

Fakta om første delrapport i Forundersøgelse af stormflodsikring af København

Hvad er det for en rapport, der er blevet offentliggjort?

Dette er den første delrapport i projektet Forundersøgelse af stormflodssikring af København. Delrapporten bidrager til det videre arbejde med fastsættelse af sikringsniveauer i forundersøgelsen.

Dette fakta-ark handler kun om den første af de fire delrapporter i den samlede forundersøgelse. For mere info og Q&A om hele forundersøgelsen se her: <https://sundogbaelt.dk/forbindelser/forundersogelse-af-stormflodssikring-af-kobenhavn/>

Hvad kan delrapporten bruges til?

Rapporten leverer en vurdering af, hvor høj vandstanden kan blive langs kysterne i Øresund og Køge Bugt under den værst tænkelige stormflod, hvis den indtræffer i år, om halvtreds år og om hundrede år.

I beregningerne af stormfloder i et fremtidigt klima forudsættes det, at de fysiske forhold er som dem, vi har i dag. Men oven i den beregnede maksimalvandstand for nutiden lægges et tillæg for havniveaustigningen de næste halvtreds og hundrede år. Der er desuden taget hensyn til landhævning og –sænkning i perioden. Usikkerheder for potentielle fremtidige ændringer i ekstremvind og forekomsten af storme er også inddraget i vurderingen.

På denne måde opnår man en vurdering af den maksimalt mulige vandstand (designvandstand) ved en ekstremhændelse om halvtreds og om hundrede år.

De resultater, som DMI og Kystdirektoratet i fællesskab har udarbejdet i delrapporten, er det grundlag, som skal bruges af forundersøgelsens tre andre arbejdsgrupper for at kunne nå frem til forslag til en samlet løsning til blandt andet udformning, finansiering og organisering af en fremtidig stormflodssikring af hovedstadsområdet.

Hvad kan delrapporten *ikke* bruges til?

Denne delrapport er den første brik i et puslespil, der skal udgøre den samlede forundersøgelse af stormflodssikring af hovedstadsområdet. Delrapporten vurderer den fremtidige fysiske mulige vandstand (designvandstand) i farvandet omkring hovedstadsområdet under den værst tænkelige stormflod.

Delrapporten indeholder ikke forslag til højder på diverse anlæg til kystbeskyttelse eller forslag til placering. Dette arbejde udføres af Arbejdsgruppe Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi med udgangspunkt i de

maksimalt mulige vandstande, som denne første delrapport er kommet frem til.

Beregningerne af fremtidens havniveau er foretaget *specifikt* for forundersøgelsen i området omkring København, herunder med høje krav til beskyttelse og lav tolerance for risici. Der tages udgangspunkt i et højt udledningsscenario fra FN's Klimapanel (IPCC), hvor der tages højde for en række usikkerheder.

Hvordan indgår rapporten i forundersøgelsen?

Projektet om forundersøgelse af stormflodssikring er bygget på arbejdet i fire grupper, der beskæftiger sig med forskellige elementer i stormflodssikringen.

Resultaterne fra arbejdsgrupperne (delrapporter) kombineres, bearbejdes og udgør til slut forundersøgelsen. De øvrige tre arbejdsgrupper vil også udkomme med hver deres delrapport. Hver arbejdsgruppe baserer sit arbejde på konklusionerne fra de foregående.

Mere info om den samlede forundersøgelse

her: <https://sundogbaelt.dk/forbindelser/forundersogelse-af-stormflodssikring-af-kobenhavn/>

Arbejdsgruppe 1 består af:

Miljøministeriet/Kystdirektoratet (formandskab), Danmarks Meteorologiske Institut (DMI), Transportministeriet, Sund & Bælt, Tårnby, Hvidovre, Dragør og Københavns kommuner, Metroselskabet, Københavns Lufthavne og Banedanmark.

Kystdirektoratet og Danmarks Meteorologiske Institut står for den faglige udarbejdelse af delrapporten.

Hvad viser delrapporten?

Delrapporten viser den vandstand, der kan opstå i farvandet ud for hovedstadsområdet under den værst tænkelige stormflod. Det er en vejrhændelse, som sandsynligvis ikke engang vil optræde én gang på 10.000 år og som kræver sammenfald af alle de ekstreme forhold, som er fysisk mulige i Øresund, Køge Bugt og den vestlige del af Østersøen.

Hvad kan kendskabet til de maksimale vandstande bruges til?

De maksimalt mulige vandstande bruges som udgangspunkt, når man skal fastsætte det specifikke sikringsniveau på en bestemt kyststrækning nu og i fremtiden. Når delrapporten fastlægger de maksimale vandstande (designvandstande) under en ekstremhændelse i fremtiden, er de fremtidige

havniveaustigninger indregnet, ligesom der er taget hensyn til landhævning og -sænkning. Usikkerheder for potentielle fremtidige ændringer i ekstremvind og forekomsten af storme er også inddraget i vurderingen.

Hvad er en designvandstand?

Den maksimale vandstand, designvandstanden, beregnes for en ekstrem situation, hvor man forestiller sig, at der er presset alt det vand ind i området, som det overhovedet er fysisk muligt. Designvandstanden indbefatter ikke bølger og er angivet med reference til den gennemsnitlige havspejlshøjde i 1990 samt for år 2023, 2075 og 2125.

Designvandstanden er en teoretisk størrelse, fordi der altid vil være bølger under en stormflod. Hvis man skal beregne en sikker højde på et kystsikringsanlæg (sikringsniveauet), er det derfor ikke tilstrækkeligt at kende designvandstanden. Det er også nødvendigt at beregne, hvor høje bølger et kystsikringsanlæg skal kunne udsættes for, uden at der kommer oversvømmelse. Derfor skal der beregnes et tillæg for bølger (bølgetillæg), som lægges oven i designvandstanden, når sikringsniveauet for en given kyststrækning skal findes.

Designvandstande (maksimale vandstande)

Tabellen viser de beregnede fysisk maksimale vandstande i Øresund og den vestlige del af Østersøen.

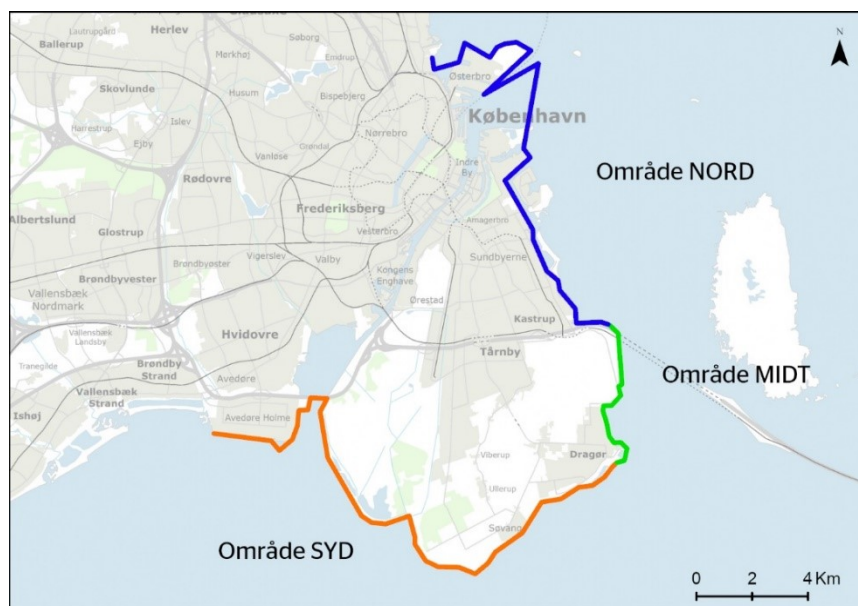
Lokalitet	År 1990	År 2023	År 2075	År 2125
Designvandstand NORD	2,8 m	2,9 m	3,4 m	4,0 m
Designvandstand MIDT	3,3 m	3,4 m	3,9 m	4,5 m
Designvandstand SYD	3,8 m	3,9 m	4,4 m	5,0 m

Tabel 1. Designvandstande (meter), vist med 1990 som reference-år samt for år 2023, 2075 og 2125.

Hvorfor er designvandstandene opdelt i tre områder?

Designvandstandene er opdelt i tre områder, fordi den mere lavvandede Drogden-tærskel, der strækker sig tværs over Øresund fra Amager til Malmø, hæmmer og forsinker vandgennemstrømningen i Øresund. Tærsklen bevirker, at der på hver sin side af den kan opstå markant forskellige maksimale vandstands niveauer i Øresund og Køge Bugt under stormfloder også afhængigt af, om stormfloden skubber vand mod hovedstadsområdet fra nord eller syd.

Der er derfor angivet separate designvandstande for kysterne henholdsvis nord og syd for København samt for en kyststrækning midt imellem, som afspejler overgangen fra den ene side af tærsklen til den anden.



Figur 1. Oversigt over inddelingen af områderne SYD, MIDT og NORD.

Beregning af bølgetillæg

Designvandstanden er en teoretisk maksimalt mulig vandstand uden bølger. Der skal derfor beregnes tillæg for bølger, som skal lægges oveni den maksimalt mulige vandstand (designvandstanden). Beregning af de konkrete bølgetillæg kræver kendskab til, hvordan bølgerne faktisk påvirker den aktuelle kyststrækning og kendskab til det specifikke kystsikringsanlæg og dets placering.

Eksempel: Bølger, der rammer en lodret mur, vil slå højere op, end bølger der løber op ad et langt, svagt skrånende dige.

De konkrete bølgetillæg undersøges af Arbejdsgruppen Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi. Når resultaterne foreligger, opdateres denne netop offentliggjorte delrapport med de endelige sikringsniveauer.

Hvad er et sikringsniveau?

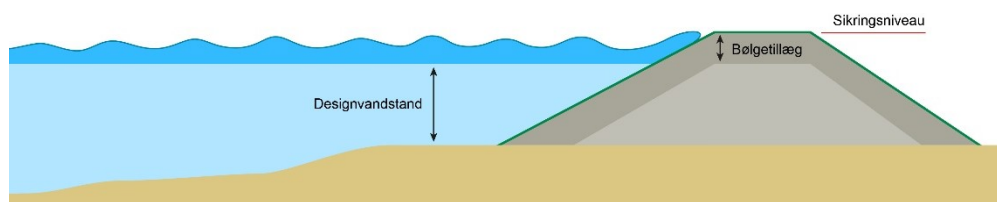
Sikringsniveauet er det niveau af vandstand med bølger, som man ønsker at være beskyttet imod under en stormflod. Her er det nødvendigt at kende både designvandstanden, bølgehøjden, anlægstypen og anlæggets placering (er det en stejl mur, et svagt skrånende dige, er det placeret helt tæt på kysten eller tilbagetrækket med et forland foran?). Når disse faktorer er kendte, kan man beregne det endelige sikringsniveau, som i praksis er den højde, et givent kystsikringsanlæg skal have, for at beskytte baglandet mod oversvømmelser.

Udregning af sikringsniveauerne varetages af Arbejdsgruppe Teknik, Miljø og Anlægsøkonomi, som bruger designvandstandene som grundlag.

Hvordan fastlægges et sikringsniveau?

For at fastlægge højden på et kystsikringsanlæg er der behov for at opdele sikringsniveauet i to dele: Højden af den teoretiske stillestående vandoverflade (designvandstand) og et tillæg for bølger på vandoverfladen. Når bølgetillægget lægges til, får man sikringsniveauet.

$$\text{Sikringsniveau} = \text{Designvandstand} + \text{Bølgetillæg}$$



Figur 2. Sikringsniveau findes ved at kende designvandstand og konkret bølgetillæg.

Hvordan er de maksimalt mulige vandstande beregnet?

De statistiske metoder, som man hidtil har anvendt, var utilstrækkelige i dette arbejde med at beskrive de mest ekstreme og sjældneste hændelser, bl.a. på grund af mangel på lange dataserier og usikre historiske registreringer af stormfloder tilbage i tiden.

De maksimalt mulige vandstande (designvandstandene) er derfor numerisk beregnet ved hjælp af en stormflodsmodel. Dette er gjort ved at tage udgangspunkt i de fysiske forhold, der gør sig gældende for Østersøen, sammenholdt med de faktorer, der var drivende for stormfloden i 1872. Denne stormflod er valgt som udgangspunkt for arbejdet, fordi det er den mest ekstreme stormflod, som vi med acceptabel sikkerhed har kendskab til i Østersøområdet. Samtidig er der for 1872-stormfloden et godt eksisterende grundlag for både modelopsætning og atmosfæriske data, som i den samlede analyse blev eksperimentelt modificeret til at afspejle endnu mere ekstreme forhold.

Hvilke komponenter er inddraget i arbejdet med stormflodsmodellen?

Udover numeriske modelkørsler baseret på en reproduktion af stormfloden i 1872 er modelkørslerne varieret ud fra forskellige kriterier som, helt overordnet, indbefatter:

- 1) En validering af modellen samt dens underliggende antagelser,
- 2) modificeringer som indbefatter ændrede begivenhedsforløb samt endnu mere ekstreme forhold end i 1872 baseret på analyser af historiske

vejrphenomener samt

3) inddragelse af klimaændringer.

Ovenstående indbefatter blandt andet konsekvenserne af en forøget vindstyrke, fyldningsgraden i Østersøen før stormfloden indtræffer, ændrede stormforløb og klimabetingede ændringer af havniveau.

Hvilken model er benyttet?

Stormflodsanalyserne baseres hovedsageligt på DMI's stormflodsmodel HBM-DKSS, som også indgår i operationelle prognoser og varslinger til den brede offentlighed på f.eks. dmi.dk. Disse modelkørsler suppleres i delrapporten af kørsler udført af KDI baseret på MIKE 21 FM.

Ekstra stormflodsmodellering - analyse fra DMI

Under projektforsøbet med udarbejdelse af delrapporten, som i første omgang var planlagt til at være baseret på allerede udførte analyser og resultater, blev det tydeligt, at en yderligere stormflodsmodellering var nødvendig. Til arbejdsgruppens rapport foreligger derfor et supplement, som yderligere udfolder arbejdet med HBM-DKSS modellen og hvor resultaterne herimellem er konsistente. Arbejdet som beskrives i dette fakta-ark, henviser til rapport og supplement som ét samlet arbejde.

Hvilke klimascenarier ligger til grund for arbejdet?

Den fremtidige drivhusgasudledning afgør, hvor meget og hvor hurtigt havniveauet stiger. FN's klimapanel, IPCC, præsenterer fremskrivninger baseret på repræsentative scenarier og anvender i deres seneste hovedrapport såkaldte SSP-scenarier (Shared Socioeconomic Pathways). SSP-scenarierne er baseret på sammenhængende socioøkonomiske beskrivelser af verdenssamfundets fremtidige udvikling.

Til brug for forundersøgelsen har den samlede arbejdsgruppe taget udgangspunkt i et højt udledningsscenario kaldet SSP3-7.0.

Det skyldes:

- 1) At vurderinger fra IPCC og UNEP viser, at verdens nuværende implementerede udledningspolitikker ligger over det mellemhøje udledningsscenario SSP2-4.5 og samtidig ligger under det højeste scenarie (SSP5-8.5),
- 2) at der er en grundlæggende usikkerhed i verdenssamfundets udvikling og drivhusgasudledning, og
- 3) at arbejdsgruppens opdrag samt efterfølgende dialog er baseret på et ønske om høj grad af sikkerhed.

Er klimascenariet det samme, som er anvendt i andre/tidligere sammenhænge?

Udledningsniveauet i SSP3-7.0 er lavere, end det tidligere anbefalede og anvendte RCP8.5 (med den nyere pendant SSP5-8.5). Skiftet til et lavere udledningsniveau sammenlignet med RCP8.5/SSP5-8.5 skyldes til dels, at det nu er muligt.

Tidligere, under RCP-scenarierne, har der ikke været et detaljeret datagrundlag for scenarier mellem RCP4.5 og RCP8.5. Derfor er det nu muligt at ligge over det mellemhøje niveau (RCP4.5/SSP2-4.5), uden at tage udgangspunkt i det absolut højeste scenarie.

Givet de politikker og ambitioner om udledningsreduktioner på verdensplan, der er annonceret i mellemtiden samt at videnskabelige studier vurderer RCP8.5 og lignende scenarier som usandsynlige udviklinger, vurderes det her, at SSP3-7.0 er det mest relevante udgangspunkt, som samtidig tager højde for en forholdsvis lav risikoappetit i arbejdsgruppen.

Hvordan påvirker klimaforandringerne havniveauet og vindmønstrene?

De menneskeskabte klimaforandringer medfører et stigende havniveau. Havniveauet vil stige i de kommende årtier og århundreder, også selvom det lykkes at begrænse udledningen af drivhusgasser. Det skyldes, at både havets varmeudvidelse og afsmeltningen fra de store iskapper vil fortsætte selv med den opvarmning, vi allerede har oplevet frem til i dag. Den fremtidige udledning afgør dog stadig, hvor meget og hvor hurtigt havniveauet stiger.

Kravene til kystsikring kan derudover blive påvirket af fremtidige klimaforandringer gennem ændrede vindmønstre og særligt ekstremvinde. Ekstremvindene i det undersøgte område forventes at være omtrent som i dag, hvor det dog samtidig skal nævnes, at den vurdering er forbundet med en væsentlig usikkerhed, da der findes enkelte modeller, som enten forudsiger mindre stigninger eller mindre fald i ekstremvindene fremover.

Hvor sikre er klimafremskrivningerne?

Der er usikkerheder forbundet med både udledningsscenarierne og fremskrivningerne. Blandt andet er der ikke robust videnskabelig evidens for hyppigere eller kraftigere storme omkring Danmark, særligt fordi forskellen på de mange benyttede klimamodel-fremskrivninger er stor. Givet manglen på en robust tendens i fremtidens vindændringer, er vurderingen af fremtidens stormfloder et samlet resultat af den gennemsnitlige havniveaustigning (fratrasket landhævning) og de ekstreme stormflodshøjder.

Selv hvis man betragter fremskrivningerne af havniveau alene, er der markante usikkerheder på fremtidens forventede middel-havniveau. Dette gælder ikke mindst på den anden side af 2100, hvor usikkerhederne vokser

yderligere. Denne usikkerhed kommer oven i:

- 1) Usikkerheden på de historiske stormflodsmålinger,
- (2) usikkerheden på vurderingen af de mest ekstreme stormfloder i området omkring København, og
- (3) usikkerheden på klimaforandringerne indflydelse på særligt vinden omkring Danmark.

Arbejdsgruppen har derfor vurderet, at valget af udledningsscenario og konfidens-niveau skal forsøge at tage højde for de ekstra bidrag, som den samlede usikkerhed potentielt indebærer.

Hvorfor er det ikke den mest sandsynlige udvikling, der benyttes som grundlag for vurderingen af havniveaustigningen?

Arbejdsgruppens anbefaling er at benytte en havniveaustigning, der er højere end den mest sandsynlige udvikling givet udledningsscenarioet SSP3-7.0. Givet de adskillige bidrag til den markante samlede usikkerhed, anbefaler arbejdsgruppen at benytte den øvre grænse for de sandsynlige klimaforandringer under det valgte scenario – her defineret, på linje med FN's klimapanel IPCC, som 83-percentilen blandt de anvendte klimamodeller. Ved anvendelse af 83-percentilen frem for medianen ("det bedste bud") i SSP3-7.0, er havniveaustigningen højere end i RCP8.5-scenariets medianbud (og det tilsvarende nyere SSP5-8.5). Herved er det valgt at sikre sig mod en kraftigere havniveaustigning end ved RCP8.5 medianen, idet effekten af ændringen i den anbefalede percentil (som afspejler usikkerheden i fremskrivningerne) overstiger ændringen i scenarievalg.

Estimeret stigning i havniveauet i hovedstadsområdet i 2075 og 2125

Vurderingerne af havniveaustigningerne i hovedstadsområdet er baseret på klimafremskrivninger under et udvalgt scenario for de fremtidige drivhusgasudledninger. Vurderingerne angives med usikkerhedsintervaller. Det foreslåede udledningsscenario SSP3-7.0 viser en stigning i havniveau på hhv. 59,8 cm frem mod år 2075 og 123,4 cm frem mod år 2125. Dette er med udgangspunkt i en høj øvre grænse af det mest sandsynlige interval for havniveaustigningen (83-percentilen).