fordelene, der opnås ud over at selve husene/ejendommen bevares - udgøres af bl.a.

- Overordnet bevares det velafgrænsede og velfungerende Taarbæk-miljø med skole, institutioner, butikker, ældreboliger, mm.
- Vejnet, forsyningsnet, P-pladser, mm. bevares
- Kystens aktiviteter som ro-, både-, sejl- og vandski-klubber med klubhuse og faciliteter bevares
- Havnen, dens aktiviteter og rekreative værdi bevares
- Offentligt tilgængelige områder ved Bombegrunden og Jollehavnen bevares
- Turist-attraktionen Taarbæk - og den omsætning det skaber for Taarbæks virksomheder/butikker/hotel/restauranter - bevares
- Når kysten og husene langs bevares, vil også grundejere i område 1 og områderne 3-4 have en fordel (= grundværdier bevares), fordi Taarbæk ikke får status af område med et generelt henfald af husene langs kysten og nedbrydning af kystlinien.

Med basis i ovenstående fordele for hele Taarbæk-samfundet vil der kunne argumenteres for, at også øvrige delområder – ud over område 2 – skal bidrage.

I den reviderede udgave af skadesøkonomien – bilag 4 – har vi set modeller for beregning af direkte og indirekte tab. Der henvises til beskrivelser og beregninger i bilag 4.

5. Konklusion

Den samlede konklusion er herefter:

- at Kystdirektoratet generelt vurderer kyststrækningen ved Taarbæk som et område, hvor den naturlige kysterrosion i dag er forholdsvis lille (mellem 0 og 0,5 meter/år),
- at der ikke er et specifikt 1:1-eksempel på i hvilket omfang Taarbæk kysten er blevet nedbrudt i væsentligt over de sidste 50-100 år
- at stort set på hele Taarbæk-kyststrækningen i dag er beskyttet med mur-bygværker med foranliggende stensætninger ud mod Øresund – og at kystlinien i dag ikke i gængs forstand kan kaldes en naturlig kyst
- at havvandsstigninger og klimaforandringer fremadrettet vil betyde et betydeligt højere erosionstryk på kysten end tilfældet er i dag
- at vi ikke ud fra kystmorfologiske vurderinger er i stand til at sige noget fuldstændig præcist om erosionstrykket,
- at ejendomsværditabet, såfremt der ikke foretages yderligere kystsikring, antages at være af størrelsesordenen 10-50 mio. kr. for en 1 km kyststrækning over 10 år baseret på et skøn på ca. 10 cm naturlig nedbrydning af kysten/år, samt
- at der i en bidragsmodel for Taarbæk kan indregnes andre fordele for byen borgere og beboere uden for 1. række. Disse fordele udgøres af at Taarbæk-miljøet, dets attraktioner, institutioner, infrastruktur, aktiviteter og virksomheder bevares, og at Taarbæk ikke med tiden henfalder

FOE, 2. februar 2023, rev. 30. marts 2023