

AUGUST 2023
ESBJERG KOMMUNE

STORMFLODSSIKRING AF ESBJERG BY

PROJEKTBEKRIVELSE



AUGUST 2023
ESBJERG KOMMUNE

STORMFLODSSIKRING AF ESBJERG BY

PROJEKTBEKRIVELSE

PROJEKTNR.

A251941

DOKUMENTNR.

002

VERSION

1.0

UDGIVELSESDATO

2. august 2023

BESKRIVELSE

Projektbeskrivelse

UDARBEJDET

LAFN/HGLN/MEHT
/SOH

KONTROLLERET

ASHV

GODKENDT

LAFN

INDHOLD

1	Indledning	7
2	Beskrivelse af området og behov for sikring	8
2.1	Udpegning i kystplanlægger	12
2.2	Skadesomkostninger og vurdering	13
3	Strategisk beskyttelse af Esbjerg By	18
4	Fase 1: Højvandsmuren - Projektbeskrivelse	22
4.1	Beskrivelse	22
4.2	Landskabelig/visuel påvirkning	34
4.3	Biodiversitet	38
4.4	Adgangsforhold og trafik	39
4.5	Regnvand og afstrømning	39
4.6	Anlægsoverslag fase 1	41
4.7	Procesplan	47
5	Fase 2: Havnestrøget	49

1 Indledning

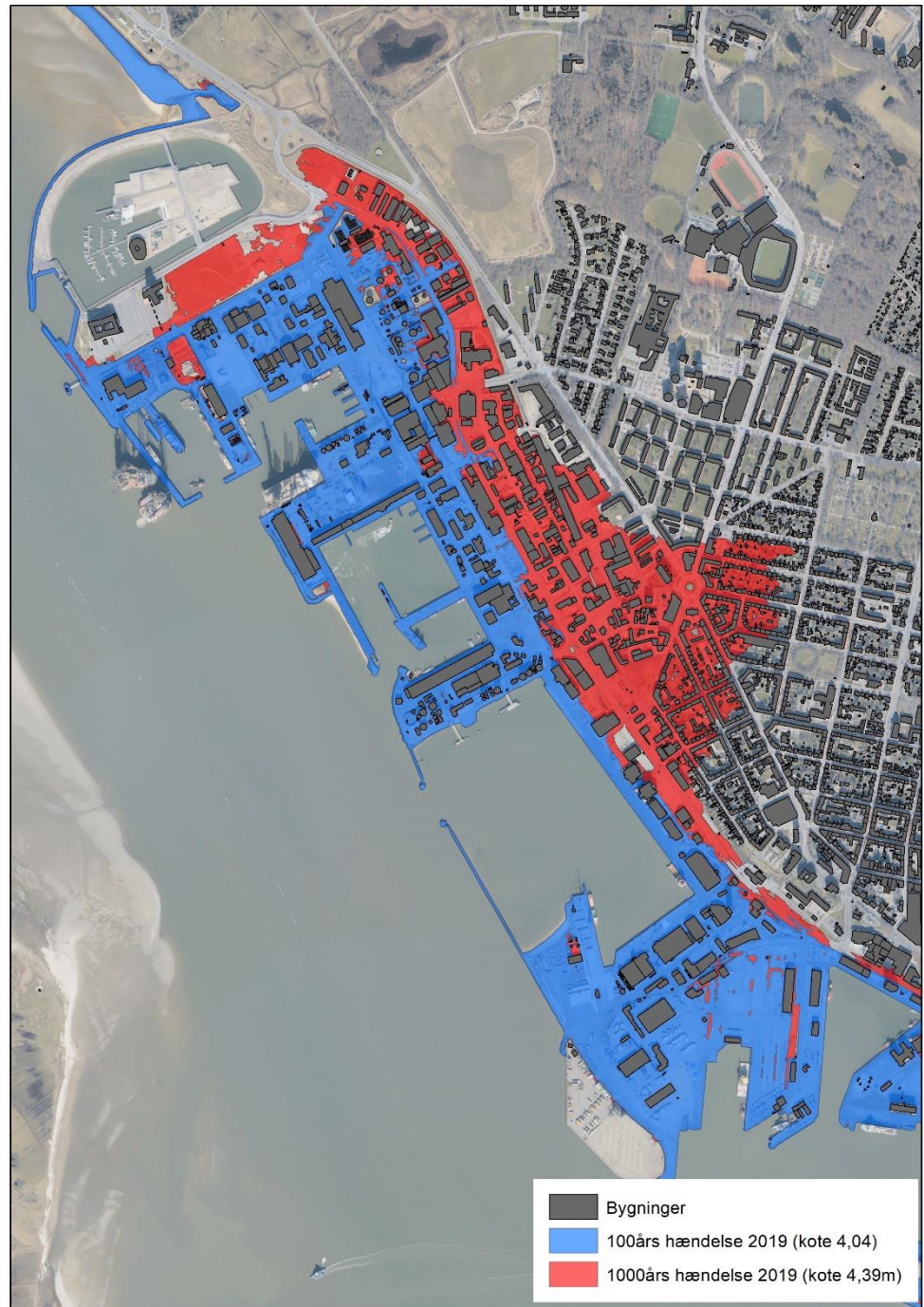
Foranlediget af Esbjerg bys udpegning som risikoområde jf. EU's oversvømmelsesdirektiv, har Esbjerg Kommune udarbejdet en risikostyringsplan (Klima- og risikostyringsplan for Esbjerg by og havn 2022 – 2027). Formålet med planen er at håndtere og nedbringe risikoen for skader ved oversvømmelser i tilfælde af stormflod. På baggrund af risikostyringsplanen har kommunen i 2023 igangsat arbejdet med at konkretisere tiltag til sikring af Esbjerg By.

Området omkring Esbjerg Havn er på samme tid både spændende og kompliceret. Spændende fordi Esbjerg By er opstået på baggrund af aktiviteter i, ved og omkring vandet og som udgør byens oprindelse og omdrejningspunkt. Området indeholder ikke blot én, men adskillige fortællinger omkring hele Esbjergs industri historie, hvilket kommer til udtryk i adskillige spændende bygninger fra forskellige tidsperioder i Esbjergs industri historie. At området er kompliceret, skyldes at området til stadighed, i dag og også fremover, er et vigtigt aktiv for Esbjerg By.

Nærværende projektbeskrivelse beskriver og formidler en samlet strategi for stormflodssikring af Esbjerg By (centrum og nord) med et faseopdelt og helhedsorienteret hovedgreb, som med rettidig omhu både giver tryghed og reducerer oversvømmelsesrisikoen på kort sigt. Samtidig skaber strategien den nødvendige arbejdsro og mulighed for planlægning og realisering af sikringen af Esbjerg By fremover således at byen fortsat kan udvikle sig og bestå. Nærværende projektbeskrivelse beskriver ikke løsninger længere mod syd (Ved Ringen) eller længere mod nord (Fovrfeld Bæk). Disse områder løses senere i andet projektregi.

2 Beskrivelse af området og behov for sikring

Der er i "Klima- og risikostyringsplan for Esbjerg by og havn 2022 – 2027" arbejdet med stormfloder baseret på Kystdirektoratets statistiske bearbejdning af målestationen i Esbjerg Havn samt referencehændelsen fra 1981, som ligger frisk i erindringen hos mange af byens borgere. Der er benyttet fremskrivning af vandstande med udgangspunkt i klimascenarie RCP8.5. Oversvømmelses-omfanget af en nuværende 100-årshændelse og en nuværende 1000-års hændelse er gengivet på nedenstående figur:



Figur 2-1 Udbredelsen af nuværende 100 års og 1000 års stormflodshændelser i Esbjerg By.

Af Figur 2-1 ses det at en nuværende 100-årshændelse primært vil oversvømme havnens arealer mens en 1000 års-hændelse vil give anledning til langt mere omfattende oversvømmelser der forplanter sig ind i Esbjerg By.

I dialog med Esbjerg Havn er det blevet klarlagt, at Havnen allerede i dag aktivt arbejder med sikring af egne bygninger på baggrund af varsling, og Havnens beredskabsplan bevirker at bygningerne lukkes ned, hvorved skader på havnens bygninger og installationer minimeres i tilfælde af stormflod. Bygningerne er således på forhånd allerede forberedt på truslen fra vandet, og der er ikke ønske

om et yderligere sikringsniveau. Havnen vurderer selv løbende truslen fra havet og agerer derefter. Disse forhold omkring både risikohåndtering og målsætning er beskrevet i "Klima- og risikostyringsplan for Esbjerg by og havn 2022 – 2027".

Fremskrives situationen til år 2065 (mellemlangt sigt) vil hændelserne pga. stigningen i middelvandspejlet se ud som på nedenstående figur:



Figur 2-2 Udbredelsen af 100 års og 1000 års stormflodshændelser i Esbjerg By fremskrevet til år 2065.

Som det ses af Figur 2-2, svarer en 100-årshændelse i 2065 stort set til den nuværende 1000 års-hændelse. Dette betyder at sandsynligheden for at den optræder er øget med en faktor 10. En 1000 års-hændelse i 2065 vil ikke have en meget større udbredelse end 100-årshændelsen da terrænet stiger kraftigt ind i landet.

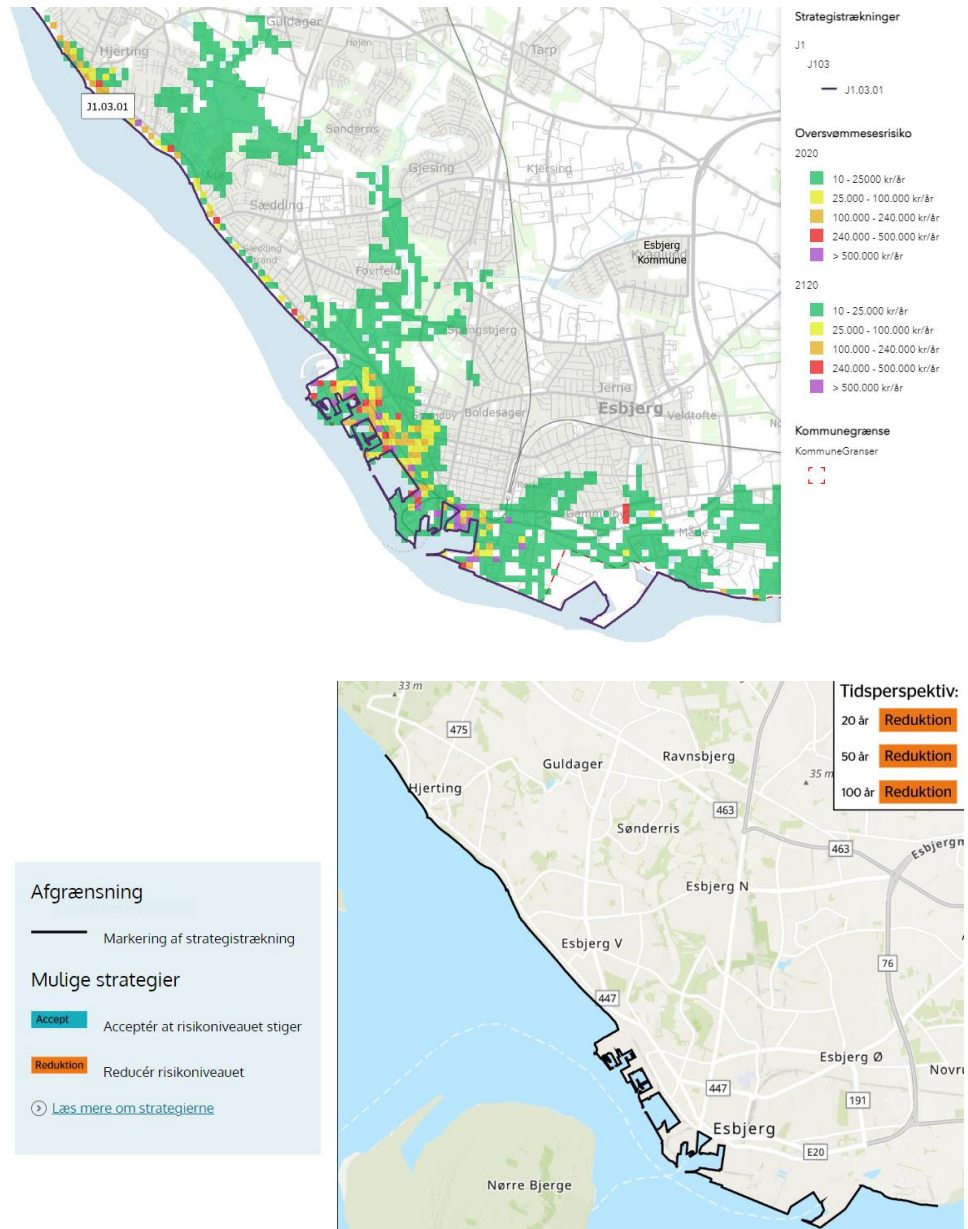
Fremskrives de 2 hændelser yderligere til år 2115 ses det at vandet nu bidrager til oversvømmelse over et større område, mens udbredelsen omkring de eksisterende risikoområder ikke ændrer sig væsentligt. Dette skyldes igen at terrænet stiger op imod Esbjerg Centrum. Som nævnt i afsnit 1, er der områder mod syd, ved Ringen, som også vil være i risiko ved stormflod, men disse indgår ikke i nærværende projektområde. Dette er også gældende for den nordlige strækning hvor der i dag er sluseporte på Fovrfeld Bæk og hvor der på længere sigt også vil være behov for sikring.



Figur 2-3 Udbredelsen af 100 års og 1000 års stormflodshændelser i Esbjerg By fremskrevet til år 2115.

2.1 Udpegning i kystplanlægger

Projektområdet er beliggende på Kystdirektoratets Strategistrækning j1.03.01, som i sin helhed starter syd for Esbjerg Havn og slutter nord for Hjerting. Den samlede strækning er 32 km lang og ligger i Esbjerg Kommune. Der er for området udpeget et behov for sikring på både kort, mellem og langt sigt.



Figur 2-4 Beliggenhed af Strategistækning J1.03.01, herunder visning af områdets behov for reduktion af risikoniveauet for oversvømmelse på både kort, mellem og langt sigt. (Kilde: Kystplanlægger).

2.2 Skadesomkostninger og vurdering

COWI har for REALDANIA udviklet en metode til opgørelse af skadesomkostninger over tid for de 48 største danske byer som følge af havspejlsstigninger og stormflod. Rapporten "Byernes udfordringer med havvandsstigning og stormflod", udarbejdet af COWI for REALDANIA, beskriver en akkumuleret risiko for hele Esbjerg på ca. 1,5 mia. over en periode på 100 år. Nærværende projektområde udgør kun en mindre del rent arealmæssigt, i forhold til det samlede areal som blev beregnet dengang (Hele Esbjerg inkl. havnen).

De opgjorte skader er beregnet på baggrund af det oversvømmede areal i Scalgo live for en given stormflod. Scalgo live medregner ikke det tidsmæssige

perspektiv. Den tidlige udstrækning af stormfloden har selvfølgelig stor betydning for, hvor langt vandet udbreder sig på terræn. I Esbjerg befinder de oversvømmelsestruede arealer tæt på havnen og vandet skal således ikke strømme ret langt for at give skader. Derfor vurderes de statiske beregninger som værende acceptable og konservative.

Skaderne er alle opgjort på baggrund af statens GIS-temaer for bygninger og infrastruktur. El-svigt i den benyttede økonomiske model er beregnet på antal el-skabe på baggrund af DONG's gennemsnitlige antal el-skabe i Region Hovedstaden per m². Der er flere skadesforhold som ikke er medtaget og som er vanskelige at økonomisere men ikke desto mindre vigtige. Dette er bl.a. andet sårbare mennesker (f.eks. ældre), folkesundhed (ptsd, stress) og borgernes generelle tryghed.

2.2.1 Samfundsøkonomisk analyse

Den samfundsøkonomiske analyse baserer sig på ovenstående omtalte højvandsstatistik samt opgjorte skader ved givne højvande. Højvandsstatistikken anvendes til at udregne sandsynligheden for en given hændelse over en tidsperiode på 100 år. Denne sandsynlighed kobles dernæst med skadesomkostninger ved hændelserne.

De samlede skadesomkostninger består udover værdierne af materielle skader, også af værdien af forsinkelser på infrastrukturen, herunder forsinkelser på vej- og jernbanenettet.

Analysen tager ikke højde for bl.a.

- > Afledte tab såsom værdiforringelse pga. negativ omtale og relation til ejendomsværdi.
- > Afledte skader ift. folkesundhed (ptsd, stress m.m.) eller konsekvenser ved beredskabets begrænsede fremkommelighed under stormflod.
- > Borgernes tryghed
- > Virksomheders produktionstab (der er stor forskel på tabet fra virksomhed til virksomhed).
- > Andre sårbare ejendele i gadebilledet (biler, maskiner m.m.).
- > Genhusning af beboere efter skader herunder evakuering under storm.

Faktorerne ovenfor betyder derfor at det reelle skadesbillede potentielt kan være højere.



Figur 2-5 I analysen er der fokuseret på de skader der ligger bag sikringslinjen. Da Esbjerg Havn, via egen beredskabsplan og lokal sikring af bygninger, aktivt har reduceret deres risiko, ses der således på skadesbilledet øst for den tiltænkte sikring (indtegnet med rødt). Her vist en lav og en høj vandstand som i beregningsmetoden over tid ændrer sandsynlighed i takt med stigningen i middelvandspejlet.

2.2.2 Værdisætning af skader

For at estimere de samlede skadesomkostninger værdisættes de opgjorde skader ved at koble en enhedspris på antallet af oversvømmede typer af skader. En oversigt over de anvendte enhedspriser ses i Tabel 2-1.

Tabel 2-1 Benyttede enhedspriserne til samfundsøkonomisk analyse.

Skader	Enhed	Årets pris (kr./enhed)	Prisår	Kilder
Oversvømmet bygning	Antal bygninger	460.000	2014	Skader fra Bodil hændelse, Stormrådet
Elsvigt, antal el-skabe	Elskabe per 6782 m ²	2.063	2016	Plask
Trafikforstyrrelser alle hovedveje	kr./køretøjstime	239	2017	Transport økonomiske enhedspriser
Vejbrud/genopførelse	Enhedspris (et brud á 1 meter, per 500 m oversvømmet vej)	2.951	2016	Plask
Skader på kloakker	Enhedspris, et brud per 500 m oversvømmet vej	1.100.000	2010	KBH klimamodel

Materielle skader

Omkostningerne ved de materielle skader er fundet ved at koble de opgjorte skader med tilhørende enhedspriser.

Enhedspriserne er primært baseret på informationer fra skadesdata fra forsikringsselskaberne, skadesomkostninger i forbindelse med stormen Bodil samt øvrige prisinformationer hentet fra trafikdata.

Forsinkelser på infrastruktur

Værdien af forsinkelser på infrastrukturen er opgjort ud fra tidsværdier for person trafik hentet fra transportøkonomiske nøgletal. Disse tidsværdier er koblet med antagelser om antallet af timer og dage, hvor rejsende kan forvente forsinkelser efter en stormflod, der har forårsaget oversvømmelser.

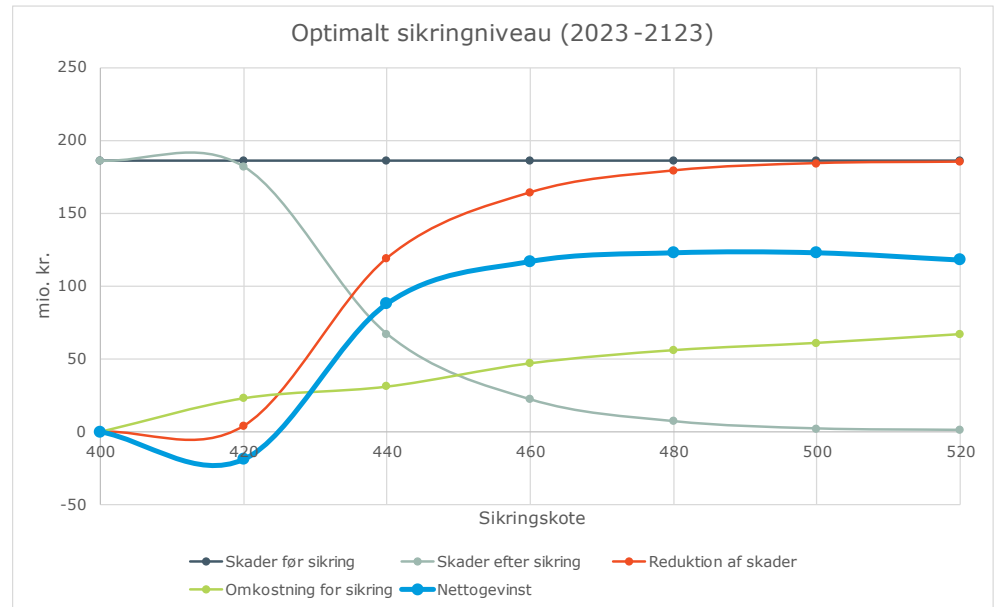
Tidsværdierne for persontrafik er opgjort for køretøjstimer og er anvendt til værdisætning af forsinkelser på vejnettet.

Inden for det undersøgte område er der over en periode på 100 år opgjort en akkumuleret risiko svarende til 186 mio. kr.

2.2.3 Reduktion i skader

Der er indledningsvist udført en samfundsøkonomisk analyse af, hvordan omkostningerne ved stormflod er fordelt på stormflodskoten. I beregningen af skaderne indgår udelukkende skader forårsaget af oversvømmelser fra stormflod.

Den følgende figur (Figur 2-6) illustrerer nettogevinst som funktion af sikringskote, skader og omkostning for sikring over en periode på 100 år. For at opnå sikringskoten er der lavet foreløbige anlægsoverslag på linjeføring i fase 1 "Højvandsmuren". Anlægsoverslagene er pålagt korrektionsbidrag på 1,4 i overensstemmelse med det stadie projektet er på ifølge Ny Anlægslov.



Figur 2-6 Beregning af optimalt sikringsniveau for sikring af Esbjerg. Figuren viser de forventede skader uden sikring, med sikring til konkrete niveauer og den forventede reduktion af skader. På grundlag af den forventede reduktion og de estimerede omkostninger for sikring er den potentielle nettogevinst beregnet. Det ses af den blå kurve at optimum for nettogevinst ligger omkring kote +4,8m for et 100 års perspektiv.

Af den ovenstående figur ses, at på 100 års sigt er det optimalt at sikre til ca. kote +4,8m.

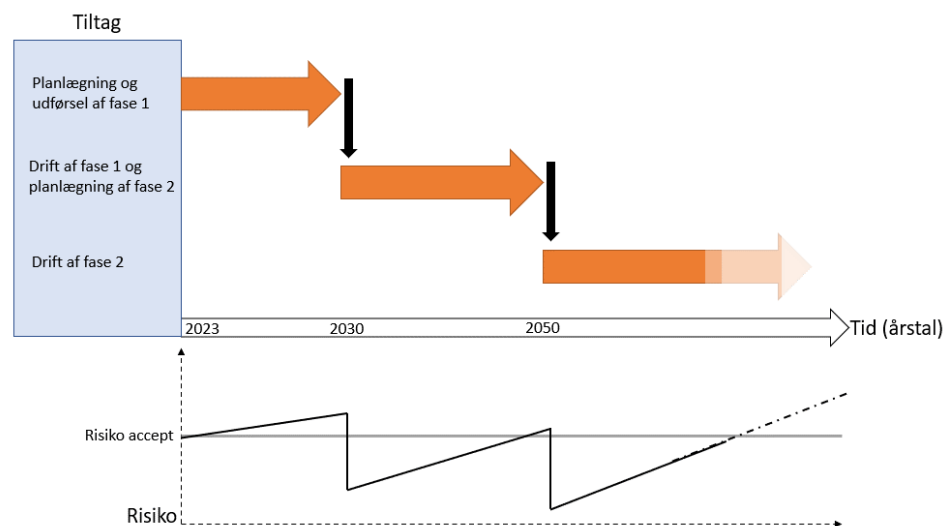
3 Strategisk beskyttelse af Esbjerg By

Esbjerg har som udpeget risiko-kommune, et konkret behov for etablering af beskyttelse.

På baggrund af ønsket om en robust sikring af Esbjerg By foreslås derfor strategien, at stormflodssikringen af Esbjerg By sker i to faser.

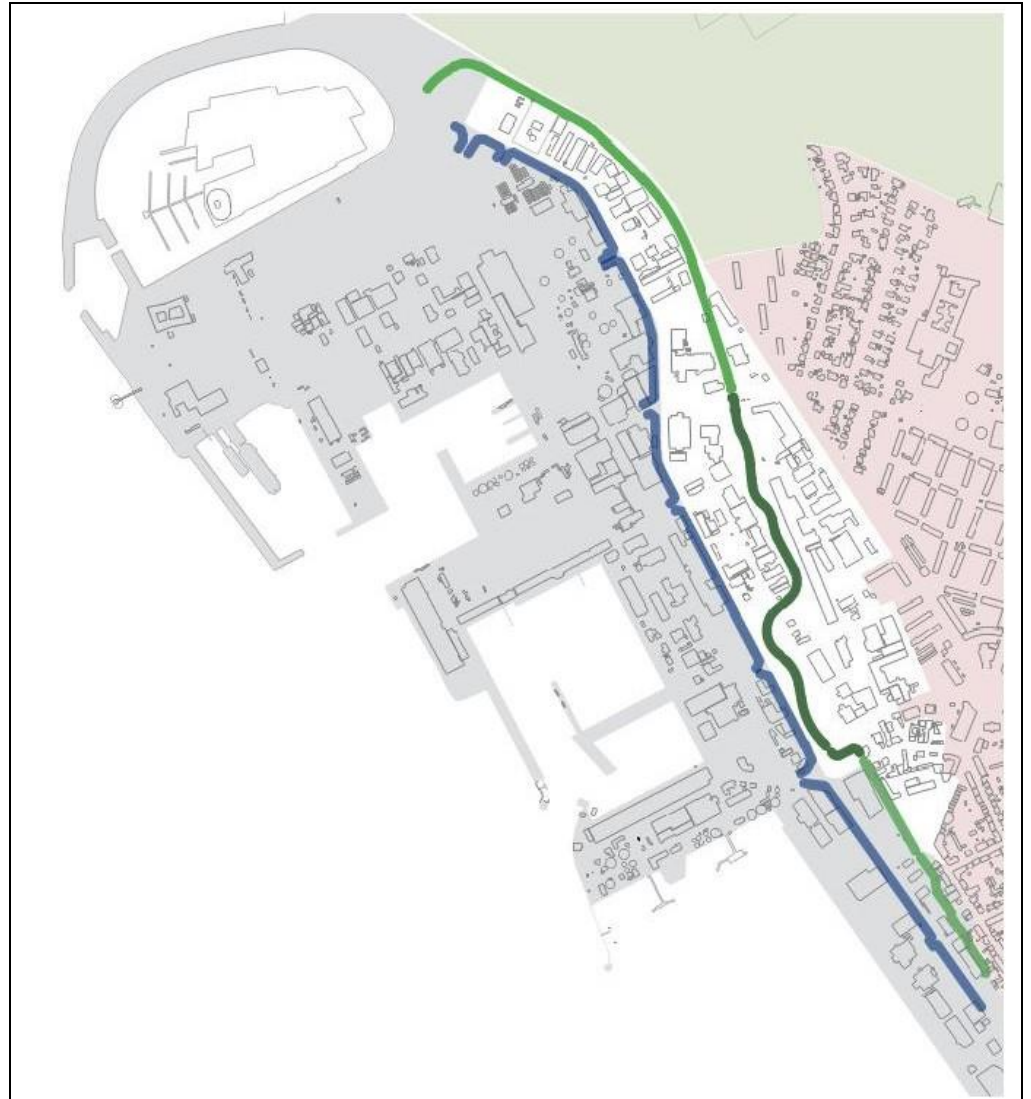
En fase 1 "Højvandsmuren", som med rettidig omhu sikrer byen i en periode på f.eks. 20-30 år, og som giver tid til planlægning og udførelse af fase 2 "Havnestrøget", som er Esbjergs fremtidige stormflodsværn med en længere levetid. "Havnestrøget" kræver et større indgreb i de eksisterende arealer herunder samtænkning med rekreative formål og formidling af Esbjergs havn- og industrihistorie. Et arbejde som ikke har en planlægningshorisont, der kan imødekomme behovet for etableringen af en sikring på kort tid.

Princippet for sikringen af Esbjerg By er skitseret nedenstående i Figur 3-1:



Figur 3-1 Skematisk visning af princippet for hvordan de enkelte tiltag interagerer i den samlede strategi for at holde en acceptabel risiko i Esbjerg By. Stormflodssikringen af Esbjerg By består således af en Fase 1 "Højvandsmuren" og en Fase 2 "Havnestrøget".

En anden vigtig fordel ved den valgte strategi er, at den tager hensyn til den usikkerhed, der er på konsekvensen af klimaforandringerne på længere sigt. I dag er sikkerheden på havspejlsstigningerne stor på den korte bane, men på den lange bane vil det afhænge af hvilket klimascenarie vi ender med at køre efter som konsekvens af om der opnås tilstrækkelig reduktion af CO₂ udledning. Fase 1 "Højvandsmuren" anlægges således med vores bedste nuværende viden og Fase 2 "Havnestrøget" planlægges ligeledes med den bedste nuværende viden men samtidig med en tilstrækkelig robusthed som imødekommer og muligvis evt. fremtidig forhøjelse. Illustrationer af de foreslåede klimasikringsløsninger fremgår af nedenstående figurer (Figur 3-2 og Figur 3-3):



Figur 3-2 *Principielle linjeføringer for Fase 1 "Højvandsmuren" (blå) og Fase 2 "Havnestrøget" (grøn).*



Figur 3-3 Visning af Fase 1 "Højvandsmuren" (tv) og Fase 2 "Havnestrøget" (th).
Fase 1 er en lav mur og Fase 2 er korridor med varierende anlægsbredde
indpasset i byrum.

4 Fase 1: Højvandsmuren - Projektbeskrivelse

4.1 Beskrivelse

I Fase 1 er højvandsmuren placeret i den vestlige side af HE Blumes Vej/Adgangsvejen. Valget omkring placering på vestlig side af vejene er truffet på baggrund af flere forhold:

- > **Driftssikkerhed af sikringen ved stormflod:** På baggrund af luftfoto og gennemgang i området vil der på den vestlige side være 30 adgange der skal lukkes og på den østlige 40. En reduktion af porte/åbninger i sikringen er tilrådelig, da der ved varsling om stormflod vil være færre porte der skal håndteres. Jo flere porte/åbninger der skal lukkes desto større beredskabsmæssig indsats ved varsling og jo mere tidskrævende vil det være at få lukket af som forberedelse til stormflod. Færre åbninger betyder også at driften af porte nedbringes. Derudover vil en sikring med flest åbninger have en større risiko for at fejle. Dette taler for en vestlig placering hvor antallet af portene er mindre.
- > **Hensyn til beredskab under stormflod eller varsling om stormflod:** Det er ønsket af beredskabet, at så store strækninger af Adgangsvejen og H E Bluhmes Vej holdes åbent ikke alene pga. stormflodssituationen i sig selv, men også ift. at kunne benytte vejen til beredskabsmæssige formål i området der kunne optræde samtidigt med stormflod. Den vestlige placering sikrer at vejene kan benyttes uanfægtet af stormflod.
- > **Praktikaliteter og udformning af sikring:** En østlig placering af sikringen skaber udfordringer i forhold til at have en sammenhæng af muren. På flere lokaliteter vil antallet af åbninger kontra mur betyde, at muren flere steder vil være en mosaik bestående af små stumper mur hvor der skal port imellem. Dette vil være en udfordring ift. at have permanente porte i muren da portenes længde vil være større end muren der er til rådighed til at skjule den (hængslet eller skydeport). Det vurderes således at der vil være tale om flere åbninger der skal løses med svinerygsplanker, hvilket igen øger tidsforbruget når sikringen skal opsættes. Den vestlige placering har flere strækninger med lange mur forløb.



Figur 4-1 Visning af Fase 1 "Højvandsmuren" forløb og karakteristik langs Adgangsvejen og H E Bluhmes Vej. De røde prikker og røde streger indikerer, hvor der er åbninger, som skal håndteres med enten porte eller svinerygsplan-ker.



Figur 4-2 Visning af berørte matrikler ift. placering af højvandsmuren i fase 1.

4.1.1 Valg af sikringskote

Da Fase 1 primært er en løsning i form af betonmur og porte langs de vestlige sider af Adgangsvejen og H E Bluhmes Vej er der 3 ting der er styrende den fastlagte sikringskote:

- 1 Ønsket i forhold til hvor stort sikkerhedsniveau der er acceptabelt for byen (samfundsøkonomi)

- 2 Hændelser i erindringerne (f.eks. vil en oplevet storm på trods af den statistiske sjældne forekomst (Referencehændelsen stormen i 1981) kunne skabe utryghed ift. valg af lavere sikringsniveau). En oplevet storm, uanset statistisk sandsynlighed, KAN sagtens optræde igen og accepteres denne risiko i områder med boliger og erhverv?
- 3 Oversigt og sikkerhed – da havnen har stor ind/udkørsel vil det ikke være tilladeligt at reducere oversigtforholdene for kørende transport og en mur vil således ikke kunne tillades højere end 0,9m over eksisterende terræn.

Omsat til terræn, medfører en max højde på 0,9m, grundet trafikmæssige krav, at sikringskoten således ikke overstige ca. kote +4,8m.

I forhold til hændelser og levetid svarer det til at sikringen vil kunne modstå både nuværende 100 og 1000 års hændelser samt tilsvarende frem imod 2065.

Skadesberegningen viser at der over en periode på 100 års er skader for mindst 180 mio. kr.

Optimum for sikringen her er kote +4,8m i forhold til sparede skadesomkostninger vs. anlægspris på udførelse af sikring.

Det er værd at huske på, at det på trods af statistisk lav sandsynlighed for en given hændelse jo reelt ikke betyder, at en kraftig stormflod ikke kan komme "i morgen". En 1000 års hændelse kan lige så godt optræde i morgen som om 200 år eller 500 år. Desuden vil byen ligeledes være udfordret af hændelser med en statistisk sandsynlighed der er højere end en 1000 års hændelse.

Af nedenstående figur ses det areal som opnår beskyttelse af Højvandsmuren i fase 1 (kote +4,8 m):



Figur 4-3 Visning af hvad der beskyttes ved implementering af Fase 1. Højvandsmuren til kote +4,8 m.

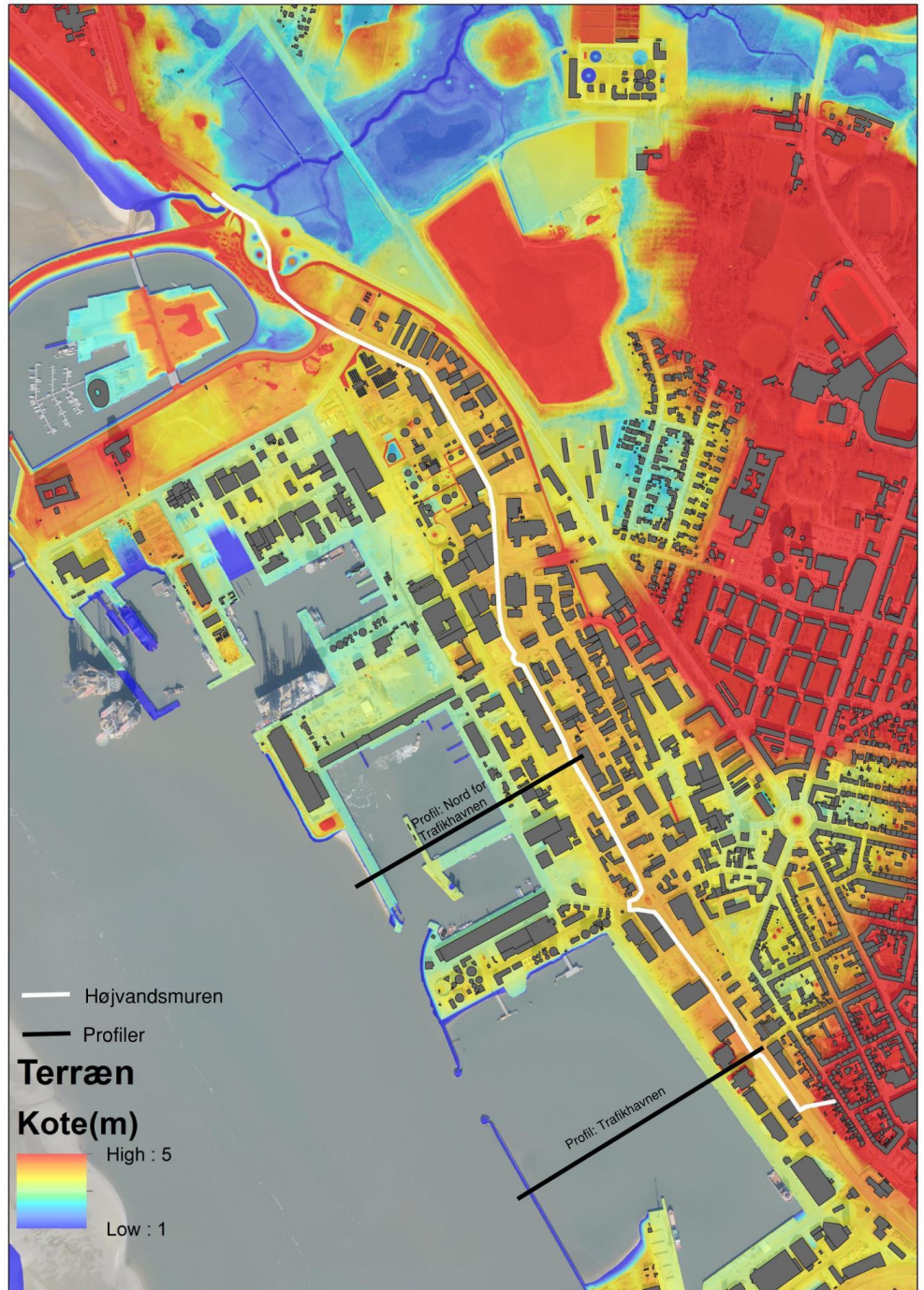
Opsummeret fra Esbjerg Kommunes BBR-oplysninger så findes der inden for afgrænsningen:

- > 1758 beboere
- > 520 bygninger - 179 med anvendelsen beboelse

4.1.2 Bølgepåvirkning under stormflod

Under stormflod kan der forekomme bølger på op til 3-4 m udenfor Grådyb. Inden bølgerne når Esbjerg Havn og Sædding Strand vil de undergå bølgetransformationer som følge af bundforholdene, og der vil forekomme tab af bølgeenergi, og dermed reduktion af bølgehøjde, på grund af bundmodstand og bølgebrydning. Specielt i området Horns Rev og ved Skallingens og Fanøs vestvendte kyster vil disse bølgefænomener have stor indflydelse på bølgeklimaet. Endeligt medfører refraktionen (drejningen af bølgerne mod land) at bølgeenergien spredes ud indenfor Grådyb.

I DHI's bølgestudie af bølgeforholdene i Grådyb fra 1992 (DHI, 1992, *Miljømæssig vurdering af uddybning af Grådyb - Delrapport 3 - Beskrivelse af bølgeklima*) har man beregnet at bølgerne langs Esbjerg Havn og Sædding Strand under bl.a. Stormfloden i 24/11-1981, hvor man fandt at bølgerne langs Havnens moler var i størrelsesordenen $H_{m0} = 0,7-0,8m$, mens bølgerne langs Sædding Strand var op til $H_{m0} = 1,2m$.



Figur 4-4 Placering af længdeprofiler Nord for Trafikhavnen (nordlig linje) og Trafikhavnen (sydlig linje).

Bølgerne, som når frem til Højvandsmuren, vil være betydeligt mindre, bl.a. fordi der sker en væsentlig reduktion af bølgeenergien ved havnens moler og kajer. På det oversvømmede terræn mellem kajkant og stormflodssikring, vil bølgerne desuden opleve modstand fra bygninger og terrænfriktion.

Det er ikke muligt at bestemme bølgeforsvælgelserne langs Højvandsmuren eksakt med numeriske modeller, men man kan alligevel med forholdsvis simple beregninger regne sig frem til, hvor store bølger der kan forekomme langs sikringen.

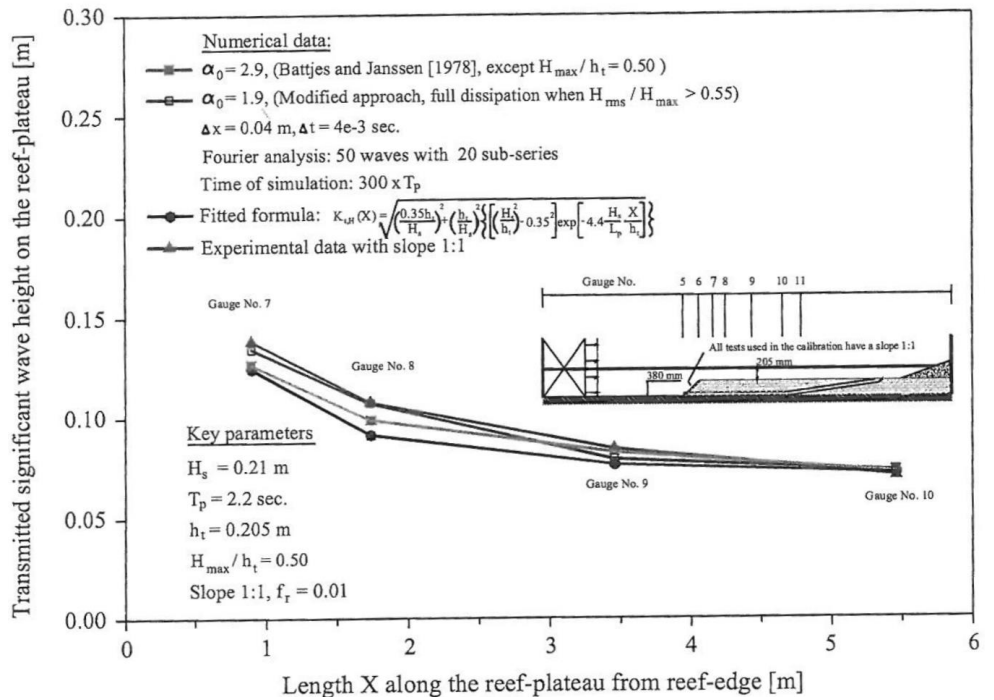
Ser man f.eks. på længdeprofilen ved Trafikhavnen hvor Højvandsmuren ligger nærmest havnens kaj, så vil bølgerne blive reduceret hen over trafikhavnens mole, ved kajkanten og hen over 125 m terræn fra kajkant til sikring:

- > Antager man et "worst case scenarie" svarende til en indkommende bølgehøjde, $H_{m0,i}$, under stormflod, som er ca. 50% højere end under stormfloden i 1981: **$H_{m0,i} = 1,2$ m udenfor havnen** med en bølgeperiode på op til $T_p = 12$ s.
- > Trafikhavnsmolen er en vertikalmole med topkote +3,0. Molen vil således være 1,8 m neddykket under stormflod (vandstand i kote +4,8). Transmissionskoefficienten for molen vil dermed være ca. $k_t = H_{m0,t}/H_{m0,i} = 0,95$. Bag molen vil bølgerne således være reduceret til ca. **$H_{m0,t} = H_{m0,kaj} = 1,15$ m.**
- > Ved kajen vil der ske stort set samme bølgetransformation, som når bølgerne løber over et stejlt koralrev. Jensen et.al. 2005 (*Jensen, M.S.; Burcharth, Hans F.; Brorsen, Michael, 2005, Wave Energy Dissipation of Waves Breaking on a Reef with a Steep Front Slope*) har udviklet et formelsæt til beregning af bølgehøjden i en given afstand fra rev-kanten som vist på Figur 4-7.

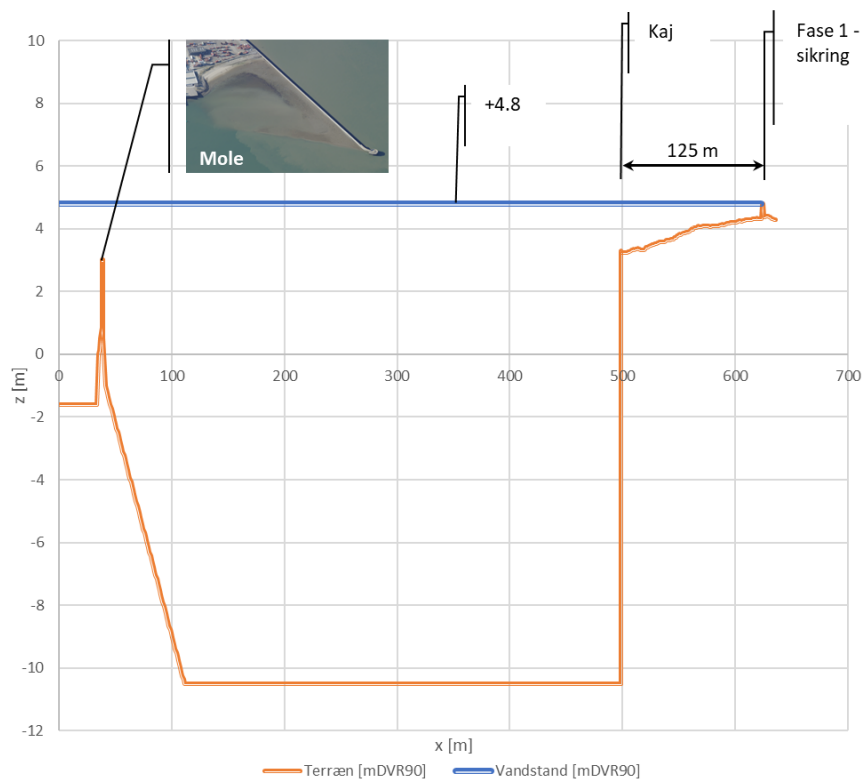
Med en gennemsnitlig terrænkote mellem kajkanten og højvandsmuren på +3.85 mDVR90 over en afstand $x = 125$ m får man at en indkommende bølge på $H_{m0,kaj} = 1,15$ m reduceres til **$H_{m0,t} = 0,35$ m** ved højvandsmuren.

- > Udfører man samme beregning med en bølgehøjde svarende til 1981-stormfloden på $H_{m0,i} = 0,7$ m og en bølgeperiode på $T_p = 8$ s, fås ca. samme bølgehøjde ved højvandsmuren på **$H_{m0,t} = 0,34$ m**. Det skyldes at højvandsmuren er forholdsvis langt fra kajkanten (revkanten) og at bølgehøjden dermed er mere bestemt af terrænkoten end af bølgeforholdene foran havnen.

Hvis man foretager en tilsvarende beregning nord for trafikhavnen, hvor sikringen ligger længere tilbagetrukket ($x = 190$ m), men hvor terrænet er lavere (+3.5 mDVR90), fås bølgehøjder på **$H_{m0,t} = 0,4-0,5$ m.**



Figur 4-5 Transmitteret bølgehøjde over et stejlt rev som funktion af afstanden fra revkanten (Jensen, M.S.; Burcharth, Hans F.; Brorsen, Michael, 2005, Wave Energy Dissipation of Waves Breaking on a Reef with a Steep Front Slope).



Figur 4-6 Længdeprofil ved Trafikhavnen. Terrænkoter (over kote) fra Danmarks Højdemodel (2014-2015), dybder er omtrentlige fra Esbjerg Havns havnekort.

Beregningerne tager imidlertid **ikke** højde for friktion eller indflydelsen af bygninger, og er således meget konservativ, fordi der er en sammenhængende bygningsmasse langs størstedelen af højvandsmuren, og kun frit udsyn til havet nogle enkelte steder. Ser man f.eks. på Trafikhavnen og nord for Trafikhavnen på Figur 4-7, er der områder i Trafikhavnen hvor kajen og sikringen kun er adskilt af en parkeringsplads. Mens sikringen ligger bag sammenhængende bebyggelse og godt beskyttet imod bølger nord for trafikhavnen.



Figur 4-7 Områder med høj og lav bebyggelsesprocent foran sikringen. I områder uden sammenhængende bebyggelse foran sikringen, vil bølgeeksponeringen være størst under stormflod.

Effekten af bølgerne vil være, at der kommer et pulserende bølgeoverskyl over sikringen i forbindelse med stormflod. Bølgeoverskyllet afhænger af såvel bølgerens størrelse (højde) og bølgeperiode som sikringens højde i forhold til vandstanden. Størrelsen af overskyllet kan estimeres på baggrund af EurOtop II (2018) for en vertikal væg:

$$\frac{q}{\sqrt{g \cdot H_{m0}^3}} = 0.047 \cdot \exp\left[-\left(2.35 \frac{R_c}{H_{m0}}\right)^{1.3}\right] \quad 7.1$$

Ved Trafikhavnen hvor sikringen er mest eksponeret for bølger, antagelse en bølgehøjde ved væggen på $H_{m0}=0,35\text{m}$ og en bølgeperiode på $T_p=8-12\text{s}$. Her fås et middelloverskyl på ca. $q=30\text{l/s/m}$ langs de mest eksponerede dele af højvandssikringen.

Resultatet af beregningerne er opsummeret i Tabel 4-1 som tillige viser, at bølgerne ved sikringen, såvel som størrelsen af overskyllet, afhænger meget af vandstanden under stormflod. Der vil således være 10 gange mindre overskyl af

sikringen ved 4,6m vandstand end ved 4,8m vandstand og ved en vandstand på 4,5 vil der stort set ikke ske overskyl.

Tabel 4-1 Opsummering ved Trafikhavnen. Beregnet bølgehøjde ved sikring samt beregnet overskyl, for hhv. 1981-stormscenariet og for et "worst case" scenarie med større bølger. Beregninger udført med vandstande på 4,5-4,8 mDVR90.

Position	Vandstand	WL [mDVR90]	4,5	4,5	4,6	4,6	4,8	4,8
	Bølge Scenarie	-	1981-storm	Worst case	1981-storm	Worst case	1981-storm	Worst case
Indkommende	Bølgehøjde	H_{m0} [m]	0,7	1,2	0,7	1,2	0,7	1,2
	Bølgeperiode	T_p [s]	8	12	8	12	8	12
Ved højvandsmur	Terrænkote	z [mDVR90]	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85	3,85
	Bølgehøjde	H_{m0} [m]	0,23	0,23	0,26	0,27	0,34	0,35
	Overskyl	q_{av} [l/s/m]	~0	~0	2	3	29	30

Det vurderes således at effekten af bølgerne vil være minimal foran højvandsmuren og primært påvirket i den sydligste del af strækningen hvor der er lavere tæthed af bebyggelser. Det vurderes at bølgerne vil have minimal effekt på projektet og overskyl vil være begrænset til hændelser der optræder ude i fremtiden hvor fase 2 vil være gennemført. I forhold til stabilisering er muren upåvirket af overskyl, mens f.eks. et jorddige ville kunne være i risiko for brud ved overskyl.

4.1.3 Udformning

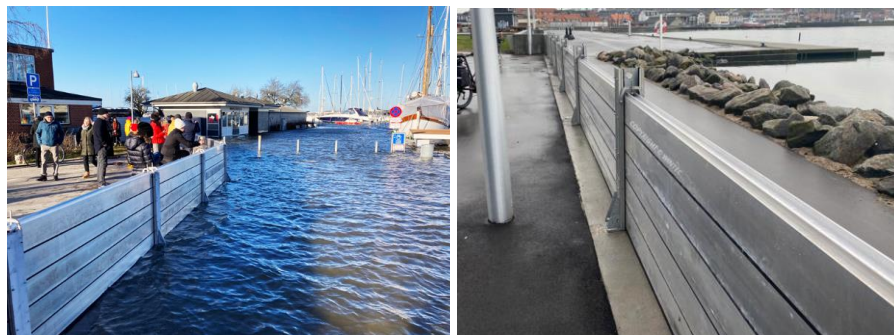
Højvandsmuren udføres helt enkelt med en lav ensartet betonmur (bredde 20-30 cm), der kobler på et tilpasset terræn mod nord og den eksisterende skrænt mod syd. Murens højde er afstemt efter oversigtsforholdene, så den ikke fremstår dominerende i landskabet eller afskærer den visuelle sammenhæng fra vejen og til havnens areal mod vest. Den kan begrønnes/forskønnes på forskellig vis.

Hvor der er behov for åbninger og passager i muren etableres porte, der kan lukkes ved højvande. I Figur 4-8 og Figur 4-9 ses eksempler på forskellige typer af porte. Se oversigtstegning (Figur 4-1) for udpegning af portenes placering.



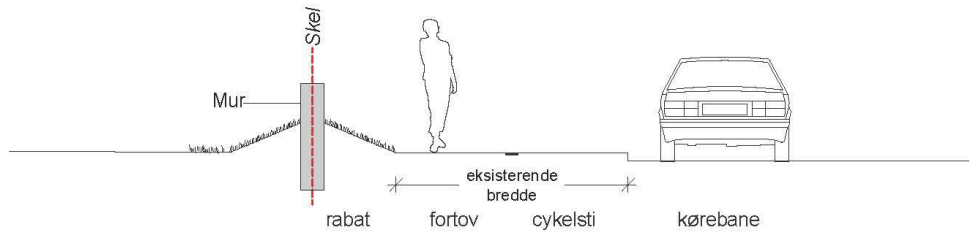
Figur 4-8 Forskellige eksempler på vandtætte port typer. Tv. Skydeport på Lemvig Havn. Th. sidehængslet svingport fra Fanø. Endelige porte udføres på flere forskellige måder.

På enkelte strækninger (meget brede indfaldsveje til havnen) skal der benyttes skot/svinerygsplanker, som opsættes manuelt i forbindelse med stormflodsvarsling.

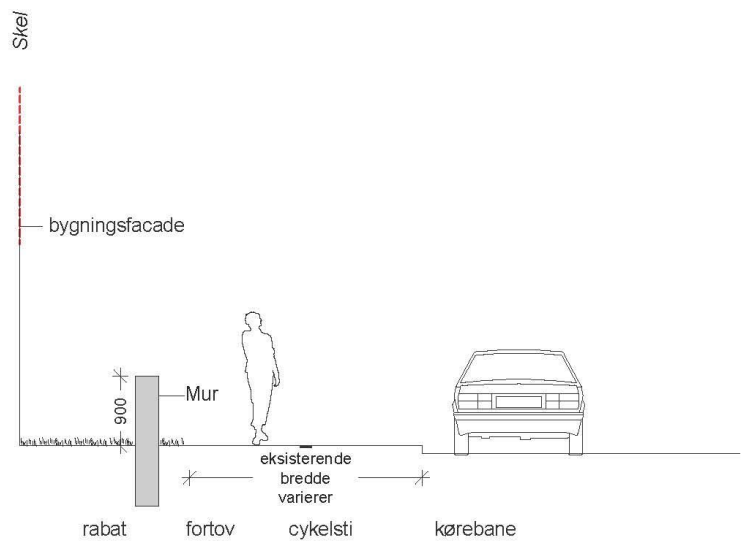


Figur 4-9 Svinerygsplanker der opstilles på længere strækninger ved varsling (Wintec.dk)

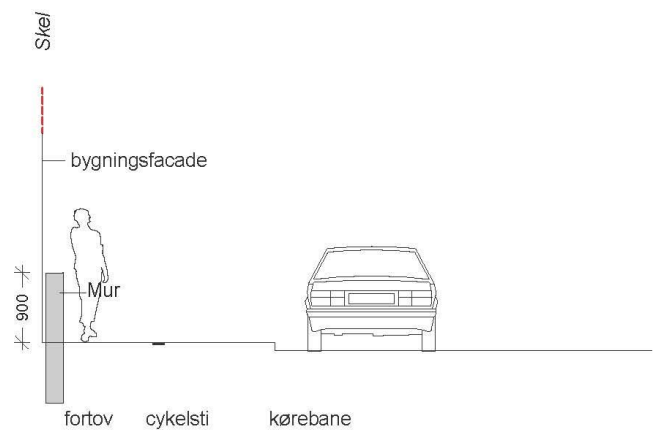
På oversigtstegningen (Figur 4-10) er sikringens forløb placeret i skel (situation som på snit A+C). Det er dog nogle steder hensigtsmæssigt, at muren forskydes en smule, så den placeres i rabatten mellem bagkant fortov og skel (Snit B). Dette vil oftest være gældende hvor bygningernes facader er placeret i skel og hvor der er en rabat. Hvor bygningsfacader er placeret i skel uden en rabat, fremrykkes muren og optager en lille smule af fortovet (Snit C). Hvor bredden på fortov og cykelsti er meget smal, KAN muren erstattes af en kraftig cortenstålplade. Hvor der i dag er placeret hegn i skel, etableres mur i skel og hegnet monteres på muren eller lige bagved.



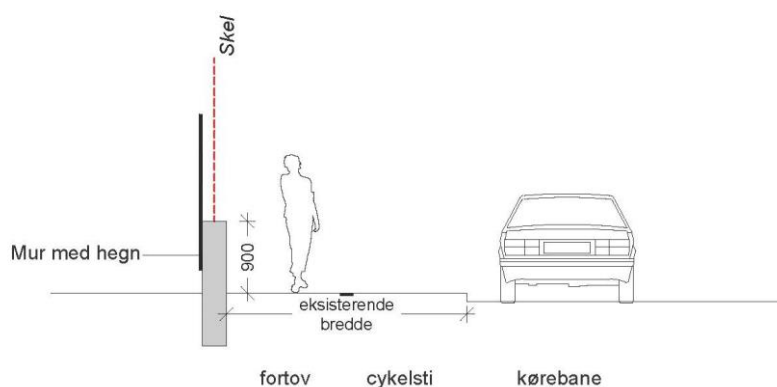
Snit A - mur ved åben grund placeret i skel



Snit B - Mur trukket frem mod bagkant fortov



Snit C - Mur placeret opad facade
 Hvor facaderne står helt i skel og opad fortovet etableres muren meget tæt på facaden.
 Hvor fortov og cykelsti lokalt er meget smalle kan muren evt erstattes med en kraftig cortenstålsplade.



*Snit D - Mur ved hegn i skel
(eksisterende bredder på cykelsti og fortov svinger lidt)*

Figur 4-10 Snit der belyser murens udformning alt efter placering.

4.2 Landskabelig/visuel påvirkning

Højvandsmuren i Fase 1 vurderes ikke at have negative konsekvenser ift. områdets eksisterende landskabelige og visuelle udtryk. Dels er muren lav (maksimalt 0,9 m over eksisterende terræn) så udsynet er opretholdt og dels opføres muren i materialer der vækker genklang i de havne og industri prægede omgivelser. De nedenstående figurer (Figur 4-11, Figur 4-12 og Figur 4-13) dokumenterer at den landskabelige påvirkning er begrænset.



Figur 4-11 Visualisering af højvandsmur i fase 1 (nederst). Til sammenligning ses de eksisterende forhold øverst.



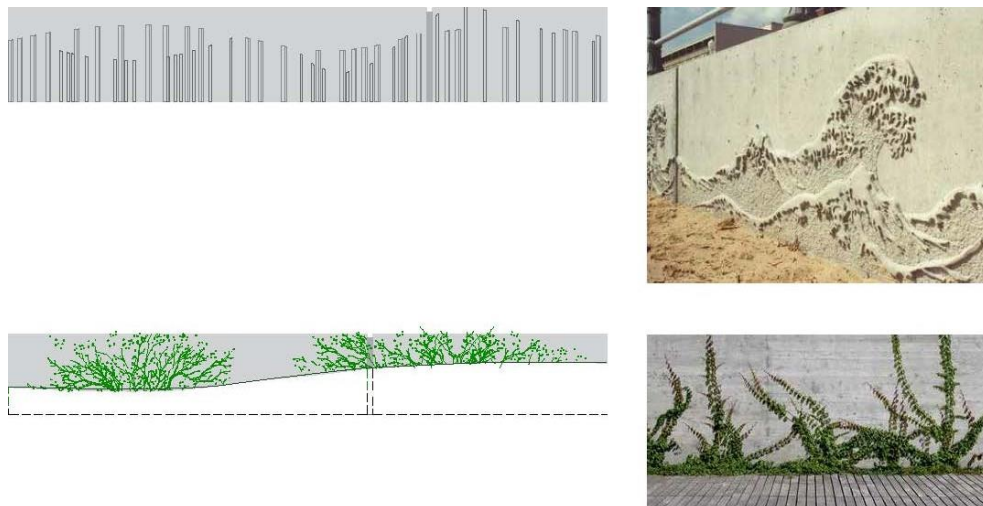
Figur 4-12 Visualisering af højvandsmur i fase 1 (nederst). Til sammenligning ses de eksisterende forhold øverst.



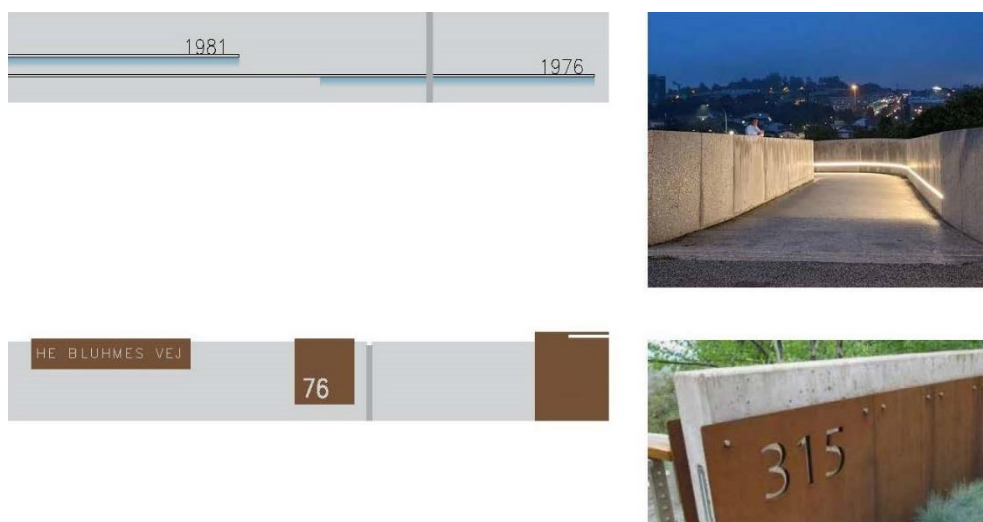
Figur 4-13 Visualisering af højvandsmur i fase 1 (nederst). Til sammenligning ses de eksisterende forhold øverst.

Som det ses af ovenstående visualiseringer, skæmmer højvandsmuren i fase 1 ikke områdets integritet. Tværtimod vil en beklædning med Corten stål eller andet kunne bidrage til at skabe en helhedsoplevelse og sammenhæng i området langs H E Bluhmes Vej og Adgangsvejen.

Eksempler på mulig udsmykning kan ses nedenstående i Figur 4-14 og Figur 4-15:



Figur 4-14 Eksempel på muligheder for forskønnelse af højvandsmuren. Prægning med bølgemotiver og begrønning.



Figur 4-15 Eksempel på muligheder for forskønnelse af højvandsmuren. Markering af historiske oplevede stormflodshændelser og adresser/husnumre/firma-navne i Cortenstål på muren.

4.3 Biodiversitet

Området for højvandsmurens beliggenhed er i dag præget af de aktiviteter som foregår i og omkring en erhvervshavn herunder store mængder trafik. Området er således også præget af en høj befæstelsesgrad (veje, pladser, bygninger m.m.) hvilket ikke levner meget plads til natur og biodiversitet. Fase 1 Højvandsmuren bidrager ikke i sig selv til at højne biodiversiteten på den konkrete lokalitet ligesom den heller ikke afvikler eksisterende biodiversitet. Derimod bidrager højvandsmuren til planlægningen og udførelsen af Fase 2 "Havnestrøget" som i sin udformning med grønne greb, vil kunne bidrage til at øge biodiversiteten markant i et område, som i dag ligeledes er svært befæstet. Fase 2

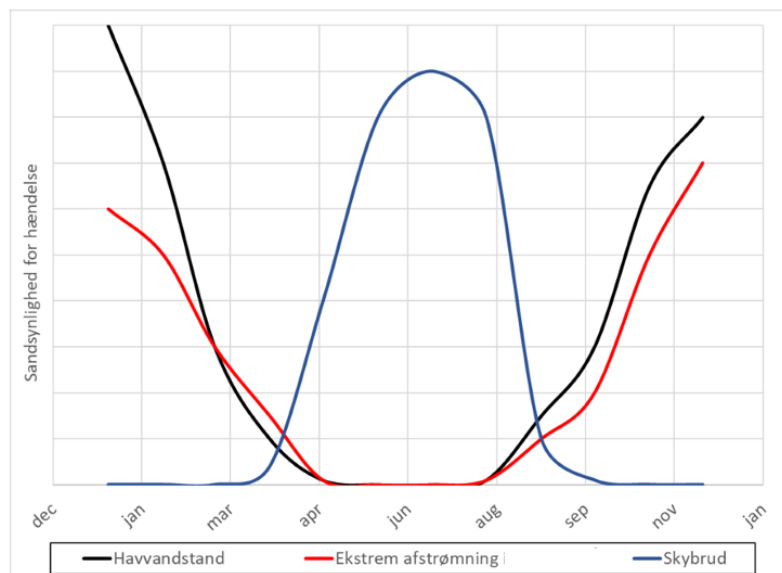
forudsætter etableringen af Fase 1 og derfor er højvandsmuren indirekte medvirkende til at øge biodiversiteten i området mellem by og havn.

4.4 Adgangsforhold og trafik

For at minimere påvirkningen i forhold til at afvikle trafikken i området er højvandsmuren trukket ud langs de vestlige sider af Adgangsvejen og H E Bluhmes Vej. Dette betyder at trafikafviklingen som udgangspunkt og under normale forhold vil foregå som i dag, da der ikke sker ændringer på eksisterende vejnet. Når der er stormflod, vil man stadig kunne benytte Adgangsvejen og H E Bluhmes vej til trafik og beredskab. Dog vil Adgangsvejen stå under vand i den sydøstlige del uden for højvandsmuren, men vil være fremkommelig via Esbjerg By. Alternativt vil den beskyttede del af Adgangsvejen og H E Bluhmes vej kunne bruges til midlertidig parkering af køretøjer/biler fra havnen, som vil skulle flyttes i forbindelse med stormflod. Dette skal naturligvis koordineres med og godkendes af beredskabet.

4.5 Regnvand og afstrømning

Bagvand kan være en udfordring i stormflodsprojekter, hvor formålet er at holde havets vand ude og opnå beskyttelse bag sikringen. Imidlertid kan sikringen i sig selv skabe udfordringer med vandhåndteringen, hvis områdets naturlige vandveje ikke respekteres. Udfordringen er visualiseret ved følgende figur, som illustrerer den typiske sammenhæng og sammenfald i forhold til de ekstreme hændelser stormflod, ekstrem afstrømning og skybrud.



Figur 4-16 Sandsynlighed for hændelser over året for forhøjet vandstand/stormflod, Ekstrem afstrømning i vandløbene og skybrud. Det ses af figuren at hændelserne er årstids-specifikke og at der ikke er statistisk sammenfald mellem kraftigt skybrud og stormflod eller kraftigt skybrud og ekstrem afstrømning. Dog er der sammenfald mellem ekstrem afstrømning og stormflod som statistisk set forekommer i samme periode af året.

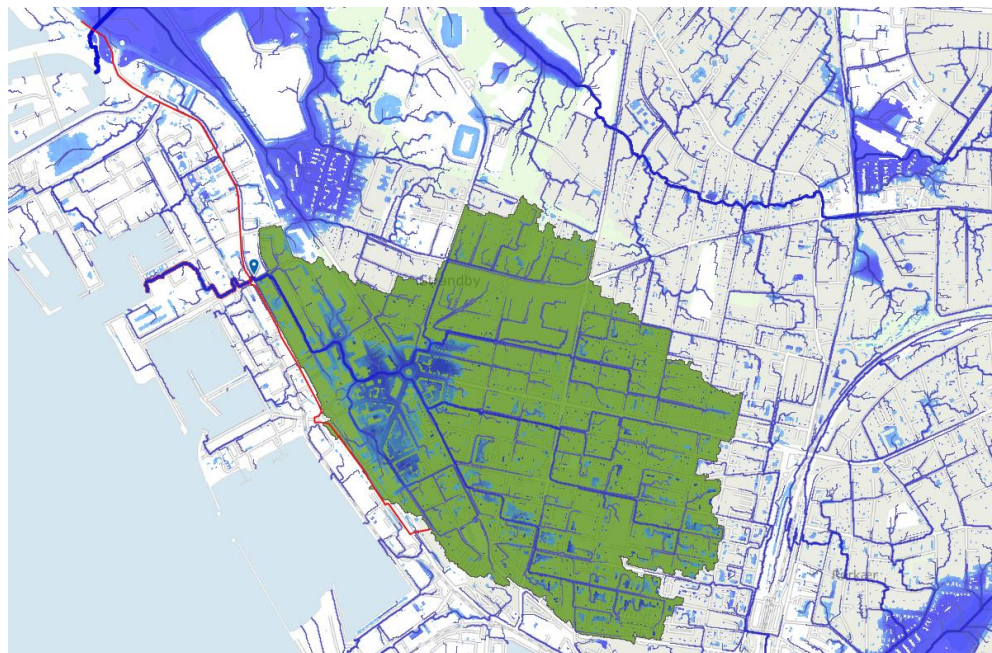
Som det ses af Figur 4-16, så er der sammenfald mellem sandsynligheden for stormflod og for ekstrem afstrømning i vandløbene, da disse hændelser opstår i vinterhalvåret. Skybrud forekommer statistisk set ikke i kombination med de andre hændelser, da det er et sommerfænomen. Selvom der er sammenfald mellem årstiden for stormflod og høj afstrømning skal dette stadig ses i lyset af at den koblede sandsynlighed for sammenfald med f.eks. 100 års stormflodshændelse og en 100 års ekstrem afstrømning er meget lille. Sandsynligheden for sammenfald stiger når hyppigheden for de hændelser, der kombineres, øges.

Over tid vil der også ske en stigning i grundvandsspejlet som konsekvens af havspejlstigningerne og ændret nedbørsmønster. Det vurderes at grundvandsproblematikken ikke forværres på baggrund af stormflodssikringen, men at de grundvandsmæssige udfordringer skal løses over tid i Esbjerg Kommune.

4.5.1 Skybrud og Fase 1 "Højvandsmuren"

Ved implementering af Højvandsmuren vil området regnvand op til serviceniveau kunne håndteres som i dag. Ledninger der krydser under muren, vil blive forsynet med kontraskiver således, at der ikke kan ledes vand under muren i tilfælde af stormflod.

På nedenstående figur ses det opland som vil kunne generere den største strømning af vand i tilfælde af skybrud:



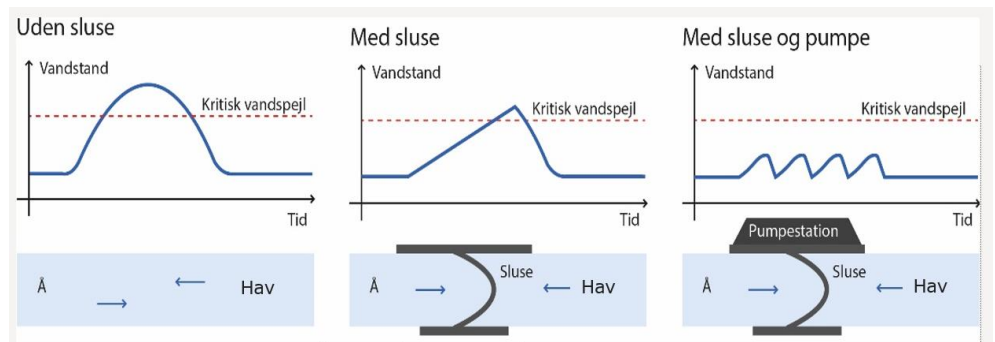
Figur 4-17 Visning områdets udfordringer i forbindelse med nedbør herunder det største urbane opland hvor afstrømningen skal kunne passere højvandsmuren i tilfælde af skybrud. Oplandet er ca. 1,83 km².

Strømningsvejen passerer i dag området via Isbrogade og dette forhold ændrer sig således ikke ved implementering af Fase 1, hvor der etableres port på denne strækning, som i skybruds-sæsonen i sommerhalvåret vil stå åben. Dog er der områder i Esbjerg hvor der over de næste mange år skal arbejdes med både

skybrudssikring og klimatilpasning af byens afløbssystem. Dette arbejde laves af Esbjerg Kommune og Din Forsyning.

4.5.2 Høj afstrømning og Fase 1 "højvandsmuren"

I den nordligste del (egentlig uden for Fase 1) findes udløbet af Fovrfeld Bæk med et opland på ca. 31,7 km² opland. På udløbet findes en passiv kontraklap som bevirker at en evt. forhøjet vandstand i havet ikke forplanter sig op i vandløbet og skaber oversvømmelse. Såfremt vandløbet ikke havde en højvandsklap ville stormfloder kunne forplante sig ind i bagvedliggende områder. I fremtiden med stigende middelvandspejl, stigende grundvand og højere afstrømning vil området potentielt skulle sikres yderligere ved etablering af pumpestation eller magasinering af vand når klappen er lukket pga. stormflod (illustreret i Figur 4-18). Dette er Esbjerg Kommune bevidste om og dette håndteres i andet regi.



Figur 4-18 Højvandsklappen på Fovrfeld Bæk sikrer at der ikke opstår oversvømmelser. På sigt skal der evt. arbejdes med mulighed for magasinering af vand eller udpumpning. Esbjerg Kommune er bevidste om dette og afsøger mulighederne i andet regi.

4.6 Anlægsoverslag fase 1

De følgende budgetoverslag er udarbejdet iht. Transport-, Bygnings og Boligministeriets anvisninger omkring Ny anlægsbudgettering.

Udarbejdelse af anlægsoverslag og hvordan usikker-/robusthedstillæg indbygges heri kan gøres på mange måder.

For at gøre dette stringent og samtidig stramme op på mange års erfaring med budgetoverskridelser i statslige projekter, har Transport-, Bygnings og Boligministeriets udsendt anvisning omkring Ny anlægsbudgettering i år 2007 (opdateret i 2017), som skal benyttes ved budgettering af alle statslige anlægsprojekter, se mere på dette link: <https://www.trm.dk/ministeriet/ministeriet-artikler/ny-anlaegsbudgettering/>. Her kan også ses nærmere, hvordan projekter på fase 1 og 2 niveau efter Vejdirektoratets (VD) fase system skal budgetteres.

Entreprenørmkostningerne pålægges her i indledende fase et administrationsstillæg og et usikker-/robusthedstillæg. Administrationstillægget dækker over

omkostninger til planarbejde, forundersøgelser, projektering, tilsyn mv. og ligger normalt på omkring 15 % for store anlægsarbejder.

Såfremt denne metode fra Transport-, Bygnings og Boligministeriets overføres til dette projekt, vil dette projekt være i fase 1, hvor der benyttes et usikkerhedstillæg kaldet Korrektionstillæg 1 som er 40 % for konstruktioner på land og 50% for konstruktioner på vand

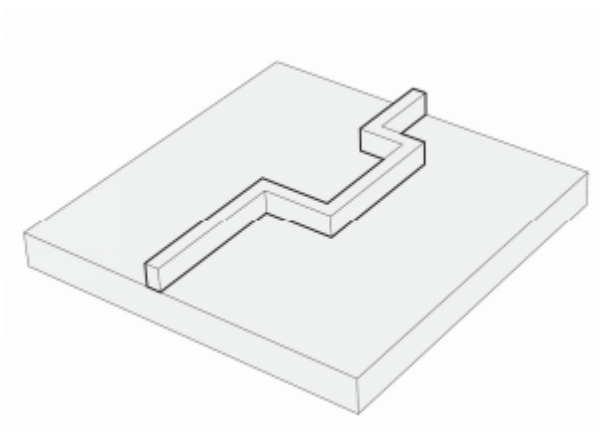
Definitionen på Fase 1, er projekter som er i den indledende fase, hvor anlægsoverslaget normalt skal benyttes til at sammenligne forskellige løsninger og få et første niveau på anlægssummen.

4.6.1 Løsningskomponenter

Der er taget udgangspunkt i følgende katalog af hovedelementer eller løsningstyper, som benyttes langs sikringslinjen.

Betonmur

Grundelementet af sikringstype er en betonstøttemur, højden på betonmuren svinger mellem 0,5-1,0 m på de forskellige strækninger.



Figur 4-19, Normal mur

Der er til overslaget anvendt en normal mur til de enkelte delstrækninger:

- | | |
|---|-------------------------|
| - Fundamenter, jordarbejde og belægninger | 6.750,- kr./lbm |
| - Betonmur i 60 cm højde | <u>5.350,- kr./lbm</u> |
| - Samlet | <u>12.100,- kr-/lbm</u> |
| | |
| - Fundamenter, jordarbejde og belægninger | 6.750,- kr./lbm |
| - Betonmur i 90 cm højde | <u>7.000,- kr./lbm</u> |
| - Samlet | <u>13.750,- kr-/lbm</u> |

Beton L-elementer

På strækninger hvor der kun skal anvendes en mur på op til 30 cm, opsættes der et standard beton L-element, som fx. Parkline (Figur 4-20). Elementet placeres under belægningen, hvorved pladsbehovet hertil reduceres væsentligt.

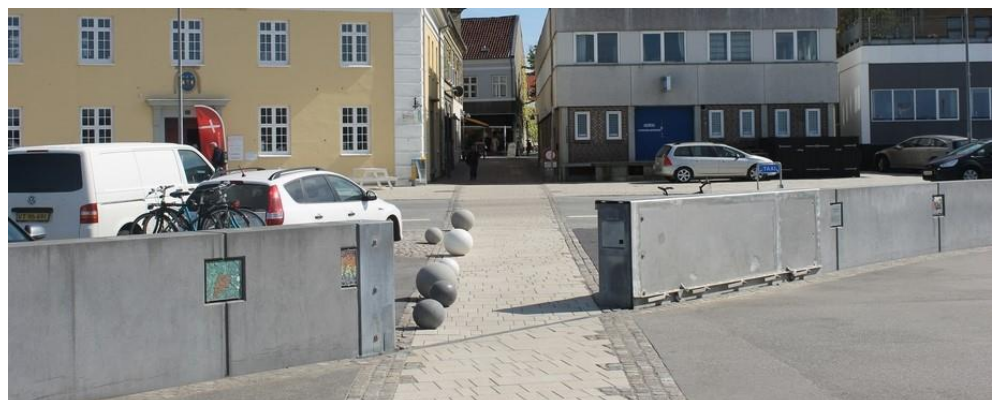


Figur 4-20 Eksempel på anvendelse af L-elementer

Beton L-elementerne inkl. reetablering af belægning er prissat til 5.500 kr./m ekskl. moms.

Porte

Ved åbninger i betonmuren skal anvendes porte, som kan lukkes ved varsling om stormflod. Til projektet ved Esbjerg Havn er det nødvendigt at anvende flere forskellige løsninger som porte. Ved mindre porte, som ikke strækker sig over vejbaner, er der indregnet en løsning med en skydeport, tilsvarende dem der er anvendt i Lemvig (se Figur 4-21 og Figur 4-22).



Figur 4-21 Løsning med skydeport i stål. Billedet er fra en tilsvarende stormflodssikring i Lemvig by, set fra vandsiden under normale forhold.



Figur 4-22 Skydeporten ved stormflod i Lemvig set fra landsiden under en stormflod.

Ved indgange hvor der kører tung trafik, kan der anvendes Hyflo SCFB. Porten løfter sig selv ved stormflod, ved at hullet, som porten til daglig ligger i, fyldes med vand, og derved hæver porten.

Alternativt opsættes en manuel løsning med skotplanker som illustreret i Figur 4-23.



Figur 4-23 Hyflo SCFB

4.6.2 Anlægsoverslag "Højvandsmuren"

Der er opstillet et anlægsoverslag på Fase 1: Højvandsmuren. Overslaget er vist på nedenstående tabel.

Tabel 4-2 Anlægsoverslag for fase 1 Højvandsmuren

Type	Mængde	Enhed	Enhedspris (kr/m)	Pris (kr)
Betonmur 90 cm	1342	m	13.750	18.452.500
Betonmur 60 cm	634	m	12.100	7.671.400
Betonmur 30 cm	80	m	5.500	440.000
Port-gang	19	m	33.000	627.000
Port-indkørsel	66	m	44.000	2.904.000
Port-tung trafik	208	m	55.000	11.440.000
Ekstra omkostninger - ledninger	1	sum	1.100.000	1.100.000
Entreprenøromkostninger				42.634.900
Korrektionsbidrag	30	%		12.790.470
			Delsum	55.425.370
Administration	15	%		8.313.805
			Totalbudget	63.739.175

Der er anvendt et reduceret korrektionsbidrag på 30 % på Højvandsmuren eftersom arbejdet skal udføres på land og at arbejdet vurderes mindre komplekst. Delkomponenterne på strækningen er gengivet på nedenstående figur:



Figur 4-24 Fase 1 "Højvandsmuren" delkomponenter i anlægsoverslaget.

4.7 Procesplan

Der er udarbejdet en procesplan for anlæggets realisering inddelt i faser af 3 måneders varighed. Procesplanen anskueliggør at det vil være muligt at etablere Fase 1 "Højvandsmuren" på ca. 2,5 år fra igangsætning. Det skal bemærkes at evt. klager kan have opsættende virkning på tidsplanen, men det vurderes, at der er tilstrækkelig robusthed således at anlægget, under alle omstændigheder, kan gennemføres på under 5 år.

	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd	3mnd
Kommunalbestyrelsen træffer afgørelse om at fremme projektet (kommunalt fællesprojekt)	X									
Valg af bygherrerådgiver		X								
Udarbejdelse af anlægsprogram og koordinering med lodsejere, ledningsejere		X	X							
Myndighedsprojekt (Anlæg og overslag, tegninger, VVM screening)			X	X						
Ansøgning til kystmyndigheden				X						
Høring (internt 2 uger, eksternt 4 uger)				X						
Udarbejdelse af EU udbud i Totalentreprise					X					
Udbud og valg af Totalentreprenørteam						X				
Detailprojektering af Totalentreprenør							X	X		
Anlægsperiode								X	X	X

5 Fase 2: Havnestrøget

Havnestrøget er målet og den endelige ambition for projektets samlede strategi og som tager afsæt i et ønske om at lave et indgreb, der ikke begrænser, men forbedrer by og havn. Man vil ikke blot etablere en robust klimasikring, men også skabe merværdier indenfor en lang række en række parametre.

Af disse kan nævnes:

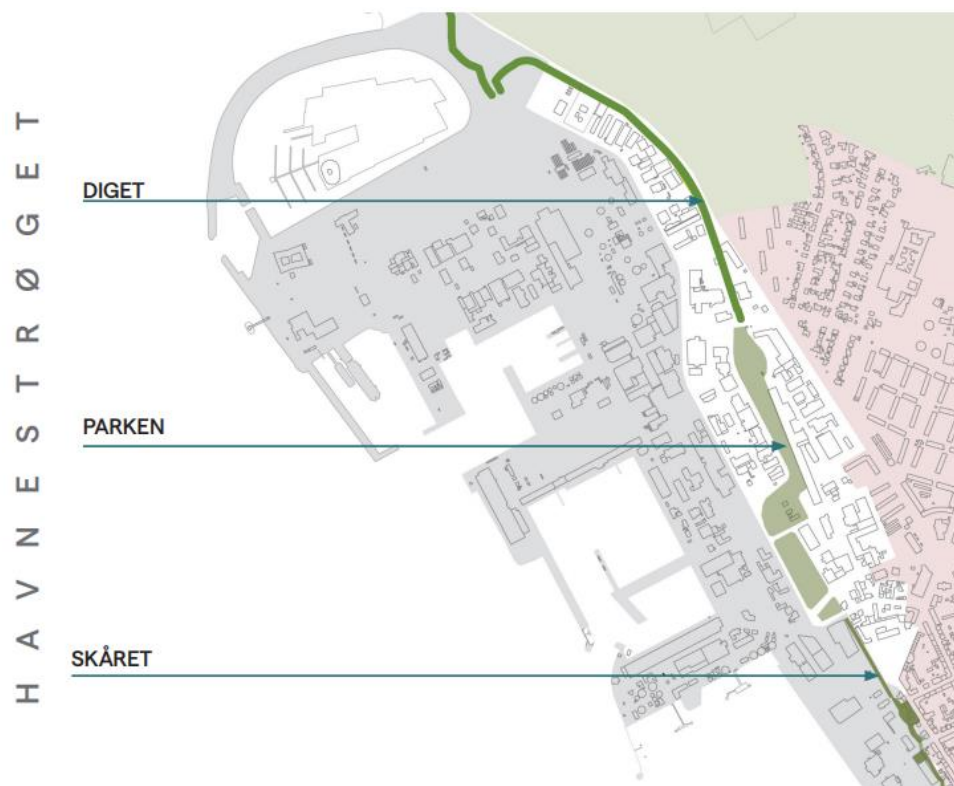
- > Et ønske om at fuldende Esbjergs grønne ring på havnen.
- > Et ønske om at forbinde den rekreative kystrute langs havnen (Kyst og Kunst ruten), så der skabes en interessant destination for både turister og lokale.
- > Et ønske om at sikre forbindelser mellem by og havn, så industribyens kultur og attraktion opleves nærværende når man færdes i by og på havn.

Havnestrøget skal blive et markant grønt strøg, der understøtter eksisterende landskabelige værdier og udgør en rygrad, der kan forbinde havne- og bykultur, give mulighed for rekreation i et grønt miljø, samle by og havn med gode forbindelser, fortælle havnens historie, understøtte erhvervslivet og være en spændende oplevelsesrute for turister samt destination for den lokale esbjergenser. Esbjerg havns DNA opleves i en landskabelig fortælling hvor fortid og grøn fremtid mødes.

Havnestrøget etableres i takt med at der i øvrigt sker byomdannelse og transformationer i området, og derfor vil der undervejs kunne komme tilretninger og ændringer i områdets udstrækning og specifikke placering. Havnestrøget skal i fremtiden udvides længere mod nord hvor de eksisterende diger skal opgraderes og ligeledes mod fremtidig sikring syd for Esbjerg.

Sikringskoten for Fase 2 "Havnestrøget" er et stort indgreb i de eksisterende arealer og kræver en stor transformation i området. Anlægget vil løbende blive etableret i takt med områdets omdannelse, men vil formentligt først samlet stå færdig om 20-30 år. Anlægget vil således have en levetid der rækker langt ind i 2100 og måske frem til 2150 eller længere. Usikkerheden omkring klimaforandringerne og dermed de resulterende havspejlsstigninger er i dag ganske stor jo længere der ses ud i fremtiden. Udviklingen frem mod år 2050 er relativ velkendt og sikkert bestemt. Frem mod år 2100 øges usikkerheden og frem mod år 2200 bliver usikkerheden meget stor – dels på selve scenariets estimater, men også fordi, at det faktiske emissionsscenarie er ukendt. Den store usikkerhed på forudsigelsen af fremtidige havspejlsstigninger (for anlæg med lang levetid), gør det nødvendigt at tænke i adaptive løsninger, så sikringsniveauet kan/er tilpasset trusselsniveauet ikke mindst fordi man om 50-100 år vil være meget klogere på hvilket spor stigningen i middelvandspejlet har taget. Frem mod år 2200 vil middelvandspejlet måske være steget med 3m og frem mod år 2300 måske op mod 5 meter.

Der er for nuværende regnet med en sikringskote på mindst kote +6m, men karakteren af Havnestrøget bør laves med en robusthed som muliggør at sikringen kan forhøjes.



Figur 5-1 Placering og navngivning af delområderne af Havnestrøget som tilsammen udgør den fremtidige stormflodssikring.

Visionerne for Havnestrøget som fremtidig stormflodssikring af Esbjerg By er beskrevet, uddybet og skitseret i efterfølgende bilag: