

APRIL 2017  
KØBENHAVNS KOMMUNE

# OPDATERET OVERSLAG FOR SIKRING AF KØBENHAVN MOD STORMFLOD

RAPPORT





APRIL 2017  
KØBENHAVNS KOMMUNE

# OPDATERET OVERSLAG FOR SIKRING AF KØBENHAVN MOD STORMFLOD

RAPPORT

PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A093261-001	A093261-001-1

VERSION	UDGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UDARBEJDET	KONTROLLERET	GODKENDT
6	2017-05-03		OJJ, ABH, MOV, MEDG, ALHK	ABH	JIJ



# INDHOLD

1	Baggrund	7
2	Resume og anbefaling	8
3	Metodebeskrivelse	27
4	Økonomi ved sikring mod oversvømmelse	30
4.1	Skadesomkostninger ved oversvømmelser	30
4.2	Økonomisk overslag for anlægstiltag	33
4.3	Økonomiske vurderinger	36
4.4	Økonomisk optimalt sikringsniveau	40
4.5	Hvor og hvornår skal der sættes ind?	43
4.6	Hvem rammes økonomisk af oversvømmelse	47
5	Størrelse af havvandsstigning	49
5.1	Sammenligning af CRES og klimatilpasningsplanen	49
5.2	Højvandsstatistik, CERS kontra klimatilpasningsplanen	51
5.3	Økonomiske resultater, CERS kontra klimatilpasningsplanen	52
6	Særligt følsomme anlæg	57
7	Etape opdelt ydre sikring	62
7.1	Sikring langs kommunegrænsen	62
7.2	Sikring mod vand fra nabokommuner	83
7.3	Mulighed for kombination af projekt med jorddepoter	84

8	Højvandssituationer og bølger	90
8.1	Vind, vandstand og bølger omkring København	91
8.2	Storm fra NV-N => højvande fra nord	91
8.3	Storm fra Øst => højvande fra syd	95
8.4	Dimensionsgivende vandstande og bølger for delområder i kommunen	99
9	Bølgepåvirkning på kystnære konstruktioner	104
10	Enhedspriser for diger og mure	112
11	Oversvømmelse fra nabokommuner	116
11.1	Gentofte Kommune	117
11.2	Hvidovre Kommune	121
11.3	Tårnby Kommune	125
12	Referencer	133

# 1 Baggrund

Konsekvenserne ved stormflod og stigende havvandsstand som følge af klimaændringer har siden 2008 været belyst med forskellige detaljeringsgrader til brug for prioriteringen af indsatsen for tilpasning af København til at modstå truslerne fra ekstremt vejr i dag og i fremtiden.

I perioden siden 2008 er der kommet nye oplysninger og undersøgelsesresultater til. Der er derfor opstået et behov for at opdatere nogle af de tidligere undersøgelser ud fra den nye viden og supplere med lidt mere detaljerede undersøgelser for visse emner.

Denne rapport omfatter en umiddelbar opdatering af rapporten "Diger til beskyttelse af København", (COWI, 2013), for så vidt angår en ydre sikring af København mod oversvømmelse fra havet i dag og i fremtiden. Endvidere er udført en umiddelbar opdatering af kurver for skadesomkostninger, udvikling i økonomisk risiko og økonomisk mest attraktive sikringsniveau og investeringstidspunkt, efter de principper, der blev brugt i rapporten "Muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser", (COWI, 2010), med de nyeste data og statistikker fra rapporten "Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København. Teknisk udredning for Københavns Kommune" (COWI, 2016). De samfundsøkonomiske analyser er udført efter Finansministeriets p.t. gældende retningslinjer.

Dette er ikke en ny detaljeret redegørelse, men alene en umiddelbar opdatering af tidligere udarbejdede løsninger, overslag og økonomiske konsekvensberegninger, på basis af nyeste data og foreliggende resultater fra nyeste rapporter vedr. havvand ved København.

De væsentligste nye forudsætninger er en ny mere differentieret højvandsstatistik for ekstreme højvande omkring København samt inddragelse af bølge og bølgeoverskyl ved fastsættelse af koter for diger og udformning af digekroner. Tidligere blev der alene set på den højeste "middelvandstand" under højvandet, uden hensyntagen til bølger og overskyl.

## 2 Resume og anbefaling

Alle beregninger tager udgangspunkt i den absolut nyeste og verificerede højvandsstatistik, som blev udarbejdet i forbindelse med rapporten "Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København. Teknisk udredning for Københavns Kommune" (COWI, 2016).

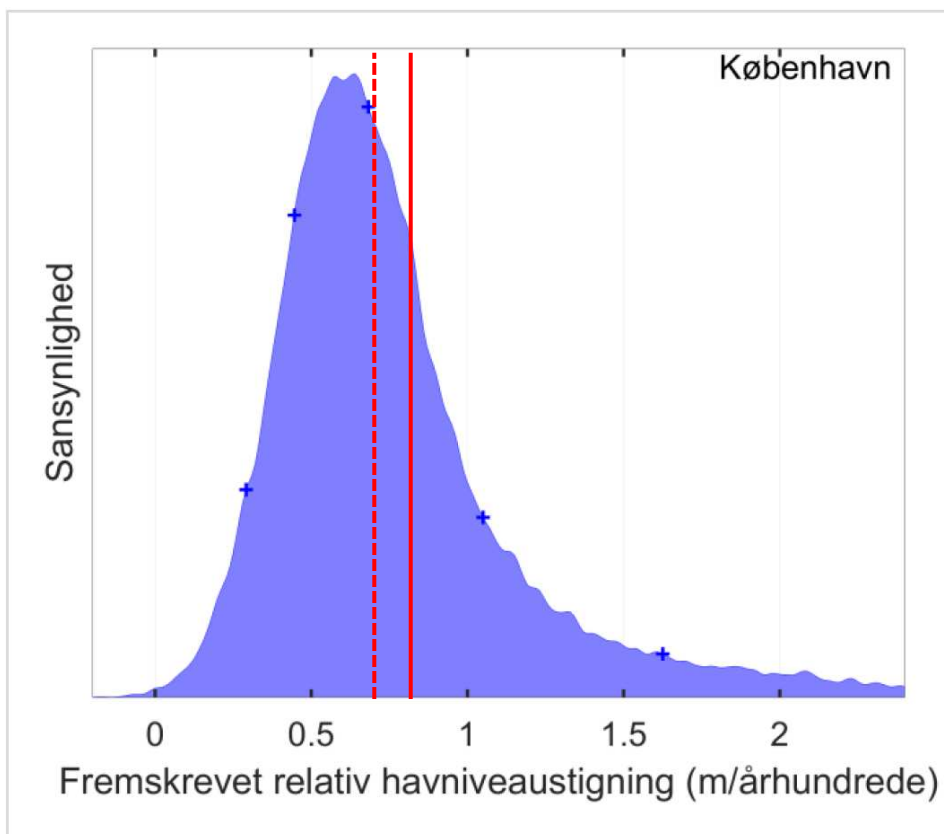
Alle vandstande og koter er i denne rapport angivet til et fast højde referenceniveau (DVR90). Eneste undtagelser er ved omtale af specifikke tal fra rapporter der opererer med andre referencer.

Havvandsstigning:  
100 eller 87 cm?

Dette designgrundlag fra 2016 bygger på DMIs anbefaling i Klimatilpasningsplanen om en generel stigning i havvandsstanden på 100 cm for perioden 1990-2100, målt til et fast referenceniveau (DVR90). Senere er i 2014 i en rapport fra Naturstyrelsen med reference til det danske Centre for Regional Change in the Earth System (CRES) angivet en sandsynlighedskurve for stigningen i havniveauet. CRES angiver for København en middelsandsynlighed for den relative havvandsstigning på 70 cm, der omregnet til samme reference system og periode som klimatilpasningsplanen, svarer til en stigning på 87 cm i perioden 1990-2100. Se Figur 2-1. Omvendt svarer de i klimatilpasningsplanen anvendte 100 cm, til 82 cm, hvis der omregnes til samme relative reference som CRES. Se nærmere beskrivelse i afsnit 5.

Nærværende rapport blev oprindeligt udarbejdet med udgangspunkt i en havvandsstigning på 100 cm i perioden 1990-2100, så medmindre der er angivet andet, refererer overslag, højder af diger, samfundsøkonomi mv. til denne antagelse om 100 cm stigning. Der er siden gennemført tilsvarende beregninger og vurderinger for en stigning i havvandsstand på 87 cm, og disse resultater er så vidt muligt refereret parallelt med beskrivelser og vurderinger af en 100 cm situation. I afsnit 5 er de økonomiske konsekvenser, hvis vandstanden stiger 87 cm i perioden 1990-2100, nærmere beskrevet.





Figur 5.10: Figuren illustrerer den sandsynlige havniveaustigning for København. Det fremgår, at sandsynligheden vurderes størst omkring de 0,7 m, men værdier på 2 m eller højere kan ikke udelukkes, ligesom mindre stigninger heller ikke kan udelukkes. Denne figur er baseret på RCP'erne (se Boks 3) kombineret med usikkerheden i forholdene omkring de store iskapper<sup>42</sup>. Kilde: CRES.

Figur 2-1 *Kopi af figur 5.10 fra "Analyse af IPCC delrapport 2 – Effekter, klimatilpasning og sårbarhed" udgivet af Naturstyrelsen 2014. Sandsynlighedsfordeling for den forventelige relative stigning i havniveauet fra år 2000 og 100 år frem ved København, når der er taget hensyn til at landet hæver sig og derved kompenserer for noget af stigningen i havniveauet. Ref. CRES. På figuren er tilføjet en stiplede linje for 70 cm, som er det CERES forventer og en linje for 82 cm, som der er arbejdet med i klimatilpasningsplanen for København. Se omregning på foregående side.*

Konklusionen på antagelserne om størrelsen af stigningen i vandstanden i havet er, at det optimale sikringsniveau i begge tilfælde ligger omkring et 1000 års højvande i 2100, samt at der, som forventet, er færre oversvømmelseskader, hvis havet stiger mindre, og dermed færre skadesomkostninger til at retfærdiggøre investeringen til at bygge diger, dæmninger og porte mv. se Tabel 2-1.

<b>Hyppighed, 100cm stigning 1990-2100, år</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	248	254	258	264	270	280
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	283	330	360	400	450	500

**Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:**

Skadesomkostninger <b>uden</b> tiltag	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945
Skadesomkostninger <b>med</b> tiltag	1.953	1.108	823	542	304	199
Gevinst (skadesreduktion)	9.992	10.837	11.122	11.403	11.641	11.746
Tiltagsomkostninger	7.317	7.394	7.445	7.512	7.610	7.784
<b>Nettogevinst</b>	<b>2.675</b>	<b>3.443</b>	<b>3.677</b>	<b>3.891</b>	<b>4.031</b>	<b>3.962</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	<b>9.270</b>	<b>8.502</b>	<b>8.268</b>	<b>8.054</b>	<b>7.914</b>	<b>7.983</b>
Anlæg, mio. kr. direkte (ej samfundsøkonomi)	3.250	3.302	3.337	3.382	3.449	3.568

<b>Hyppighed, 87 cm stigning 1990-100, år</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	235	241	245	251	257	267
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	270	317	347	387	437	487

**Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:**

Skadesomkostninger <b>uden</b> tiltag	8.209	8.209	8.209	8.209	8.209	8.209
Skadesomkostninger <b>med</b> tiltag	1.936	1.167	825	506	325	184
Gevinst (skadesreduktion)	6.273	7.043	7.385	7.703	7.885	8.026
Tiltagsomkostninger	7.213	7.285	7.332	7.394	7.483	7.639
<b>Nettogevinst</b>	<b>-941</b>	<b>-242</b>	<b>53</b>	<b>309</b>	<b>402</b>	<b>386</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	<b>9.150</b>	<b>8.451</b>	<b>8.156</b>	<b>7.900</b>	<b>7.808</b>	<b>7.823</b>
Anlæg, mio. kr. direkte (ej samfundsøkonomi)	3.179	3.227	3.259	3.302	3.363	3.469

Tabel 2-1 Økonomiske resultater for seks forskellige acceptable hyppigheder af oversvømmelse, ved antagelse af en stigning i havvandsstanden på 87 eller 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100.

Truslen fra havet er 11,9 - 8,2 mia.kr. (100cm - 87cm)

Truslen i dag er 55 mio. kr./år og stiger til 7,7 mia./år (100cm)

Skader ved stormflod

De opdaterede beregninger viser, at de forventede samlede skader fra oversvømmelser fra havet frem til 2117 vil løbe op i ca. 11,9 mia. kr. (100cm) eller ca. 8,2 mia.kr (87cm), målt som nutidsværdi, hvis det vælges at undlade at lave sikring af København mod højvande. Trusselsbilledet fra stormflod vurderes i dag at udgøre en økonomisk risiko på 55 mio. kr. pr. år. Indenfor de første 10 år vil risikoen øges med over 30 % til 72 mio. kr. pr. år. Risikoen stiger senere meget kraftigt efterhånden som den generelle vandstand i havet stiger. Specielt omkring 2070-80 vil der ved højvande fra nord ske en meget kraftig stigning i antal oversvømmelser, hvis havvandsstanden stiger 100 cm fra 1990-2100, da vandet på det tidspunkt meget ofte vil stå højere end kajkanterne, ligesom nogle lavtliggende områder reelt vil blive ubrugelige på grund af meget hyppige eller konstant oversvømmelse. En permanent lukning af havnen med sluser bør derfor overvejes gennemført inden år 2100. Stiger havet 87 cm vil den situation optræde ca. 15 år senere.

De forventede skader ved enkelthændelser for stormfloder, som blev beregnet i rapporten fra juni 2016 er stadig gældende. Som eksempler kan nævnes, at der forventes en samlet skade på ca. 19 mia. kr., hvis der kommer en stormflod på 3,76 meter fra syd. Statistisk set vil dette ske hvert 1.000 år med det nuværen-

de havniveau, men i år 2100 vil det sandsynligvis ske hyppigere end ca. hvert 300 år eller ca. hvert 400 år afhængigt af om vandstanden i havet stiger 100 eller 87 cm i perioden 1990-2100. Hvis der kommer en stormflod fra nord på f.eks. 2,30 m vil det medføre skader for ca. 1,6 mia. kr. Statistisk set vil dette ske uhyre sjældent i dag (hvert 1 mio. år), men i år 2100 forventes det at ske meget hyppigt, nemlig hvert tiende år, hvis havet stiger 100 cm i perioden 1990-2100, og ca. hvert 60 år hvis havet i samme periode stiger 87 cm.

Sikring til 1.000 års hændelse kan laves for ca. 3,5 mia. kr.

En beskyttelse til det tidligere anbefalede sikringsniveau, svarende til et 1.000 års højvande i år 2100, vil medføre anlægsomkostninger på ca. 3,5 mia. kr. for kyststrækningerne langs Københavns Kommunes Øresundskyst samt ved motorvejsbroen over Kalvekoderne (Kalvebodbroen). Driftsomkostningerne er vurderet til ca. 70 mio. kr. pr. år. Princippet for det prissatte foreløbige udkast til løsning er vist på Figur 2-5. Som det fremgår af Tabel 2-1 er anlægsinvesteringen stort set den samme om havet stiger 100 cm eller 87 cm, idet sikring til et 1000 års højvande i 2100 vil koste henholdsvis 3,45 og 3,33 mia.kr i anlægsomkostninger.

Gevinst på 4,0 mia. kr. eller 0,4 mia. kr. ved sikring til 1000 års hændelse

Udføres denne sikring over 3 år fra 2017, vil dette frem til år 2117 give en nutidsværdi af anlægs- og driftsomkostninger på ca. 7,6/7,5 mia. kr. for henholdsvis en havvandsstigning på 100 cm og 87 cm. Dette giver en nettogevinst på ca. 4,0 mia. kr. frem til år 2117, på grund af reduktionen i de samlede forventede skader, hvis der regnes med en havvandsstigning på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger vandstanden 87 cm i samme periode, er der færre skader som forhindres ved investeringen og gevinsten bliver reduceret til 0,4 mia. kr. Se Tabel 2-1.

Optimalt med diger inden 2054 eller 2057

En udskydelse af investeringen vil statistisk set give en øget økonomisk besparelse for det samlede anlæg. Det optimale færdiggørelsestidspunkt for anlægget vil således ud fra et rent økonomisk synspunkt være år 2054, hvis havet stiger 100 cm i perioden 1990-2100. Derved vil den forventede nettogevinst øges til 7,9 mia. kr. Udskydes investeringen vil det dog medføre, at den årlige økonomiske risiko fra stormflod stiger til ca. 250 mio. kr. pr. år, inden dæmningen står færdig i år 2054. Dette skal holdes op mod en risiko i dag på ca. 55 mio.kr. pr. år. Altså accepteres ved en udskydelse til 2054 en femdobling af den økonomiske risiko inden, der gennemføres en beskyttelse, ligesom befolkning og virksomheder må leve med hyppigere gener fra oversvømmelser i lavtliggende områder. Stiger vandstanden 87 cm, bliver det optimale tidspunkt for færdiggørelsen 2057, hvorved nettogevinsten kan øges fra ca. 0,4 til ca. 4,3 mia. kr. Se nærmere herom i afsnit 5.

Truslen størst fra nord

Den akkumulerede økonomiske trussel fra højvande **fra nord** udgør ca. 9,3 mia. kr. i nutidsværdi for perioden frem til 2117, mens den akkumulerede økonomiske trussel fra højvande **fra syd** udgør ca. 2,6 mia. kr. i nutidsværdi for samme periode, såfremt vandstanden i havet stiger 100 cm i perioden 1990-2100, se Tabel 2-2. Nutidsværdien af nødvendige indgreb i nord er væsentlig højere end indgrebene i syd med porte/lukninger ved Kalvebodbroen. Man skal dog være opmærksom på, at truslen fra højvande skal ses samlet, da både højvande fra syd og nord giver en kraftig påvirkning på hele Amagers østkyst. Nogle højvan-

de fra syd giver i sjældne tilfælde også påvirkning helt op til Nordhavn og Svaneøllebugten.

<b>Hypighed, 100cm stigning, år</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	-	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	450	-
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>	<b>SYD</b>	<b>NORD</b>
Skadesomkostninger uden tiltag	2.598	9.347
Skadesomkostninger med tiltag	253	51
Afværget skade	2.345	9.296
Tiltag	1.606	6.004
Gevinst ved tiltag	<b>739</b>	<b>3.293</b>
Omkostninger i alt, skade+tiltag, 100 cm	1.859	6.055

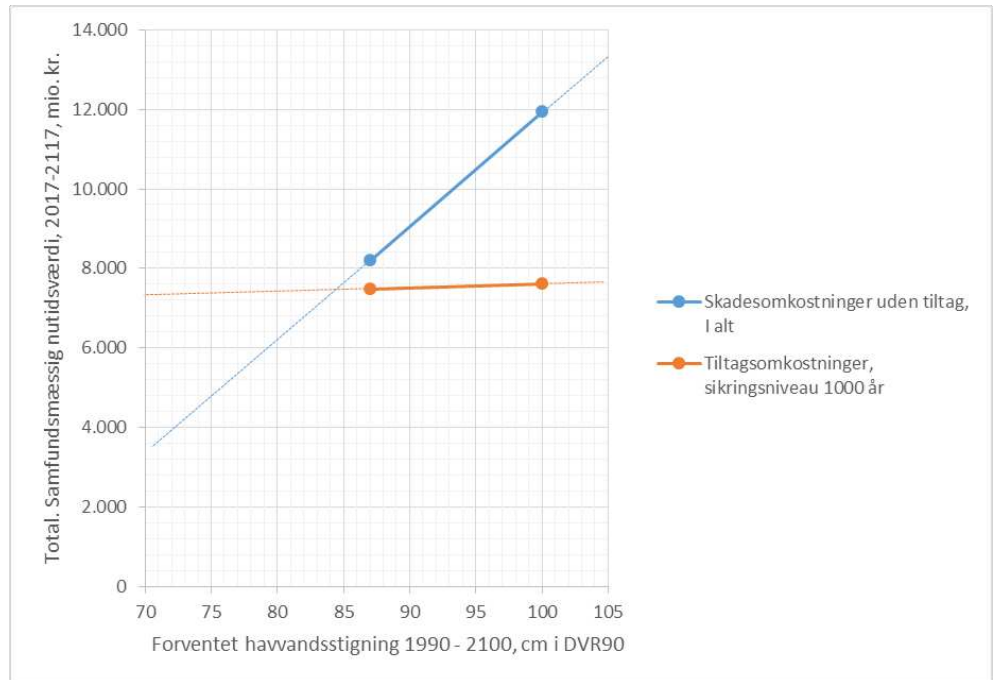
Tabel 2-2 Samfundsøkonomi ved indsats mod oversvømmelse fra nord eller syd, hvis vandstanden i havet stiger 87 cm i perioden 1990-2100.

Den store akkumulerede økonomiske trussel fra nord skyldes, at der i den sidste del af perioden vil ske en overskridelse af et kritisk niveau i forhold til højden af kajkanter og lignende. Til gengæld er der i den første del af perioden kun en begrænset risiko fra nord.

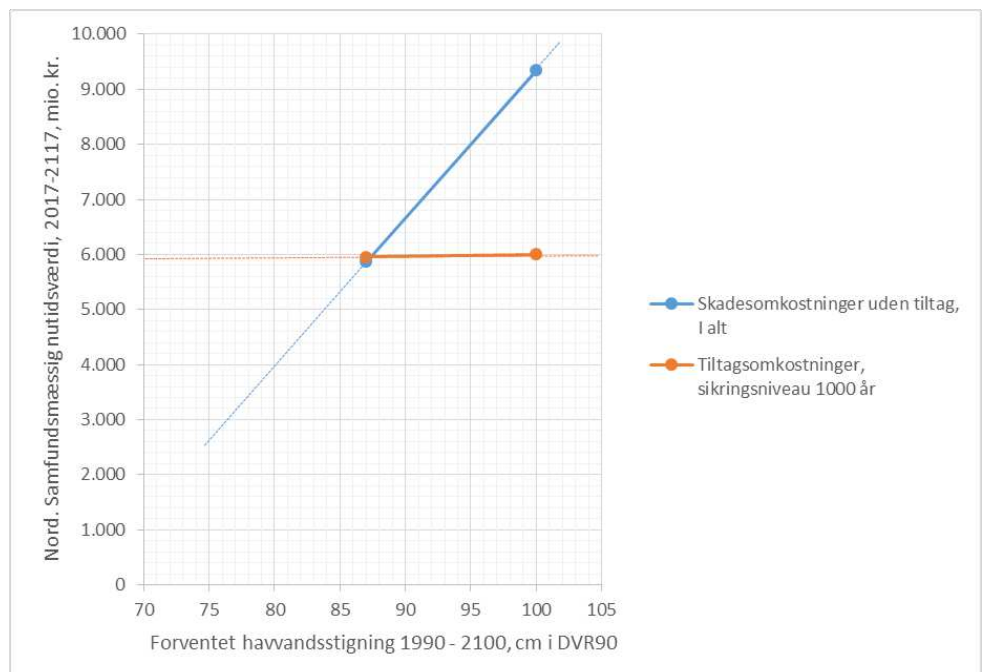
Tilsvarende forhold gør sig gældende, hvis vandstanden i havet stiger 87 cm i perioden 1990-2100, hvilket fremgår af Tabel 2-3. Imidlertid ses, at de store skader fra højvande fra nord ikke når at slå igennem, fordi det kritiske niveau først overskrides ca. 15 år senere end ved en stigning på 100 cm. Dette betyder at der stort set kun er balance mellem investeringer og undgået skade set over en periode på 100 år. Dette forhold er illustreret grafisk i Figur 2-2 til Figur 2-4, hvor investeringer til en 1000 års stormflod og samlet skadesomfang er illustreret for forskellige antagelser om havvandsstigning.

<b>Hypighed, 87cm stigning, år</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	-	257
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	437	-
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>	<b>SYD</b>	<b>NORD</b>
Skadesomkostninger uden tiltag	2.346	5.864
Skadesomkostninger med tiltag	276	49
Afværget skade	2.070	5.815
Tiltag	1.524	5.959
Gevinst ved tiltag	<b>545</b>	<b>-144</b>
Omkostninger i alt, skade+tiltag, 87 cm	1.800	6.007

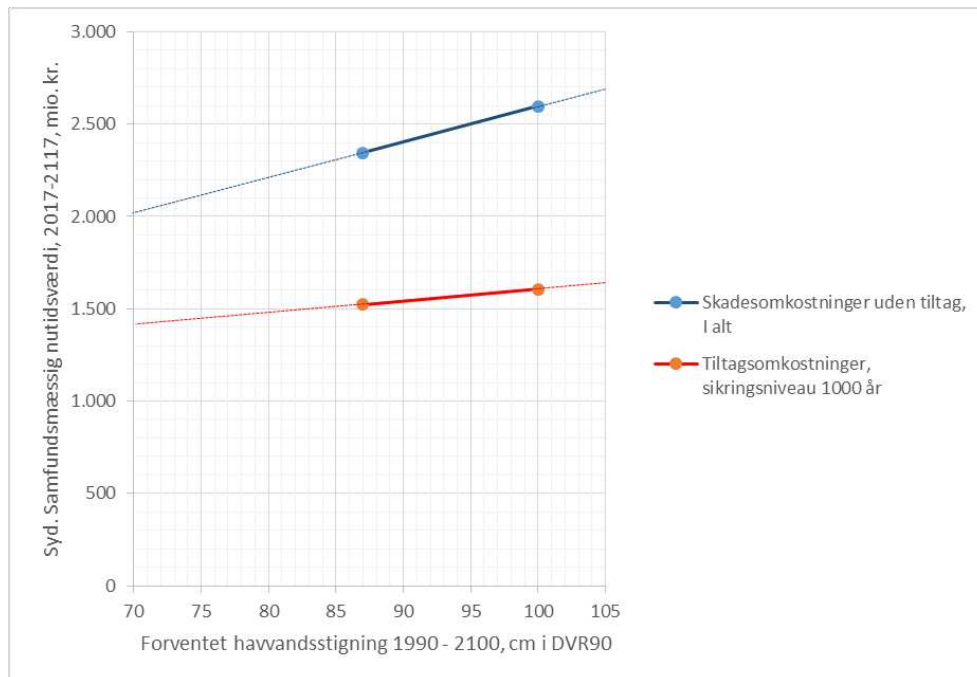
Tabel 2-3 Samfundsøkonomi ved indsats mod oversvømmelse fra nord eller syd, hvis vandstanden i havet stiger 87 cm i perioden 1990-2100.



Figur 2-2 **Totale** samfundsmæssig nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre København til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand. Økonomien er gjort op for perioden 2017-2117.



Figur 2-3 **Alene omkostninger relateret til højvande fra nord.** Samfundsmæssig nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre sig til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand. Økonomien er gjort op for perioden 2017-2117.



Figur 2-4 *Alene omkostninger relateret til højvande fra syd. Samfundsmæssig nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre sig til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand. Økonomien er gjort op for perioden 2017-2117.*

Områder må opgives pga. af hyppig oversvømmelse

I beregningerne for skadesomfang er der lagt låg på, så selvom der statistisk set vil ske oversvømmelse f.eks. 10 gange om året, accepteres der beregningsteknisk kun en oversvømmelse hver andet år. Fjernes denne begrænsning for oversvømmelse fra nord, vil de akkumulerede skader fra nord ikke blive ca. 9,3 mia. kr. men hele 407 mia. kr. hvis vandstanden stiger 100 cm i perioden 1990-2100. Begrænsningen slører således, at der reelt vil ske en massiv og meget hyppig oversvømmelse af dele af København fra nord i den sidste del af perioden og flere lavtliggende områder vil reelt blive ubrugelige til traditionel bebyggelse på grund af hyppige eller permanente oversvømmelser. Stiger vandstanden i havet 87 cm i perioden 1990-2100 vil tilsvarende ske en stigning fra ca. 5,9 mia. kr. til ca. 104 mia. kr.

Konstruktionerne på vand er dyrest

Investeringerne i højvandsbeskyttelsen ved hjælp af diger eller mure på landjorden udgør en lille investering, sammenlignet med omkostningerne til etablering af konstruktioner på dybt vand, se Tabel 2-4. Det gælder især konstruktionerne, som skal kunne åbnes og lukkes for at sikre adgang for sejlsende trafik til de indre erhvervs- og lystbådehavne eller sikre et godt vandskifte i indsøer, men også dæmningsanlæggene på dybt vand. Ved overslagene for diger/mure på land er ikke medregnet omkostninger til arealerhvervelse.

Overslagene er usikre

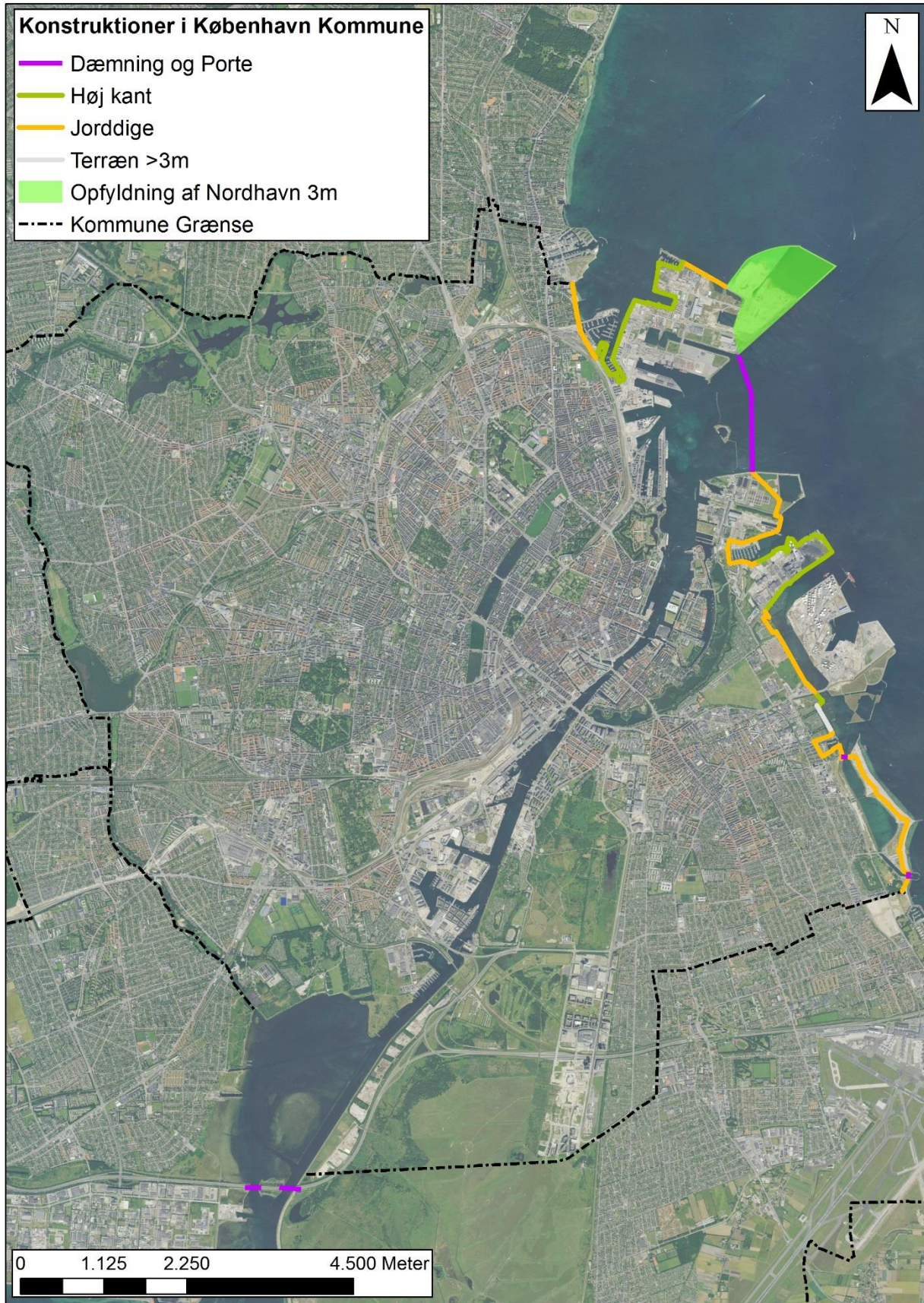
Der er her kun gennemført en helt overordnet screening af forholdene på vand og på land. Der er derfor stor usikkerhed knyttet til anlægsoverslagene for de konstruktioner, der skal til, for at beskytte København for en 1.000 års stormflod, som den forventes i 2100. Højderne af konstruktionerne er bestemt ud fra

detaljerede højvandsstatistikker, antagelser om generel havvandsstigning som i klimatilpasningsplanen samt overordnede vurderinger af bølgenes betydning for styrke og højde af konstruktionerne. Der er derfor en rimelig sikkerhed om størrelsen af konstruktionerne, men bl.a. usikkerheden om de geologiske forhold ved Trekroner og endeligt valg af port/slusetype gør, at der for netop denne store investering er en betydelig usikkerhed på overslaget – alene spørgsmålet om behov for udskiftning af blød bund/fundering udgør +/- 0,5 mia. kr. Anlægsoverslag for andre sikringsniveauer er vurderet ud fra mere/mindre omkostninger i forhold den skitserede løsning.

Der er tilsvarende en usikkerhed på opgørelserne af skadesomkostninger, idet disse er opgjort ud fra et økonomisk synspunkt alene, på basis af umiddelbare direkte og indirekte vandskader. Heri er bl.a. ikke medtaget de skader, der kan forventes fra ændret grundvandstryk generelt eller under stormflod, ændrede anvendelsesmuligheder for lavtliggende områder ligesom beskyttelse af kulturværdier ikke er prissat ud over bygningsværdien.

Luk mod syd og lav landdiger nu

En umiddelbar anbefaling er at etablere de billigere landbaserede diger og mure de steder, hvor vandet først vil oversvømme land (fra lavpunkterne mod havet) samt etablere porte/dæmning ved Kalvebodbroen så hurtigt som muligt. Se Figur 2-5. Dette bør ske i en koordineret indsats med nabokommunerne, så der ikke sker oversvømmelse af København via disse kommuner (se afsnit 11). De laveste punkter mod havet er vist med rødt, orange og gul på Figur 2-8. Disse anlæg vil begrænse risikoen for stormflodsskader væsentligt. En anlægsinvestering på ca. 900 mio. kr. i syd, vil kunne reducere de akkumulerede skader fra ca. 2,6 mia. kr. til ca. 0,3 mia.kr. ved en vandstandsstigning på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger vandstanden 87 cm i samme periode vil skaderne reduceres fra 2,3 mia. kr. til 0,3 mia. kr. Se Tabel 2-2 og Tabel 2-3. Det planlagte "Ullerupdige" i Tårnby Kommune vil reducere truslen fra syd, specielt for Ørestaden, men der vil fortsat være en væsentlig trussel fra højvande, der trænger ind gennem Kalveboderne.



Figur 2-5 Foreløbigt udkast til placering af anlæg til sikring af Københavns kommune mod stormflod. Udkastet skal alene tjene til en vurdering af sandsynlige økonomiske konsekvenser ved sikring af København mod stormflod.



Forbered lukningen mod nord

Sikringen mod nord koster meget mere en sikringen mod syd og kræver en hel del mere forberedelse. Samtidig er truslen fra højvande fra nord meget begrænset i de første mange år og vil økonomisk set ikke kunne begrunde en her-og-nu investering af den størrelsesorden. Omvendt ser det ud omkring år 2070, hvor den generelle vandstand er steget over et kritisk niveau, så oversvømmelser fra nord vil blive meget omfattende og hyppige, under forudsætning af en generel stigning i havniveauet på 100 cm i perioden 1990-2100. På det tidspunkt er det en nødvendigt at have en lukning af havneindløbet fra nord, hvis funktionen af byen skal opretholdes. Denne lukning bør inden 2100 gøres permanent med sluser, da behovet for åbninger og lukninger vil blive meget hyppige og genere skibsfarten, ligesom den generelle stigning i havvandsstanden vil kunne give grundvandsproblemer i de havnenære områder. Såfremt stigningen i havvandsstand i perioden 1990-2100 bliver 87 cm vil ovenstående situation optræde ca. 15 år senere.

Sikring langs nabokommuner

Opnås ikke en koordineret indsats med de omkringliggende kommuner, må der omkring midt i perioden skaffes plads til at lave et ca. 400 m jorddige eller lignende vinkelret på kysten langs Københavns kommunes grænse til Gentofte (ca. 5 mio.kr. eksklusive arealerhvervelse) og et ca. 900 meter lange jorddige eller lignende vinkelret på kysten langs Københavns kommunes grænse til Tårnby (ca. 10 mio.kr. eksklusive arealerhvervelse). Det igangsatte "Ullerupdige" vil lukke godt af på østsiden af Kalveboderne, mens der på vestsiden mod Hvidovre Kommune kræves lange og omfattende "interne" diger langs hele Kalvebod/Harrestrup Å-kysten, hvis ikke der lukkes ved Kalvebodbroen og hvis Hvidovre ikke sikrer egen kyst mod Køge Bugt.

Koordiner med etablering af jorddeponier

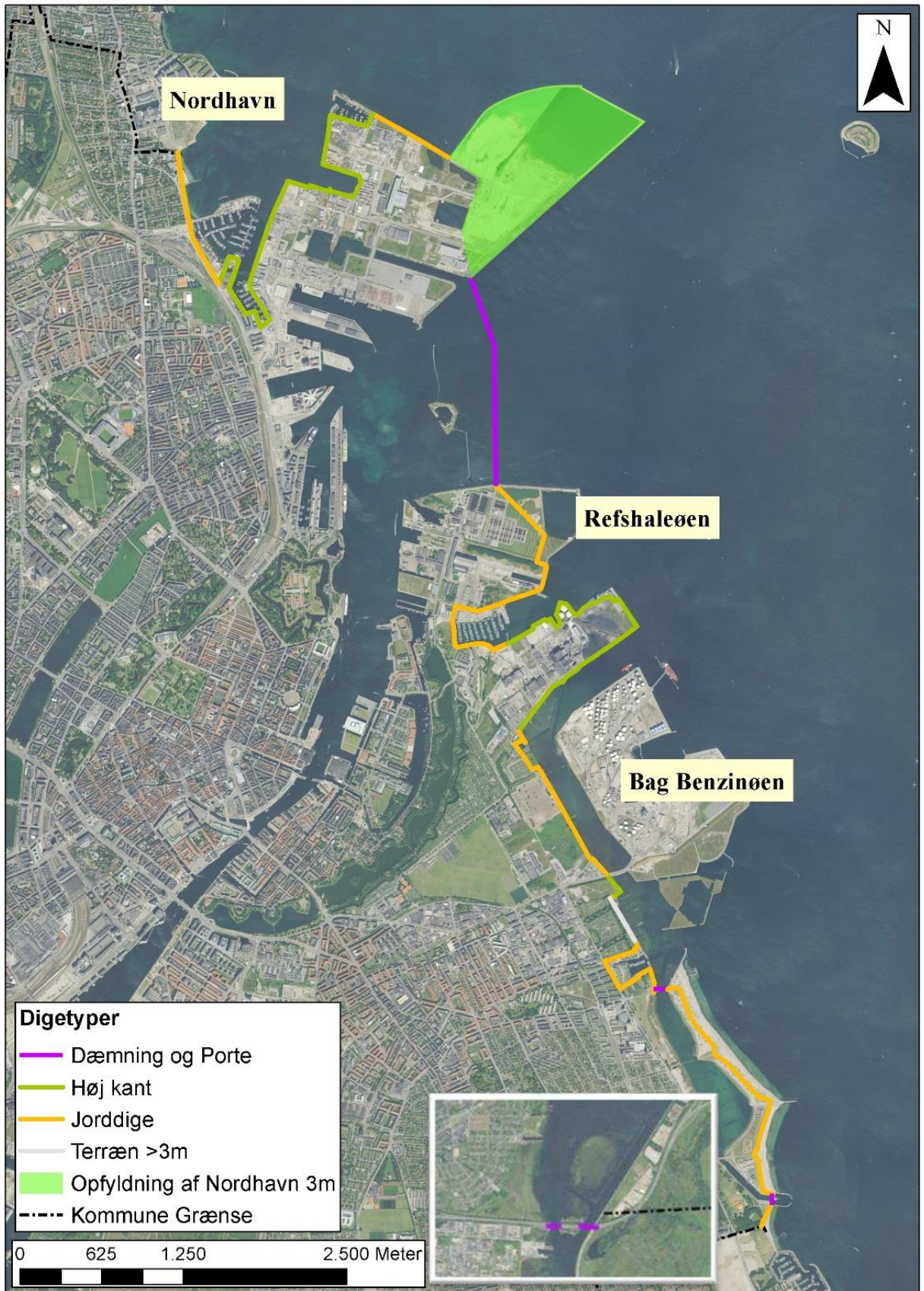
Ved Amager Strandpark og ved Trekroner vil der være en betydelig besparelse, hvis etableringen af anlæg til beskyttelse mod stormflod kombineres med etablering af anlæg til jorddeponering de to steder der har været undersøgt som mulige lokaliteter for jorddeponering. Jorddeponeringen de to steder vil i sig selv give et samfundsøkonomisk overskud, men kombineret udførelse med stormflodsanlæg vil yderligere give en besparelse på ca. 135 mio. kr. til sparet stormflods dæmning ved Trekroner og en besparelse på ca. 50 mio. kr. ved sparet forstærkning og sammenhæng af klitterne ved Strandparken. Besparelsen ved Trekroner kan formentlig blive væsentlig større ved en mere hensigtsmæssig udformning af det fælles anlæg, end de her anvendte foreløbige forslag til deponi og dæmning/porte. Undlades portene ved indsøen bag Strandparken, – som ved strandvejs løsningen - vil der være en yderligere besparelse på ca. 75 mio. kr.

Benzinøen skal lave egen sikring

Som i de tidligere undersøgelser er der ikke indregnet sikring af Benzinøen og slamlagrene ved Lynetten. Benzinøen kan forholdsvis nemt lave sin egen sikring ved lave mure eller diger. Det vil være meget bekosteligt at inddrage Benzinøen, da der i givet fald skal bygges to port/sluse konstruktioner for skibes adgang til de små lystbådehavne bag Benzinøen. En ny ekstra sikring af slamlagrene vil være meget bekostelig, da der i givet fald vil blive tale om et forholdsvis højt kystnært bølgesikret dige frem for det viste kortere højt beliggende lave dige bag slamlagrene, der evt. kan afdækkes for begrænsning af udslip ved oversvømmelse.

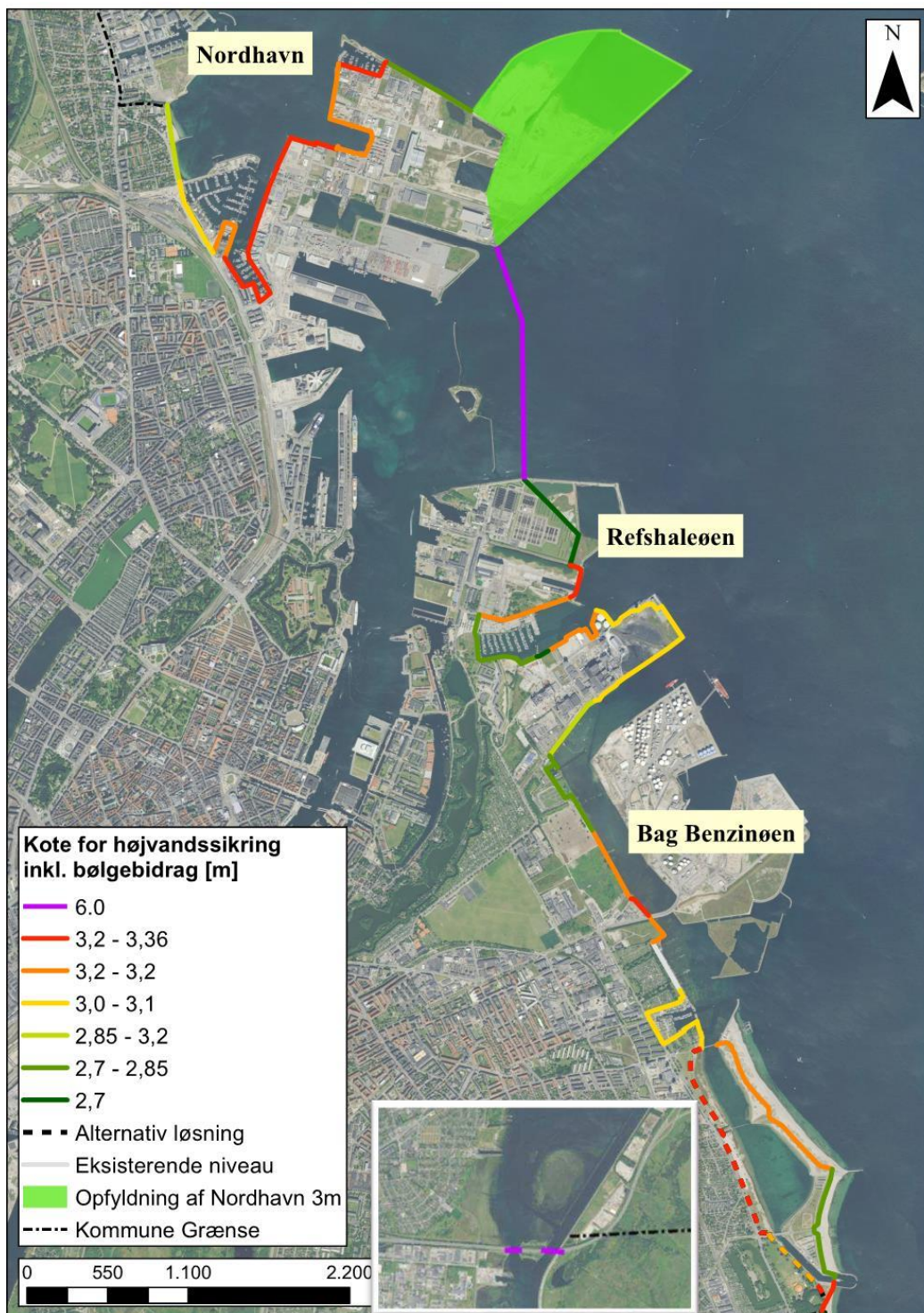
## Illustrationer af princippløsning

På de følgende figurer (Figur 2-6 til Figur 2-8) er dels vist - typen af de foreslåede foranstaltninger langs Øresundskysten, - koter til overside af konstruktionerne og - højden af konstruktionerne i forhold til det nuværende terræn, hvor konstruktionerne tænkes placeret. Alle højder og koter er angivet for en stigning i havvandsstanden på 100 cm i perioden 1990-2100. Disse koter og højder skal reduceres med 13 cm såfremt stigningen bliver 87 cm i perioden 1990-2100. Højden af dæmning og port ved Trekroner er særlig stor, da bølger vil slå ind med stor kraft fra det dybe vand foran diget. Betydningen af bølgeoverskyl på dette sted er dog af mindre betydning, da der er et meget stort volumen i den indre havn, som ikke vil kunne nå at blive fyldt op af vand fra bølgeoverskyl. Bølgeoverskyl kan dog give anledning til væsentlig erosion på bagsiden af diget, ligesom diget evt. kan anvendes til andre formål, hvorfor det er valgt at fastholde principperne om begrænsning af bølgeoverskyl.



Figur 2-6

Umiddelbart foreslåede **typer af konstruktioner** til beskyttelse mod stormflod fra kysterne mod Øresund, til brug for de økonomiske beregninger alene.



Figur 2-7

Anslået **nødvendig kote (DVR90)** til overkant af konstruktion for beskyttelse mod en 1.000 års stormflod, som den forventes at se ud i år 2100, ved en stigning i havvandsstanden på 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100. Stiger havet i stedet 87 cm skal de angivne koter reduceres med 13 cm. Der er ved fastlæggelsen af koten taget hensyn til bølgehøjder og begrænset overskyl fra bølger. For Amager Strandpark er vist en alternativ linjeføring langs Amager Strandvej (ikke med i overslag) hvor farven indikerer koter fra 3.1 – 3.36 for dette dige. Nuværende klitter har toppe til kote 2,3-3,6, mens den fremskudte sikring skal have højder på 2,7 – 3,2 m.



Figur 2-8

Anslået nødvendig **højde over nuværende terræn** til overkant af konstruktion for beskyttelse mod en 1.000 års stormflod, som den forventes at se ud i år 2100 ved en stigning i havvandsstanden på 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100. Stiger havet i stedet 87 cm skal de angivne højder reduceres med 13 cm. Der er ved fastlæggelsen af højden taget hensyn til bølgehøjder og begrænset overskyl fra bølger. For Amager Strandpark er vist en alternativ linjeføring langs Amager Strandvej (ikke med i overslag), hvor farven indikerer højder fra 0,9 - 2 m for dette dige. Nuværende klitter har toppe til kote 2,3-3,6, mens den fremskudte sikring skal have højder på 2,7 - 3,2 m.

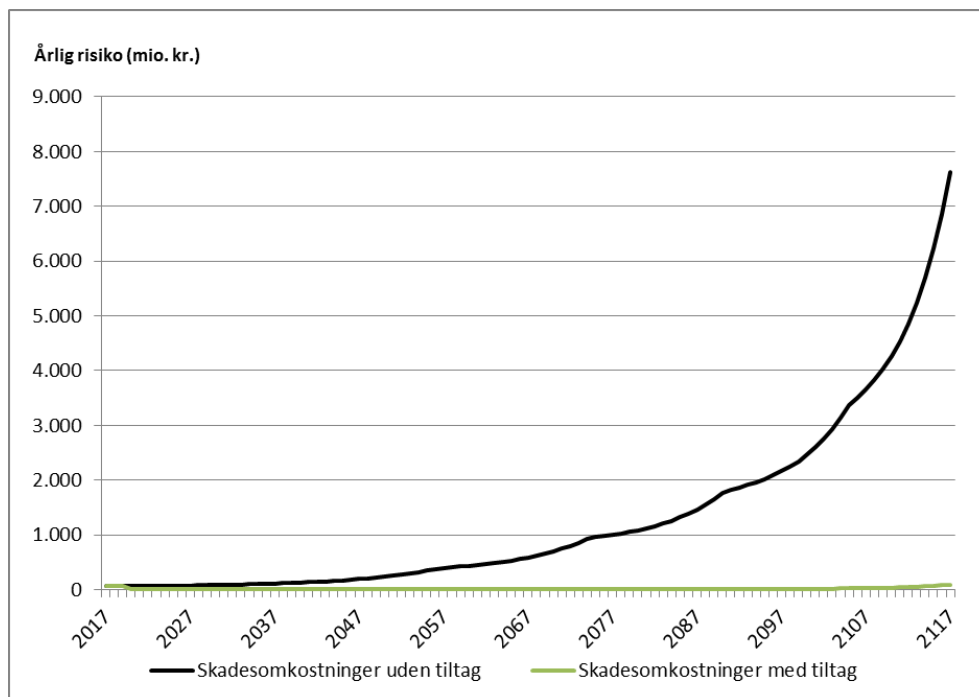
Der er på det meget foreløbige tekniske grundlag opstillet et anlægsoverslag for de enkelte strækninger, som skal sikres mod stormflod. I Tabel 2-4 er angivet anlægsoverslag for de enkelte hovedstrækninger, hvis der sikres op til et niveau svarende til en 1000 års stormflod i 2100 ved en stigning i havvandsstanden på 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100. Stiger havet i stedet 87 cm skal de angivne overslag reduceres med ca. 2,5 %. Mere detaljerede overslag for de enkelte del strækninger findes i afsnit 7.

<b>Strækning</b>	<b>Anlægspris</b>	<b>Tillæg for usikkerhed</b>	<b>Anlægs-overslag total</b>	<b>D&amp;V mio. kr./år</b>
<b>100cm stigning</b>				
Nordhavn	166	25	191	4
Lukning Nordhavn/Refshaleøen:*)	2.200	331	2.531	50
Refshaleøen - Strandparken	131	20	151	3
Bag Benzinøen	18	3	21	0
Strandparken - Taarnby:	134	22	156	4
Lukning Syd ved Kalvebodbroen:	350	53	403	8
<b>Total</b>	<b>2.999</b>	<b>450</b>	<b>3.449</b>	<b>69</b>

\*) Dette overslag er meget usikkert og baseret på skøn af omfang af kritiske jordbundsforhold og et groft gennemsnit for forskellige typer port konstruktioner kendt fra andre steder.

Tabel 2-4 Anlægsoverslag for sikring til en 1000 års stormflod, som den forventes i år 2100. Overslag er angivet i mio. kr. Eksklusiv arealerhvervelse mv. Antaget 100 cm stigning i havvandsstand 1990-2100.

Udføres denne sikring over 3 år fra 2017 vil dette frem til år 2117 give en nutidsværdi af anlægs- og driftsomkostninger på ca. 7,6 mia. kr. Dette giver en nettogevinst på ca. 4,0 mia. kr. frem til år 2117, hvis vandstanden i havet stiger 100 cm i perioden 1990-2100. Udviklingen i årlig risiko målt som forventet skadsomfang pr år er vist på Figur 2-9, med og uden indsats mod oversvømmelse.



Figur 2-9 Skadesomkostningsbillede i mio. kr. pr. år. Udvikling i årlig økonomisk risiko med og uden tiltag til beskyttelse af Københavns Kommune mod et fremtidigt 1000 års højvande. Det er her forudsat, at anlæggene etableres straks over de første tre år af perioden. Antaget 100 cm stigning i havvandsstand 1990-2100.

Optimalt sikringsniveau

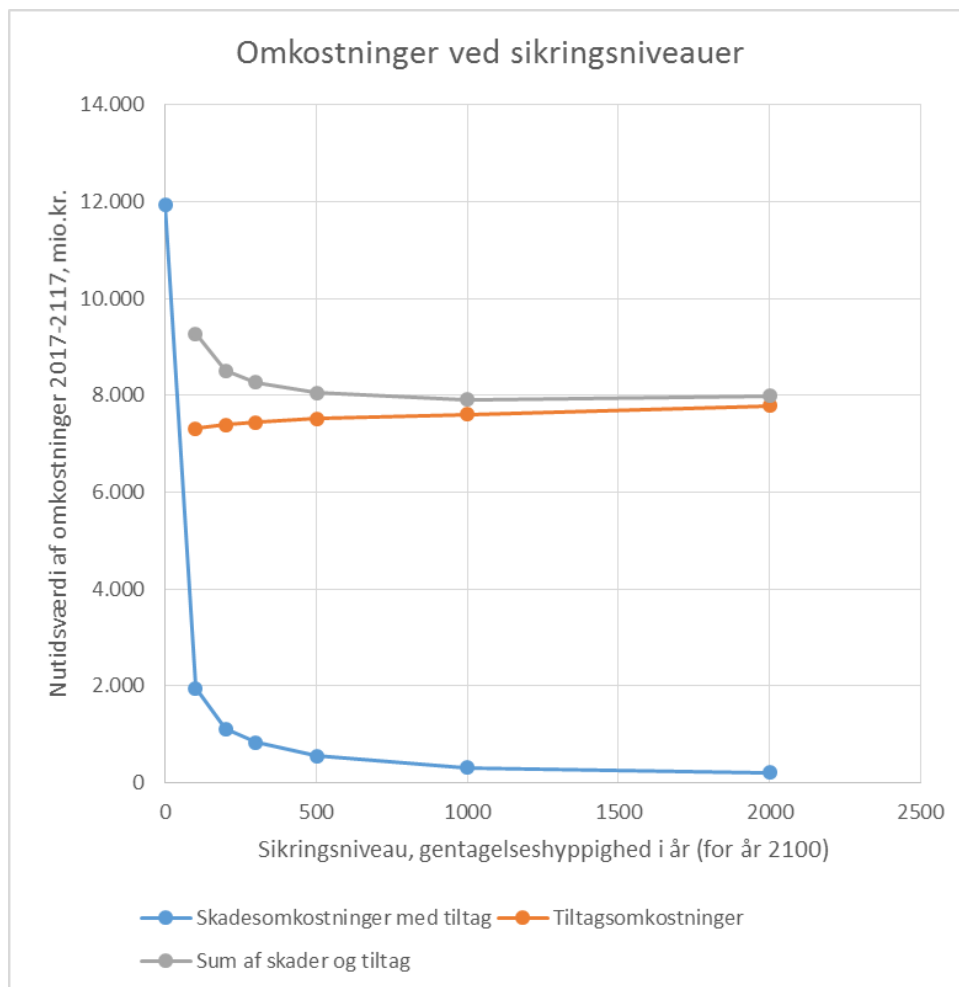
Ved at se på de samlede omkostninger til sikring mod oversvømmelse og det resterende skadesomfang ved forskellige niveauer af sikring, kan der findes et optimalt sikringsniveau ud fra økonomiske hensyn alene.

Af Tabel 2-1, som angiver seks sikringsniveauer (100, 200, 300, 500, 1000 og 2000 års stormflod) ses, at mere-/mindre-højden er meget beskeden i forhold til højden på de dybe dyre konstruktioner på vand (15-20 meter), mens forskellen er procentvis mere betydende på de billigere og lavere konstruktioner på land (1-3 meter).

Resultaterne af de økonomiske beregninger af de enkelte sikringsniveauer fremgår af Tabel 2-1, hvor det er antaget at sikringsanlæggene står klar i 2020. Alle beløb er angivet som akkumulerede beløb i nutidsværdi for perioden 2017-2117. Resultaterne ved en stigning i havvandsstanden på 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100 er vist grafisk i Figur 2-10.

Sikring for 1000 års højvande er optimalt

På Figur 2-10 ses et svagt optimum ved sikring op til et 1000 års højvande ved en stigning i havvandsstanden på 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100. Det ses også, at mellem 1000 års sikring og 2000 års sikring, stiger de akkumulerede tiltagsomkostninger mere end den opnåede reduktion i økonomisk trussel fra stormflod. Det samme gør sig gældende ved en stigning på 87 cm, hvilket ses af Tabel 2-1.



Figur 2-10 Grafer, der afhængigt af sikringsniveau, viser nutidsværdien over perioden 2017-2117 af anlæg og drift af sikringsanlæggene, den resterende økonomiske risiko for skader efter tiltaget samt summen af disse omkostninger. Antaget 100 cm stigning i havvandsstand 1990-2100.

Havvandsstigning – 1 meter eller?

Der har hidtil i Københavns Kommunes klimatilpasningsplan været arbejdet med en generel forventet stigning i havvandsstanden på 100 cm i perioden 1990-2100, målt i forhold til det faste reference system DVR90, samt en middel højvandsstatistik, baseret på historiske data og ingen ændring frem til 2100.

Der findes mange andre valg af klimaforudsætninger og sikkerhedsniveauer. Metroselskabet har således valgt at anvende en sandsynlighedsfordeling for havvandsstigningen, udarbejdet af Centre for Regional Change in the Earth System (CRES), samt en historisk højvandsstatistik, hvor der ikke anvendes middel, men også en sandsynlighedsfordeling. Sammenvægtet anvendes ved dimensionering det øvre 68% konfidensinterval, svarende til at der er 84 % sandsynlighed for at den faktiske værdi af højvandet ikke ligger højere end den der anvendes ved dimensioneringen.



I det følgende er resumeret, hvad det betyder, hvis man bruger middelværdien beregnet af CRES, i stedet for 1 meter, som anvendt i Københavns Kommunes klimatilpasningsplan. Se i øvrigt afsnit 5.

Der er stor forskel på opgørelsen af de to værdier for stigning i havvandsspejl. Der er således forskel i tidsperioden for stigningen og der er forskel på om landhævningen er med eller ej.

I det følgende bringes de to opgørelser til at referere til højde-referencesystemet DVR90 og til perioden 1990 til 2100.

Landhævning	De "70 cm", som CRES angiver, er "relative havvandsstigning" for perioden 2000-2100 i København. Stigningen er således fratrukket landhævningen på ca. 13 cm i København i denne 100 års periode. Den faktiske vurderede stigning i havvandstanden er således $70 + 13 = 83$ cm fra 2000-2100, hvis der regnes i faste koter (DVR90).
Stigning før år 2000	Endvidere er der i perioden 1990 til 2000 sket en stigning i den generelle havvandsstand i Østersøen på ca. 4 mm pr. år, hvilket giver 4 cm for perioden 1990 til 2000. (Ref. NOAA-NESDIS-STAR).
Stigning 1990-2100	Den samlede stigning på "70 cm" bliver således $70 + 13 + 4 = 87$ cm, hvis der regnes i DVR90 og stigning i perioden 1990-2100, som der gøres i klimatilpasningen for København. Forskellen mellem CRES og klimatilpasningsplanen er derfor reelt 13 cm i år 2100.
Sikring for 1000 års højvande er optimalt	Der er kørt ekstra beregninger, hvor disse forhold er indregnet og i Tabel 2-1 er vist de økonomiske konsekvenser af forskellige sikringsniveauer ved de to vandstandsforudsætninger. Af Tabel 2-1 ses at det optimale sikringsniveau er et 1000 års højvande, uanset om man antager at vandstanden stiger 87 cm eller 100 cm i perioden 1990-2100.
Mindre havstigning -> færre skader	Det ses, som forventet, at skadesomfanget bliver mindre, hvis havet stiger mindre, og dermed er der heller ikke så store skadesomkostninger, man kan reducere ved at bygge diger, dæmninger og porte mv.
Samme pris for tiltag	Omkostningerne til at bygge disse diger og dæmninger er stort set den samme, om vandet stiger 13 cm mere eller mindre. På de lave billige diger/mure langs kysten, er der dog en pæn besparelse, men på de meget dyre konstruktioner på dybere vand, hvor den samlede konstruktionshøjde fra bundsikring til dæmningskrone er op mod 20 meter, har en ændring på 13 cm næsten ingen betydning for den samlede pris.

Så firkantet udtrykt, vil det koste stort set det samme at sikre sig, næsten uafhængigt af antagelserne om generel havvandsstigning, mens den reduktion i skadesomfang, der skal retfærdiggøre denne investering, bliver meget mindre, jo mindre vandstanden i havet stiger, eller antages at stige.

Figur 2-2 viser sammenhængen mellem den forventede stigning i havvandsstand og de økonomiske omkostninger til skader, hvis der ikke gøres noget og

omkostningerne til at sikre sig op til et 1000 års højvande. Det ses, at hvis vandstanden stiger mindre end ca. 84 cm fra 1990-2100, er der set over en 100 års tidshorisont større omkostninger til sikring end omkostningerne til udbedring af skader hvis man lader stå til. Dette er set ud fra et økonomisk synspunkt alene på basis af umiddelbare direkte og indirekte skader. Heri er bl.a. ikke medtaget de skader der kan forventes fra ændret grundvandstryk under stormflod eller den generelle havvandsstigning eller de gener og konsekvenser en øget trussel fra havet kan medføre for bosætning, ligesom beskyttelse af kulturværdier ikke er prissat ud over bygningsværdien. Man skal endvidere være opmærksom på at vandstanden siden 1990 allerede er steget ca. 11 cm i DVR90 kote (Ref. NOAA-NESDIS-STAR).

### 3 Metodebeskrivelse

Der er benyttet samme grundlæggende vurderingsmetoder som i de tidligere rapporter, COWI har udarbejdet for Københavns Kommune. De væsentligste er:

- > Muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser, December 2010, (COWI, 2010).
- > Diger til beskyttelse af København, September 2013, (COWI, 2013).
- > Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København, Juni 2016, (COWI, 2016).

Tilsvarende er resultater fra modelleringer mv. hentet fra baggrundsmaterialet til disse rapporter, ligesom det er de samme analyseværktøjer, der er benyttet. Ønskes en nærmere indsigt i disse modeller, forudsætninger og beregningsværktøjer henvises til de tre rapporter.

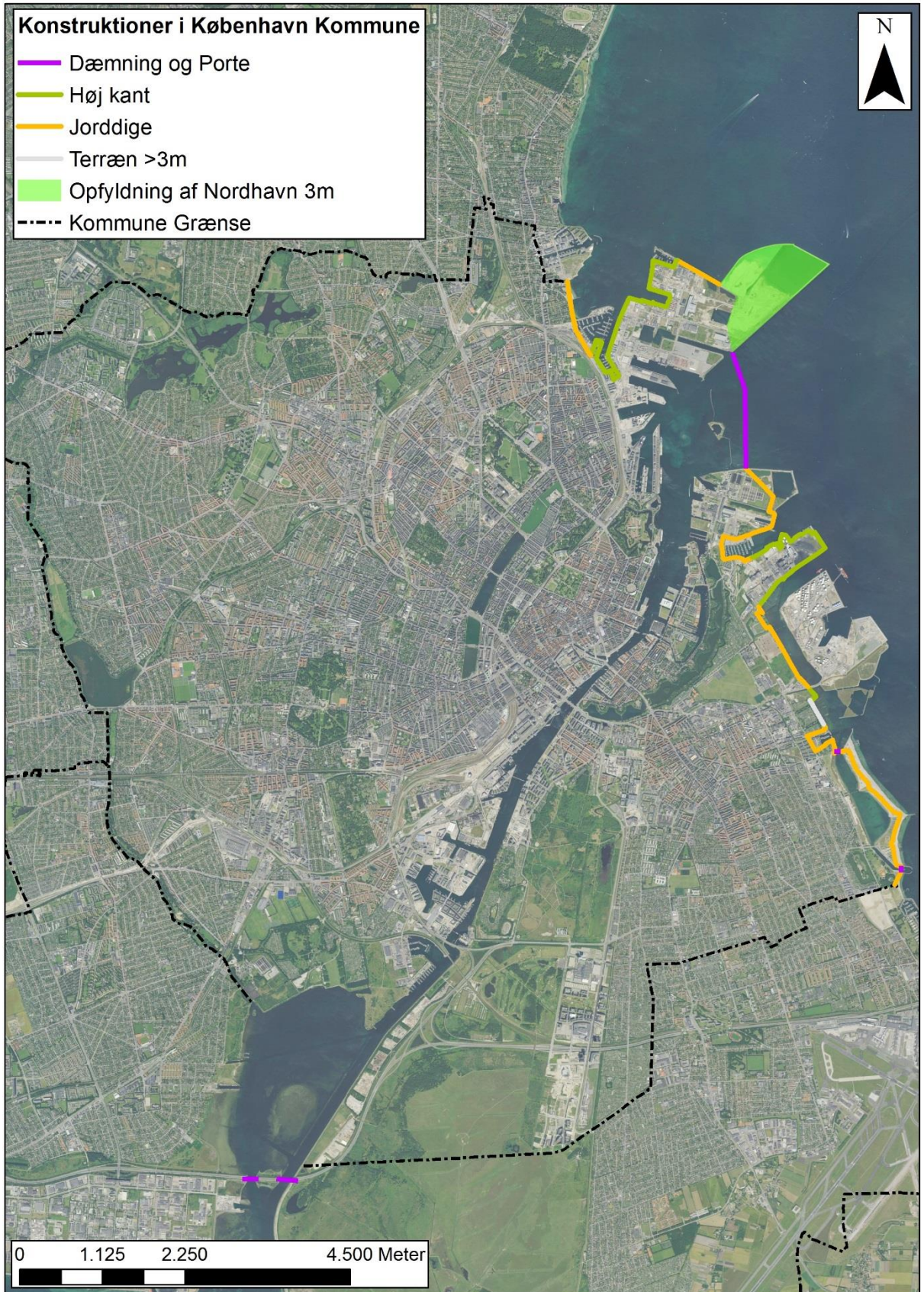
De væsentligste nye beregninger og vurderinger i denne rapport er inddragelsen af de senest udarbejdede højvandsstatistikker og medtagelse af betydningen af bølger og bølgeoverskyl for størrelse, udformning og pris for diger, mure, porte mv. til beskyttelse af København mod indtrængende havvand. De nyeste højvandsstatistikker er baseret på flere historiske data end tidligere, mens den forventede stigning i havvandsstand er uændret i forhold til de tidligere rapporter, hvor den generelle havvandsstigning ud fra DMIs anbefalinger blev sat til 1 meter for perioden fra 1990 til 2100 målt ud fra et fast niveau (DVR90).

Som en følsomhedsanalyse er der i afsnit 5 angivet, hvilke konsekvenser der kan forventes, hvis der antages en lavere havvandsstigning, svarende til den der er vurderet af Centre for Regional Change in the Earth System (CRES). CRES angiver en stigning på ca. 70 cm over en 100 års periode, hvor der er kompenseret for landhævningen. Denne stigning svarer reelt til 87 cm, hvis der bruges samme metode som for de 100 cm der er anvendt i klimatilpasningsplanen (fast niveau DVR90 og en periode 1990-2100).

Der er her arbejdet med én samlet løsning for en ydre sikring langs Københavns Kommunes kyster op til et niveau, svarende til et 1000 års højvande i 2100 samt foretaget en vurdering af mere- og mindre-omkostninger, hvis sikringsniveauet ønskes højere eller lavere. Benzinøen (Prøvesten) er, som i de tidligere

undersøgelser, ikke medtaget i sikringen. Dette skyldes bl.a., at der skal være fri mulighed for sejlads om bag øen til de små havne og bådebroer på Amager. Benzinøen vil forholdsvis enkelt kunne etablere egen stormflodsmure eller diger på terræn langs kysten.

Den samlede principløsning for anlæggene til ydre beskyttelse af København mod stormflod er vist på Figur 3-1.



Figur 3-1

Det vurderede foreløbige udkast til samlet løsning til ydre beskyttelse af Københavns Kommune mod stormflod, til brug for en vurdering af sandsynlige økonomiske konsekvenser ved sikring mod stormflod.

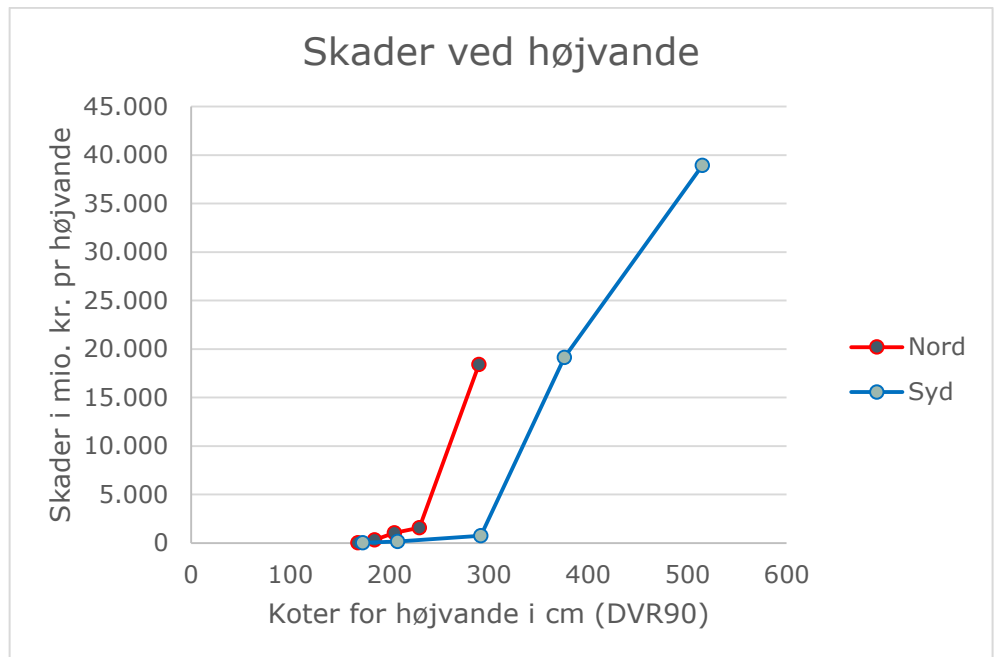
## 4 Økonomi ved sikring mod oversvømmelse

For at vurdere den samlede økonomi i forbindelse med tiltag mod oversvømmelser er det nødvendigt at lave en samfundsøkonomisk vurdering af tiltagsomkostningerne sammenholdt med skadesomkostningerne med og uden tiltag.

I dette afsnit er de økonomiske forudsætninger opstillet og det optimale sikringsniveau vurderet.

### 4.1 Skadesomkostninger ved oversvømmelser

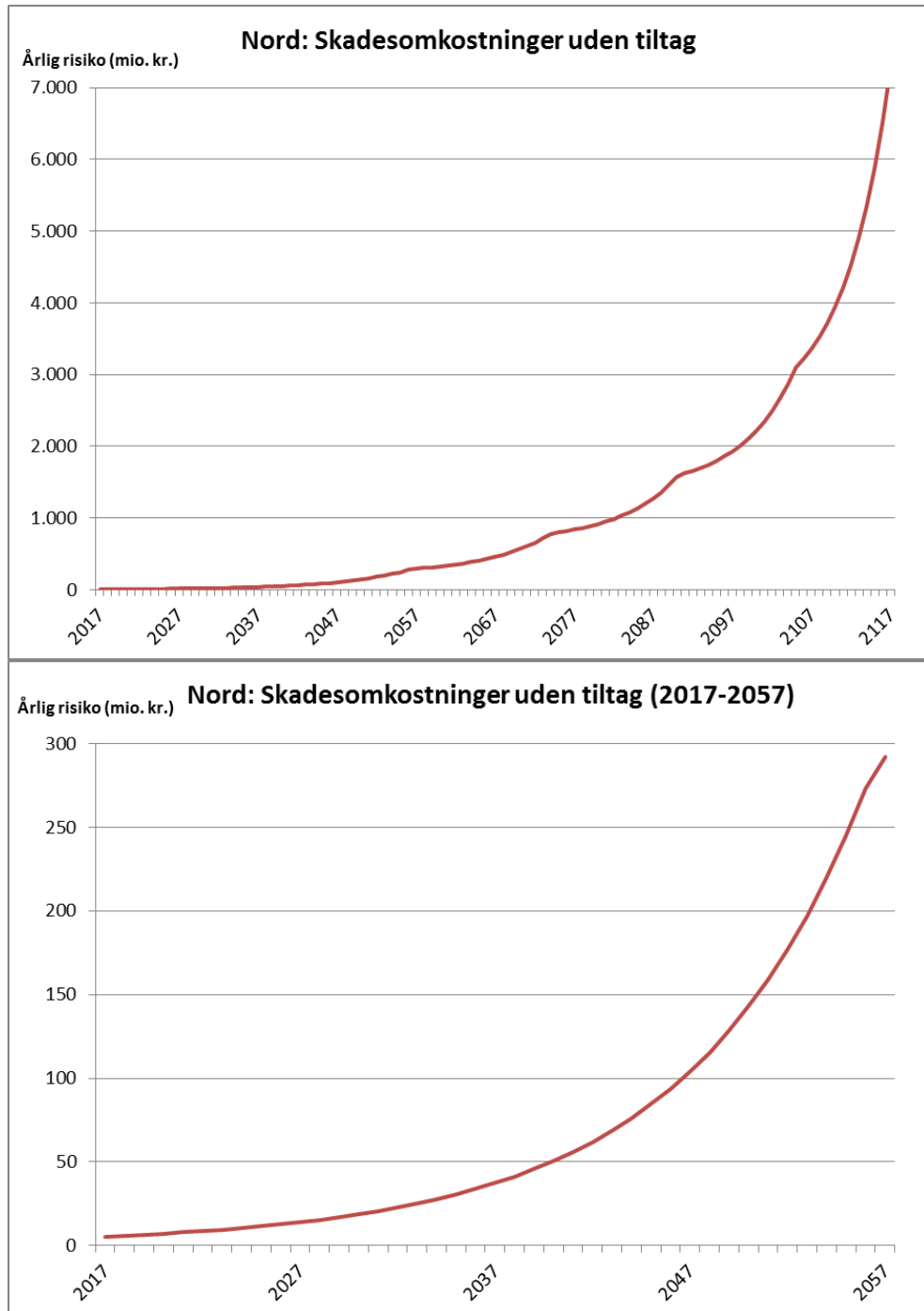
Figur 4-1 viser de samlede skadesomkostninger afhængigt af højden af højeste "middelvandstand" under et højvande (eksklusive bølgetillæg). Højden er her angivet i kote systemet DVR90, der populært sagt har nul-niveau svarende til middelvandstanden i 1990. Vandspejlskoterne fra syd refererer til et punkt ved Avedøre Holme, mens vandspejlskoterne fra nord refererer til Océankaj i Nordhavn.



Figur 4-1 Omkostninger ved gener og skader som følge af forskellige størrelser af højvande fra nord og syd. Skader er opgjort i mio. kr. Skader i Københavns Kommune og større transportanlæg i nærområdet. ref. (COWI, 2016).

Med tiden stiger vandstanden i havet, ligesom landet hæver sig lidt over tid. Sandsynligheden for, at et højvande når op på et vist niveau målt i DVR90, bliver således større og større med tiden, da havvandsstanden stiger noget hurtigere end landet hæver sig. Dermed bliver sandsynligheden for skader fra højvande også større og større med tiden, hvis der ikke gøres noget for at beskytte sig mod højvande. De seneste 10-20 år er vandstanden steget med ca. 4 mm om året, mens København kun hæver sig med lidt over 1 mm om året.

Figur 4-2 og Figur 4-3 viser, hvordan den samlede årlige økonomiske risiko for skader fra højvande stiger i perioden fra 2017 til 2117, hvis de antagne forudsætninger om konsekvenserne af klimaændringerne holder stik og man ikke gør noget for at imødegå disse konsekvenser.



Figur 4-2 *Udvikling i økonomisk årlig risiko fra højvande fra Nord. Beløb angiver den økonomiske årlige risiko i mio. kr. pr. år som de statistisk beregnede skadesomkostninger, der statistisk kan forventes det pågældende år. I virkelighedens verden vil der være en stor spredning, hvor enkelte år vil have store skader, mens der også vil være perioder uden skader. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.*





Figur 4-3 *Udvikling i økonomisk årlig risiko fra højvande fra **SYD**. Beløb angiver den økonomiske årlige risiko i mio. kr. pr. år som de statistisk beregnede skadesomkostninger, der statistisk kan forventes det pågældende år. I virkelighedens verden vil der være en stor spredning, hvor enkelte år vil have store skader, mens der også vil være perioder uden skader. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.*

På basis af den beregnede udvikling i skadesomfang kan det akkumulerede skadesomfang for perioden 2017-2117 beregnes til ca. 11,9 mia. kr. i nutidsværdi, fordelt med 9,3 mia. kr. fra højvande fra nord (vind fra nord og nordvest) og 2,6 mia. kr. for højvande fra syd (østenvinde) ved en forventet stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100..

## 4.2 Økonomisk overslag for anlægstiltag

I relation til de tidligere beskrevne anlægsarbejder vil de foreslåede investeringer se ud som vist i Tabel 4-1. Tiltagene til sikring af oversvømmelser er de samlede tiltag uanset, om oversvømmelserne skyldes stormflod fra nord eller syd, idet nogle af foranstaltningerne sikrer mod både højvande fra nord og syd. Dette gælder bl.a. hele Amagers østkyst. Detaljerede beskrivelser af de enkelte anlæg og overslag findes i afsnit 7 til 10.

Strækning	Anlægspris	Tillæg for usikkerhed	Anlægs overslag total	D&V mio. kr./år
Nordhavn	166	25	191	4
Lukning Nordhavn/Refshaleøen:				
<i>Dæmning ud for Trekroner (1,25 km)</i>	400	60	460	9
<i>Geoteknik for dæmning (bundudskiftning)</i>	350	53	403	8
<i>Port eller porte for Industrihavn</i>	1.100	165	1.265	25
<i>Port for lystbåde</i>	350	53	403	8
Refshaleøen - Strandparken	131	20	151	3
Bag Benzinøen	18	3	21	0
Strandparken - Taarnby:				
<i>Dæmning i klitter</i>	44	7	51	1
<i>Porte i nord for indsø</i>	30	5	35	1
<i>Port i syd for indsø</i>	30	5	35	1
<i>Dæmning i forbindelse med nordport</i>	30	5	35	1
Lukning Syd ved Kalvebodbroen:				
<i>Dæmningsanlæg</i>	50	8	58	1
<i>Porte</i>	300	45	345	7
<b>Total</b>	<b>2.999</b>	<b>450</b>	<b>3.449</b>	<b>69</b>

Tabel 4-1: Anlægsinvesteringer (mio. kr.) for en sikring mod en 1000 års stormflod. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Ved stigning på 87 cm skal overslagene reduceres med ca. 2,5 %.

Der er indlagt 15% til meromkostninger (uforudsete og contingencies) til den direkte anlægspris samt at drift- og vedligehold forventes pr. år at udgøre 2% af den totale anlægsværdi. Alle anlæg har en levetid på 100 år, hvorfor der i perioden ikke er behov for reinvesterings.

For at illustrere prisændringerne, hvis man vælger at sikre til et andet sikkerhedsniveau end et 1.000 års højvande, er der i Tabel 4-2 angivet overslag for andre sikringsniveauer på basis af en vurdering af mere/mindre omfang af konstruktionerne i forhold til de prissatte beskyttelses anlæg for et 1000 års højvande. I Tabel 4-3 er det samlede overslag brudt ned i overslag for de enkelte delstrækninger, så man kan se, hvor reduktionen i sikringsniveau har størst betydning for reduktion af prisen på foranstaltninger til at imødegå oversvømmelser fra havet. Del-strækningerne er beskrevet i afsnit 7.

Anlægsinvestering, mio. kr.							
Sikringsniveau, Hyppighed, år	0	100	200	300	500	1000	2000
Diger, porte og dæmninger	0	3.250	3.302	3.337	3.382	3.449	3.568

Tabel 4-2 Totale anlægsoverslag for sikring mod oversvømmelse til forskellige niveauer for acceptabel hyppighed af oversvømmelse. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Højvande fra nord, m. DVR90 (Oceank.)	2,48	2,54	2,58	2,60	2,63	2,70	2,80
Højvande fra syd, m. DVR90 (Avedøre)	2,83	3,30	3,60	3,80	4,00	4,50	5,00
<b>Gentagelseshyppighed (år 2100):</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>400</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>

Total anlægsinvestering i mio. kr.

<b>Nordhavn</b>	156	164	170	173	179	<b>191</b>	208
<b>Lukning Nord:</b>							
1. 1,25 km dæmning ved Trekroner	449	452	454	455	457	<b>460</b>	465
Bundudskiftning for dæmning	393	396	397	398	400	<b>403</b>	407
2. Port eller porte for Industrihavn	1.249	1.253	1.256	1.258	1.260	<b>1.265</b>	1.272
3. Port for lystbåde	397	399	400	400	401	<b>403</b>	405
<b>Refshaleøen - Strandparken</b>	104	116	124	127	133	<b>151</b>	199
<b>Bag Benzinøen</b>	16	17	17	18	18	<b>21</b>	25
<b>Strandparken - Tårnby:</b>							
1. Dæmning i klitter	38,0	41,5	43,7	44,9	46,6	<b>50,6</b>	56,3
2. Port i nord for indsø	33,6	33,8	34,0	34,1	34,2	<b>34,5</b>	34,9
3. Port i syd for indsø	33,6	33,8	34,0	34,1	34,2	<b>34,5</b>	34,9
4. Dæmning i forbindelse med nordport	33,6	33,8	34,0	34,1	34,2	<b>34,5</b>	34,9
<b>Lukning Syd ved Kalvebodbroen:</b>							
1. Dæmningsanlæg	49	52	53	54	55	<b>58</b>	61
2. Porte	297	311	319	325	331	<b>345</b>	365
<b>Sum, mio. kr.</b>	<b>3.250</b>	<b>3.302</b>	<b>3.337</b>	<b>3.356</b>	<b>3.382</b>	<b>3.449</b>	<b>3.568</b>

Tabel 4-3 Anlægsinvestering til diger, porte mv. til beskyttelse af København mod højvande ved valg af forskellige hyppigheder for accepteret oversvømmelse. De enkelte strækninger er beskrevet i afsnit 7. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Bliver stigningen 87 cm skal overslagene reduceres med ca. 2,5 %.

#### 4.2.1 Centrale forudsætninger og antagelser

I det følgende redegøres for en række centrale forudsætninger og antagelser anvendt i den samfundsøkonomiske analyse. Tabellen nedenfor summerer disse.

Parameter	Værdi/forudsætning
Grundlæggende metode	Markedsprismetode baseret på velfærdsøk. principper
Tidshorisont	2117
Diskonteringsfaktor	Aftagende
0-35 år	4%
36-70 år	3%
71- år	2%
Nettoafgiftsfaktor	32,5%
Skatteforvridningsfaktor	20%
Geografisk afgrænsning	Danmark
Prisniveau	2017-priser

#### Diskonteringsfaktoren

For at kunne omregne værdier, som falder over tid, til en årlig værdi benyttes en diskonteringsfaktor.

I samfundsøkonomiske analyser på klimaområdet regnes der ofte på meget lange tidshorisonter på 50 eller 100 år. Ved en diskonteringsfaktor af en vis størrelse vil man risikere, at nutidsværdien bliver meget lille. Det kan betyde, at skadesomkostninger, som optræder i sidste del af århundredet, næsten ikke tæller med i regnestykket. I denne analyse er derfor valgt at følge Finansministeriets anbefalinger om at anvende en aftagende diskonteringsfaktor.

#### Skatteforvridning og nettoafgiftsfaktor

I overensstemmelse med Finansministeriets anbefalinger medregnes et skatteforvridningstab for alle nettoomkostninger. Skatteforvridningstabet er sat til 20% i overensstemmelse med anbefalingen i Finansministeriets vejledning.

Der regnes i markedspriser i analysen. For at udtrykke produktionsgoders marginale værdiproduktivitet i et prisniveau, der afspejler markedspris og dermed betalingsvilligheden for de resulterende produkter, skal produktionsgodernes købspriser forhøjes med en gennemsnitlig nettoafgiftsfaktor. Nettoafgiftsfaktoren udtrykker det afgiftstryk, der i gennemsnit findes på forbrugsvarer. I denne analyse anvendes en nettoafgiftsfaktor på 32,5%, hvilken ligeledes svarer til Finansministeriets anbefalinger.

### 4.3 Økonomiske vurderinger

På baggrund af de økonomiske overslag for anlægstiltagene samt de opstillede forudsætninger er det muligt at opstille en samlet økonomisk vurdering af nettogevinsterne ved tiltag mod oversvømmelse fra stormflod. Alle beløb er angivet

som akkumulerede beløb i nutidsværdi for perioden 2017-2117 under forudsætning af, at tiltagene udføres fra år 1-3.

I det følgende gennemgås først den samlede vurdering af tiltag mod oversvømmelse, hvor skadesomkostningerne fra stormflod fra både nord og syd sammenstilles med de økonomiske overslag for de samlede anlægstiltag.

Da der er store forskelle i skadesomkostningerne forbundet med stormflod fra henholdsvis nord og syd gennemgås de særskilt efterfølgende.

Der er i det følgende set på, at skader højst kan indtræffe hvert andet år. Ved stigende dagligt vandspejl på 80-100 cm vil nogle områder blive ramt af skadevoldende oversvømmet flere gange årligt og enkelte område vil stå konstant under vand. Disse områder bliver reelt ubrugelige til almindeligt byggeri. I de tilfælde antages det, at den skadesramte ejer vil gøre tiltag, som forhindrer disse meget hyppige skader, så der højst forekommer skader hvert andet år. Skadesomkostninger uden denne begrænsning i hyppigheden af skader er beskrevet i afsnit 4.3.3.

### 4.3.1 Samlet vurdering af tiltag mod oversvømmelse

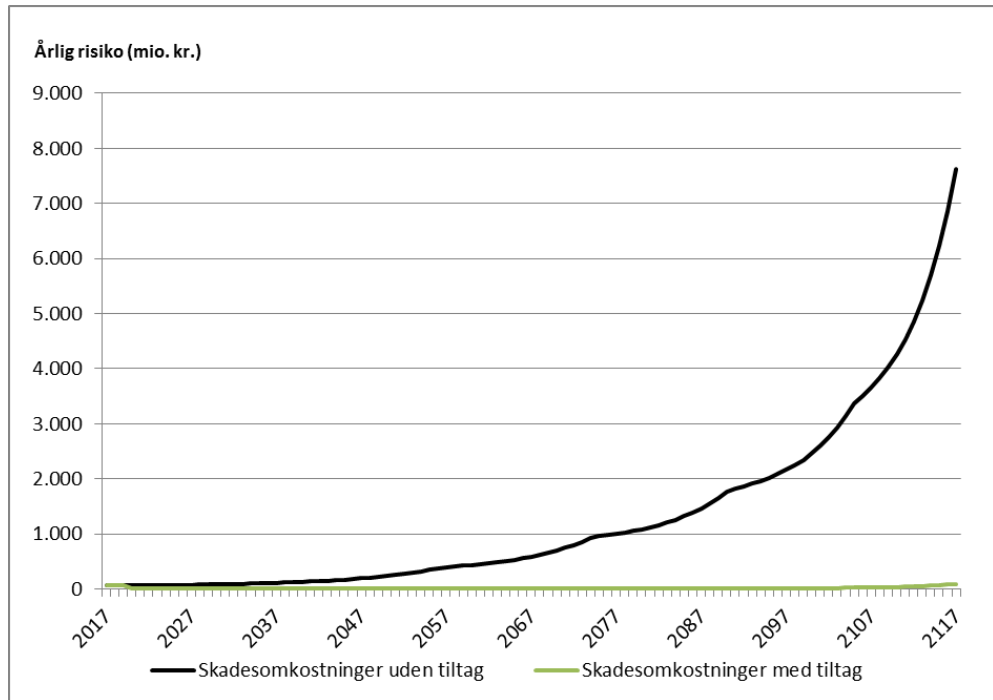
Tiltagene til sikring mod oversvømmelser ved stormflod er set under et for hele kommunen uanset stormflodens retning, mens de samlede skadesomkostninger består af skadesomkostningerne ved stormflod fra både nord og syd.

Den samlede nettonutidsgevinst ved at opføre de beskrevne anlæg i år 1-3 er ca. 4,0 mia. kr., hvorfor det anbefales at opføre anlæggene jf. Tabel 4-4. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Hypighed, år	1000
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	450
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>	
Skadesomkostninger uden tiltag	11.945
Skadesomkostninger med tiltag	304
Reduktion af skader ved tiltag	11.641
Tiltagsomkostninger	7.610
<b>Nettogevinst</b>	<b>4.031</b>
Sum af skader og tiltag	7.914

Tabel 4-4: De samlede resultater ved sikring mod oversvømmelser (tiltaget står klar i 2020). Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

I Figur 4-4 er de samlede årlige forventelige skadesomkostninger (den økonomiske risiko) med og uden tiltag vist for en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Heraf ses, at den årlige økonomiske risiko, målt som forventelige skadesomkostninger, reduceres betydeligt ved sikring mod oversvømmelse.



Figur 4-4: De samlede forventede årlige skadesomkostninger (økonomisk risiko) med og uden tiltag til beskyttelse mod en 1000 års stormflod. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

### 4.3.2 Stormflod fra nord og syd

Da tiltagene til sikringen af stormflod fra nord og syd bør ses som et samlet hele, er det reelt ikke muligt at opgøre den samlede nettonutidsgevinst fra enten stormflod fra nord eller syd. Det er dog muligt at opgøre nettonutidsværdien af skadesomkostninger uden og med tiltag for hver stormflodsretning. Der kan endvidere laves en tilnærmelse for fordelingen af tiltagsomkostningerne, hvor det antages at alle tiltagsomkostninger nord for Refshaleøen er relateret til højvande fra nord mens alt syd for Refshaleøen er relateret til stormfloder fra syd. Reelt vil digerne langs Amagers østkyst være nødvendige at etablere både for højvande fra nord og fra syd.

#### **Stormflod fra nord**

Den samlede nettonutidsværdi af skaderne som følge af stormflod fra nord er ca. 9,3 mia. kr., mens tiltagene til sikring mod oversvømmelser op til et 1000 års højvande kun medfører omkostninger på ca. 6,0 mia. kr., hvilket sammen med skadesreduktionen giver en samlet gevinst på 3,3 mia. kr. jf. Tabel 4-5. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

<b>Hyppighed, 100cm stigning, år</b>	<b>1000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	450
<b>Nettonutidsværdi (mio. kr.)</b>	
Nord: Skadesomkostninger uden tiltag	9.347
Nord: Skadesomkostninger med tiltag	51
Nord: Afværget skade	9.296
Nord: tiltag	6.004
Nord: Gevinst ved tiltag	<b>3.293</b>
<b>Nord: Omkostninger i alt, skade+tiltag, 100 cm</b>	<b>6.055</b>

Tabel 4-5: De samlede resultater ved sikring mod oversvømmelser ved stormflod fra nord. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

### Stormflod fra syd

Den samlede nettonutidsværdi af skaderne som følge af stormflod fra syd er ca. 2,6 mia. kr., mens tiltagene til sikring mod oversvømmelser op til et 1000 års højvande kun medfører omkostninger på ca. 1,6 mia. kr., hvilket sammen med skadesreduktionen giver en samlet gevinst på ca. 0,7 mia. kr. jf. Tabel 4-6. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

<b>Hyppighed, 100cm stigning, år</b>	<b>1000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	450
<b>Nettonutidsværdi (mio. kr.)</b>	
Syd: Skadesomkostninger uden tiltag	2.598
Syd: Skadesomkostninger med tiltag	253
Syd: Afværget skade	2.345
Syd: tiltag	1.606
Syd: Gevinst ved tiltag	<b>739</b>
<b>Syd: Omkostninger i alt, skade+tiltag, 100 cm</b>	<b>1.859</b>

Tabel 4-6: De samlede resultater ved sikring mod oversvømmelser ved stormflod fra syd. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

### 4.3.3 Ingen begrænsning i antal skader

Beregningerne af omfang af skader er som tidligere beskrevet, sket under forudsætning af at der højst kan ske skade hvert andet år, idet det er antaget at hvis der kommer hyppigere skader, vil skadesramte nok selv sørge for en sikring så der højst sker skade hvert andet år.

Køres samme økonomiske model, men uden denne begrænsning i hyppigheden af skader, stiger skadesomkostningerne uden tiltag markant – specielt for stormflod fra nord. Dette skyldes, at der i flere områder i slutningen af perioden,

fra omkring 2070 (stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100), vil begynde at ske oversvømmelse mange gange årligt ligesom enkelte mindre områder vil stå konstant under vand. Dette giver mange skadevoldende hændelser så områderne reelt bliver ubrugelige til traditionelle urbane formål, medmindre man sikrer sig lokalt.

Disse hyppige skader, er i den økonomiske beregning kun medregnet med én skade hvert andet år, selvom skader optræder langt hyppigere. Tælles alle skader med, stiger de samlede skadesomkostningerne fra 11,9 mia. kr. til 410 mia. kr. ved en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Denne øgede skadesomkostning skyldes primært stormfloder fra nord, idet disse ved denne beregningsmetode beløber sig til ca. 407 mia. kr. Den samlede netto-utidsgavn ved sikring mod stormflod fra nord bliver således ca. 400 mia. kr. jf. Tabel 4-7.

Nettonutidsværdi (mio. kr.)	Nord	Syd	Samlet
Skadesomkostninger uden tiltag	407.486	2.598	410.084
Skadesomkostninger med tiltag	51	253	304
Tiltagsomkostninger	6.004-	1.606	7.610
Gavn ved tiltag	401.431	739	402.170

Tabel 4-7: "Ingen begrænsning" i antal skader der medregnes ved de økonomiske beregninger. Samme ejendom kan således i princippet have fuld skade fra oversvømmelse 10 gange om året. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

## 4.4 Økonomisk optimalt sikringsniveau

Ved at se på de samlede omkostninger til sikring mod oversvømmelse og det resterende skadesomfang ved forskellige niveauer af sikring, kan der findes et optimalt sikringsniveau ud fra økonomiske hensyn alene.

Af Tabel 4-8, som angiver seks sikringshøjder (100, 200, 300, 500, 1000 og 2000 års stormflod) ses, at mer-/mindre-højden er beskeden i forhold til højden på de dybe dyre konstruktioner på vand (10-20 meter), mens forskellen er procentvis mere betydende på de billigere og lave konstruktioner på land (1-3 meter).

Udgangspunktet for de økonomiske overslag for tiltag i Tabel 4-8, er den skitse-rede og prissatte løsning for en 1000 års stormflod, som den forventes i år 2100 ved en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. De øvrige overslag er fremkommet som en mængdemæssig vurdering af mere/mindre arbejder i forhold til denne løsning.

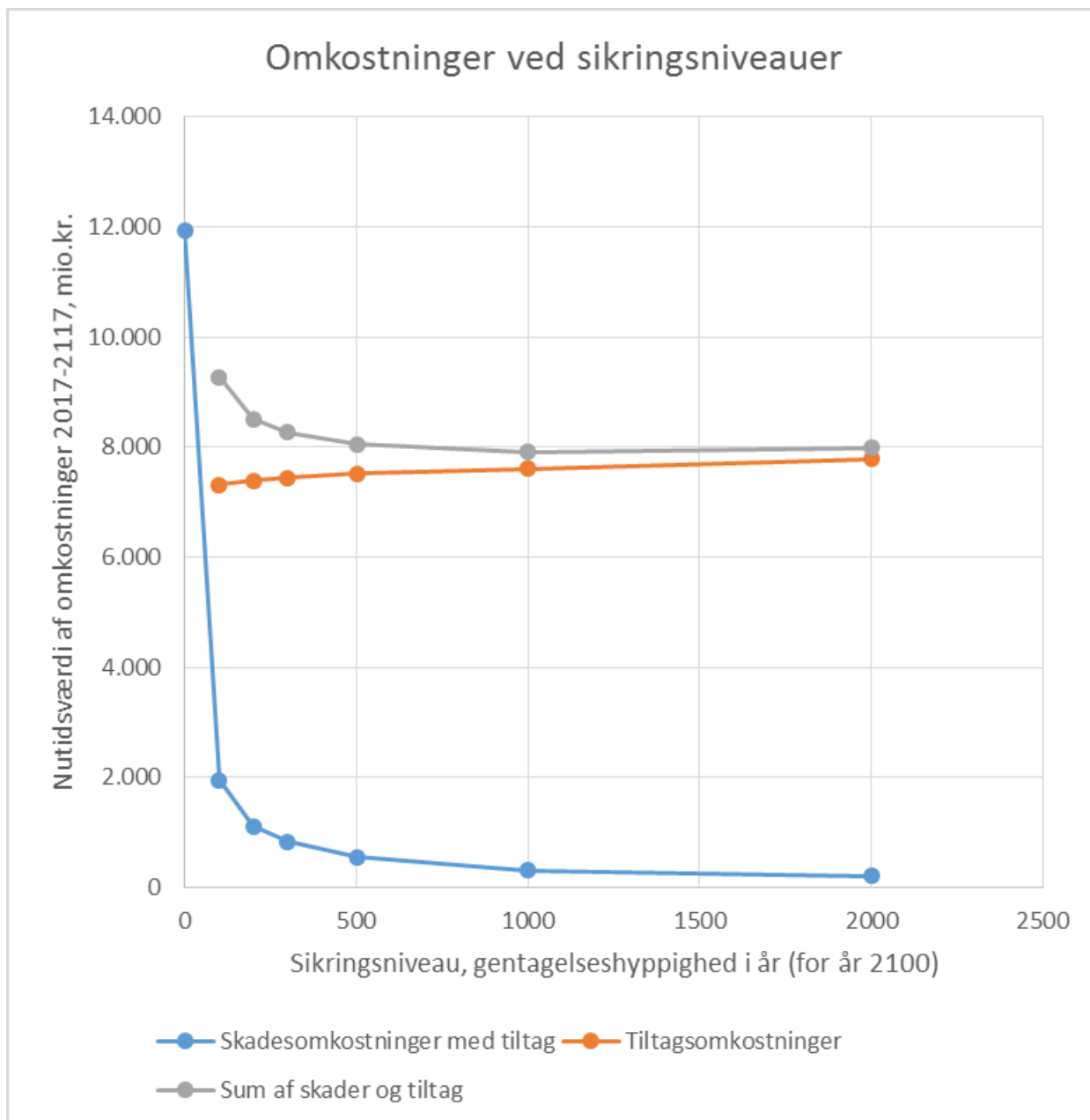


Resultaterne af de enkelte sikringsniveauer fremgår af Tabel 4-8, hvor det er antaget at tiltaget står klar i 2020. Alle beløb er angivet som akkumulerede beløb i nutidsværdi for perioden 2017-2117 under forudsætning af at tiltagene udføres fra år 1-3.

<b>Hypighed, år</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	248	254	258	264	270	280
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	283	330	360	400	450	500
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>						
Skadesomkostninger <b>uden</b> tiltag	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945
Skadesomkostninger <b>med</b> tiltag	1.953	1.108	823	542	304	199
Reduktion af skader ved tiltag	9.992	10.837	11.122	11.403	11.641	11.746
Tiltagsomkostninger	7.317	7.394	7.445	7.512	7.610	7.784
<b>Nettogevinst</b>	<b>2.675</b>	<b>3.443</b>	<b>3.677</b>	<b>3.891</b>	<b>4.031</b>	<b>3.962</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	<b>9.270</b>	<b>8.502</b>	<b>8.268</b>	<b>8.054</b>	<b>7.914</b>	<b>7.983</b>
Anlæg, mio. kr. direkte (ej samfundsøkonomi)	3.250	3.302	3.337	3.382	3.449	3.568

*Tabel 4-8 Økonomiske resultater ved forskellige sikringsniveauer, svarende til en acceptabel gentagelseshyppighed af oversvømmelse i år 2100. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.*

Udvalgte tal fra Tabel 4-8 er vist grafisk i Figur 4-5.



Figur 4-5 Grafer, der afhængigt af sikringsniveau, viser nutidsværdien over perioden 2017-2117 af anlæg og drift af sikringsanlæggene, den resterende økonomiske risiko for skader efter tiltaget samt summen af disse omkostninger. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Som skema og graf antyder, ser det ud til at være økonomisk mest hensigtsmæssigt at udføre sikringen til et så højt sikringsniveau som muligt – næsten. Der er således et svagt optimum ved sikring op til et 1000 års højvande. Det ses at mellem 1000 års sikring og 2000 års sikring stiger de akkumulerede tiltagsomkostninger mere end den opnåede reduktion i økonomisk trussel fra stormflod. Der er forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

De her angivne "sikringskoter" gælder for det rolige vandspejl, mens der ved fastsættelse af højden på digerne skal tillægges bølger. Dette er indeholdt i overslagene for diger, porte og dæmninger.

## 4.5 Hvor og hvornår skal der sættes ind?

### 4.5.1 Hvornår?

I forlængelse af undersøgelsen af muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser er det undersøgt, hvornår det er teoretisk økonomisk mest hensigtsmæssigt at etablere et evt. dæmnings- og port-anlæg, som kan beskytte København mod oversvømmelse fra højvande.

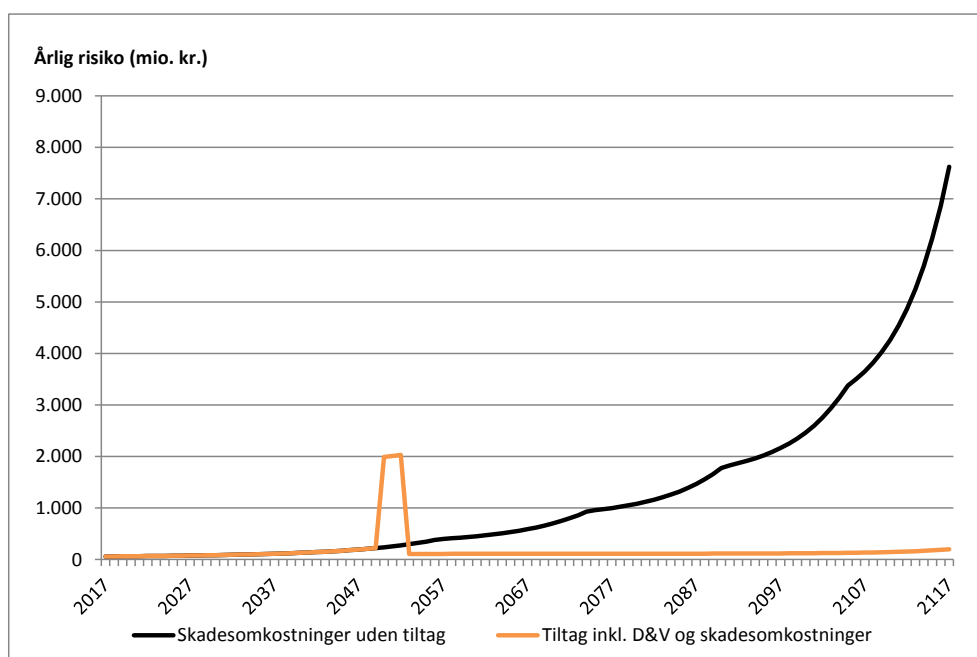
Der er gennemført beregninger af den gevinst, man samlet set opnår i nutids-kroner ved at etablere anlægget på forskellige tidspunkter set over en samlet periode frem til 2117. Beregningerne er gennemført for en samlet sikring til en 1000 års stormflod.

Det er antaget at det vil tage ca. 3 år at bygge anlæggene, så der kan tidligst opnås en gevinst i år 2020. Anlæggene vil medføre løbende drifts- og vedligeholdelsesomkostninger, da anlæggene har en levetid på 100 år, vil det ikke i perioden være nødvendigt at foretage reinvesteringer. Ud over den direkte anlægsperiode skal der for de større anlæg regnes med 5-10 års forberedende aktiviteter som projektudvikling, myndighedsbehandlinger, geotekniske forundersøgelser, ekspropriationer, projektering, udbud mv.

Ud fra økonomiske hensyn alene vil det være mest optimalt at påbegynde anlægsarbejderne senest i 2050, da nettogevinsten ved tiltagene over perioden 2017-2117 er størst hvis anlægget står færdigt i 2054, hvis der antages en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Den samlede nettogevinst vil her blive ca. 7,7 mia.kr mod ca. 4,0 mia. kr., hvis anlægget blev etableret straks. Dette skyldes, at anlægsinvesteringerne samt drifts- og vedligeholdelsesomkostningerne er meget store, mens de fleste meget omfattende oversvømmelser forventes at forekomme hyppigst sidst i perioden.

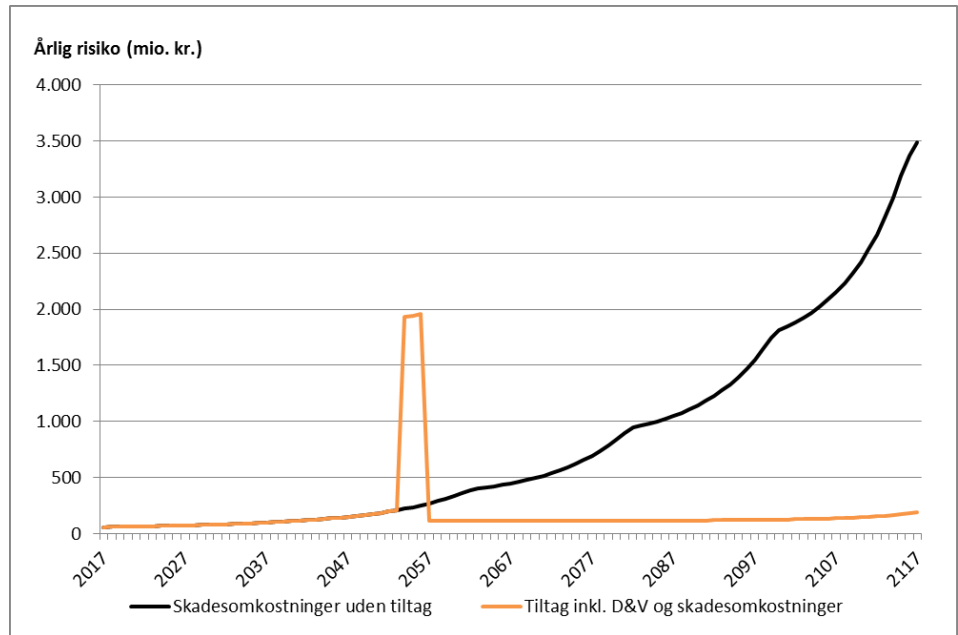
	Nettonutidsværdi (mio. kr.)
Skadesomkostninger uden tiltag	11.945
Skadesomkostninger med tiltag	2.152
Tiltagsomkostninger	2.097
Nettogegevinst	7.696

Tabel 4-9 De samlede resultater ved det økonomisk mest optimale tidspunkt for sikring mod oversvømmelser (tiltaget står klar i 2054). Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

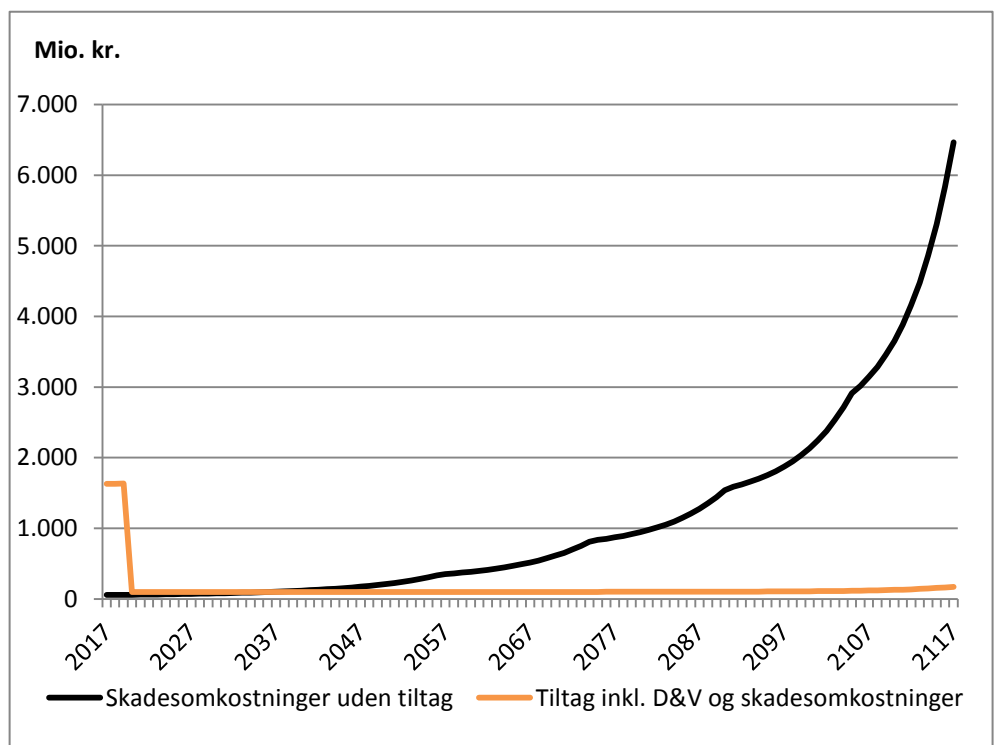


Figur 4-6 Skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med anlægsinvesteringen inkl. D&V og skadesomkostninger efter tiltag, hvis anlægget står klar i 2054 og havet stiger 100 cm 1990-2100. Stiger havet 87 cm er det optimale tidspunkt for færdiggørelse 2057 – se Figur 4-7.

Der er dog allerede en positiv nettogegevinst at hente ved at påbegynde anlægsarbejdet i 2017 med endelig færdiggørelse af anlæg i 2020. Se Figur 4-8. Dette skyldes, at man allerede i år 2020 opnår en positiv nettogegevinst ved sikringen. Nettogegevinsten ved et færdigt tiltag i 2020 er 4,0 mia. kr. under forudsætning af at havet stiger 100 cm 1990 -2100. En tilsvarende graf er vist i Figur 4-7 for en stigning i havvandsstand på 87 cm. Her er det optimalt at anlægget står færdigt i 2057.



Figur 4-7 Skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med anlægsinvesteringen inkl. D&V og skadesomkostninger efter tiltag, hvis anlægget står klar i 2057 og havet stiger 87 cm 1990-2100.



Figur 4-8: Skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med anlægsinvesteringen inkl. D&V og skadesomkostninger efter tiltag, hvis anlægget står klar i 2020 og havet stiger 100 cm 1990-2100.

#### 4.5.2 Hvor skal sættes ind?

Den akkumulerede økonomiske trussel fra højvande fra nord udgør ca. 9,3 mia. kr. i nutidsværdi for perioden frem til 2117, mens den akkumulerede økonomiske trussel fra højvande fra syd udgør ca. 2,6 mia. kr. i nutidsværdi for samme periode (Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100). Nutidsværdien af nødvendige indgreb i nord er væsentlig højere end indgrebene i syd med porte/lukninger ved Kalvebodbroen. Man skal dog være opmærksom på, at truslen fra højvande skal ses samlet, da både højvande fra syd og nord giver en meget kraftig påvirkning af kysterne på hele Amagers østkyst. Nogle højvande fra syd giver i sjældne tilfælde også påvirkning helt op til Nordhavn og Svane-møllebugten.

<b>Hypighed, 100cm stigning, år</b>	<b>1000</b>	<b>1000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	-	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	450	-
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>	<b>SYD</b>	<b>NORD</b>
Skadesomkostninger uden tiltag	2.598	9.347
Skadesomkostninger med tiltag	253	51
Afværget skade	2.345	9.296
Tiltag	1.606	6.004
Gevinst ved tiltag	<b>739</b>	<b>3.293</b>
Omkostninger i alt, skade+tiltag, 100 cm	1.859	6.055

Tabel 4-10 Samfundsøkonomi ved indsats mod oversvømmelse fra nord eller syd. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Den store akkumulerede økonomiske trussel fra nord skyldes, at der i den sidste del af perioden vil ske en overskridelse af et kritisk niveau i forhold til højden af kajkanter og lignende. Til gengæld er der i den første del af perioden kun en begrænset risiko fra nord. I beregningerne for skadesomfang er der lagt låg på, så selvom der statistisk set vil ske oversvømmelse 10 gange om året, accepteres der beregningsteknisk kun en oversvømmelse hver andet år. Fjernes denne begrænsning vil de akkumulerede skader fra nord ikke blive ca. 9,3 mia. kr. men hele 407 mia. kr. (se Tabel 4-7).

En umiddelbar anbefaling er derfor at etablere de billige landbaserede diger og mure de steder, hvor vandet først vil oversvømme land (fra lavpunkterne mod havet) samt etablere porte/dæmning ved Kalvebodbroen så hurtigt som muligt. Dette bør ske i en koordineret indsats med nabokommunerne, så der ikke sker oversvømmelse af København via disse kommuner (se afsnit 11). De laveste punkter mod havet er vist med rødt, orange og gul på Figur 2-8. Disse anlæg vil begrænse risikoen for stormflodsskader væsentligt. En anlægsinvestering på ca. 900 mio. kr., vil kunne reducere de akkumulerede skader fra ca. 2,6 mia. kr. til ca. 0,3 mia.kr. ved en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger vandstanden 87 cm vil skaderne reduceres fra 2,3 mia. kr. til 0,3 mia. kr. Se Tabel 5-2 og Figur 5-5. Det planlagte "Ullerupdige" i Tårnby Kommune vil reducere truslen fra syd, specielt for Ørestaden, men der vil fortsat være en væsentlig trussel fra højvande, der trænger ind gennem Kalveboderne.

Lukningen mod nord koster meget mere og kræver en hel del mere forberedelse. Samtidig er truslen fra højvande fra nord meget begrænset i de første mange år og vil økonomisk set ikke kunne begrunde en her-og-nu investering af den størrelsesorden. Omvendt ser det ud omkring år 2070, hvor den generelle vandstand er steget over et kritisk niveau, så oversvømmelser fra nord vil blive meget omfattende og meget hyppige – specielt i de lavt liggende områder, forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. På det tidspunkt er det nødvendigt at have en lukning af havneindløbet fra nord, hvis funktionen af disse dele af byen skal opretholdes. Denne lukning bør inden 2100 gøres permanent med sluser, da behovet for åbninger og lukninger vil blive meget hyppige og genere skibsfarten, ligesom den generelle stigning i havvandsstanden vil kunne give grundvandsproblemer i de havnenære områder. Stiger havvandet 87 cm vil ovenstående situation optræde ca. 15 år senere.

## 4.6 Hvem rammes økonomisk af oversvømmelse

Der er for udvalgte højvande regnet nøjagtigt på, hvilke ejendomme, infrastrukturer mv. der rammes af oversvømmelse og de dermed forbundne direkte og indirekte skades- og geneomkostninger.

Der er ikke regnet nøjagtigt på, hvordan de akkumulerede skader over perioden vil fordele sig på kategorier af skader og gener. Antages, at de undersøgte udvalgte højvandssituationer er repræsentative med de sandsynligheder, der er knyttet til dem over tid, kan der beregnes en skønnet fordeling af de akkumulerede skader, fordelt på de enkelte kategorier. Resultatet af denne skønsmæssige beregning kan ses i Tabel 4-11. Derved kan ses hvilke kategorier, der over tid er de mest økonomisk truede, og som dermed statistisk set vil få størst økonomisk gevinst ved en sikring mod højvande fra nord eller syd.

Fordeling af stormflodsbetingede skader i perioden 2017-2117 regnet som samfundsøkonomisk nutidsværdi. Mio.kr.	nord skønnet fordeling	syd skønnet fordeling	sum skønnet fordeling
Trafikforstyrrelser alle hovedveje	985	145	1.105
Vejbrud	0	0	0
Stueetage - privat	3.795	766	4.505
Kælder - privat	2.751	497	3.195
Transformerstationer	0	0	0
Elsvigt private (>5 t)	13	2	14
Elsvigt erhverv (>5 t)	24	3	27
Erhverv - skader, produktionstab og løsøre	1.706	251	1.913
Skader på kloakker	43	4	46
Anlæg+driftstab, Kastrup Lufthavn	0	39	47
Anlæg+driftstab, Øresundsbro (tunnel)	0	31	38
Anlæg+driftstab, jernbane	7	164	202
Anlæg+driftstab, Metro	5	127	156
Forsinkelser, Kastrup Lufthavn	0	32	38
Forsinkelser, Øresundsbro	0	20	24
Forsinkelser, jernbane	8	198	245
Forsinkelser, Metro	10	319	391
<b>Total</b>	<b>9.347</b>	<b>2.598</b>	<b>11.945</b>

Tabel 4-11 *Fordeling af se samlede forvende stormflodsbetingede skader i perioden 2017-2117, fordelt på højvande fra nord og syd for de enkelte kategorier af skader og gener. Beløb i mio. kr. Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger vandstanden 87 cm skal værdierne gennemsnitligt reduceres med 10 % for højvande fra syd og 35 % for højvande fra nord.*

Fordelingen i Tabel 4-11 gælder de akkumulerede skader, store som små. Ses på enkelthændelser, og specielt de meget kraftige og sjældne stormfloder, vil de resulterende skadesomkostninger ved transport og forsyning blive langt de største, da der her forventes en meget lang "down-periode" og reparationsperiode efter en kraftig oversvømmelse. Dette bevirker, ud over tab for selve forsyningsvirksomheden, store tab for samfundet, der i down-perioden må anvende alternative løsninger.



## 5 Størrelse af havvandsstigning

Der har hidtil i Københavns Kommunes klimatilpasningsplan været arbejdet med en generel forventet stigning i havvandsstanden på 100 cm i perioden 1990-2100, målt i forhold til det faste reference system DVR90, samt en middel højvandsstatistik, baseret på historiske data og ingen ændring frem til 2100.

Der findes mange andre valg af klimaforudsætninger og sikkerhedsniveauer. Metroselskabet har således valgt at anvende en sandsynlighedsfordeling for havvandsstigningen, udarbejdet af Centre for Regional Change in the Earth System (CRES), samt en historisk højvandsstatistik, hvor der ikke anvendes middel, men også en sandsynlighedsfordeling. Sammenvægtet anvendes ved dimensionering det øvre 68% konfidensinterval, svarende til at der er 84 % sandsynlighed for at den faktiske værdi ligger lavere end det valgte dimensionsgivende niveau.

Mere simpelt, i forhold til anvendelse af sandsynlighedskurver, kan man antage at stigningen i havniveau bliver som meridianværdien af den af CRES udarbejdede sandsynlighedskurve, nemlig ca. 70 cm over en 100 års periode målt fra år 2000 med reference til et fast terrænpunkt i land. Dette referencepunkt løfter sig over tid i takt med landhævningen. På den måde anvender man en antagelse om, at der er lige stor sandsynlighed for at man har gættet for højt som for lavt.

I det følgende er beskrevet, hvad det betyder, hvis man bruger middelværdien beregnet af CRES, i stedet for 1 meter, som anvendt i Københavns Kommunes klimatilpasningsplan.

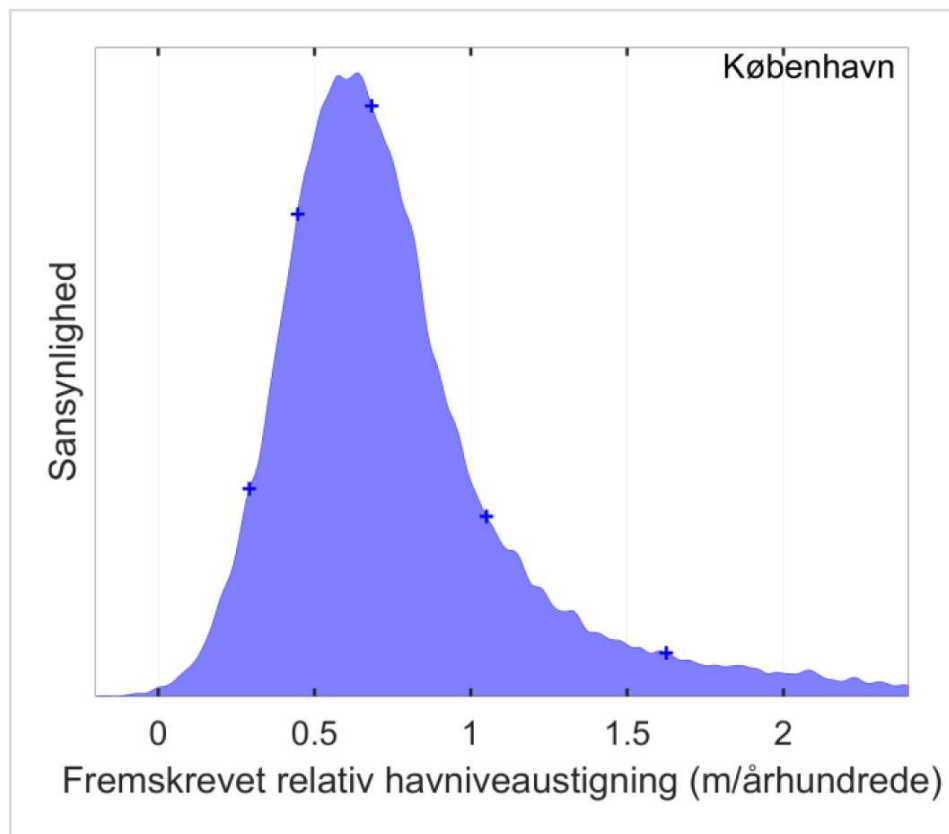
### 5.1 Sammenligning af CRES og klimatilpasningsplanen

Der er stor forskel på opgørelsen af de to værdier for stigning i havvandsspejl.

Der således forskel i tidsperioden for stigningen og der er forskel på om landhævningen er med eller ej.

"100 cm", som i klimatilpasningsplanen, dækker en 110 års periode fra 1990 til 2100 og er regnet i et fast højde-referencesystem (DVR90).

"70 cm" fra CRES dækker en 100 års periode fra 2000 til 2100 og er angivet i forhold til terrænniveauet på land, der hæver sig med ca. 1,3 mm om året. Se Figur 5-1.



Figur 5.10: Figuren illustrerer den sandsynlige havniveaustigning for København. Det fremgår, at sandsynligheden vurderes størst omkring de 0,7 m, men værdier på 2 m eller højere kan ikke udelukkes, ligesom mindre stigninger heller ikke kan udelukkes. Denne figur er baseret på RCP'erne (se Boks 3) kombineret med usikkerheden i forholdene omkring de store iskapper<sup>22</sup>. Kilde: CRES.

Figur 5-1 *Kopi af figur 5.10 fra "Analyse af IPCC delrapport 2 – Effekter, klimatilpasning og sårbarhed" udgivet af Naturstyrelsen 2014. Sandsynlighedsfordeling for den forventelige relative stigning i havniveauet fra år 2000 og 100 år frem ved København, når der er taget hensyn til at landet hæver sig og derved kompenserer for noget af stigningen i havniveauet. Ref. CRES.*

De to højvandsantagelser skal således først bringes til at referere til samme højdesystem og samme tidsperiode for at kunne sammenlignes.

I det følgende bringes de to opgørelser til at referere til højde-referencesystemet DVR90 og til perioden 1990 til 2100.

#### Landhævning

De "70 cm", som CRES angiver, er "relative havvandsstigning" for perioden 2000-2100 i København. Stigningen er således fratrukket landhævningen på ca. 13 cm i København i denne 100 års periode. Den faktiske vurderede stigning i havvandstanden er således  $70 + 13 = 83$  cm fra 2000-2100, hvis der regnes i faste koter (DVR90).

#### Stigning før år 2000

Endvidere er der i perioden 1990 til 2000 sket en stigning i den generelle havvandsstand i Østersøen på ca. 4 mm pr. år, hvilket giver 4 cm for perioden 1990 til 2000. (Ref. NOAA-NESDIS-STAR).

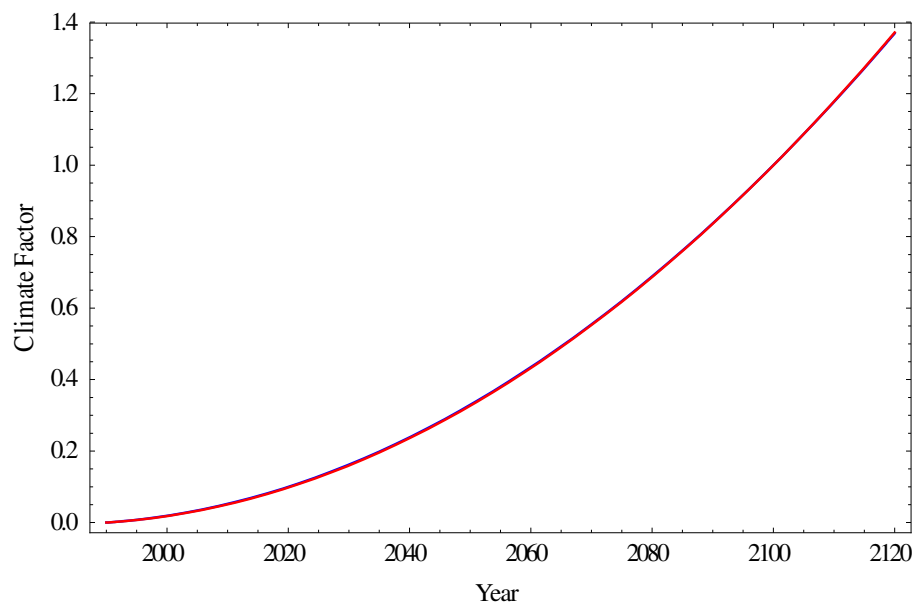
**Stigning 1990-2100**

Den samlede stigning på "70 cm" bliver således  $70 + 13 + 4 = 87$  cm, hvis der regnes i DVR90 og stigning i perioden 1990-2100, som der gøres i klimatilpasningen for København. Forskellen mellem CRES og klimatilpasningsplanen er derfor reelt 13 cm i år 2100.

Til sammenligning kan nævnes, at de nyeste vurderinger baseret på opdatering af IPCCs beregninger viser, at der for Nordamerika nu vurderes en havvandsstigning, der er 12-16 cm højere end den der blev forventet i IPCCs seneste rapport fra 2013 (Ref. NOAA Technical Report NOS 083, "Global And Regional Sea Level Rise Scenarios For The United States", U.S. Department Of Commerce, National Ocean Services)

**Stigende havvand**

Udviklingen i stigningen i havvandsstand over tid er i det følgende antaget ens i de to tilfælde, nemlig en parabolisk fremskrivning af udviklingen i havvandsstand. Der anvendes her en hav-klimafaktor, som ganges på den forventede samlede stigning i havvandsstand i år 2100 (hav-klimafaktoren for 1990 er lig 0,0 og havklimafaktoren for år 2100 er 1,0, mens hav-klimafaktoren for 2050 er ca. 0,3). Se Figur 5-2.



*Figur 5-2 Parabolisk fremskrivning af klimaændringernes indflydelse på stigningen i havvandsstand (år 1990 har hav-klimafaktor 0,0 og år 2100 har havklimafaktor 1.0).*

## 5.2 Højvandsstatistik, CERS kontra klimatilpasningsplanen

På basis af ovenstående, er der opstillet en ny højvandsstatistik baseret på "70 cm", som angives i CERS ´s rapport, med udgangspunkt i det angivne middeltal for den forventelige havvandsstigning. Der er ikke anvendt en sandsynlighedsfordeling som vist på Figur 5-1, men alene det angivne middeltal på ca. 70 cm,

der svarer til 87 cm, hvis der anvendes samme reference som i klimatilpasningsplanen.

Reelt betyder det at den i klimatilpasningsplanen anvendte højvandsstatistik for 100 cm stigning, skal reduceres med 1 cm i år 2015, 4 cm i år 2050 og 13 cm i år 2100. Altså en meget beskedne forskel de første mange år.

I Tabel 5-1 er de forventelige middelvandstande i udvalgte år vist, afhængigt af om der vælges en "100cm" stigning som i klimaplanen, eller "70cm" på 100 år som vurderet af CRES. Det ses at der reelt er tale om en havvandsstigning på 100 cm og på 87 cm, hvis der anvendes samme reference niveau og samme tidsperiode (her er anvendt niveau og tidsperiode som i klimaplanen). Endvidere er angivet vandstanden for et 1000 års højvande i 2100, som er det højvande, der hidtil har været det anbefalede sikringsniveau.

Reference	1990 DVR90	2000 DVR90	2015 DVR90	2050 DVR90	2100 DVR90	1000 års højvande Avedøre	1000 års højvande. Oceankaj
	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm
"100cm"	0	4	13	41	100	450	270
CRES	0	4	12	37	87	437	257

*Tabel 5-1 Middelvandstand i cm i det faste kote-system DVR90 for forskellige årstal, afhængigt af valg af forudsætning om stigning i havvandsstand. Endvidere er under samme antagelser angivet designvandstande for en 1000 års hændelse i år 2100.*

### 5.3 Økonomiske resultater, CERS kontra klimatilpasningsplanen

De samfundsøkonomiske beregninger påvirkes, dels på grund af at de forventede lavere vandstande giver færre skader, og dels på grund af at diger, dæmnin-ger og porte mv. skal være lidt lavere, hvis vandet stiger mindre.

Der er kørt ekstra beregninger, hvor disse forhold er indregnet og i Tabel 5-2 er resultaterne af disse beregninger for et 1000 års sikringsniveau vist. De samfundsøkonomiske beregninger er baseret på Finansministeriets retningslinjer med aftagende rente over perioden og en nettoafgiftsfaktor på 32,5%. Endvidere er i Tabel 5-3 vist de økonomiske konsekvenser af forskellige sikringsniveauer. Af disse tabeller ses at det optimale sikringsniveau er et 1000 års højvande, uanset om man antager at vandstanden stiger 87 cm eller 100 cm i perioden 1990-2100.

Konsekvenser ved forskellig antagelse om stigningen i havniveau	"70cm" CRES 87cm DVR90 1990-2100	"100cm" Klimatilpasn.plan 100cm DVR90 1990-2100
Hyppeghed for sikringsniveau, år	1000	1000
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	257	270
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	437	450
<b>Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:</b>		
Skadesomkostninger <i>uden</i> tiltag, nord	5.864	9.347
Skadesomkostninger <i>uden</i> tiltag, syd	2.346	2.598
Skadesomkostninger <i>uden</i> tiltag, <b>I alt</b>	<b>8.209</b>	<b>11.945</b>
Skadesomkostninger <i>med</i> tiltag, nord	49	51
Skadesomkostninger <i>med</i> tiltag, syd	276	253
Skadesomkostninger <i>med</i> tiltag, <b>I alt</b>	<b>325</b>	<b>304</b>
Gevinst (reduktion af skader), I alt	7.885	11.641
Tiltagsomkostninger	7.483	7.610
<b>Nettogevinst</b>	<b>402</b>	<b>4.031</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	7.808	7.914

Tabel 5-2 Samfundsøkonomiske konsekvenser ved forskellig antagelse om stigning i havvandsstand, ved samme sikringsniveau målt som acceptabel hyppighed af oversvømmelse (en 1000 års hændelse i år 2100)

Mindre havstigning  
-> færre skader

Det ses, som forventet, at skadesomfanget bliver mindre, hvis havet stiger mindre, og dermed er der heller ikke så store skadesomkostninger, man kan reducere ved at bygge diger, dæmninger og porte mv.

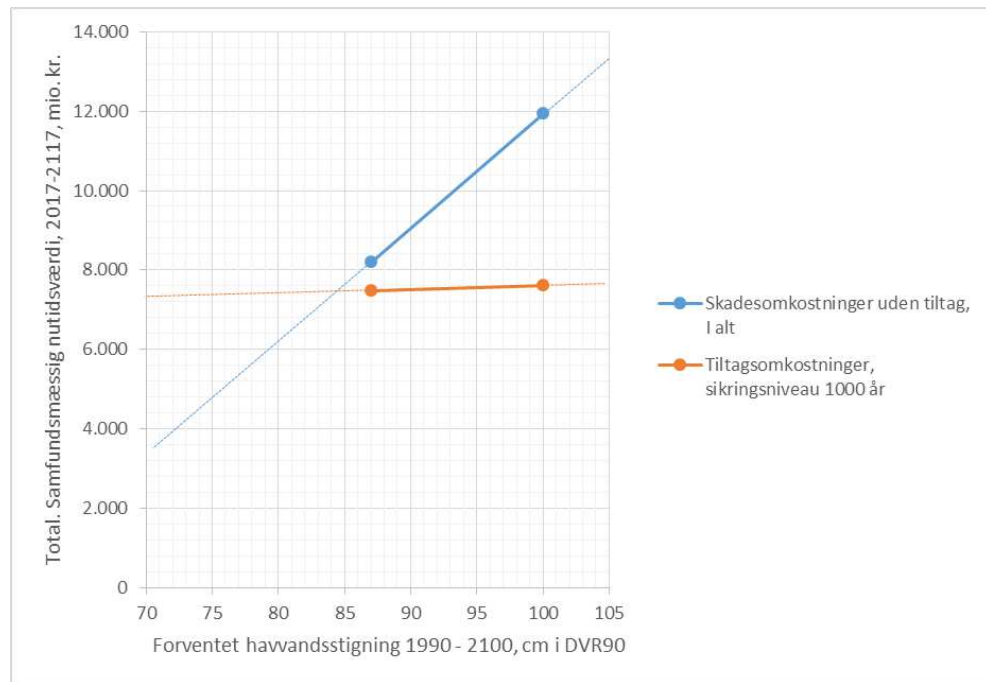
Samme pris for tiltag

Omkostningerne til at bygge disse diger og dæmninger er stort set den samme, om vandet stiger 13 cm mere eller mindre. På de lave billige diger/mure langs kysten, er der dog en pæn besparelse, men på de meget dyre konstruktioner på dybere vand, hvor den samlede konstruktionshøjde fra bundsikring til dæmningskrone er op mod 20 meter, har en ændring på 13 cm næsten ingen betydning for den samlede pris. Ved digerne på land er der dog ikke medregnet omkostninger til arealerhvervelse.

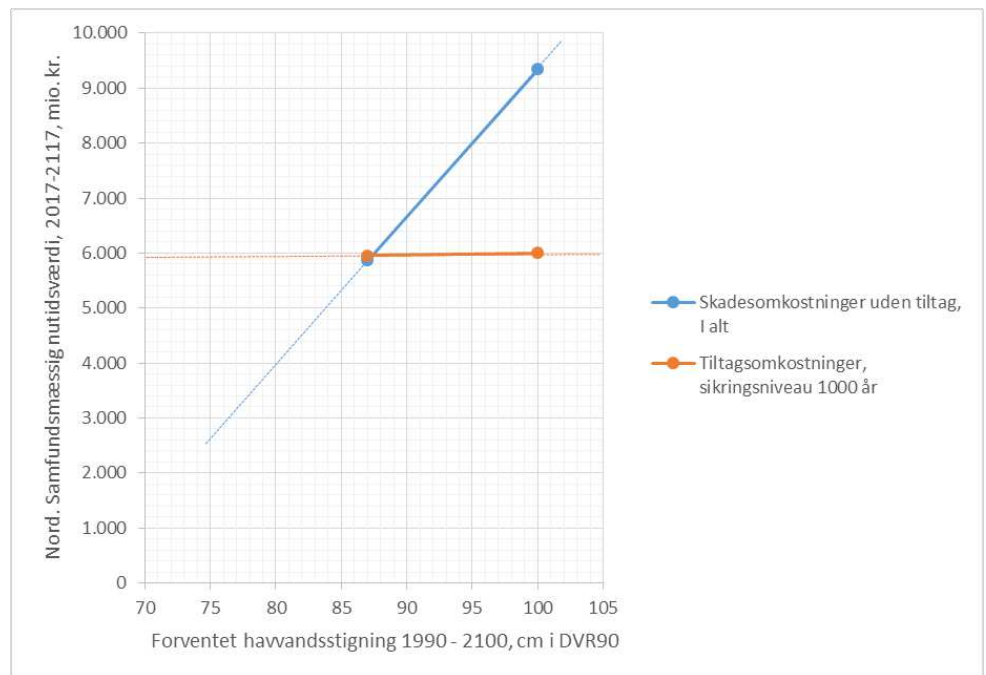
Så firkantet udtrykt, vil det koste stort set det samme at sikre sig, næsten uafhængigt af antagelserne om generel havvandsstigning, mens den reduktion i skadesomfang, der skal retfærdiggøre denne investering, bliver meget mindre, jo mindre vandstanden i havet stiger, eller antages at stige.

På figurerne Figur 5-3 til Figur 5-5, er dette forhold illustreret grafisk. Her vises, for forskellige antagelser om den generelle havvandsstigning, de samfundsøkonomiske konsekvenser af ikke at gøre noget, sammenholdt med de samfundsøkonomiske omkostninger til at sikre sig op til et 1000 års højvande. Af graferne ses, at der for sikring mod nord vil være balance mellem forventede skader, og de omkostninger der går til at undgå disse skader, hvis vandstanden stiger ca. 84 cm. Stiger vandet mindre vil omkostningerne til sikringsanlæg være større

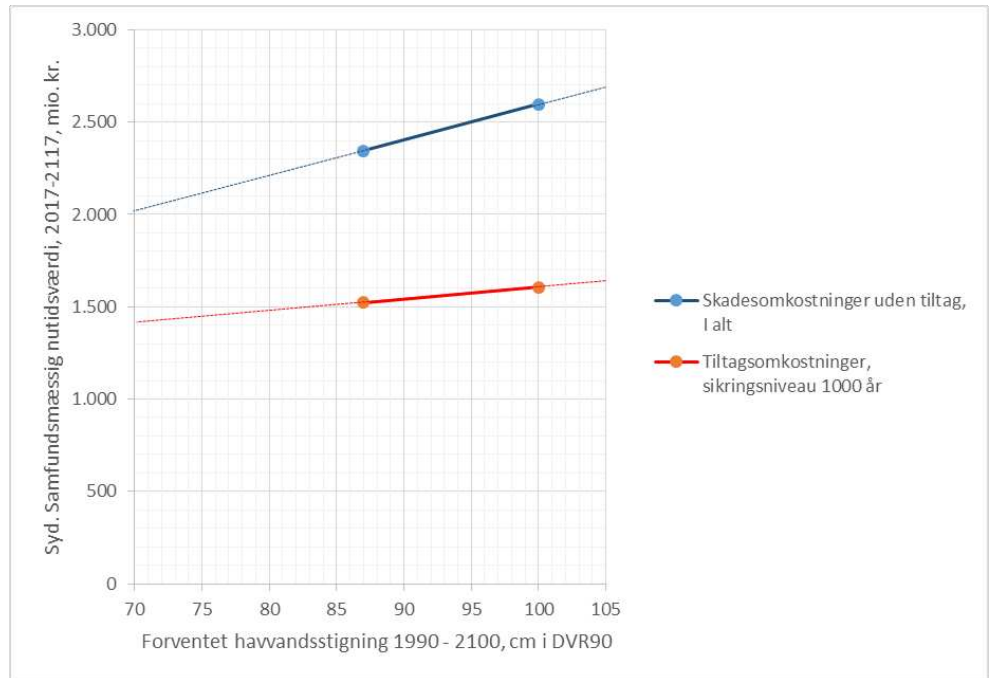
end de undgåede skadesomkostninger. For syd er omkostningerne til tiltag meget mindre end de forventede skader – også selv om der stort set ikke sker nogen stigning i havvandsstanden.



Figur 5-3 **Totale** samfundsmæssig nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre sig til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand.



Figur 5-4 **Alene** omkostninger relateret til højvande fra **nord**. Samfundsmæssig nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre sig til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand.



Figur 5-5 Alene omkostninger relateret til højvande fra syd. Samfundsøkonomisk nutidsværdi af forventede skadesomkostninger uden tiltag sammenholdt med omkostningerne ved at sikre sig til et 1000 års højvande, under forskellige antagelser om stigningen i havvandsstand.

I Tabel 5-3 er vist de økonomiske konsekvenser ved forskellige valg af acceptabel hyppighed af oversvømmelse (sikringsniveau). Af tabellen ses at det optimale sikringsniveau ligger omkring et 1000 års højvande, uanset om man antager at vandstanden i havet stiger 87 cm eller 100 cm i perioden 1990-2100. Endvidere ses at omkostningerne til anlæg af sikringsanlæg er stort set ens uanset sikringsniveau og de to antagelser om stigning i havvandsstand.

<b>Hypighed, 100cm stigning 1990-2100, år</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	248	254	258	264	270	280
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	283	330	360	400	450	500

**Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:**

Skadesomkostninger <b>uden</b> tiltag	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945	11.945
Skadesomkostninger <b>med</b> tiltag	1.953	1.108	823	542	304	199
Gevinst (skadesreduktion)	9.992	10.837	11.122	11.403	11.641	11.746
Tiltagsomkostninger	7.317	7.394	7.445	7.512	7.610	7.784
<b>Nettogevinst</b>	<b>2.675</b>	<b>3.443</b>	<b>3.677</b>	<b>3.891</b>	<b>4.031</b>	<b>3.962</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	<b>9.270</b>	<b>8.502</b>	<b>8.268</b>	<b>8.054</b>	<b>7.914</b>	<b>7.983</b>
Anlæg, mio. kr. direkte (ej samfundsøkonomi)	3.250	3.302	3.337	3.382	3.449	3.568

<b>Hypighed, 87 cm stigning 1990-100, år</b>	<b>100</b>	<b>200</b>	<b>300</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>
Sikringskote nord, Oceankaj, DVR90, cm	235	241	245	251	257	267
Sikringskote syd, Avedøre, DVR90, cm	270	317	347	387	437	487

**Nutidsværdi i mio. kr. 2017-2117:**

Skadesomkostninger <b>uden</b> tiltag	8.209	8.209	8.209	8.209	8.209	8.209
Skadesomkostninger <b>med</b> tiltag	1.936	1.167	825	506	325	184
Gevinst (skadesreduktion)	6.273	7.043	7.385	7.703	7.885	8.026
Tiltagsomkostninger	7.213	7.285	7.332	7.394	7.483	7.639
<b>Nettogevinst</b>	<b>-941</b>	<b>-242</b>	<b>53</b>	<b>309</b>	<b>402</b>	<b>386</b>
<b>Sum af skader og tiltag</b>	<b>9.150</b>	<b>8.451</b>	<b>8.156</b>	<b>7.900</b>	<b>7.808</b>	<b>7.823</b>
Anlæg, mio. kr. direkte (ej samfundsøkonomi)	3.179	3.227	3.259	3.302	3.363	3.469

Tabel 5-3 Økonomiske resultater for seks forskellige acceptable hyppigheder af oversvømmelse, ved antagelse af en stigning i havvandsstanden på 87 eller 100 cm (DVR90) i perioden 1990-2100.



## 6 Særligt følsomme anlæg

Københavns Kommune har udpeget 65 særligt følsomme anlæg med stor betydning for opretholdelse og bevarelse af samfunksfunktioner, sikkerhed, historiske værdier mv.

Disse følsomme anlæg mv. er vist på Figur 6-1 og Figur 6-2.

I tabellerne Tabel 6-1 og Tabel 6-2, er der for hver enkelt lokalitet angivet en kritisk kote samt en angivelse af, hvor hyppigt lokaliteten statistisk set vil blive oversvømmet i dag, i år 2050 og i år 2100, hvis der ikke gennemføres beskyttelse mod højvande. Der er i tabellen forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Endvidere er det beregnet, hvor stor sandsynligheden er, for at det pågældende anlæg bliver oversvømmet én gang inden år 2032 (15 år), inden år 2050 (23 år) og inden 2100 (83 år). Med farvekode er det vist, om det er oversvømmelse fra syd eller nord, der er kritisk for den pågældende lokalitet. Blå farve indikerer oversvømmelse fra syd, mens rød indikerer oversvømmelse fra nord.

De kritiske koter for de enkelte lokaliteter er ikke blevet oplyst, hvorfor de er blevet bestemt af COWI ved hjælp af den digitale højdemodel, det digitale bygningstema og højvandssimuleringer med SCALGOlive. Den kritiske kote i DVR90 er bestemt som koten det sted, hvor et højvande først rammer en bygning.



Figur 6-1 Særligt følsomme anlæg oplyst og placeret af Københavns Kommune. Zoom af anlæg i den indre by findes på Figur 6-2. Numrene på tegningen refererer til lokaliteterne i tabellerne Tabel 6-1 og Tabel 6-2. Bogstaverne a-k angiver placeringen af referencepunktet for de kritiske højbvande der er angivet i tabellerne for de enkelte særligt følsomme anlæg.



Figur 6-2 Særligt følsomme anlæg i indre by oplyst og placeret af Københavns Kommune. Anlæg i yderzonen findes på Figur 6-1. Numrene på tegningen refererer til lokaliteterne i tabellerne Tabel 6-1 og Tabel 6-2.

Tabel 6-1 Særligt følsomme anlæg ifølge Københavns Kommune, del 1. Beregnede gentagelsesperioder for oversvømmelse ved lokaliteten samt sandsynligheden for at lokaliteten oversvømmes indenfor en given periode. Blå skyldes højvande fra syd og rød højvande fra nord. Kritisk kote DVR90, er angivet som terræn og kritisk højvandskote i parentes, hvor bogstavet angiver det sted højvandet refererer til (se Figur 6-1). Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

No.	Sted	Kritisk kote for oversvømmelse [m]	Gentagelsesperiode [antal år per hændelse]			Sandsynlighed for overskridelse af kritisk kote inden et givent år [%]		
			År 2015	År 2050	År 2100	År 2032	År 2050	År 2100
001	Amager fælled skakt	1,85 (3,2 k)	700	480	2,0	3%	6%	23%
002	Amager hospital	3,15 (3,4 f)	>10.000	>6.000	>2.000	Ikke sandsynligt		
003	Amager Strand Metro St.	1,75 (1,8 f)	950	450	2	2%	5%	24%
004	Amager Værket	2,50 (2,5 b)	8.050	1.500	1.300	0%	1%	4%
005	Amagerbro Metro St.	1,95 (2,3 c)	750	520	22	3%	5%	21%
006	Amagerbro St. Trappe	1,95 (2,3 c)	750	520	22	3%	5%	21%
007	Amalienborg	2,15 (2,2 b)	3.800	2.300	4,0	1%	1%	5%
008	Avedøreværket	2,20 (2,2 j)	150	85	3,8	14%	26%	76%
009	Bella Center St.	1,35 (3,1 k)	600	400	180	3%	7%	22%
010	Beredskab	2,75 (2,9 d)	3.000	2.000	700	1%	1%	5%
011	BIOFOS	2,25 (2,3 j)	180	110	8,0	11%	22%	67%
012	Bispebjerg Hospital	+15m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
013	Christians Havns Skakt	1,85 (1,9 c)	1.500	1.000	1,5	1%	3%	12%
014	Christiansborg	4,10 (4,2 d)	-	-	-	Ikke sandsynligt		
015	Christianshavns station	2,25 (2,3 c)	3.100	2.000	48	1%	1%	6%
016	Damhus Rens	1,90 (1,9 i)	50	18	0,5	41%	65%	100%
017	DR Byen Metro St.	2,25 (3,3 k)	180	110	7,0	11%	22%	67%
018	Faste batteri skakt	1,90 (2,4 e)	750	550	220	3%	5%	17%
019	Femøren Metro St.	2,20 (2,3 f)	2.600	1.800	200	1%	2%	6%
020	Forsvaret	1,75 (1,8 c)	1.000	50	0,5	3%	6%	88%
021	Gammelstrand	1,90 (1,9 c)	1.500	200	1,1	2%	4%	42%
022	Halmtorvet	2,60 (2,7 e)	1.300	950	380	2%	3%	10%
023	Havnegade Skakt	1,95 (2,0 c)	1.600	400	1,6	2%	3%	25%
024	HCs Værket	2,15 (2,2 g)	780	520	120	3%	5%	19%
025	Holmen	1,85 (1,9 c)	2.000	110	0,8	2%	3%	61%
026	KBH H., Bernstorffsgade	+5m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
027	KBH H., Istedgade	3,30 (3,4 e)	4.000	2.500	850	1%	1%	4%
028	Hvidovre Hospital	+6m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
029	Islands Brygge rampe	1,90 (3,2 k)	700	450	200	3%	6%	19%
030	Islands Brygge Station N	1,9 (3,3 k)	750	510	110	3%	5%	20%
031	Islands Brygge Station S	1,90 (3,3 k)	750	510	110	3%	5%	20%
032	Jernbanegraven KBH H	2,15 (2,2 e)	900	620	90	2%	5%	17%
033	Justits/Erhvervs Ministeriet	2,00 (2,0 d)	900	600	3,8	2%	5%	19%
034	Kastrup Luft Havn T1	3,5 (3,5 h)	>10.000	>6.000	>2.000	Ikke sandsynligt		
035	Kastrup Lufthavn Metro St.	2,30 (4,4 k)	3.500	2.400	990	1%	1%	4%
036	Kastrup Lufthavn, Baner	2,2 (2,4 h)	300	200	700	7%	13%	22%

Tabel 6-2 Særligt følsomme anlæg ifølge Københavns Kommune, del 2. Beregnede gentagelsesperioder for oversvømmelse ved lokaliteten samt sandsynligheden for at lokaliteten oversvømmes indenfor en given periode. Blå skyldes højvande fra syd og rød højvande fra nord. Kritisk kote DVR90, er angivet som terræn og kritisk højvandskote i parentes, hvor bogstavet angiver det sted højvandet refererer til (se Figur 6-1). Stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

No.	Sted	Kritisk kote for oversvømmelse [m]	Gentagelsesperiode [antal år per hændelse]			Sandsynlighed for overskridelse af kritisk kote inden et givent år [%]		
			År 2015	År 2050	År 2100	År 2032	År 2050	År 2100
037	Kastrup Metro St.	1,70 (1,8 f)	950	520	2	2%	5%	21%
038	KBH Rådhus	+4m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
039	Kongens Nytorv Cityringen	3,2 (3,3 c)	>10.000	>6.000	>2.000	Ikke sandsynligt		
040	Kongens Nytorv M 2 skakt	2,5 (2,6 c)	5.000	3.000	800	0%	1%	3%
041	Kongens Nytorv Metro	3,3 (3,4 c)	>10.000	>6.000	>2.000	Ikke sandsynligt		
042	Lergravsparken V	2,25 (2,5 f)	3.800	2.300	800	1%	1%	4%
043	Lergravsparken Ø	2 (2,2 f)	2.200	1.500	60	1%	2%	8%
044	Lynette Rens	2,15 (2,2 b)	3.800	2.500	4,0	1%	1%	5%
045	Marmor Kirken	3 (3,1 b)	>10.000	>6.000	>2.000	Ikke sandsynligt		
046	Metro CMC	1,1 (3,1 k)	600	400	180	3%	7%	22%
047	Motorvej Amager	1,1 (2,5 k)	280	180	35	7%	14%	46%
048	Motorvej nord	+5m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
049	Motorvej syd	0,8 (3,5 j)	900	650	250	2%	4%	14%
050	Nationalbanken	1,85 (1,9 c)	1.200	150	0,8	3%	5%	51%
051	Nørreport	+9m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
052	Politigården	2,5 (2,6 e)	1.300	900	350	2%	3%	11%
053	Prøvestenen	2,2 (2,2 b)	2.000	1.500	20	1%	2%	8%
054	Rigshospitalet	+8m	-	-	-	Ikke sandsynligt		
055	Spaniengsgade Skakt	2,45 (4,6 k)	5.500	3.000	1.100	0%	1%	3%
056	Stadsgraven Skakt	1,65 (1,8 c)	1.200	90	0,7	3%	5%	69%
057	Sundby St.	2 (3,4 k)	850	600	120	2%	5%	17%
058	Svanemølle Værket	2,05 (2,1 a)	3.000	1.500	2,5	1%	2%	8%
059	Trans. & Bygn, Ministerium	1,85 (1,9 d)	750	500	1,5	3%	5%	23%
060	Vestamager St.	1,1 (3,1 k)	600	400	180	3%	7%	22%
061	Ørestad St.	1,1 (3,2 k)	700	450	200	3%	6%	19%
062	Øresund Metro St	1,95 (2,0 f)	1.500	1.000	7,0	1%	3%	12%
063	Øresund Station Rampe	1,95 (2,0 f)	1.500	1.000	7,0	1%	3%	12%
064	Øresundstunnel	1,25 (4,7 k)	5.500	3.500	1.100	0%	1%	3%
065	Østerport	2,35 (2,5 a)	8.000	5.000	100	0%	1%	2%

## 7 Etape opdelt ydre sikring

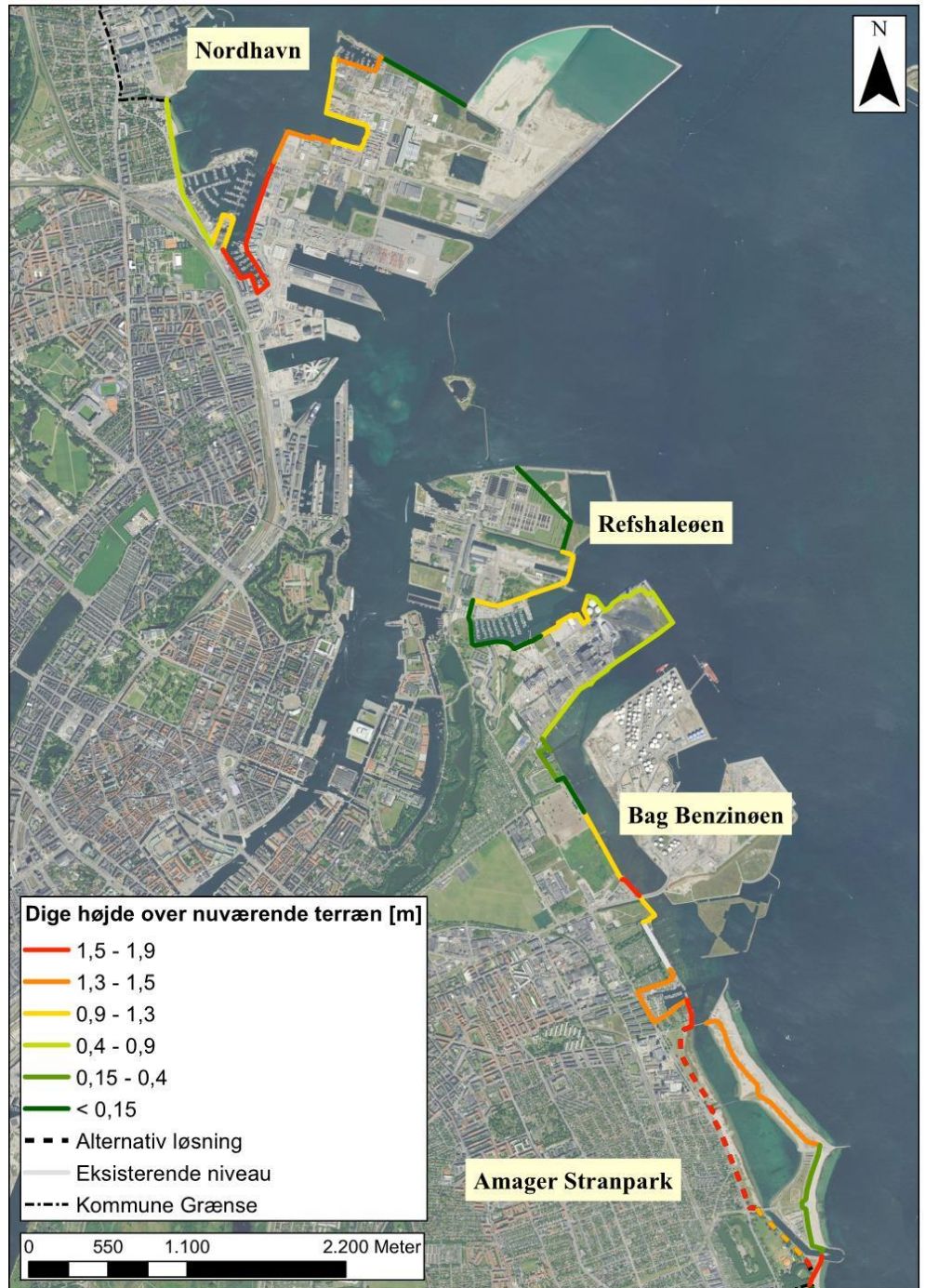
### 7.1 Sikring langs kommunegrænsen

I dette afsnit gennemgås hele kommunens kystlinje mod Øresund med henblik på en enkel sikring mod stormflod. Sikringen mod syd regnes at ske ved Kalvebodbroen mellem Københavns og Hvidovre kommuner.

Den forventede umiddelbare placering og type af konstruktioner til beskyttelse mod oversvømmelse fra Øresund er vist på Figur 3-1 og på Figur 7-1 er endvidere vist, hvilken højde diger og mure bør have i forhold til det terræn, hvor de placeres langs Københavns Kommunes Øresundskyst. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle højder og koter således reduceres med 13 cm.

Kommunens kyststrækning er blevet delt op i delstrækninger, som har tilnærmelsesvist samme forhold med hensyn til højde af terræn, forventet konstruktionstype og bølgepåvirkning. Bølgerne, der rammer et område, er vurderet ud fra erfaring og en vurdering af det frie stræk, samt om et område er beskyttet eller ligger delvist i læ for bølger fra Øresund. Der er delstrækninger, som er meget udsat for bølger, og det er derfor antaget, at konstruktionerne kan trækkes tilbage, så der er et forland med begrænset vanddybde foran konstruktionerne. Herved sikres, at meget lavere bølger rammer konstruktionerne, og derved kan deres kronekote over roligt stormflodsvandspejl begrænses.

For at vurdere et overordnet prisoverslag for udførsel af den ydre løsning for beskyttelse mod oversvømmelser, er der for hver af de korte delstrækninger vurderet en gennemsnitshøjde af forskellen mellem den maksimale designvandsstand og terrænkote. Disse er opsummeret i tabeller og brugt til at udregne en gennemsnitlig nødvendig konstruktionshøjde.



Figur 7-1

Anslået nødvendig **højde over nuværende terræn** til overkant af konstruktion for beskyttelse mod en 1000 års stormflod, som den forventes at se ud i år 2100. Der er ved fastlæggelsen af koten taget hensyn til bølgehøjder og begrænset overskyl fra bølger. Nuværende klitter ved Amager Strandpark har toppe til kote 2,3-3,6, mens den fremskudte sikring skal have højder på 2,7 – 3,2 m. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle højder og koter således reduceres med 13 cm.

I det følgende behandles de enkelte kyststrækninger, dels ved en kort beskrivelse, og dels ved et oversigtskort og en tabel med angivelse af nøgletal og overslag for de enkelte delstrækninger.

### 7.1.1 Nordhavn

Figur 6-2 viser delområde Nordhavn, og hvordan det er opdelt i 9 delstrækninger. Disse er valgt, så der tilnærmelsesvist er samme forhold og behov for konstruktioner i den enkelte delstrækning. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle højder og koter således reduceres med 13 cm.

I Tabel 6-1 vises den foretagne analyse af disse delstrækninger, og den forventede konstruktionstype, længden af denne og til sidst et budgetoverslag per delstrækning. Dette ender her på ca. 166 mio. Kr. Det er vigtigt her at nævne, at dette er et tal behæftet med usikkerhed, idet der ikke er lavet en nærmere analyse af de aktuelle delstrækninger, og den optimale metode til stormflodssikring. Der kan også være tale om diverse ledninger og installationer, som vil komplicere projektet. Desuden er der, som nævnt ovenfor, tale om at en sådan barriere mod havet påvirker dræningsforholdene. Disse må nøje undersøges, så det sikres, at regnvand kan ledes væk, da der ellers kan opstå oversvømmelse på landsiden af oversvømmelsesbeskyttelseskonstruktionerne. Desuden er der spørgsmålet og ejerforholdene for strækningen hvor konstruktionerne skal bygges. Hvor det er kommunal jord, er det kommunens ansvar, mens det for privat jord er mere kompliceret og kan involvere ekspropriation. Men selv denne opdeling i 9 delstrækninger er meget skematisk, og det er nødvendigt her og for resten af kommunens Øresundskyst at gå i detaljer i næste projektfase, hvor der bør udarbejdes et skitse/koncept-projekt.

Disse kommentarer er også gældende for de følgende tilsvarende vurderinger for de to næste områder, henholdsvis Refshaleøen og Bag Benzinøen. For delstrækningen ved Standparken på Amager er der redegjort i flere detaljer.

Den nye Krydstogsterminal er ikke medtaget her. For denne gælder, at alle kajer bliver udført med en kajkote på ca. +2,4 m, mens de er beregnet for en fremtidig opfyldning til +3,5 m i forbindelse med fremtidige vandstandsstigninger indenfor deres dimensionsgivende levetid. Konstruktionerne er alt efter beliggenhed i projektet dimensioneret til hhv. 50 år eller 100 år.

Kommunegrænsen til Gentofte løber vinkelret på kysten lige syd for Tuborg Havn. Koten ved kysten er ca. +2,0. Ved Strandvejen, der ligger ca. 400 m inde i land, er koten +3,8 m. Her kan formentlig placeres et jorddige eller mur. Der er ikke foretaget en analyse af mulig linjeføring og længde af konstruktionen. Antages ca. 400 m og 10.000 kr.pr. m fås et budgetoverslag på 4 mio. kr. Hertil kommer, at det bliver nødvendigt at lave et bump/forhøjning på den smalle vej helt ude ved havet. Dette tiltag er ikke budgetteret.





Figur 7-2 Kort for Nordhavn med forskellen mellem dimensiongivende højvandskoter (2,7 m) og eksisterende terrænkoter. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle højder og koter således reduceres med 13 cm.

Tabel 7-1. Data konstruktioner for Nordhavnen. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Delstrækning	Digelængde [m]	Eksisterende terrænkote [m]	WL R = 1.000 [m]	VD = WL - TK	Bølger dybt vand - Hs [m]	Bølger lokalt - Hs [m]	Konstruktions type	Koefficient alpha	Konstruktions kote - KK = WL + $\alpha$ *Hs [m]	Højde af dige over terrænkote [m]	Enhedspris [Dkk/m]	Totalpris [tusind Dkk]
NH I	677	2,3	2,7	0,38	1	0,19	Jorddige	1,35	2,96	0,64	5500	3.725
NH II	542	2,2	2,7	0,50	0,3	0,25	Mur	1,5	3,07	0,87	10400	5.632
NH III	532	2,0	2,7	0,65	0,3	0,30	Mur	1,5	3,15	1,10	12400	6.603
NH IV	1464	1,8	2,7	0,88	0,5	0,44	Høj Kant	1,5	3,36	1,54	45000	65.902
NH V	572	1,9	2,7	0,83	1,25	0,41	Høj Kant	1,5	3,32	1,45	45000	25.741
NH VI	694	2,0	2,7	0,66	0,5	0,33	Høj Kant	1,5	3,19	1,15	45000	31.220
NH VII	381	2,1	2,7	0,58	1	0,29	Høj kant	1,5	3,13	1,01	45000	17.143
NH VIII	404	1,8	2,7	0,85	0,5	0,43	Mur	1,5	3,34	1,49	17000	6.869
NH IX	664	2,6	2,7	0,08	1,5	0,04	Jorddige	1,35	2,75	0,13	4000	2.656
<b>Nordhavnen</b>	<b>5930</b>	<b>2,1</b>	<b>2,7</b>	<b>0,60</b>								<b>165.490</b>

### 7.1.2 Refshaleøen

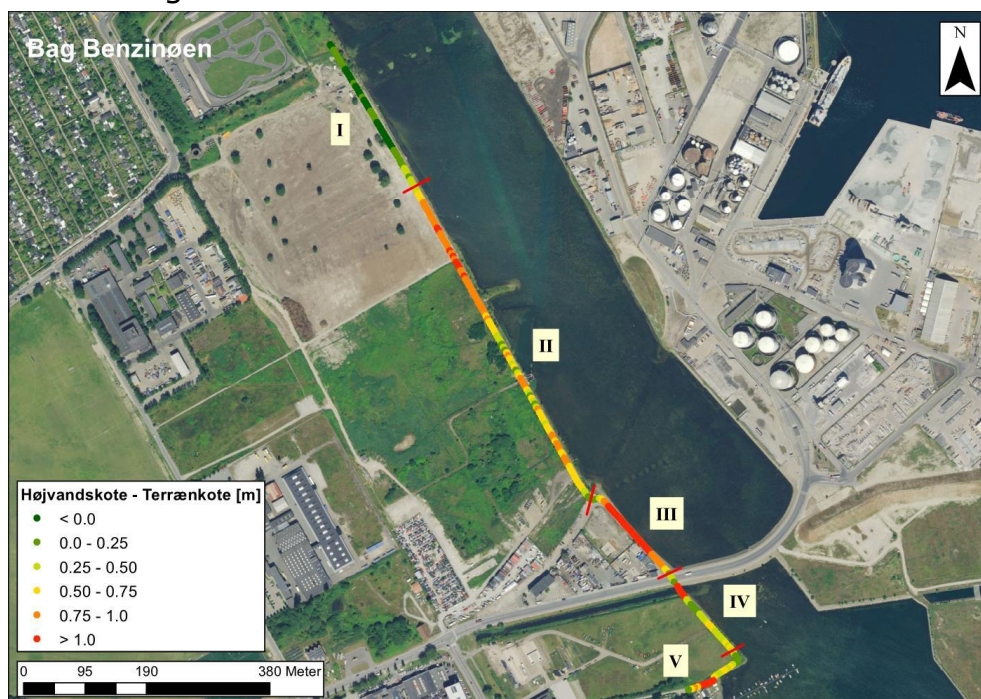


Figur 7-3 Kort for Refshaleøen med forskellen mellem dimensionsgivende højvandskoter (2,7 m) og eksisterende terrænkoter. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Tabel 7-2. Data for diger for Refshaleøen. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Delstrækning	Digelængde [m]	Eksisterende terrænkote [m]	WL R = 1.000 [m]	VD = WL - TK	Bølgedybt vand - Hs [m]	Bølger lokal - Hs [m]	Konstruktions type	Koefficient alpha	Konstruktions kote - KK = WL + $\alpha$ *Hs [m]	Højde af diger over terrænkote [m]	Enhedspris [Dkk/m]	Totalpris [tusind Dkk]
RØ I	747	2,7	2,7	0,00	0,5	0,00	Jorrdige	1,35	2,70	0,00	4000	2.988
RØ II	290	1,9	2,7	0,76	2	0,38	Jorrdige	1,35	3,21	1,27	11500	3.338
RØ III	280	2,0	2,7	0,74	0,75	0,37	Jorrdige	1,35	3,20	1,25	11000	3.085
RØ IV	374	1,9	2,7	0,76	0,3	0,30	Jorrdige	1,35	3,11	1,16	10500	3.932
RØ V	831	2,7	2,7	0,01	0,3	0,00	Jorrdige	1,5	2,71	0,01	4000	3.325
RØ VI	622	2,1	2,7	0,59	0,75	0,29	Høj Kant	1,5	3,14	1,03	45000	27.979
RØ VII	1397	2,3	2,7	0,41	2	0,21	Høj kant	1,5	3,01	0,72	45000	62.859
RØ VIII	491	2,4	2,7	0,35	0,75	0,17	Høj kant	1,5	2,96	0,61	45000	22.115
RØ IX	337	2,5	2,7	0,23	0,75	0,11	Jorrdige	1,35	2,85	0,38	4000	1.349
Refshaleøen	5370	2,3	2,7	0,43								<b>130.968</b>

### 7.1.3 Bag Benzinøen



Figur 7-4 Kort for kanalen bag Benzinøen med forskellen mellem dimensiongivende højvandskoter (2,7 m) og eksisterende terrænkoter. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Tabel 7-3. Data for diger bag Benzinøen. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Delstrækning	Digelængde [m]	Eksisterende terrænkote [m]	WL R = 1.000 [m]	VD = WL - TK	Bølgedybte vand - Hs [m]	Bølger lokalt - Hs [m]	Konstruktions type	Koefficient alpha	Konstruktions kote - KK = WL + α * Hs [m]	Højde af dige over terrænkote [m]	Enhedspris, [Dkk/m]	Totalpris [tusind Dkk]
BB I	275	2,7	2,7	0,03	0,5	0,02	Jorddige	1,35	2,72	0,05	4000	1.100
BB II	539	2,0	2,7	0,71	0,5	0,35	Jorddige	1,35	3,18	1,19	10500	5.664
BB III	171	1,8	2,7	0,92	0,5	0,46	Jorddige	1,35	3,32	1,54	14000	2.394
BB IV	156	2,0	2,7	0,67	0,5	0,33	Høj Kant	1,5	3,20	1,16	45000	7.033
BB V	116	2,0	2,7	0,70	0,5	0,35	Jorddige	1,35	3,17	1,17	10500	1.215
Bag Benzinøen	1257	2,1	2,7	0,60								<b>17.404</b>

### 7.1.4 Amager Strandpark

For den sydligste strækning i kommunen fra lystbådehavnen i nord, inklusive strækningen med Amager Strandpark, og til kommunegrænsen lige syd herfor, er der set på to forskellige løsningsforslag. Det bemærkes, at der på strækningen i Tårnby Kommune ned til og med Kastrup lystbådehavn også er behov for stormflodssikring. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

- > En ydre højvandsikring gennem øen på Strandparken, som vist på Fig 6-5. Denne løsning vil kræve en omlægning og forhøjelse af muren (foto Fig 6-8) og landskabet på øen. Men samtidig bliver der behov for, at lagunen bagved øen afskæres for højvandet. Dette vil kræve porte både i nord og syd af lagunen. Mod syd (se fotos Fig 6-7) er der to indløb til kanalen, der fører ind til lagunen. Det vil være nødvendigt med ombygning til større kote her samt bygning af to porte. Mod nord er der en bro fra fastlandet til øen. Denne er ca. 105 m lang. Man kan over denne brede kanal, og parallelt med broen, bygge dæmninger ud fra begge sider, og så bygge en port. Denne kan formentlig nøjes med at være 12 til 15 m bred, da der allerede er stor hydraulisk modstand mod syd og det må sikres, at porte og nye konstruktioner ikke forringer vandskiftet i lagunen. Dette bør studeres nærmere i forbindelse med udarbejdelse af et egentlig koncept/skitse projekt, hvis det vælges at gå videre med denne "ydre" løsning for Strandparken.
  
- > Et andet forslag er at udføre højvandsbeskyttelsen langs strandvejen mellem vejen og kysten. Med denne løsning vil strandparkens ø og lagunen blive oversvømmet ved den dimensionsgivende stormflod for en gentagelsesperiode på 1000 år i år 2100. Dette burde være acceptabelt for selve strandparken, mens der er bygninger både mod syd og nord på øen. Bygningerne mod syd er af ringe værdi og kan senere erstattes af byggeri, der er mere egnet til at kunne modstå en stormflod. Dette kan ske ved hævnning af bygningens fundament eller ved at bygge på pæle. Mod nord ved Badeanstalten Helgoland er situationen mere kompliceret, og der må en nærmere analyse til vedrørende bygningerne. Selve badeanstalten vil ved begge løsningerne være ubeskyttet og dermed blive ramt af en stormflod; formentlig med stor beskadigelse til følge.  
Løsningen langs strandvejen kan udføres som et jorddige, se detaljer om jorddiger. Der er plads til dette, og med en eksisterende kote på terrænet på søsiden af strandvejen på omkring +1,2 til 1,5 m kan man forestille sig, at et jorddige kan udbygges i flere tempi følgende den forhøjede vandstand i havet. Fig 4-4 viser, at i dag er en 1000 års vandstand på ca. +1,8 m. Det vil sige, at man i dag kan sikre mod en 1000 års storm ved et dige med en kronekote på ca. +2,3 m; og ca. 0,5 m over vandstanden for at tage hensyn til bølgepåvirkningen. Jorddiget bliver altså i middel ca. 1,0 m højt. Denne løsning er billig i anlæg og fleksibel, og der er ikke behov for porte med mere, som det er tilfældet ved den førstnævnte "ydre" løsning for Strandparken. Porte er dyre i anlægsomkostninger og skal efterses og ved-

ligeholdes fremover, så man altid er sikker på, at de kan fungere når stormfloden kommer. Jo flere porte med mere, der er tale om skal fungere samtidigt, jo større risiko er der for, at én ikke virker, når den skal.



Figur 7-5 Kort for Amager Strandpark, "ydre" løsning med forskellen mellem dimensionsgivende højvandskoter (2,6 m) og eksisterende terrænkoter. Nuværende klitter har toppe til kote 2,3-3,6, mens den fremskudte sikring skal have højder på 2,7 - 3,2 m. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Tabel 7-4. Data for diger for Amager strandpark, "ydre" løsningsforslag. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Delstrækning	Digelængde [m]	Eksisterende terrænkote [m]	WL R = 1.000 [m]	VD = WL - TK	Bølgedybt vand - Hs [m]	Bølger lokalt - Hs [m]	Konstruktions type	Koefficient alpha	Konstruktions kote - KK = WL + α*Hs [m]	Højde af dige over terrænkote [m]	Enhedspris [Dkk/m]	Totalpris [tusind Dkk]
AS I	870	1,7	2,6	0,89	0,3	0,30	Mur	1,5	3,05	1,34	15200	13.224
AS II	189	1,1	2,6	1,51	0,3	0,30	Jorddige	1,35	3,01	1,91	20750	3.914
AS III	1251	1,7	2,6	0,88	1,25	0,44	Jorddige	1,35	3,19	1,48	13600	17.020
AS IV	844	2,5	2,6	0,14	1,25	0,07	Mur	1,5	2,71	0,25	7000	5.905
AS V	218	1,5	2,6	1,05	1,25	0,53	Jorddige	1,35	3,31	1,76	16750	3.648
Amager Strandpark			2,6									<b>43.711</b>



Figur 7-6 Kort for Amager Strandpark, med en alternativ "indre" løsning med forskellen mellem dimensiongivende højvandskoter (2,6 m) og eksisterende terrænkoter. Nuværende klitter har toppe til kote 2,3-3,6, mens den fremskudte sikring skal have højder på 2,7 - 3,2 m. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.



Tabel 7-5 Data for diger for Amager strandpark, alternativ beskyttelse med jorddige langs Strandvejen. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Del-strækning	Dige længde [m]	Eksisterende terræn kote [m]	WL R = 1.000 [m]	VD = WL - TK	Bølger dybt vand - Hs [m]	Bølger lokalt - Hs [m]	Konstruktions type	Koefficient alpha	Konstruktions kote - KK = WL + α*Hs [m]	Højde af dige over terræn kote [m]	Enhedspris [Dkk/m]	Totalpris [tusind Dkk]
ASA I	870	1,7	2,6	0,89	0,3	0,30	Mur	1,5	3,05	1,34	15200	13.224
ASA II	189	1,1	2,6	1,51	0,3	0,30	Jorddige	1,35	3,01	1,91	20750	3.914
ASA III	1474	1,2	2,6	1,37	0,5	0,50	Jorddige	1,35	3,28	2,05	22000	32.439
ASA IV	490	1,8	2,6	0,82	0,5	0,41	Jorddige	1,35	3,16	1,38	12400	6.075
ASA V	197	1,5	2,6	1,08	1,25	0,54	Jorddige	1,35	3,33	1,81	19500	3.845
Amager Strand park			2,6									<b>59.497</b>



Figur 7-7 Amager Strandpark, sydlige indsejling/indløb til kanalen (foto, OJJ, COWI 28/12 2016).



Figur 7-8 Amager Strandpark, Muren ud mod stranden set mod nord (foto, OJJ, COWI 28/12 2016).



Figur 7-9 Amager Strandpark, klitter og forhøjet terræn, set mod nord (foto, OJJ, COWI 28/12 2016).



Figur 7-10 Amager Strandpark, Kig mod nordvest fra forhøjet terræn over lagunen med amagers lave kyst i baggrunden (foto, OJJ, COWI 28/12 2016).

### 7.1.5 Kastrup Lystbådehavn

Dette område ligger i Tårnby Kommune og er kun medtaget for at illustrere, hvordan diget fra Amager Strandpak kan fortsættes mod Kastrup Lufthavn, og dermed sikre at havvand fra Øresund ikke løber via Tårnby til København under en stormflod.

Alternativt kan placeres et jorddige vinkelret på kysten langs Københavns kommunegrænse mod Tårnby frem til Nordmarksvej, ca. 900 m fra kysten. Der er ikke foretaget en analyse af mulig linjeføring og længde af konstruktionen, jorddige eller mur. Antages ca. 1 km og 10.000 kr. pr. m fås et budgetoverslag på 10 mio. kr. Hertil kommer, at det bliver nødvendigt at lave et bump/forhøjning på Strandvejen ved kommunegrænsen op til den nødvendige kote. Dette tiltag er ikke med i anlægsoverslagene.



Figur 7-11 Kort for (2,6 m) Kastrup med forskellen mellem dimensionsgivende højvandskoter og eksisterende terrænkoter. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

### 7.1.6 Kalvebodbroen

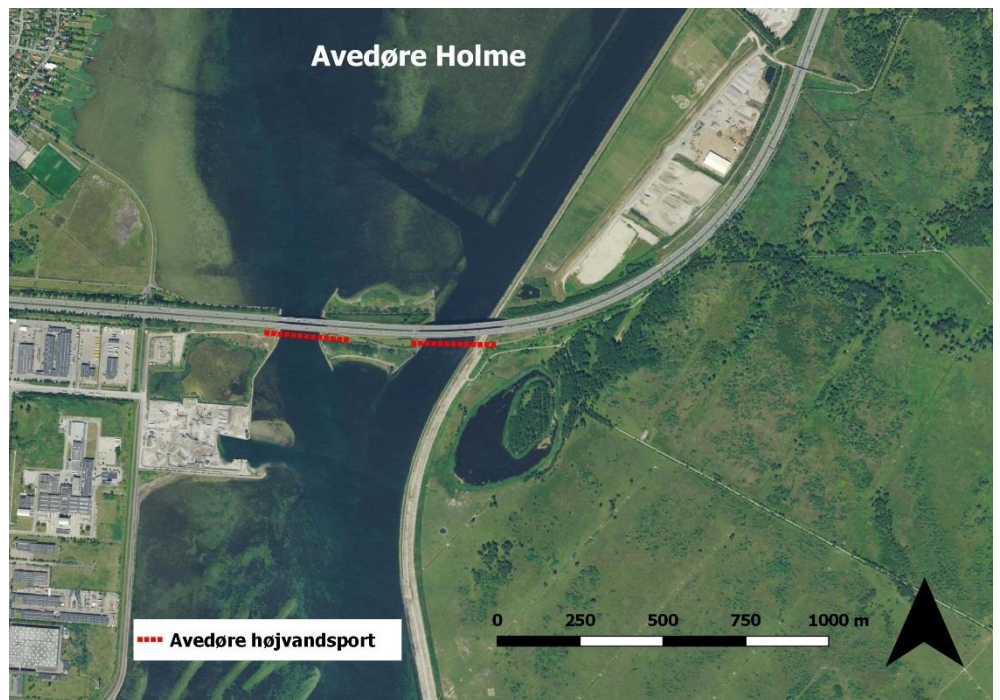
Ved Avedøre Holme er der behov for bygning af porte til sikring af Københavns Kommune mod stormflod fra øst i Køge Bugt. Kalvebodbroen, se Figur 7-12 og Figur 7-13, er beliggende i Københavns Kommune, men en port og dæmningskonstruktion vil også berøre Hvidovre og Tårnby kommuner. Der er to strømløb under broen og de er hver især ca. 100 m bredde. Hvis der skal udføres konstruktioner af denne bredde, bliver det overordentligt dyrt. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Der bør foretages en analyse af de hydrauliske vandskifteforhold i hele København, hvor der fokuseres på, hvad der kan foretages her ved Kalvebodbroen. Denne detaljerede vurdering bør fokusere på hvor smalle, og med hvilken vanddybde, de eventuelt kan etableres uden signifikant at påvirke vandskiftet i havnen. Der er allerede en smal gennemstrømningsåbning ved Sluseholmen, så det er vigtigt at se disse to i sammenhæng, så der findes en optimal løsning, der samtidig holder anlægsomkostningerne lave, men som også sikrer, at der ikke er for stor hydraulisk strømningmodstand ved Kalvebod; så vandskiftet i hele havnen påvirkes i negativ retning.

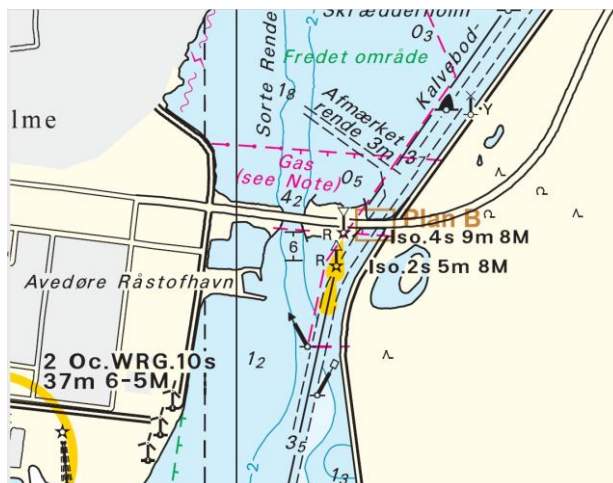
Der er i prisoverslaget regnet med en gennemsnitspris for mindre port-anlæg, mens den nærmere udformning af portene må afvente mere detaljerede vurderinger af anlægsforholdene og fordele og ulemper ved forskellige typer løsning.



Figur 7-12 Kalvebodbroen.



Figur 7-13 Placering af højvandsporte ved Kalvebodbroen, Avedøre Holme.



Figur 7-14 Søkort ved Kalvebodbroen.



Figur 7-15 Søkort ved Sluseholmen.

### 7.1.7 Havneindløbene ved Nordhavn og Trekroner

Figur 7-16 viser en visualisering af en dæmning på tværs af havneindløbene lidt øst for Trekroner. Denne dæmning er udsat for bølgepåvirkning under den dimensionsgivende storm fra øst. I Tabel 8-1 ses, at for et gentagelsesinterval på,  $R=1000$  år i år 2100 er den dimensionsgivende vandstand,  $WL=+2,7$  m med en bølge på  $H_s = 0,5$  m fra N, og  $WL=+2,5$  m og en bølge på  $H_s = 2,5$  m. Det er klart, at det er stormen fra Ø, der er dimensionsgivende. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Dæmningen kan udføres som en række forskellige konstruktionstyper. Den billigste er formentlig en jord/sten dæmning med stenkastning på Øresundssiden, og en mindre stenkastning på bagsiden. I modsætning til en normal stenkastningskonstruktion skal denne være stort set tæt. Dette gælder også for en situation om mange år fra nu, hvor vandspejlsstigningen er så stor, at havnen skal lukkes permanent mod Øresund. Der skal således være en ikke permeabel kerne i konstruktionen. Denne kan udføres som en spunsvæg eller ler-kerne. En spunsvæg har dog en begrænset levetid, så der skal være en mulighed for at ramme en ny spunsvæg f.eks. efter 50 år efter at dæmningen er opført.



Figur 7-16 Visualisering af et forslag til dæmning på tværs af havneindløbene ved Nordhavn. Dæmningen indgår som del af den ydre løsning, (COWI, 2013).

En overslagsmæssig skitse af et tværsnit i dæmningen er vist i Figur 7-17. Der er her regnet med, at der i middel er ca. 8 m dybt. Stenkastningen på forsiden dimensioneres for  $H_s = 2,5$  m. Antages en stabilitetsfaktor,  $KD=2,0$  i Hudsons stabilitetsformel for moler, og en hældning på 1:2 fås en stenstørrelse på i middel,  $W=2,4$  t. Denne stenstørrelse falder midt imellem to EU standard-klasser på 1-3 t og 3-6 t. I praksis antages en ikke standard EU-klasse på 1-3, hvor alle data er multipliceret med 1,5. Herved fås en klasse 1,5 til 4,5 t med  $W_{\text{middel}} = 1,8 \cdot 1,5 = 2,7$  t. Stenene har en størrelse på ca. 1,0 m ( $D_{n50}=1,0$  m) og to lag sten i dæklaget har en lagtykkelse på 2,0 m.

Kronekoten for konstruktionen kan vælges, så der forekommer et relativt stort bølgeoverskyl på 10 l/s/m. Faktoren A bliver derved ca.  $A=1,25$ , og top/kronekoten kan derved findes som:  $TP=A \cdot H_s + WL = 1,25 \cdot 2,5 + 2,5 = +5,6$  m. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Kanterne af kronen sikres med betonblokke op til kote ca. +6,0 m ( $A=1,4$ ), hvilket reducerer bølgeoverskyllet til ca. 2 l/s/m. Afhængig af, om der bliver mulighed for offentlig adgang, skal kronen sikres med rækværk, og der er mulighed for diverse arkitektoniske ændringer. Man kan forestille sig, at kronen og kanterne udformes med diverse blokke i lidt forskellig højde, så de dels danner en sikkerhedsbarriere, men også giver mange muligheder for siddepladser.





Dette dige og de to sluseporte mod N og S er således beliggende på ca. 8 m vanddybde. Der forefindes ingen data for de geotekniske bundforhold langs den forventede trace for konstruktionen. I Figur 7-5 vises data for eksisterende geotekniske borer i området. Det fremgår, at der ingen borer er i traceen for dæmningen og de tilhørende porte, mens det er angivet, at koten til kalkoverfladen er i ca. -18 m, dvs. ca. 10 m under havbunden, da dybden er ca. 8 m.

Det er usikkert, hvad aflejringerne ovenpå kalken består af. Længere mod nord ved Krydstogsterminalen er der tykke lag af gytje. Hvis dette også er tilfældet her, vil det kræve udskiftning eller forstærkning af havbunden før, der kan foretages direkte fundering af dæmningen. Sluseportene skal formentlig under alle omstændigheder funderes ned på kalken, formentlig på pæle.



Figur 7-18 Kort over eksisterende borer, og kote til kalkoverfladen,

Der hersker således stor usikkerhed omkring funderingsforholdene, og det vil være nødvendigt at foretage geotekniske borer og undersøgelser for at have et mere sikkert grundlag for vurderingen af dæmningernes fundering, og prisen for denne.

Der er således regnet med to gennemsejlinger. Den mod nord til skibsfarten til inderhavnen. Portene/sluserne kan være af forskellig type, og det foreslås, at

der foretages en nærmere analyse af de forskellige muligheder. En nærmere analyse af den forventede skibstrafik og disses krav til gennemsejlingsbredde er relevant for med større sikkerhed at kunne vurdere behovet for bredde og funktionalitet af den nødvendige portløsning.

Med hensyn til den sydlige gennemsejling for mindre skibe og både bør der også foretages vurdering af behovet for bredde og vanddybde. En mindre bredde end 50 m og en mindre vanddybde end 8 m vil kunne reducere anlægsomkostningerne betydeligt. Til eksempel er vanddybden i mange marinaer og lystbådehavne mindre. Man kunne f.eks. forestille sig, at en vanddybde på 5 m og en bredde på 35 m vil være tilstrækkelig, men dette må vurderes nærmere. Til eksempel har en af Øresundskystens største marinaer, Rungsted, en bredde i havneindsejlingen på ca. 35 m

## 7.2 Sikring mod vand fra nabokommuner

Denne vurdering har alene fokuseret på Københavns Kommune, og sikring langs Københavns kommunes kyster. For at opnå fuld beskyttelse må kommunen dog enten sikre sig ved kommunegrænserne, hvor der kan bygges diger ind i land, vinkelret på kysten, så vandet ved en stormflod ikke løber udenom og ind i København gennem nabokommunerne eller lave aftaler med nabo kommunerne om at etablere foranstaltninger til samme sikringsniveau som Københavns kommune. Disse mulige tiltag er ikke medtaget i denne rapport.

De lokale "kommunegrænse-løsninger" er beskrevet meget overordnet sidst i sektionerne "7.1.1 Nordhavn" (Gentofte) og "7.1.5 Kastrup Lystbådehavn" (Tårnby) i afsnit 7.1 "Sikring langs kommunegrænsen".

Det planlagte "Ullerupdige" i Tårnby Kommune vil sikre mod indtrængende oversvømmelser via Dragør og Tårnby kommuner. Dette dige vil reducere truslen fra oversvømmelser fra syd, specielt for Ørestaden, men der vil fortsat være en væsentlig trussel fra vand, der løber mod København via Kalveboderne.

Den bedste løsning for de berørte kommuner er en samlet planløsning, hvor kommunerne går sammen, så der sikres mod stormflod langs alle de berørte kyster. Kan der ikke opnås enighed, kan der forholdsvis billigt etableres jorddiger vinkelret på kysten ved kommunegrænserne til Tårnby og Dragør kommuner, mens det er lidt vanskeligere mod Gentofte og Hvidovre. Det største problem bliver nok at erhverve arealerne og få tilladelse til at ændre anvendelsen af disse arealer.

I afsnit 11 er det beskrevet hvordan vand fra nabokommuner vil kunne træng ind i Københavns Kommune ved et meget ekstremt højvande, når det forudsættes at København har etableret sikring mod højvande, Ullerup diget er bygget og der er lavet de løst planlagte anlæg i Dragør og Tårnby kommuner. De mest kritiske punkter set i relation til oversvømmelse af Københavns kommune fra nabokommunerne er de manglende diger i Dragør kommune og manglende diger ved Brøndby kommune samt den lille åbning ved Kalvebodbroen i Hvidovre kommune. Endvidere bør digerne ved Kastrup Strandpark og Kastrup havn etab-

leres, da vand ellers vil søge ind i København allerede ved 150 cm højvande ved havnen.

## 7.3 Mulighed for kombination af projekt med jorddepoter

### 7.3.1 Introduktion

I forbindelse med dette projekt er det relevant at undersøge muligheden for, hvordan stormflodsbeskyttelsen evt. kan kombineres med en eller flere af de deponeringsmuligheder Københavns kommune har undersøgt for etablering af jorddepoter til bortskaffelse af overskudsjord fra København.

Der er to depot-løsninger, som med fordel kan ses i kombination med dette projekt for stormflodsbeskyttelse af kommunen, nemlig:

- > Opfyldning ved Trekroner
- > Opfyldning ved Amager Strandpark

Deponeringsmulighederne indgår i en samlet rapport over alle de undersøgte muligheder og de to deponeringsmuligheder der er relevant for dette projekt er nærmere beskrevet i COWIs rapporter fra maj 2016 om dybdegående vurderinger af "Opfyldning ved Amager Strandpark" og "Opfyldning ved Trekroner".

### 7.3.2 Opfyldning ved Trekroner

Den overvejede opfyldning ved Trekroner er skitseret på Figur 7-19.

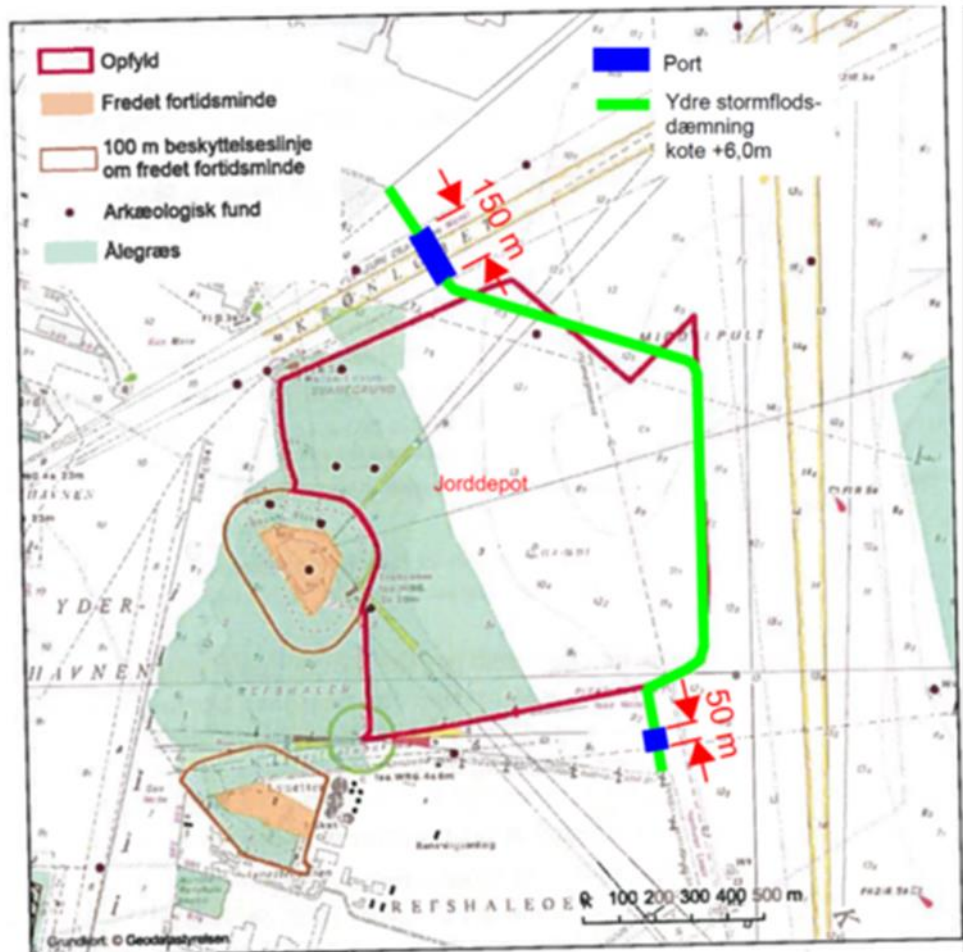


Figur 7-19 Overvejet placering af jorddeponi ved Trekroner (Fra den dybdegående vurdering maj 2016).

Man kan kombinere dette deponeringsprojekt med dæmningen og portene udfor Trekroner.

Dette kan f.eks. ske ved:

- > Den nordlige port påvirkes stort set ikke.
- > Den sydlige port kan rykkes mod øst, så den nordlige perimeter af Refshaleøen og Depotøens sydlige perimeter kommer til at ligge inde bag porten. Dette sikrer, at den sydlige perimeter kan udføres med mindre kronekote end det ellers vil være tilfældet.
- > Dæmningen mellem de to porte skal således opfylde to funktioner, dels være den østlige beskyttelse af depotet, men også fungere som Stormflodssikringskonstruktion.



Figur 7-20 Skitsering af ydre stormflods-dæmning og porte.

Figur 7-20 viser en plan af den foreslåede udformning. Dybden langs den ydre østlige perimeterkonstruktion er ca. 12 m i modsætning til vanddybden på ca. 8 m for situationen, hvor dæmningen er beliggende lige øst for Trekroner, og kun fungerer som stormflodssikring.

Dæmningen på 12 m vand kan udføres stort set som Figur 7-20. Der er her foreslået en lidt ændret linjeføring, som reducerer længden af perimeteren meget, mens arealet bibeholdes og bliver mere regulært.

Tværsnit for dæmningen til stormflodssikring var vist på Figur 8-17. Tilsvarende dæmning benyttes her, dog er dybden større. Mellem kote -12 og -8 m antages opfyldningen primært at bestå af sprængstensfyld på nær i midten, hvor der er sand, så spunsvæggen kan føres helt ned i havbunden. Ekstraomkostninger til ca. 290 m<sup>3</sup>/m af sprængstensfyld og 4 m spunsvæg vurderes til en ekstraomkostning på ca. 150.000 kr./m.

Hvis der skal foretages bundudskiftning i 10 m dybde, bliver denne nu ca. 12 m bredere, svarende til ekstra 48 m<sup>3</sup>/m til en vurderet enhedspris 250 kr./m eller i alt 12.000 kr./m.

For den 1.250 m lange dæmning på 8 m vand var budgetprisen 320.000 kr./m for konstruktionen, og 280.000 for uddybning og bundudskiftning, i alt 600.000

kr./m. På 12 m vand fås således for dæmningen 470.000 kr./m og bundudskiftning 292.000 kr./m, i alt ca. 760.000 kr./m. Som nævnt ovenfor, er det usikkert hvor stort et område, der behøver bundudskiftning. Det antages, at behovet for bundudskiftning vil være cirka det samme, uanset om dæmningen alene betjener depotet eller om dæmning også tjener til stormflodssikring på østsiden af depotområdet. Meromkostningen er ca. fra 270.000 til 470.000 kr. i alt ca. 200.000 kr./m, idet dæmningen er højere, bredere og tænkt bygget af bedre materialer. Dæmningen (grøn linje) er i alt 2.050 m lang, mens det, den dæmning erstatter, er 1.685 m lang. Forskellen i længde er således ca. 365 m. Nu er det muligt at foretage et skøn over besparelsen ved at kombinere de to projekter. Dette er vist i Tabel 6-6.

Tabel 7-6 Overslag for stormflodssikring alene eller kombineret med jorddepot ved Trekroner. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Projektdeel	Længde (m)	Enhedspris kr./m	Totalpris 1.000 Kr.
Ydre Stormflodsdæmning ekstra længde (inkl. bundudskiftning)	365	760.000	277.400
Ydre Stormflodsdæmning stærkere mole	1.685	200.000	337.000
Stormflodsdæmning alene udfor Trekroner(inkl. bundudskiftning)	1.250	-600.000	-750.000
Besparelse i alt:			-135.600

Det vurderes, at der kan spares ca. 136 mio. kr. ved at kombinere de to projekter. Men der er her tale om en hypotetisk situation, idet hvis stormflodsdæmningen alene anlægges uden jorddepotet på dette sted, vil det være nødvendigt at anlægge et jorddepot andetsteds i kommunen til erstatning af depot ved Trekroner; og dettes omkostninger bør indgå i det samlede regnestykke.

Figur 7-19 viser fire områder for jorddepotet, og der har tidligere været tale om, at område 1 og 2 skal udføres først og have en spuns indbygget, så depotet er tæt og kan modtage forurenede jord. Hvis man i stedet vælger at kombinere med stormflodsdæmningen, bør det i stedet være område 2 og 3, der forsynes med en spuns, da denne er nødvendig i dæmningens perimeter mod øst i stormflodsløsningen.

Alt andet lige vurderes det som fordelagtigt, hvis man beslutter at bygge både en stormflodsdæmning (med porte) og et jorddepot, at de kombineres.

### 7.3.3 Opfyldning ved Amager Strandpark

En anden overvejet jorddeponeringsmulighed er en opfyldning ud for Amager Strandpark. En skitse af det overvejede deponi ved Amager Strandpark er vist i Figur 7-21. Det omfatter primært en opfyldning foran den eksisterende strand, så stranden flyttes mod øst. Igen er der to alternativer, enten en oversvømmelsesbeskyttelseskonstruktion ude bag stranden i samspil med porte ind til lagu-





forhøjelse af det eksisterende terræn på den eksisterende ø. Budgettet for denne ombygning er budgetteret til ca. 44 mio. kr.

## 8 Højvandssituationer og bølger

I rapporter fra 2013, (COWI, 2013), og 2016, (COWI, 2016) er der redegjort for hvor høj koten skal være til en ydre digeløsning i tilfælde af forskellige ekstreme højvande omkring Københavns Kommune. I rapporten fra 2016 er anbefalet en sikring mod højvande op til kote +270 cm (DVR90) ved Nordhavn/Oceankaj i nord og +450 cm (DVR90) ved Avedøre Holme i syd. Disse koter svarer til et højvande med en gentagelsesperiode på 1000 år i år 2100. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle vandstande reduceres med 13 cm.

Disse to niveauer blev bestemt som den højeste rolige vandstand under stormfloden. Der blev således ikke medtaget indflydelsen af bølger. Når bølger rammer en konstruktion løber de op og kan nå et højere niveau og eventuelt slå ind over diget som bølgeoverskyl. I denne rapport analyseres dette forhold, så der også tages hensyn til ekstreme bølgesituationer i tillæg til de ekstreme højvande omkring Københavns kommune.

Ved dimensionering af en konstruktion til sikring mod oversvømmelse er det vigtigt at tage højde for kombinationen af ekstremt højvande og bølger samtidigt, da bølgerne forøger den højde, vandet når op til og dermed kravet til en konstruktions kronekote. Dimensionering afhænger således af en række faktorer, såsom:

- > Terrænkoten ved konstruktionen og forlandets kote og hældning mod havet
- > Koten til det ekstreme højvande
- > Bølgerne der rammer konstruktionen: (højde og retning)
- > Acceptabelt bølgeoverskyl over konstruktionen (muren/diget etc.)

Terrænkoten og koten til ekstremt højvande medfører således én nødvendig kote til hvilken, der skal sikres mod direkte indløb af vand. Dertil kommer effekten af bølgerne, hvilket normalt medfører, at en lidt højere kote til hvilken, der skal sikres er nødvendig. Den endeligt valgte kote afhænger således af det valgte overskyls-kriterium. Dette omfatter, hvor meget vand, der kan accepteres at skylle over oversvømmelsessikringen.

Beregning af og principperne bag beregning af den endelige kote som resultat af bølgetillæg vil blive redegjort for i de følgende afsnit, efter gennemgang af bølgeklimate omkring Københavns kommune i ekstreme tilfælde.

## 8.1 Vind, vandstand og bølger omkring København

Som redegjort for i de tidligere rapporter, er der principielt to forskellige typer meteorologiske stormsituationer, som fører til de mest ekstreme højvandsituationer i København. Disse er meget forskellige, da de er forårsaget af meget forskellige meteorologiske situationer. For de mest ekstreme højvandsituationer, der skal tages i regning som designgrundlag, skal kunne forekomme, må man påregne at de fremtidige meteorologiske situationer vil være af nogenlunde samme karakter, som de mest ekstreme der kendes til i fortiden. Der er tale om storme, der forventes meteorologisk at være tilnærmelsesvist tilsvarende de to værste storme, der er kendt i de sidste 150 år. De vil i det følgende blive omtalt som:

- > 'storm fra NV-N' med et vejrsystem tilsvarende stormen, Bodil, som forekom d. 6/12 2013. Der er tale om et meget kraftigt/dybt lavtryk, som passerer nord om Danmark og ind over Norge og Sverige, og som forårsager meget kraftig vind fra retninger mellem NV og N over Skagerrak, Kattegat og Øresund med tilhørende meget stort højvande i Øresund fra nord.
- > 'storm fra Ø', tilsvarende den kendte "Stormfloden i Østersøen" d. 13/11 1872. Der er tale om en helt anden vejr-situation med et meget kraftigt/dybt lavtryk, som bevæger sig langsomt mod NV over Central Europa og mod Holland med et samtidigt højtryk over Finland. Det tilhørende vindsystem dækker hel Østersøen med meget kraftig vind fra retninger mellem NØ og Ø med tilhørende meget stort højvande fra syd i hele den SV-lige del af Østersøen og i Køge Bugt og Øresund syd for Drogden ved Amagers østkyst.

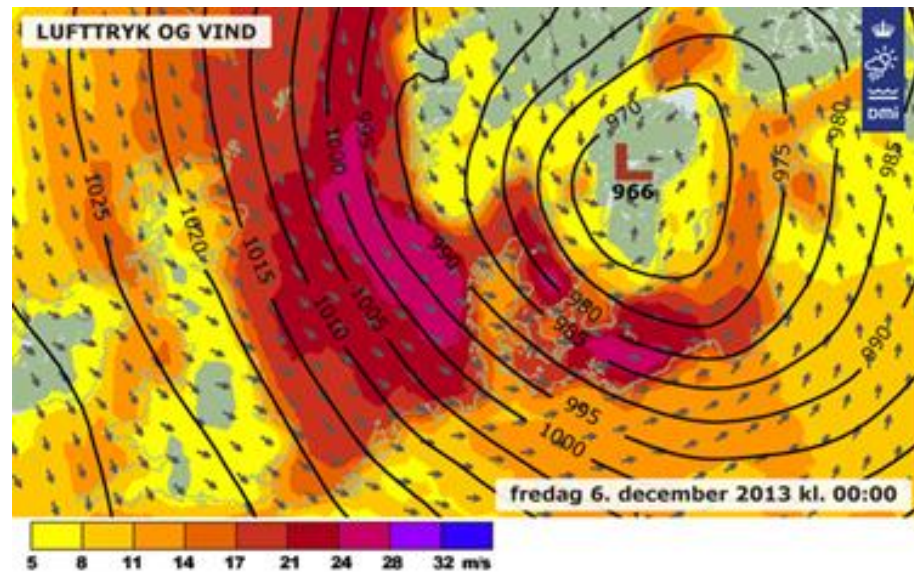
Stormen fra NV-N skaber et højvande omkring København og Amager fra nord, mens stormen fra Ø skaber et højvande omkring København og Amager fra syd, tilsvarende de to højvandsscenerier diskuteret og analyseret i (COWI, 2016).

Vindretningen under disse to storme giver dog ikke i begge tilfælde den maksimale bølgehøjde. Derfor er det mest realistiske scenarie ikke nødvendigvis en addition mellem den maksimale højvandstand og maksimale bølgehøjde, hvilket vil blive belyst i det følgende.

## 8.2 Storm fra NV-N => højvande fra nord

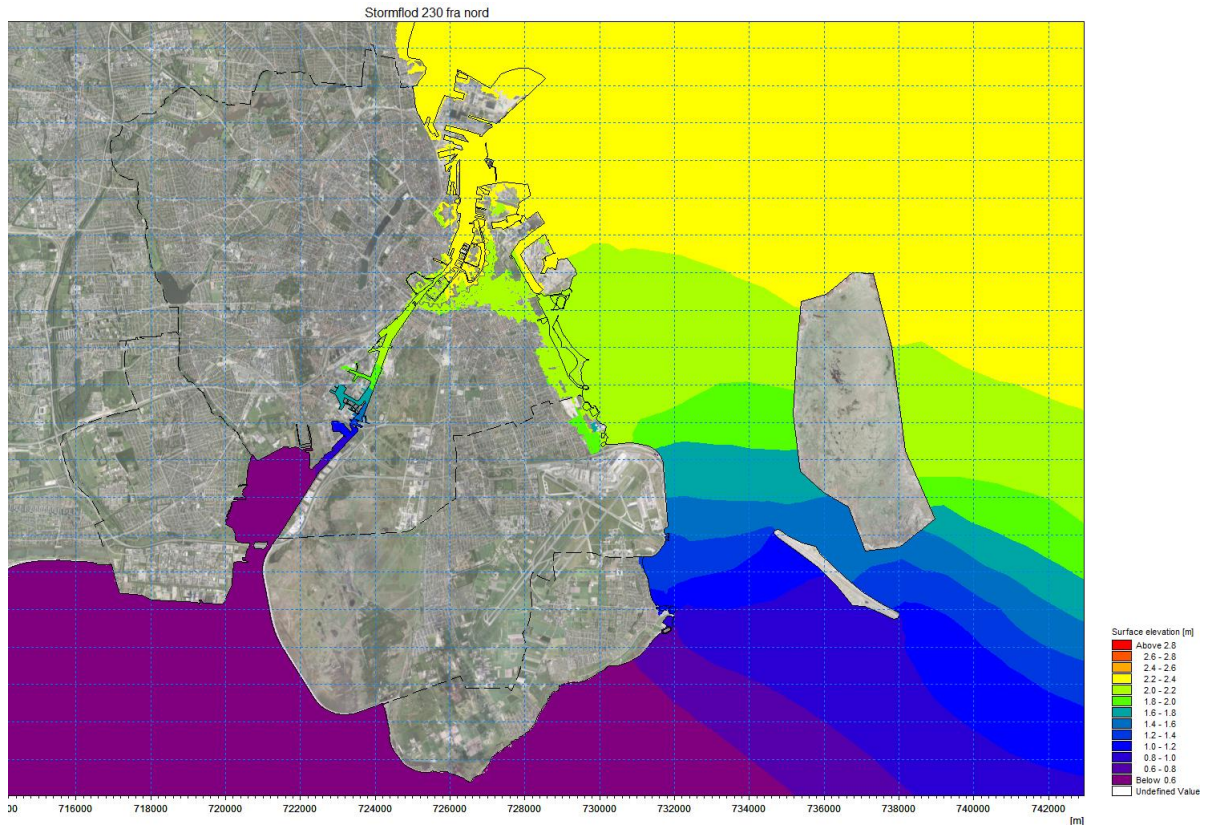
Denne type storm forårsager et ekstremt højvande i den sydlige del af Kattegat, ved Sjællands Nordkyst og ned i Øresund til omkring Drogden. Ved Drogden sker der et stort fald i vandstanden på grund af den lave vanddybde og store hydrauliske strømningsmodstand. Figur 8-1 viser et vejrkort fra stormen Bodil,

hvor lavtrykket er nået ind over Sverige, og hvor vindfeltet dækker hele Kattegat med vind fra omkring NV til NNV over en længere periode, som derved forårsager den høje stormvandstand.



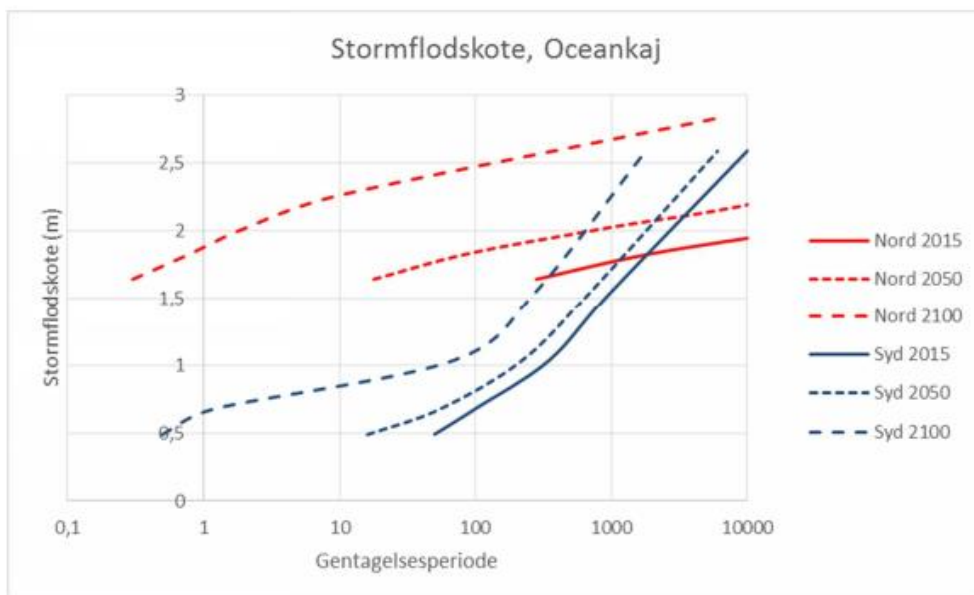
Figur 8-1 Vejrkort fra stormen Bodil d. 6. december 2013 kl. 00.00.

Vandstandsvariationen omkring Københavns kommune og Amager for en tilsvarende kraftig storm fra NV-N er vist i Figur 8-2. Den viste storm har en returperiode på hele 10 år i år 2100, men principperne for vandstandsbilledet er det samme.

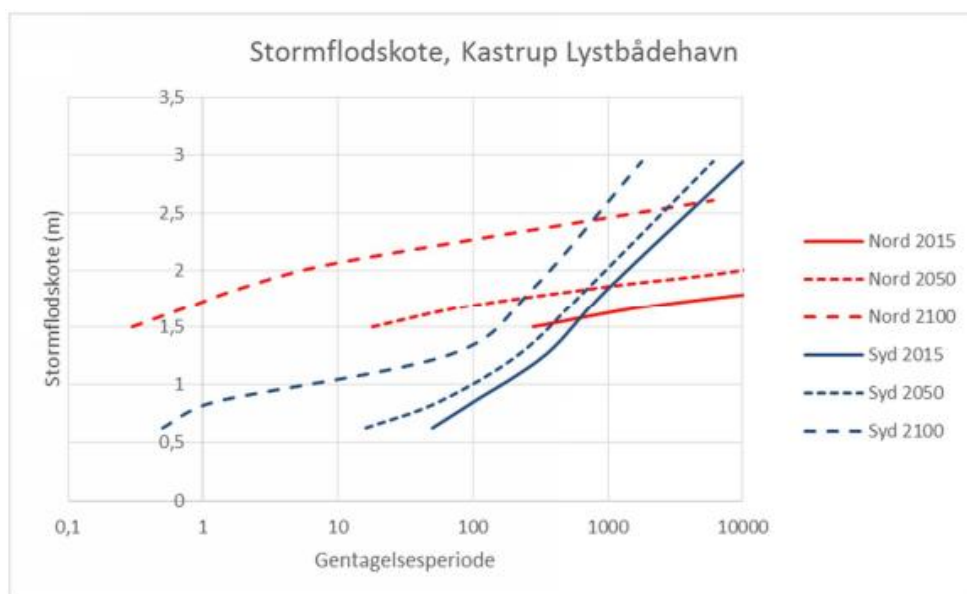


*Figur 8-2 Højvande fra nord på 230 cm, maksimal stormflodsudbredelse og maksimal vandstand under højvandet. Eksemplet her svarer til en 10 års hændelse i år 2100. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. (COWI, 2016).*

Det ses, at vandstanden fra det nordlige København til sydlige Amager varierer med ca. 2 meter under en storm, som illustreret i Figur 8-2. Dette skyldes især tærsklen med forholdsvis lavt vand mellem Dragør og Drogden. Figur 8-3 og Figur 8-4 viser de beregnede højvandsstatistikker for den nordlige ende af kyststrækningen(Nordhavn) og den sydlige ende omtrentligt ud for Drogden (Kastrup). Det ses, at der også på denne korte kyststrækning vil være forskel på højden af højvandet under samme stormhændelser (de røde linjer for højvande fra nord, ligger højere for Nordhavn end for Kastrup).



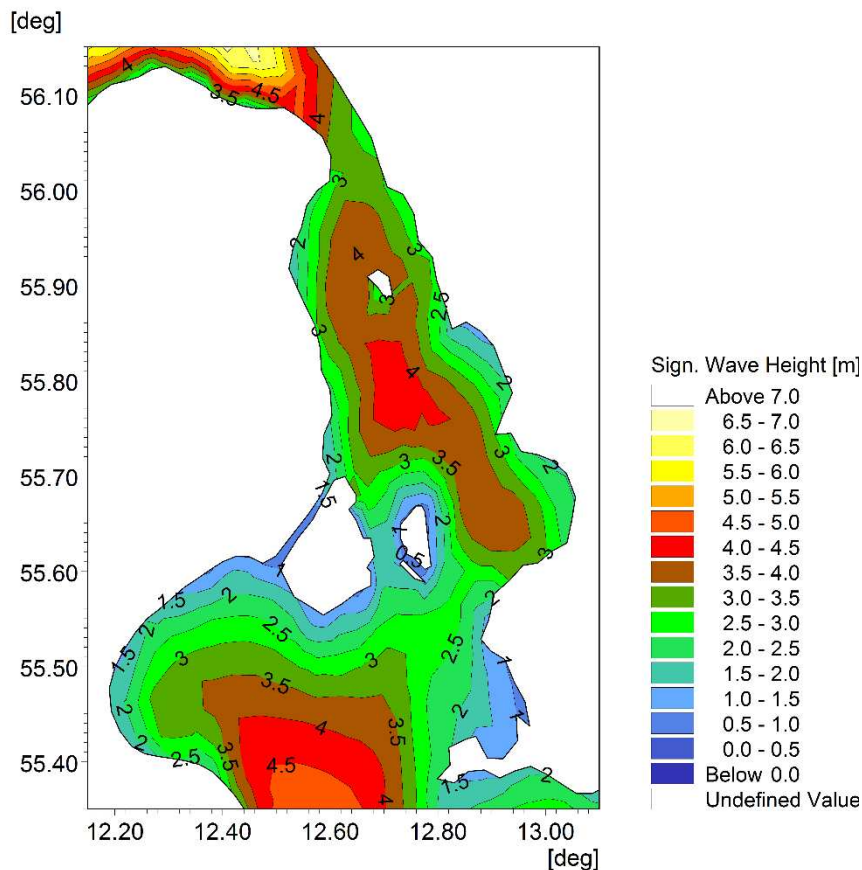
Figur 8-3 Stormflodskote for Nordhavn/Oceankaj for maksimal stormflodshøjvande fra nord og syd for udvalgte årstal, (COWI, 2016). Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle koter for år 2100 således reduceres med 13 cm.



Figur 8-4 Stormflodskote for Kastrup Lystbådehavn for maksimal stormflodshøjvande fra nord og syd for udvalgte årstal, (COWI, 2016). Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle koter for år 2100 således reduceres med 13 cm.

Det er vigtigt at bemærke ved denne type storm, at selv om vandstanden i Øresund nord for Drogden kan blive ekstrem under storm fra NV-N, så betyder vindretningen, at de bølger, der rammer København direkte, vil være begrænsede.

Nedenfor vises en simulering med vind fra N. Dette er lidt konservativt, da en storm som Bodil formentlig vil have en vindretning omkring NNV, og dermed lidt mindre bølger i Øresund, når vandstanden når sit maksimum. Det ses at bølgerne, der når København ikke overstiger bølgehøjder ( $H_s$ ) på 1,5-2,0 m.



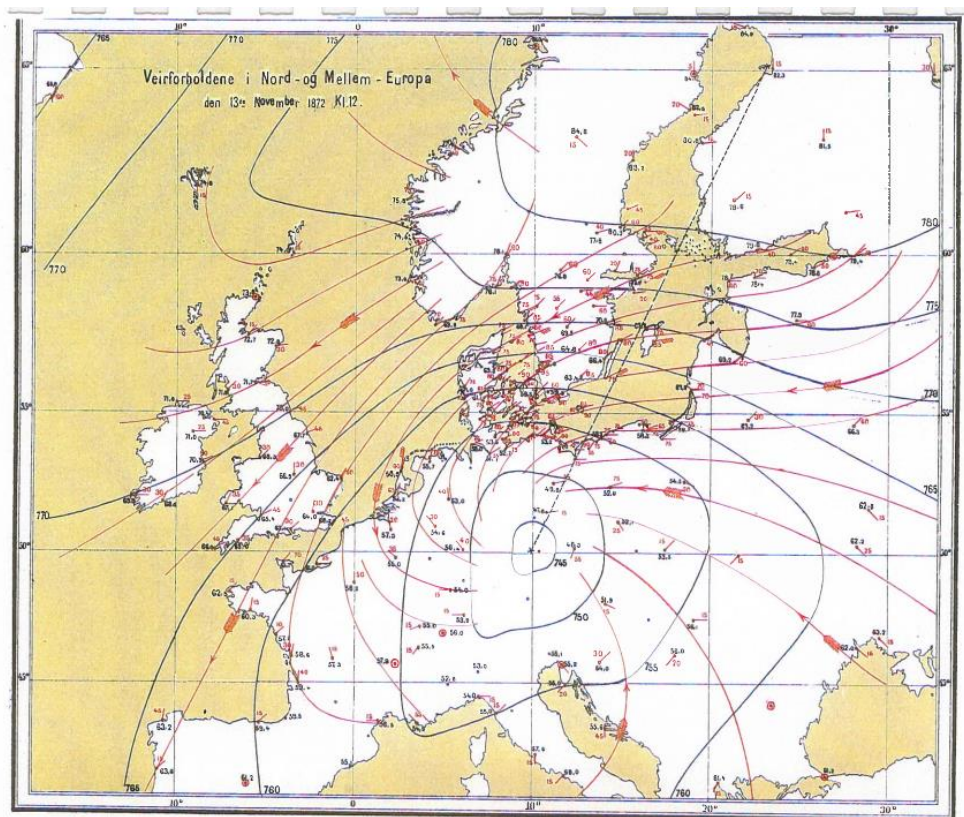
Figur 8-5 Bølgesimulering for Øresund for en vind på 30 m/s fra N. (vandstand normalvandstand),

Modellen er ikke opdateret med udbygningen af den nye Krydstogskaj, som rager temmelig langt ud i Øresund og skaber delvist læ for lokaliteter syd herfor. Under stormen Bodil vurderes bølgerne i Øresund at blive reduceret fra ca. 2 m til 1 - 1,5 m ind under land ved København, hvor de rammer Nordhavn. Læeffekten af Nordhavn giver yderligere reduktion i bølgehøjden syd for og det vurderes at bølgehøjderne under Bodil ikke at have oversteget bølgehøjder ( $H_s$ ) på 1,0 m.

### 8.3 Storm fra Øst => højvande fra syd

Som nævnt ovenfor, er det ekstreme storme fra øst, tilsvarende 1872 stormen, der medfører det dimensionsgivende højvande. 1872 stormen er beskrevet i detaljer i Coldings rapport "Vandfloden i Østersøen", (Dr. A. Colding, 1881). Denne storm var et stort vejsystem med et meget dybt lavtryk, som langsomt bevægede sig fra omkring Ungarn mod NV op til Holland. Samtidigt lå der et højtryk

over Finland. Stormen forårsagede kraftig vindstuvning i hele den vestlige del af Østersøen syd for Lillebælt, Storebælt og Drogden, som det ses af Figur 8-6.



Figur 8-6 1872 stormen på sit højeste d. 13/11 1872 kl. 12.00. De sorte isokurver viser lufttrykket i mm HG (kviksølv- middeltryk=760 mm), mens de røde linjer er vindretningen (ca. ØNØ ved København) og pilene angiver vindhastigheden. Den stiplede linje er trukket mellem højtrykket i Finland og lavtrykket, der på det tidspunkt er over Middtyskland.

På Figur 8-6 ses vandstandssituationen, som vurderet af Colding, for havet omkring København på det tidspunkt, hvor vandstanden var højest. Det ses, at selv om vandstanden i Køge bugt var høj, var vandstanden nord for København kun ca. + 1,0 m på det samme tidspunkt.

Figur 8-6 viser Coldings optegnelser af vandstanden i København og Køge med en vandstand i Køge omkring +9-10 fod (+2,7-3,0 m) og 2-4 fod (0,6-1,2 m) i København.



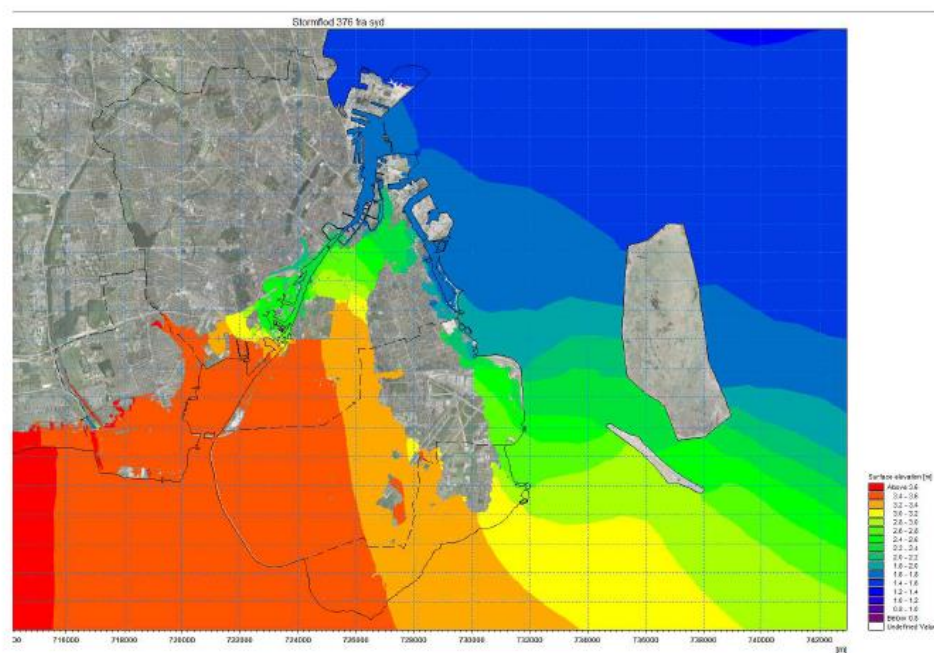


Figur 8-7 (zoom) Vandstanden (i fod) i Østersøen d 13/11 1872 kl. 12.00. Det ses, at vandstanden i Køge Bugt lige syd for København når 8 til 9 fod eller omkring +2,65 m. I Køge var vandstanden +9 fod kl. 12.00. Vinden er 90 fod/s (27,5 m/s) kl. 12 og 85 fod/s (26 m/s) kl. 14.



Figur 8-8 Vandstanden i København og Køge omkring stormfloden d, 13/11 1872. Bemærk at vandstanden ved maksimum kl. ca. 12.00 i Køge var +9-10 fod (2,7-3,0m), mens den i Københavns Toldbod og havnen kun var +2-4 fod (0,6-1,2 m).

Figur 8-9 viser en tilsvarende vandstandsvariation omkring Københavns kommune i tilfælde af et højvande fra syd med en returperiode på kun 280 år. Det ses, at vandstanden i dette tilfælde varierer med ca. 2 m omkring København og Amager.

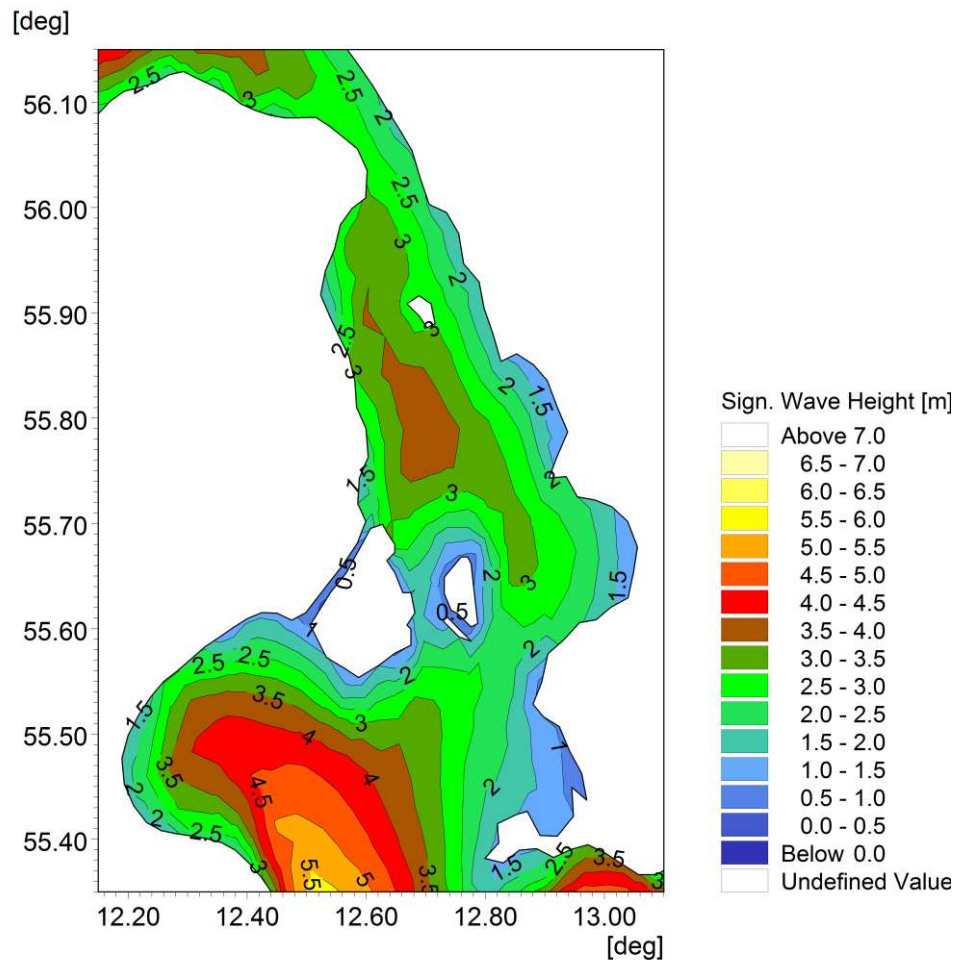


Figur 8-9 Højvande fra syd på 376 cm, maksimal stormflodsudbredelse og maksimal vandstand under højvandet. Eksemplet her svarer til en 280 års hændelse i år 2100. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. (COWI, 2016).

Af Figur 8-3 og Figur 8-4 fremgår det, at den maksimale vandstand ved den nordlige ende (Nordhavn) vil være 2,3 m, mens det vil være helt op til 2,6 m i den sydlige ende omtrentligt ud for Drogden (Kastrup) i tilfælde af et højvande fra syd og de dimensionsgivende stormparametre. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Under en sådan storm fra Ø-ØNØ vil der være pålandsvind og derfor relativt store bølger på Øresund mellem Nordhavnen og Kastrup. Saltholm giver dog delvist læ til en del af Amager.

En overslagsmæssig bølgesimulering er vist i Figur 8-10 for en konstant vind på 30 m/s fra Ø (90grader). Det fremgår, at bølgehøjderne i dette tilfælde når op på omkring  $H_s = 2,5$  m på dybt vand, f.eks. udfor Trekrøner.



Figur 8-10 Bølgesimulering for Øresund for en vind på 30 m/s fra Ø. (vandstand normalvandstand).

## 8.4 Dimensionsgivende vandstande og bølger for delområder i kommunen

For at kunne finde de korrekte designparametre og dimensionere oversvømmelsesbeskyttelse langs hele ydersiden af kommunen er det nødvendigt at opdele kyststrækningen i en række delområder, som der derefter ses overslagsmæssigt på. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle digehøjder og koter således reduceres med 13 cm.

Hvert delområde er vurderet i forhold til de dimensionsgivende storme fra NV-N og Ø og de resulterende bølgehøjder i kombination med de dimensionsgivende højvandstande, (COWI, 2016). Dette er vist i Tabel 8-1 for den dimensionsgivende storm med returperiode på 1000 år i år 2100. Endvidere er der i Tabel 8-2 og Tabel 8-3 vist tilsvarende resultater for storme med returperioder på hhv. 500 og 2.000 år i år 2100. Disse to returperioder anvendes til et skøn over

de mer- eller mindre omkostninger, samt ændringer i de skadesomfang man opnår ved at anvende et andet sikringsniveau end et 1000 års højvande.



Figur 8-11. Oversigt over punkter med måleudtræk for vandstandsstatistikken og vurdering af bølgehøjder som angivet i Tabel 8-1 til Tabel 8-3.

*Tabel 8-1 Estimerede dimensionsgivende vandstand (WL) og bølgehøjder (Hs) for dimensionsgivende storme fra NV-N og Ø for R=1000 år i år 2100. (Bølgehøjder er skønnede). Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle vandstande således reduceres med 13 cm.*

1000 års højvande i år 2100	Storm fra N-NV Højvande fra nord  Vind=27 m/s		Storm fra Ø Højvande fra syd  Vind=30 m/s	
	Højeste vandstand (WL) [m]	Bølgehøjde (Hs) [m]	Højeste vandstand (WL) [m]	Bølgehøjde (Hs) [m]
Nordhavn/Oceankaj	2,7	1,0-1,5	2,3	2,5
Trekroner dæmning	2,7	0,5	2,3	2,5
Refshaleøen	2,7	0,5	2,3	2,0
Bag Benzinøen	2,7	0,5	2,3	0,5
Amager Strandpark	2,5	1,0	2,6	1,5-2,0
(Kastrup Lufthavn)	2,0	0,5	2,6	1,5
(Avedøre Holme)	0,0	<0,5	4,5	0,5

*Tabel 8-2 Estimerede dimensionsgivende vandstand (WL) og bølgehøjder (Hs) for dimensionsgivende storme fra NV-N og Ø for R=500 år i år 2100. (Bølgehøjder er skønnede). Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle vandstande således reduceres med 13 cm.*

<b>500 års højvande i år 2100</b>	<b>Storm fra N-NV Højvande fra nord</b>		<b>Storm fra Ø Højvande fra syd</b>	
	<b>Vind=25 m/s</b>		<b>Vind=28 m/s</b>	
<b>Lokalitet:</b>	<b>Højeste vandstand (WL) [m]</b>	<b>Bølgehøjde (Hs) [m]</b>	<b>Højeste vandstand (WL) [m]</b>	<b>Bølgehøjde (Hs) [m]</b>
Nordhavn/Oceankaj	2,6	1,0-1,4	1,9	2,4
Trekroner dæmning	2,6	0,5	1,9	2,4
Refshaleøen	2,6	0,5	1,9	2,0
Bag Benzinøen	2,6	0,5	1,9	0,5
Amager Strandpark	2,4	1,0	2,2	1,5-1,9
(Kastrup)	2,0	0,5	2,4	1,4
(Avedøre Holme)	0	<0,5	4,0	0,5

Tabel 8-3 *Estimerede dimensionsgivende vandstand (WL) og bølgehøjder (Hs) for dimensionsgivende storme fra NV-N og Ø for R=2.000 år i år 2100. (Bølgehøjder er skønnede). Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100. Stiger havet 87 cm skal alle vandstande således reduceres med 13 cm.*

2000 års højvande i år 2100	Storm fra N-NV Højvande fra nord  Vind>28 m/s		Storm fra Ø Højvande fra syd  Vind>30 m/s	
	Højeste vandstand (WL) [m]	Bølgehøjde (Hs) [m]	Højeste vandstand (WL) [m]	Bølgehøjde (Hs) [m]
Nordhavn/Oceankaj	2,8	1,1-1,6	2,6	2,6
Trekroner dæmning	2,8	0,6	2,7	2,6
Refshaleøen	2,8	0,6	2,7	2,1
Bag Benzinøen	2,8	0,6	2,7	0,6
Amager Strandpark	2,5	1,1	3,0	1,6-2,1
(Kastrup)	2,1	0,6	3,1	1,6
(Avedøre Holme)	0	<0,5	5,0	0,6

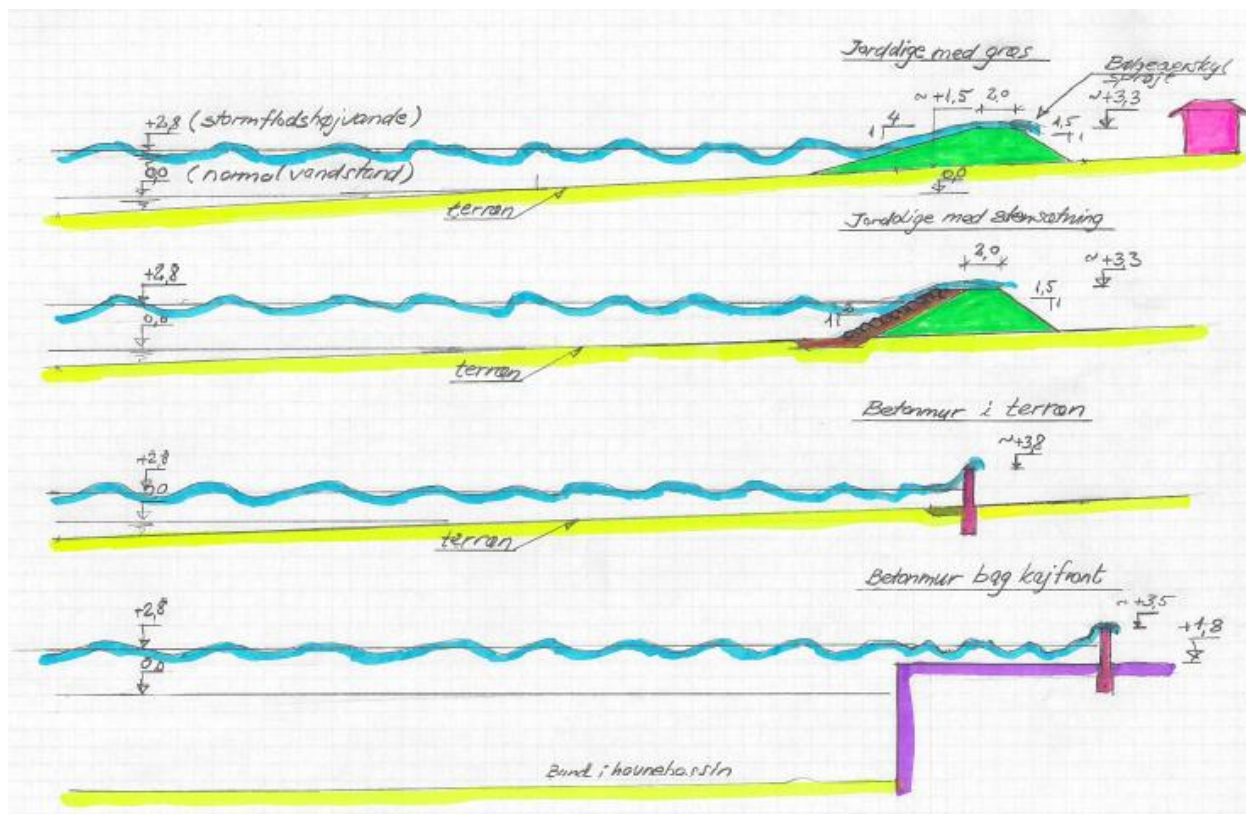
## 9 Bølgepåvirkning på kystnære konstruktioner

I dette afsnit vurderes og præsenteres bølgenes effekt sammen med det samtidige ekstreme højvande. Der er meget stor forskel på bølgenes effekt på og ved en konstruktion afhængig af følgende:

- > Størrelsen af de indkommende bølger fra dybt vand inden eventuel bølgebrydning sætter ind på grund af begrænset vanddybde
- > Forlandet foran en konstruktion til sikring mod oversvømmelse; dvs. dybden lige foran konstruktionen og hældningen af området.
- > En konstruktion som et dige eller en murkonstruktion bliver udsat for to påvirkninger, når bølgerne rammer; dels direkte bølgepåvirkning på selve konstruktionen, men også bølgeoverskyl kan forekomme afhængigt bl.a. af konstruktionens højde over roligt vandspejl.
- > Hvis en konstruktion udsættes for bølger af en vis størrelse, er det normalt ikke praktisk at bygge konstruktionen så høj, at der ikke forekommer bølgeoverskyl. Der er derfor i det følgende vist bølgeoverskyl på de valgte konstruktioner. Hvor stort et overskyl (vandmængde/s), der kan accepteres vil blive diskuteret i det følgende.

Bølgerne forplanter sig således i det helt kystnære område; og deres højde begrænses i de fleste tilfælde ved bølgebrydning på grund af en begrænset vanddybde. Som det ses af Figur 9-1, forplanter bølgerne sig i kombination med det ekstreme højvande, og på grund af bølgeopløbet på konstruktionerne er det nødvendigt at sikre til en kote, der er højere end den "rene" højvandskote.





Figur 9-1 Princippet for bølger, der rammer et dige eller lodret mur og det resulterende bølgeoverskyl.

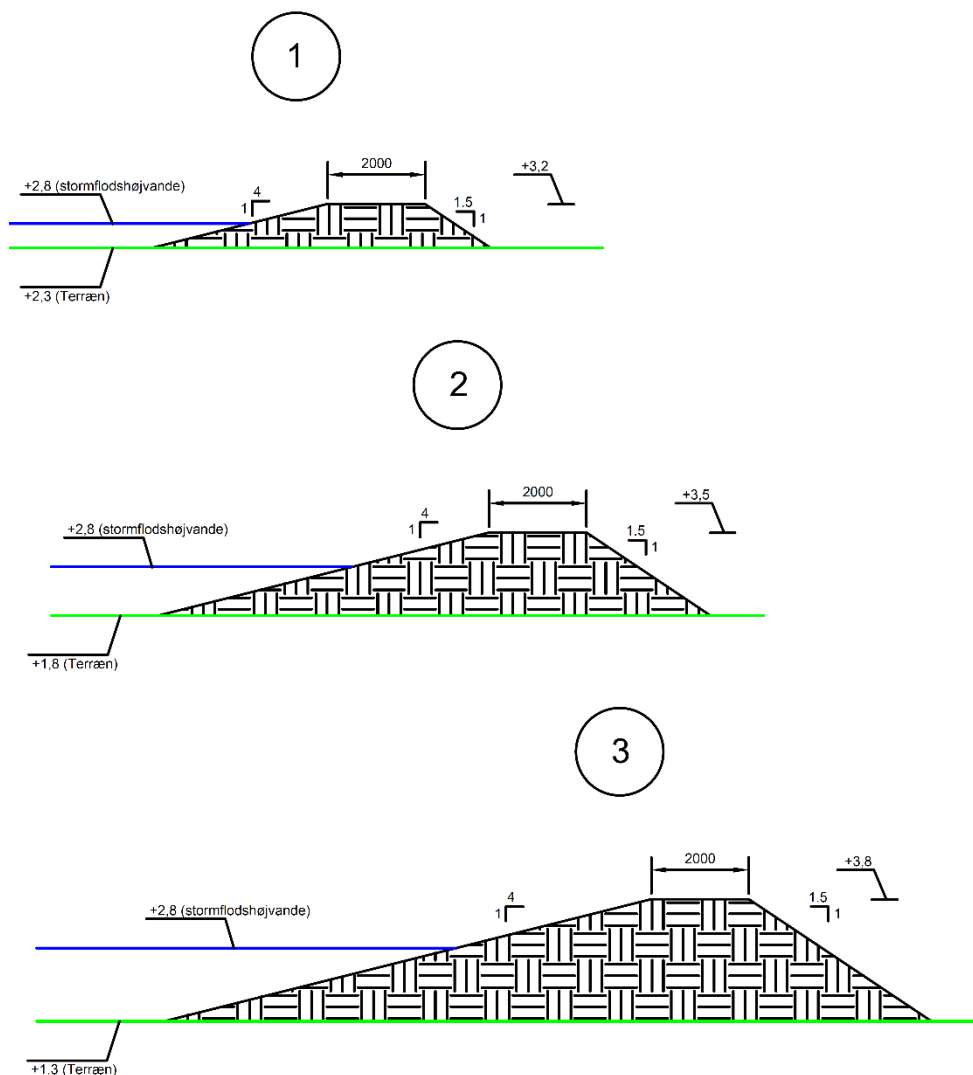
**Vanddybden, h, lige foran beskyttelsen** er samtidigt en vigtig faktor for størrelsen af bølgerne, der rammer beskyttelsen. Bølgenes højde er ofte begrænset af vanddybden, og hvis denne er begrænset og området relativt fladt (med en hældning på mindre end ca. 1:50), kan den maksimale bølgehøjde ikke overstige ca. 80% af vanddybden. Vi har altså:  $H_{max} < = 0,8 h$ . Den maksimale signifikante bølgehøjde er ca.  $H_s = 0,5 h$ . **Den signifikante bølgehøjde,  $H_s$** , anvendes typisk som et mål for uregelmæssige bølger i naturen.

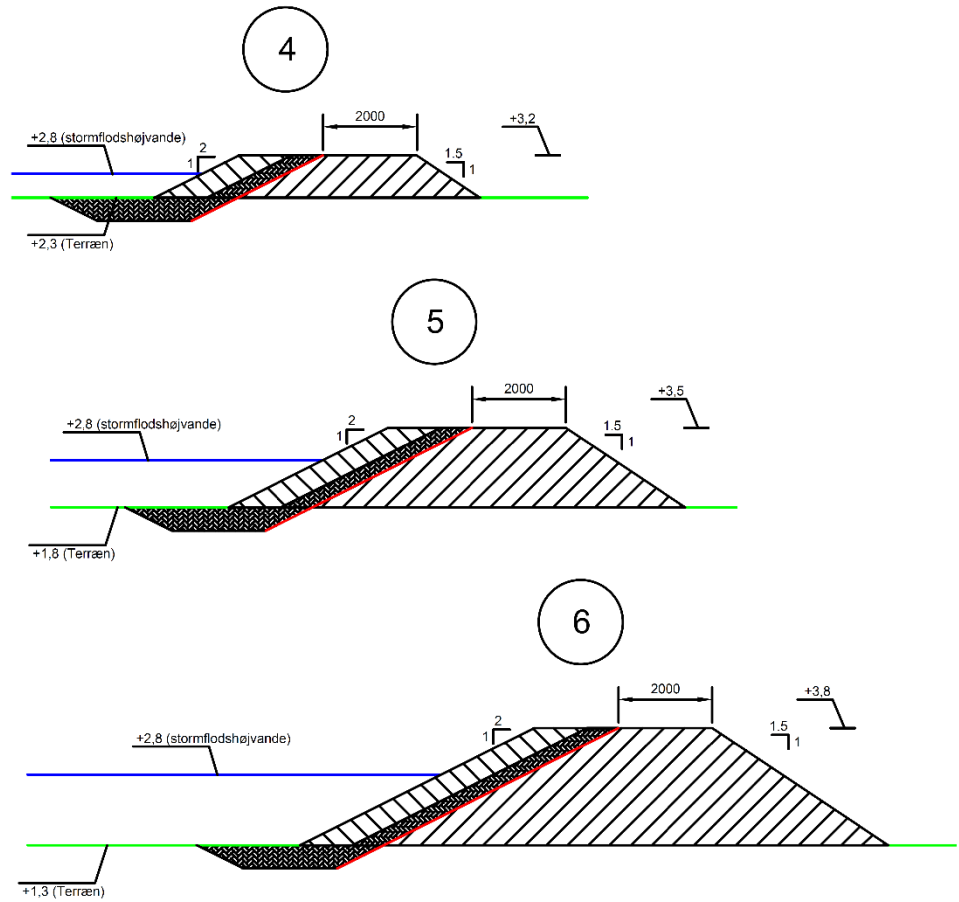
Med andre ord, hvis dybden er lille ift. bølgehøjden, vil de største bølger bryde, inden de rammer konstruktionen, og jo større vanddybde foran konstruktionen, jo større bølger kan dermed forplante sig helt ind til konstruktionen. Derfor er det af stor vigtighed at vurdere **terrænkoten, TK**, foran konstruktionen og se på forlandets hældning mod havet, hvor bølgerne kommer fra. Den **dimensiongivende højvandstand, WL**, minus TK er således den **aktuelle vanddybde, VD, foran konstruktionen**.

Dette forhold mellem vanddybde og bølgehøjde er skitseret med typiske højvandssituationer med 0,5, 1,0 og 1,5 m vanddybde foran et dige og en mur i Figur 9-2 og Figur 9-3. Hældningen af landet/havbunden foran konstruktionen er antaget på 1:50 eller fladere. Endvidere betyder bølgenes indfaldsretning en del for påvirkningen og bølgeopløbet på konstruktionen. Hvis bølgerne har en skrå indfaldsvinkel, f.eks. 45-60 grader, er bølgeopskyllet og dermed overskyllet reduceret. Figureerne viser typiske kronekoter til diget for de tre vanddybder foran

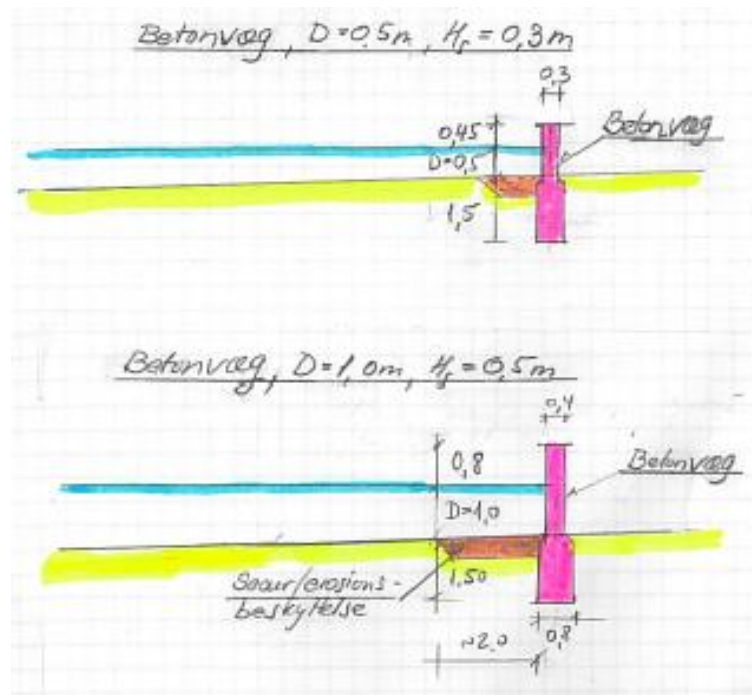
diget. Der vises to forskellige alternativer, dels rent jorddige med græs og en forsidehældning på 1:4 og et jorddige med stensætning på forsiden og en forsidehældning på 1:2. Kystdirektoratet (KDI) anbefaler normalt en hældning på 1:5 på større græsdiger, men i det foreliggende tilfælde er antaget en hældning på 1:4, da digerne har en meget begrænset højde, og det er meget sjældent, at de vil blive udsat for bølgepåvirkning.

Nedenfor viser skitser af betonmure, som et alternativ til jorddiger. Der er her vist to forskellige størrelser. Der er her vist en simpel mur med et fundament til kote -1,5 m under jordoverfladen. Fundamentet er her antaget med dobbelt bredde af selve muren over jorden. Betonmuren antages u-armeret eller let armeret. Muren i Lemvig, der er bygget på selve byens havneplads, se senere, er udformet med et fladt fladefundament. Der er således flere muligheder for udformning af en mur og dennes fundering, og det kan vurderes nærmere hvilken eller hvilke løsninger, som er de bedste for de specielle forhold, hvor en sådan konstruktion kan komme på tale i København.





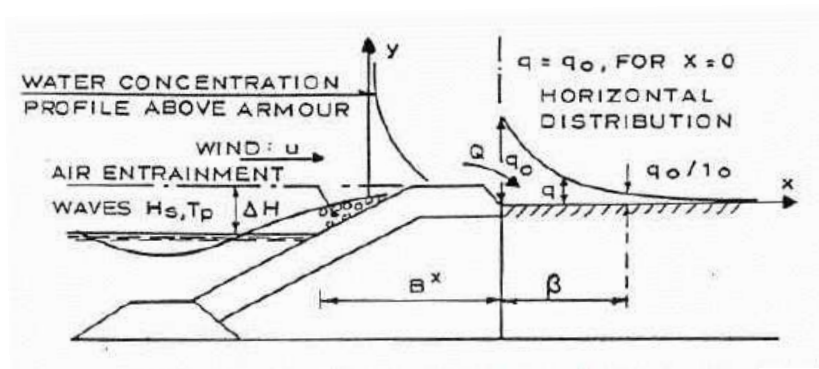
Figur 9-2 Forskellige størrelser af diger i forhold til vanddybden og bølgehøjden foran diget.



Figur 9-3 Skitser af betonvæg for forskellige vanddybder og maksimale bølger foran muren.

Som det også ses af Figur 9-1, skyller bølgerne op af konstruktionen (run-up/opskyl). Udover bølgehøjden afhænger størrelsen og vandvolumenet i et evt. resulterende overskyl yderligere af bølgeperioden ( $T_p$ ) og -retningen, konstruktionstypen (f.eks. mur eller dige), dennes forsidehældning og ruhed samt fribordet.

Fribordet, FB, er den vertikale afstand mellem top/krone-koten af diget, TD, og den dimensionsgivende højvandsstand (bestemt i (COWI, 2016));  $FB = TD - WL$ , Figur 9-4.



Figur 9-4 Principperne for bølgeopskyl og resulterende bølgeoverskyl på en vandbygningskonstruktion.  $\Delta H$  svarer til fribordet, FB, (Jensen, Ole Juul et al, 1987).

Normalt bestemmer man således top/kronekoten, TD, til en vandbygningskonstruktion eller dige, som:  $TD = WL + FB$ . Omfattende målinger fra modeller og

naturen har vist, at FB kan bestemmes som funktion af  $H_s$ ;  $FB = A \cdot H_s$ , hvor A er en koefficient. Af Figur 9-5 ses, hvorledes logaritmen af bølgeoverskyllet er proportionalt med  $H_s/FB (=A^{-1})$ . Jo større A er, jo mindre bølgeoverskyl vil der forekomme over konstruktionen.

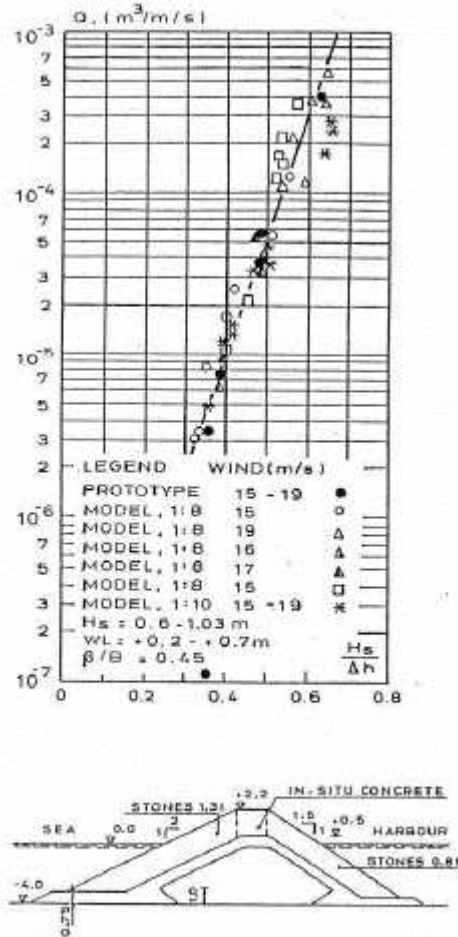


Fig. 3 Results, Profile A (Hundested)

Figur 9-5 Viser et eksempel for en mindre vandbygningskonstruktion med stenkastning på forsiden, og målt middelbølgeoverskyl i "m³/m/s" fra målinger både i natur og fysisk model.  $\Delta h$  svarer til FB.

For at bestemme koefficienten, A, må man på forhånd afgøre hvilken størrelse middeloverskyl, Q, der kan accepteres. Hvis man eksempelvis vælger et  $Q = 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$  (1 l/m/s) ses det, at  $H_s/FB (=1/A) = 0.67$  i tilfælde af vinkelret bølgeindfald. Den største påvirkning og de største bølgeoverskyl (wave overtopping) sker ved vinkelret bølgeindfald. Med det valgte overskylskriterie bliver A altså 1,5 og  $FB=1.5 \cdot H_s$ .

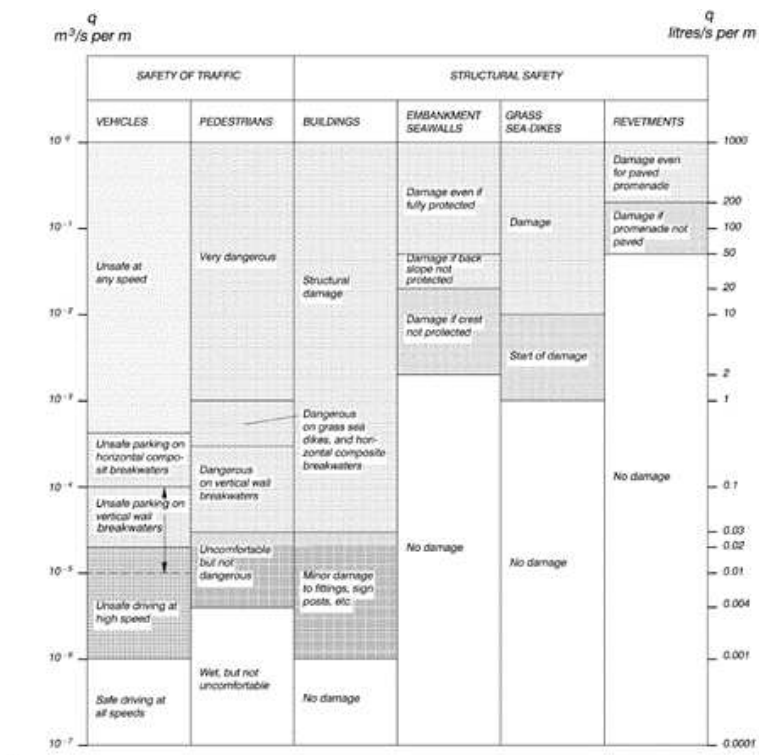
Hvor stort bølgeoverskyl, der kan accepteres, er meget afhængig af, hvad der er beliggende bagved konstruktionen, og hvor lang afstand dette emne er fra konstruktionen og drænforholdene bag diget. Selv om et stort bølgeoverskyl kan

accepteres, er det vigtigt, at drænforholdene vurderes nøje, så der ikke alligevel sker oversvømmelse bagved diget. Selv med et middelloverskyl på 1 l/m/s er der tale om 3,6 m<sup>3</sup>/m/time, og hvis den aktuelle strækning f.eks. er 100 m lang, er der tale om 360 m<sup>3</sup>/time. Hvis dette vand ikke drænes tilbage til havet, men opsamles bag et dige, kan det forårsage oversvømmelse, selv om der er et dige eller mur mellem fjorden/havet og bebyggelse, Figur 9-6.



Figur 9-6 Rågeleje strandvej på Nordkysten af Sjælland under stormen, Bodil (DK) og med oversvømmet kystvej på grund af bølgeoverskyl.

Der findes internationale kriterier for acceptabelt bølgeoverskyl. Disse kriterier er vist i Figur 9-7. Hvis der er tale om et jorddige med hældning 1:2 med en glat forside, dvs. græsbeklædning kan man overslagsmæssigt regne med  $A=1,8$  (svarer til 0,1 l/m/s). I praksis er der i det følgende regnet med,  $A=1,35$  for digerne i de to udformninger, og  $A=1,50$  for en lodret mur. Dette antages i middel med de forskellige konstruktioner, og med forskellige bølgeindfaldsretninger til et estimeret middelloverskyl på 1-2 l/m/s og vurderes som acceptabelt som mid-deltal for brug i denne første overslagsmæssige analyse.



(d) The wind can carry spray long distances whereas solid (green) water is practically unaffected by the wind. It is important to consider spray because it can cause damage to goods placed on storage areas and can cause icing of vessel superstructures in cold regions.

Figur 9-7 Internationale kriterier for bølgeoverskyl (Waveovertopping).

Et alternativ til et jorddige er en betonmur. En sådan mur skal for dybder foran muren på henholdsvis,  $D = 0,5$  m,  $1,0$  m og  $1,5$  m og med koefficienten,  $A = 1,5$  have en topkote på ca.  $+0,45$ ,  $+0,75$  m og  $+1,15$  m over vandspejlet. Det antages, at muren funderes ca.  $1,5$  m under terræn, og at fundamentet er med dobbelt bredde af selve muren, som antages at have en bredde på ca.  $0,3$ ,  $0,4$  og  $0,5$  m for de tre tilfælde, der vurderes. I praksis er det muligt, at muren bliver udført som præfabrikerede betonelementer, som støbes fast i en udgravet rende.

## 10 Enhedspriser for diger og mure

Nedenfor i Tabel 10-1 er vist et overslag over volumen og prisoverslag for jorddiger for de tre forskellige vanddybder foran konstruktionen. Priserne er meget overslagsmæssige, da der kan være stor variation på enhedspriser for lerfylden, og der kan være diverse andre omkostninger til bygning af konstruktioner i det urbane miljø. Ler/jordfyld indbygget antages at koste 500 kr./m<sup>3</sup>, filtersten 750 kr./m<sup>3</sup> og dæksten 1000 kr./m<sup>3</sup> alt inklusive. Der er regnet med et lag geotekstil (55 kr./m<sup>2</sup>) mellem jordfyld og filtersten

Tabel 10-1 Prisoverslag for jorddiger, uden eller med sten.

Case	Forskel mellem terræn og vandniveau, WL [m]	Bølger Hs [m]	Kronekote Jorddige (m over WL) (1,25 HS)	Jord [m <sup>3</sup> /m]	Ral [m <sup>3</sup> /m]	Sten [m <sup>3</sup> /m]	Geotekstil [m <sup>2</sup> /m]	Total pris [kr./m]
1	0,5	0,3	0,4	4,0	-	-	-	2.014
2	1,0	0,5	0,7	11,3	-	-	-	5.674
3	1,5	0,75	1	22,2	-	-	-	11.094
4	0,5	0,3	0,4	3,2	2,1	1,0	3,1	4.363
5	1,0	0,5	0,7	8,5	2,6	1,9	4,9	8.379
6	1,5	0,75	1	15,9	3,2	2,8	6,7	13.515

(Stensætning, 30 cm ral og 50 cm sten i et lag tæt-pakket, i alt 80 cm).

Det billigste er normalt et jord/ler-dige, enten i ren ler eller med stensætning på forsiden. Hvis der ikke er megen plads i bredden, kan en mur være en løsning. I Tabel 10-2 er vist betonvolumener og priser ved implementering af en betonmur. Betonprisen er antaget at være 4.000 kr./m<sup>3</sup> alt inklusive. Hertil kommer antaget 10% ekstra til erosionssikring foran muren, i alt 4.400 kr./m.

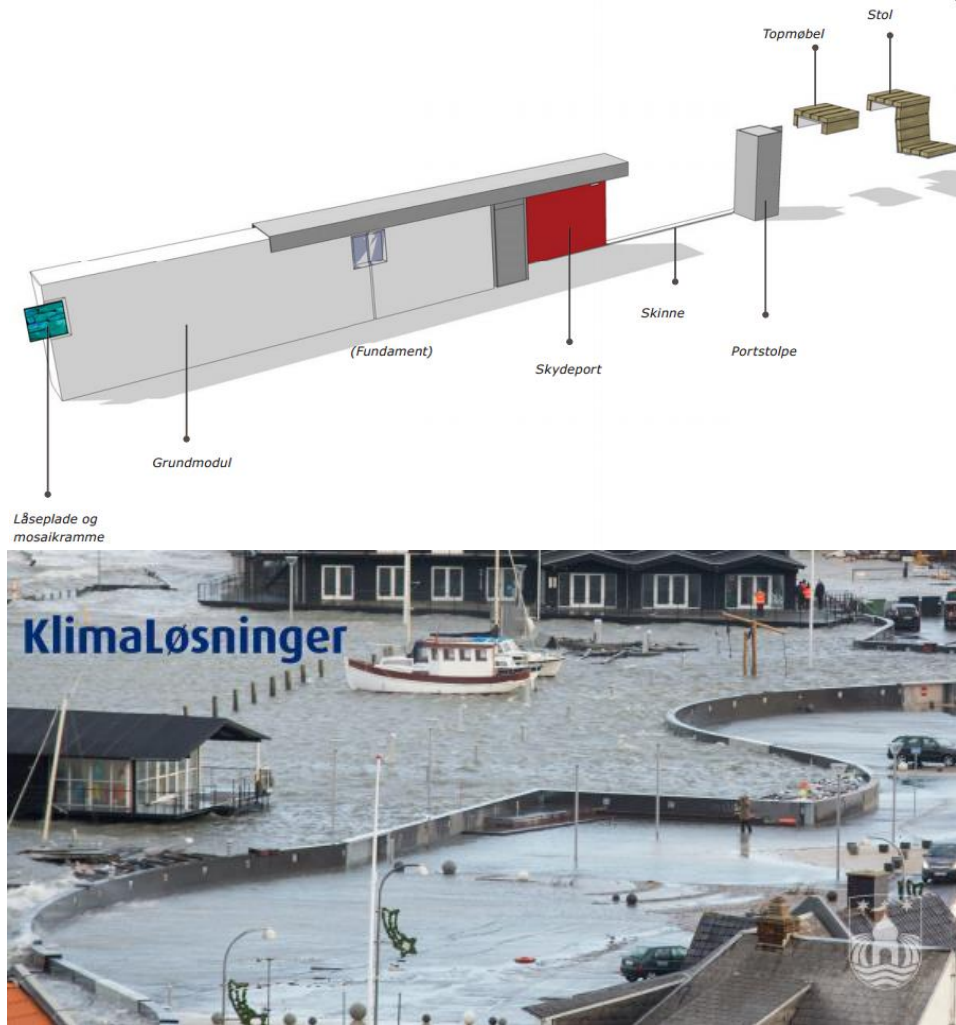
Der kan mange steder være ekstraomkostninger, hvis en sådan mur skal etableres i et bymæssigt område, da retablering af belægninger mm. kan være omkostningstungt. Disse er ikke medregnet, men bør inkluderes, når der i en kommende projektfase udarbejdes et skitse/konceptprojekt.



Tabel 10-2 Detaljer af oversvømmelsesmur og prisoverslag (se tekst under tabel vedr. pris for mur med porte).

Case	Forskel mellem terræn og vandniveau, WL [m]	Bølger Hs [m]	Kronekote mur (m over WL) (1,5 HS)	Bredde af mur over terræn (dobbelte bredde under terræn til -1,5 m)	Højde af mur over terræn [m]	Volumen af mur over terræn [m <sup>3</sup> /m]	Volumen af mur under terræn [m <sup>3</sup> /m]	Totalvolumen [m <sup>3</sup> /m]	Anlægsoverslag: Mur i beton inklusiv porte [kr./m]
1	0,5	0,3	0,45	0,3	0,95	0,29	0,9	1,19	7.110
2	1,0	0,5	0,75	0,4	1,75	0,7	1,2	1,9	11.400
3	1,5	0,75	1,13	0,5	2,63	1,31	1,5	2,81	16.875

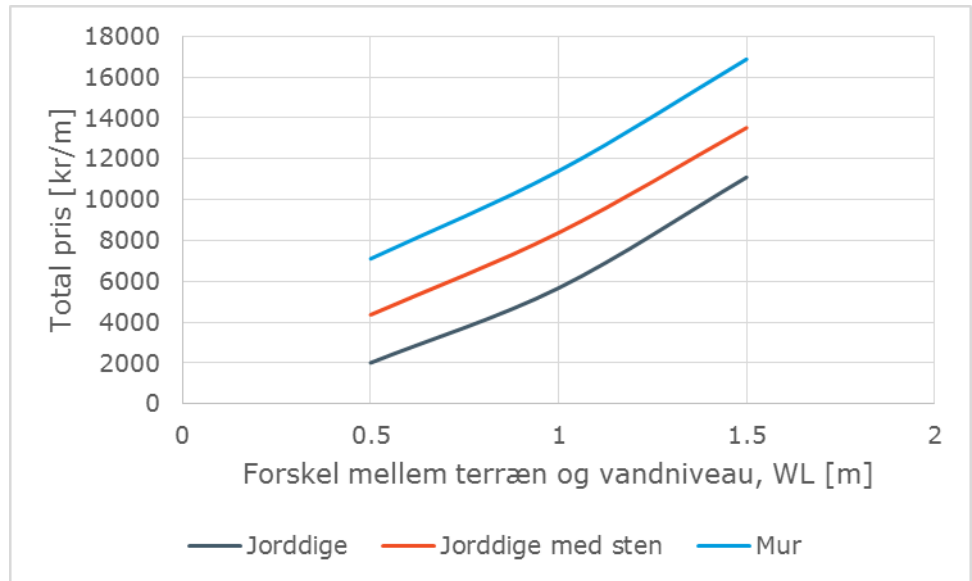
I tillæg til en mur er det nødvendigt, som vist ovenfor, at der indføres porte i muren til sikring af passage. Muren i Figur 10-1 er vist som en simpel betonmur. I praksis kan man forestille sig en løsning udarbejdet i samarbejde mellem arkitekter og ingeniører, således at sikringen bliver et attraktivt element i byrummet. Eksempelvis som en barriere med trapper eller hvis den beklædes med træ, så den får et udtryk, der passer bedre ind i det eksisterende miljø såsom eksisterende kajanlæg eller andre konstruktioner. En sådan konstruktion er f. eks. blevet udført på Lemvig Havn i Nordvestjylland efter design af COWI og i samarbejde med arkitekt. Her er der udført en række porte i muren, som normalt er åbne for at sikre passage. Portene kan så skydes for, så der er lukket i tilfælde af høj vandstand, som det ses på Figur 10-1 under den kraftige storm, Bodil.



Figur 10-1 Øverst: skitse af oversvømmelsesbeskyttelsesmuren i Lemvig. Nederst: oversvømmelsesbeskyttelsesmuren i Lemvig under stormen, Bodil efter COWI design (Lemvig Kommunes hjemmeside), og principper for muren (Ingeniøren).

Porte, tilsvarende Lemvig, koster ca. 40.000 kr./m, altså ca. 10 gange prisen for muren. Hvis det antages at 3-4 % af muren udgøres af porte, bliver gennemsnitsprisen således ca. 7.500 kr./m for den laveste mur, der er angivet ovenfor.

Både et dige og en mur kræver vedligeholdelse. På et græsdige skal græsset slås og det kan efter kraftige storme blive nødvendigt med mindre reparationer, hvis der er sket beskadigelse af diget. En betonmur er tæt på at være vedligeholdelsesfri de første mange år. Et budget for vedligehold er svært at vurdere, men overslagsmæssigt vurderes til 2 % pr. år af anlægssummen som rimeligt, og højest for en mur med porte. Dette er eksklusiv omkostninger til græsslåning, da dette formentlig allerede sker på de arealer, hvor et jorddige kommer på tale.



Figur 10-2 Total pris for jorddige med eller uden sten, eller betonmur.

## 11 Oversvømmelse fra nabokommuner

Der har hidtil i Københavns kommunes klimatilpasningsplan været arbejdet med en beskyttelse mod stormflod op til et niveau svarende til et 1000 års højvande som det forventes i år 2100. Forudsættes denne beskyttelse etableret, samt det nyligt igangsatte Ullerupdige, og de planlagte diger i Dragør og Tårnby kommune (her sat til kote 2,2 m langs næsten hele kysten), kan det modelleres, hvordan denne beskyttelse virker, og hvordan stormflod eventuelt finder vej gennem nabokommunerne og løber bag om den beskyttelse, som Københavns kommune har etableret. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Københavns kommune har ved mail af 22. februar 2017, ønsket at få belyst hvor vand fra nabokommunerne vil trænge igennem til Københavns kommunegrænse – og hvor ofte dette vil ske, hvis nabokommunerne ikke ændrer på forholdene.

I det følgende er illustreret oversvømmelsernes udbredelse ved udvalgte kritiske situationer (startende oversvømmelse i nabokommunen, vandet når kommunegrænsen mv.) og for hver situation er angivet data for den givne kritiske situation:

- Højvandstand ved Avedøre Holme,
- vandstand ved det kritiske punkt,
- tid siden højvandet begyndte at bygge sig op,
- sandsynlighed for denne situation i dag og i år 2100.

Der er taget udgangspunkt i et ekstremt højvande fra syd, der bygger sig op over 12 timer, holder makshøjden i 12 timer og falder igen til nul over 12 timer. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

De mest kritiske punkter set i relation til oversvømmelse af Københavns kommune fra nabokommunerne er de manglende diger i Dragør kommune og manglende diger ved Brøndby kommune samt den lille åbning ved Kalvebodbroen i Hvidovre kommune. Endvidere bør digerene ved Kastrup Strandpark og Kastrup havn etableres, da vand ellers vil søge ind i København allerede ved 150 cm højvande ved havnen.

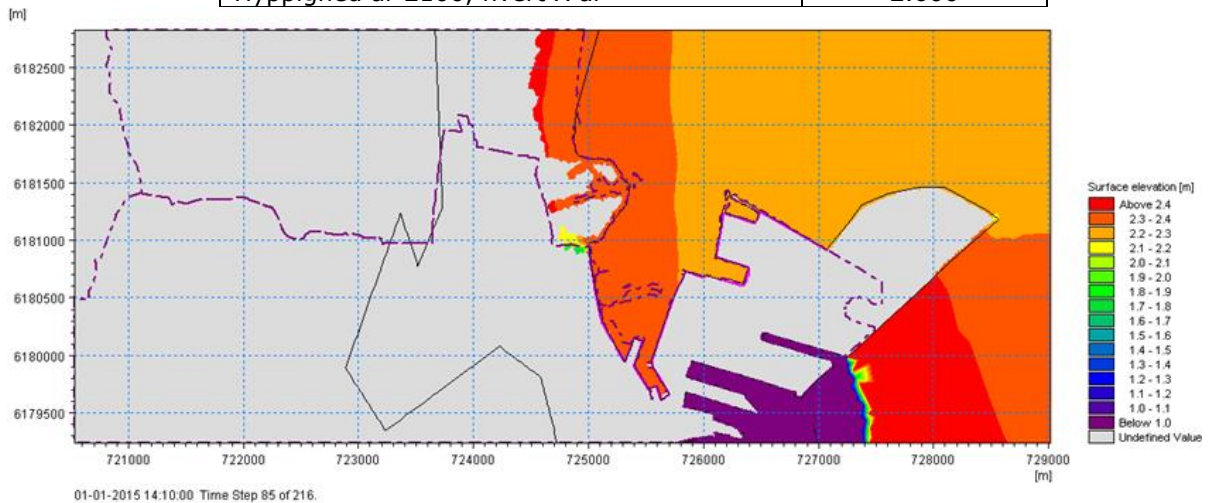
## 11.1 Gentofte Kommune

Ved højvande fra nord vil der ikke ske indstrømning på overfladen af stormflodsvand fra Gentofte kommune. De højvande, der kan give indstrømning, vil stort set aldrig kunne forekomme ved højvande fra nord – teoretisk sjældnere end hvert 10.000 år i dag og i fremtiden.

Ved højvande fra syd stiller det sig lidt anderledes, men der er også her en meget lille sandsynlighed for indløb fra Gentofte Kommune. Når der endelig sker en beskedent indtrængen, er der allerede omfattende oversvømmelser i Københavns kommune fra højvandet fra syd.

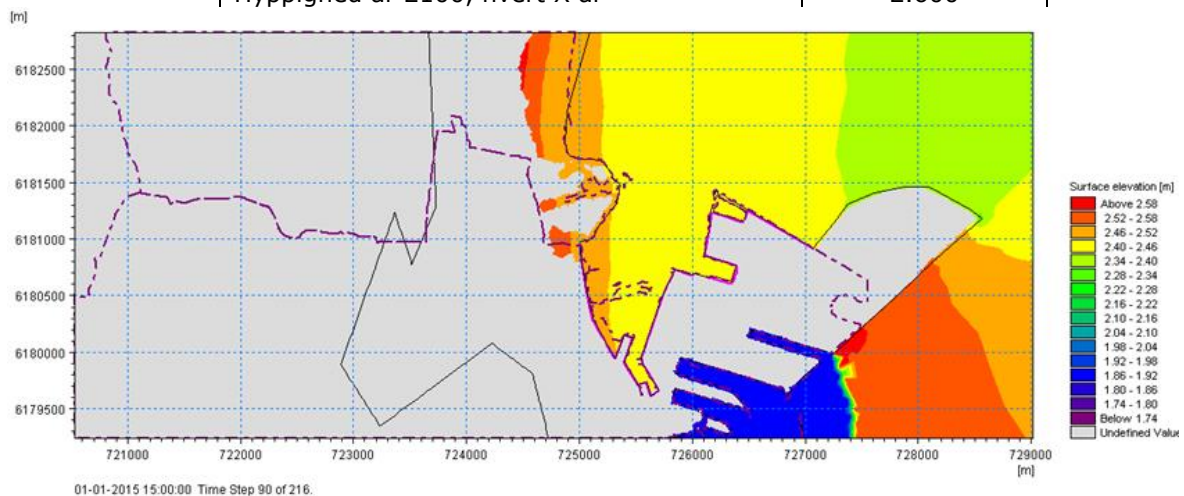
**Gentofte 1:** Vand begynder at løbe ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	240
Tid siden start af højvande, tt.mm	14.10
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



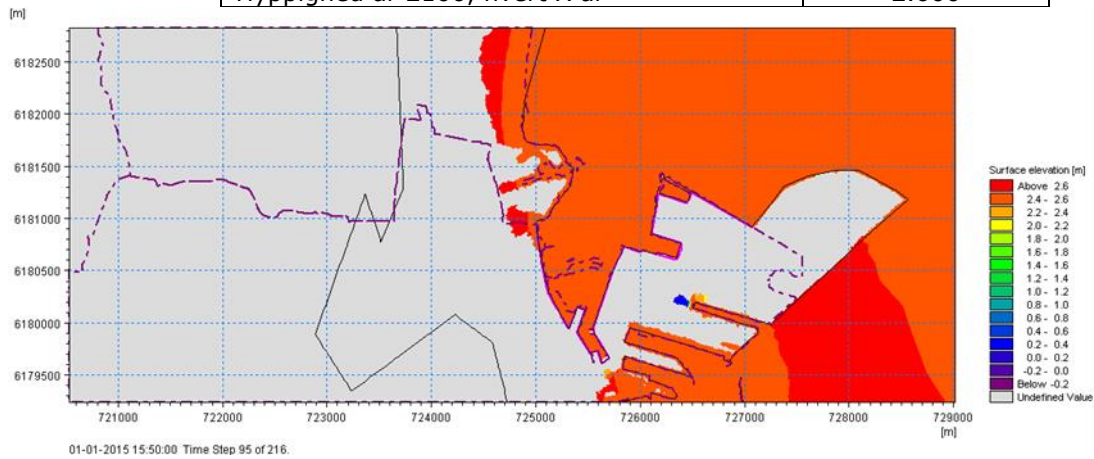
**Gentofte 2:** Vand løber ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	255
Tid siden start af højvande, tt.mm	15.00
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



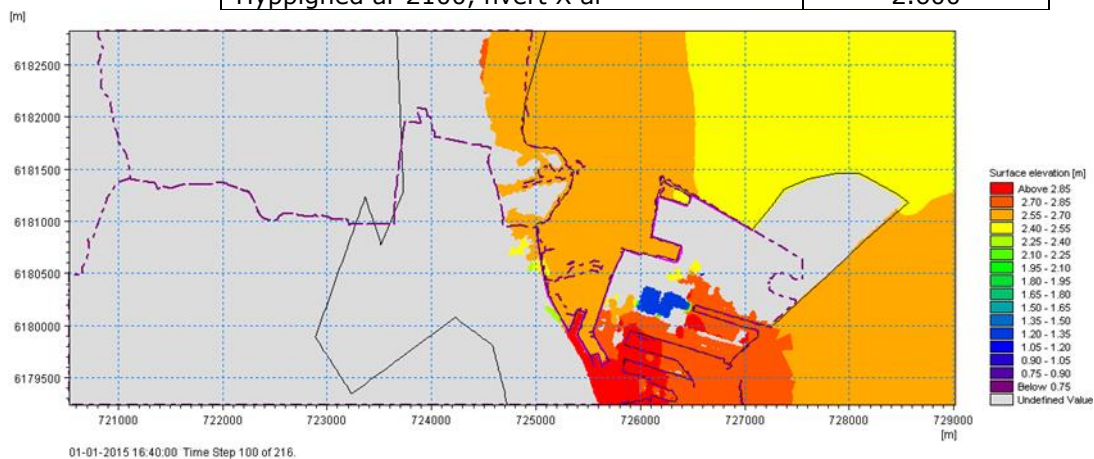
**Gentofte 3:** Vand løber ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	264
Tid siden start af højvande, tt.mm	15.50
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



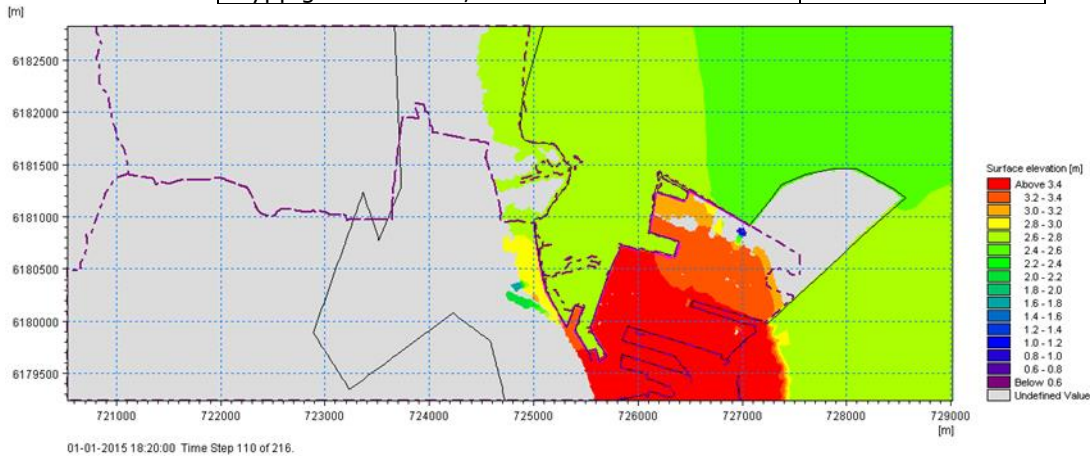
**Gentofte 4:** Vand løber ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen. Vand begynder at løbe ind direkte fra havet ved Strandpromenaden og fra syd fra Strandvænget.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	269
Tid siden start af højvande, tt.mm	16.40
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



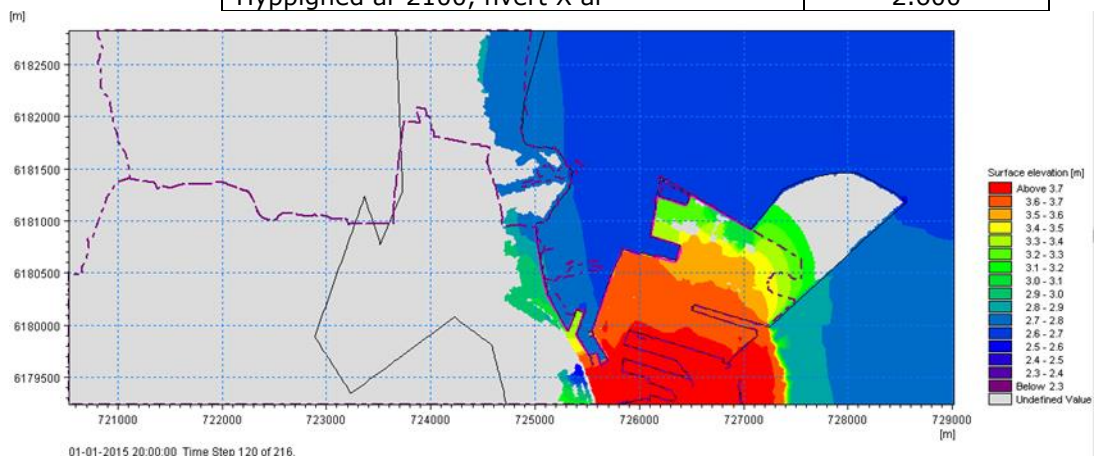
**Gentofte 5:** Vand løber ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen. Vand løber ind direkte fra havet ved Strandpromenaden og fra syd fra Strandvænget.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	278
Tid siden start af højvande, tt.mm	18.20
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



**Gentofte 6:** Vand løber ind i både København og Gentofte fra Vilhelmsdalsløbet og vand står højt i Tuborg Havn tæt ved kommunegrænsen. Vand løber ind direkte fra havet ved Strandpromenaden og fra syd fra Strandvænget.

Lokalitet, Tuborg Havn	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	290
Tid siden start af højvande, tt.mm	20.00
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600





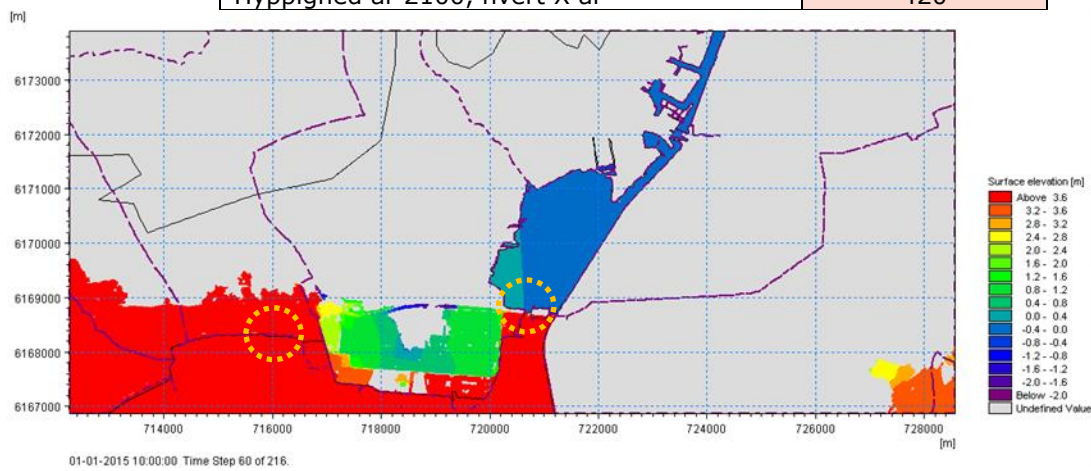
## 11.2 Hvidovre Kommune

Højvande fra syd kan trænge gennem Hvidovre og ind i Kalveboderne, samt over land mod Harrestrup Å. Første indløb sker over en beskeden strækning ved Kalvebodbroen, hvor vandet ved kote 240 cm vil begynde at løbe ind i Kalveboderne. Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

Samtidig vil højvandet begynde at løbe ind og oversvømme Brøndby kommune. Denne oversvømmelse vil brede sig bag om Hvidovre kommunes diger langs Køgebugt og til sidst nå Københavns kommune, dels direkte ved Harrestrup Å og dels indirekte fordi oversvømmelsen breder sig ud i Kalveboderne.

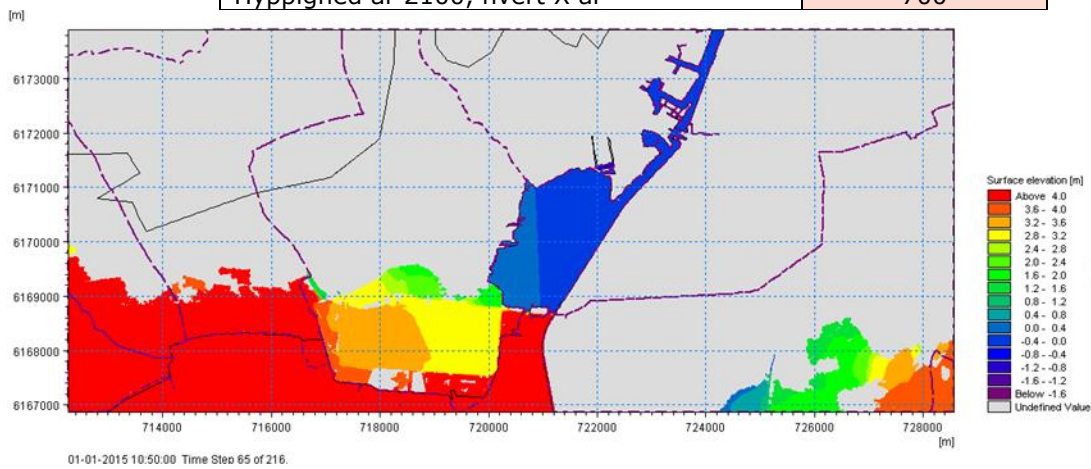
**Hvidovre 1:** Lidt vand begynder at løbe ind ved diget ved Kalvebodbroen og vand begynder at løbe massivt ind i Brøndby kommune.

Lokalitet, Kalvebod broen/dige	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	390
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	240
Tid siden start af højvande, tt.mm	10.00
Hyppighed i dag, hvert X år	1.400
Hyppighed år 2100, hvert X år	420



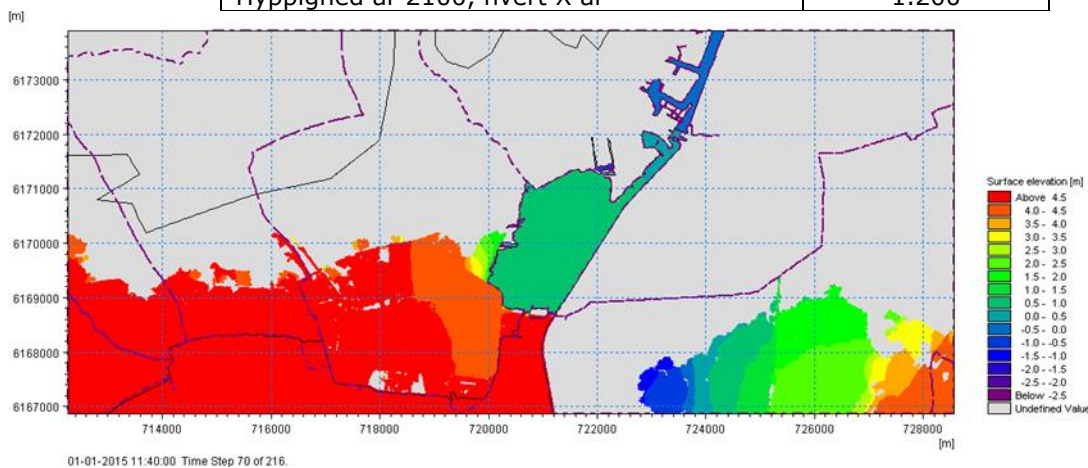
**Hvidovre 2:** Lidt vand løber ind ved diget ved Kalvebodbroen og vand fra Brøndby kommune har nu bredt sig på tværs af Hvidovre kommune og når Hvidovre kommunens dige langs Kalveboderne.

Lokalitet, Kalvebod broen/dige	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	425
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	300
Tid siden start af højvande, tt.mm	10.50
Hyppighed i dag, hvert X år	3.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	700



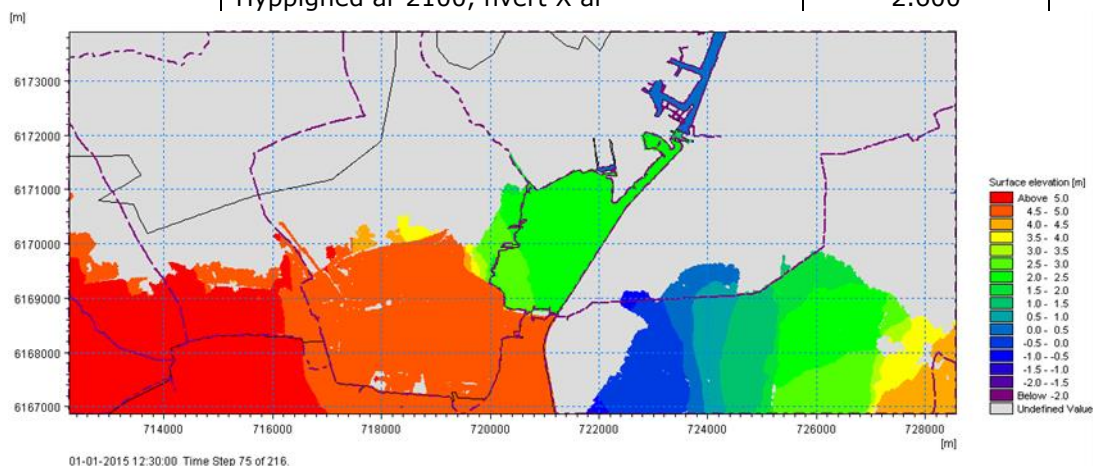
**Hvidovre 3:** Lidt vand løber ind ved diget ved Kalvebodbroen og vand fra Brøndby kommune har nu bredt sig massivt på tværs af Hvidovre kommune og når nu Kalveboderne bag om kommunens dige langs Kalveboderne.

Lokalitet, Kalvebod broen/dige	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	465
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	430
Tid siden start af højvande, tt.mm	11.40
Hyppighed i dag, hvert X år	6.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	1.200



**Hvidovre 4:** Lidt vand løber ind ved diget ved Kalvebodbroen og vand fra Brøndby kommune har nu bredt sig massivt på tværs af Hvidovre kommune og fylder Kalveboderne med vand så højvandet forplanter sig mod Harrestrup Å og Københavns Havn.

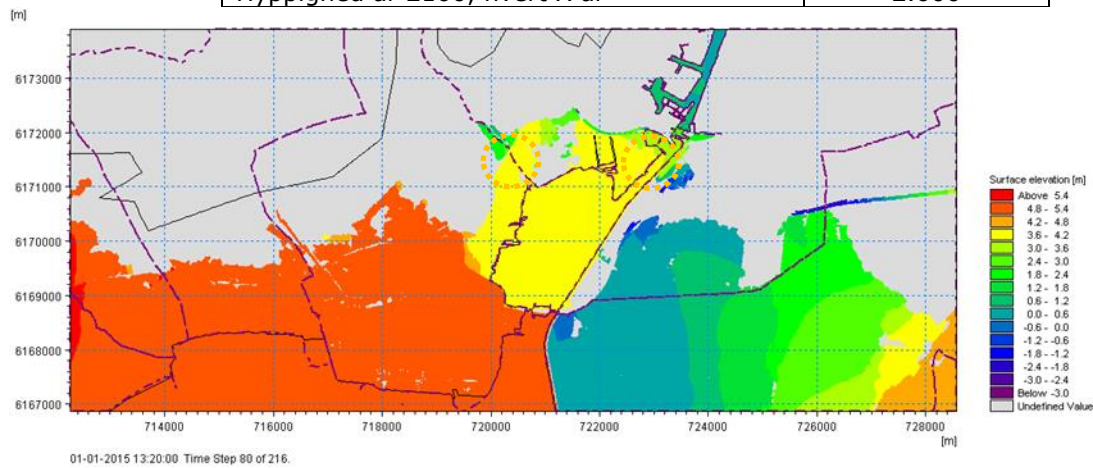
Lokalitet, Kommunegrænse/Harrestrup Å	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	250
Tid siden start af højvande, tt.mm	12.30
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



**Hvidovre 5:** Lidt vand løber ind ved diget ved Kalvebodbroen og vand fra Brøndby kommune har nu bredt sig massivt på tværs af Hvidovre kommune og

fylder Kalveboderne med vand så højvandet har bredt sig over Harrestrup Å og massivt ind i Københavns kommune.

Lokalitet, Kommunegrænse/Harrestrup Å	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	397
Tid siden start af højvande, tt.mm	13.20
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



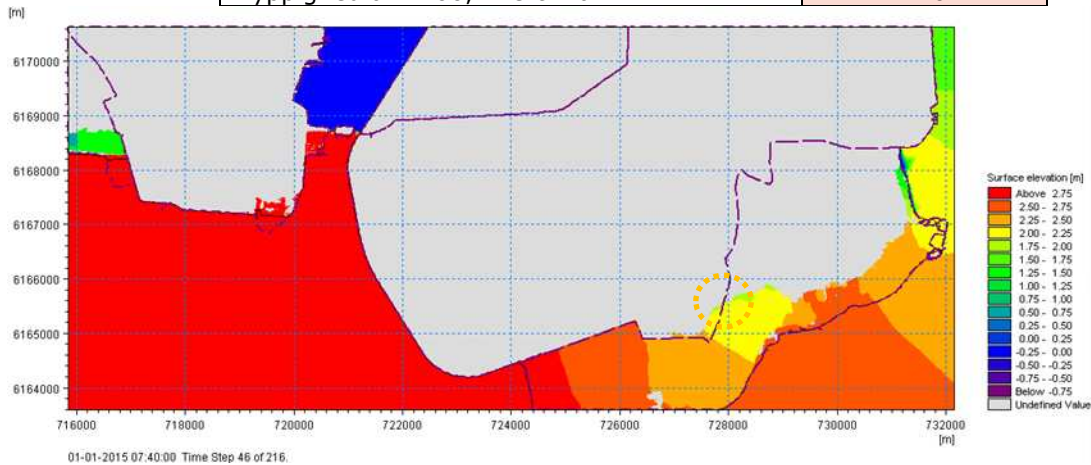
## 11.3 Tårnby Kommune

Oversvømmelser fra Tårnby kommune deles i to situationer: Sydvest via Dragør kommune og Øst via Kastrup Lufthavn. Oversvømmelser fra Kastrup Havn tæt ved kommunegrænsen og Kastrup Fort, giver kun en meget beskedent oversvømmelse, sammenlignet med de to andre kilder. Oversvømmelserne fra sydvest sker primært via Dragør kommune, hvorfra vandet løber ind i Tårnby kommune på strækningen mellem Ullerup og Englandsvej og fortsætter over lufthavnens sydlige del mod vest og nord, for til sidst at nå motorvejen i Københavns Kommune. De fleste bebyggelser i Ørestaden ser ikke ud til at blive oversvømmet. Oversvømmelserne fra øst sker primært via indløb fra syd over Kastrup Lufthavns arealer hvorfra vandet løber mod nord bag lufthavnens diger langs Øresund. Efter at have nået motorvejen og fyldt denne op vil vandet løbe videre mod nord langs Sumatravej og videre ind i Københavns Kommune. Dette vil dog først ske når lufthavnen, jernbanen og motorvejen er oversvømmet.

Der er her forudsat en stigning i havvandsstand på 100 cm i perioden 1990-2100.

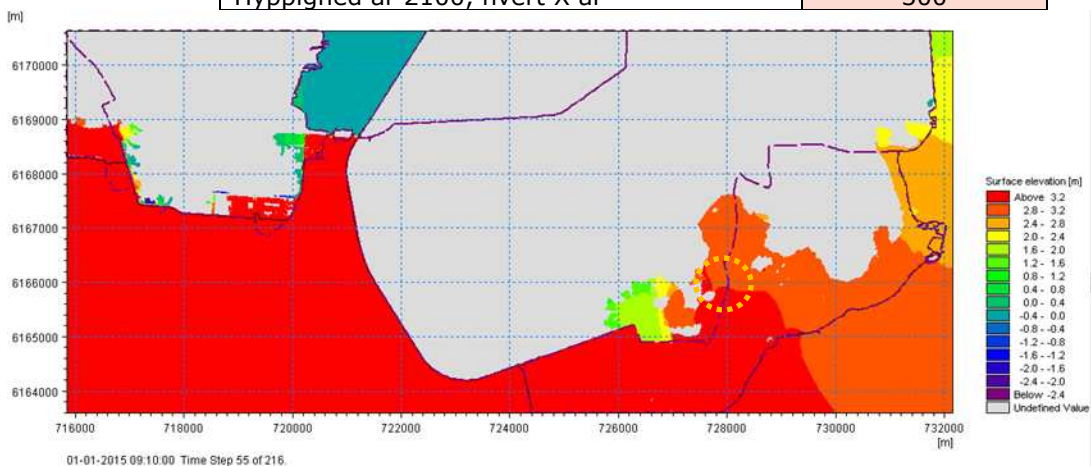
**Tårnby 1, sydvest:** Vand begynder at løbe ind i Tårnby kommune nordøst for Ullerupved diget. Vandet stammer fra oversvømmelse over den sydlige del af Dragør kommune.

Lokalitet, grænse: Dragør/Tårnby (Ullerup)	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	292
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	234
Tid siden start af højvande, tt.mm	7.40
Hyppighed i dag, hvert X år	450
Hyppighed år 2100, hvert X år	120



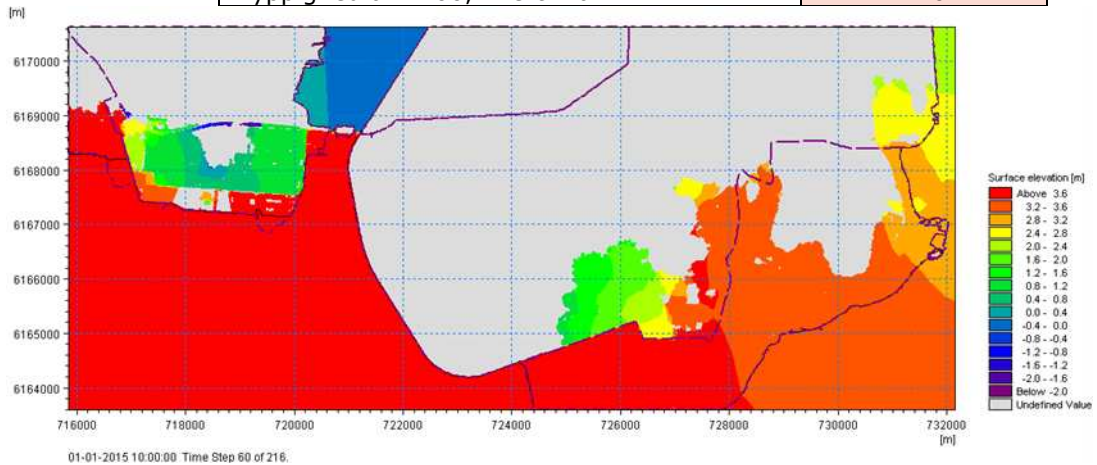
**Tårnby 2, sydvest:** Vand løber nu ind over en længere strækning af grænsen mellem de to kommuner og oversvømmelsen breder over lufthavnen og mod vest bag om Ullerupdiget.

Lokalitet, grænse: Dragør/Tårnby	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	356
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	330
Tid siden start af højvande, tt.mm	9.10
Hyppighed i dag, hvert X år	1.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	300



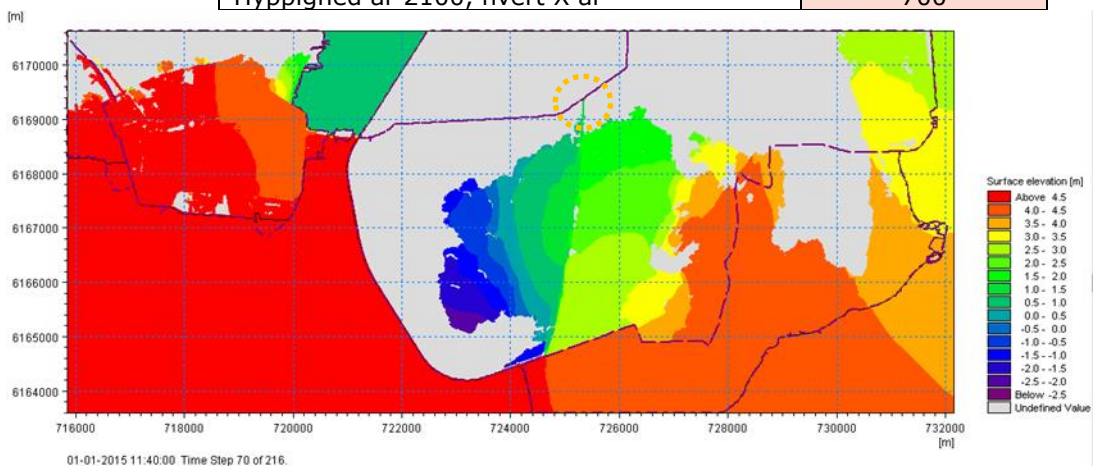
**Tårnby 3, sydvest:** Vand løber nu ind over en længere strækning af grænsen mellem de to kommuner og oversvømmelsen breder over lufthavnen og mod vest bag om Ullerupdiget.

Lokalitet, grænse: Dragør/Tårnby	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	391
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	360
Tid siden start af højvande, tt.mm	10.00
Hyppeghed i dag, hvert X år	1.400
Hyppeghed år 2100, hvert X år	420



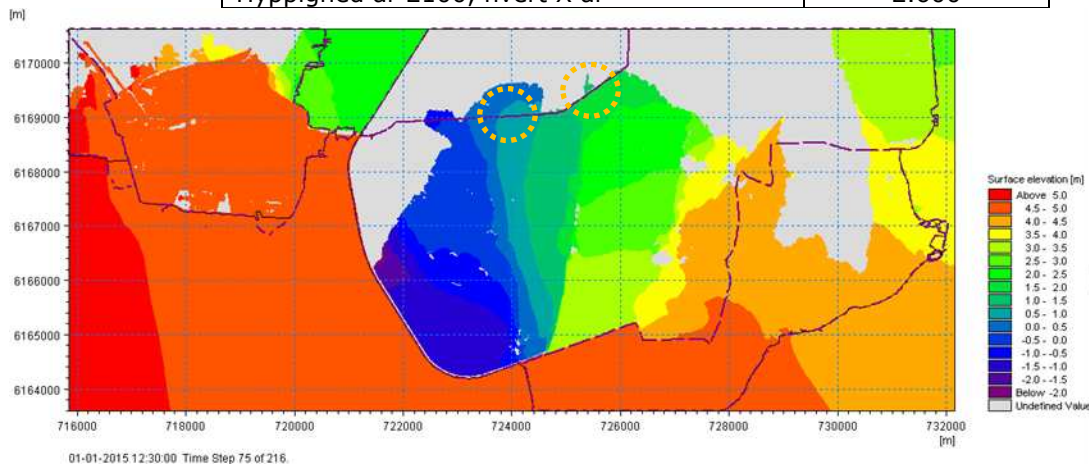
**Tårnby 4, sydvest:** Vandet breder sig nu kraftigt mod vest og nord i Tårnby kommune og bryder igennem diget mod Kalvebod Fælled. Mod nord møder vandet grænsen til København via grøften langs Kanalvej.

Lokalitet, grøft ved kommunegrænse	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	465
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	120
Tid siden start af højvande, tt.mm	11.40
Hyppeghed i dag, hvert X år	3.000
Hyppeghed år 2100, hvert X år	700



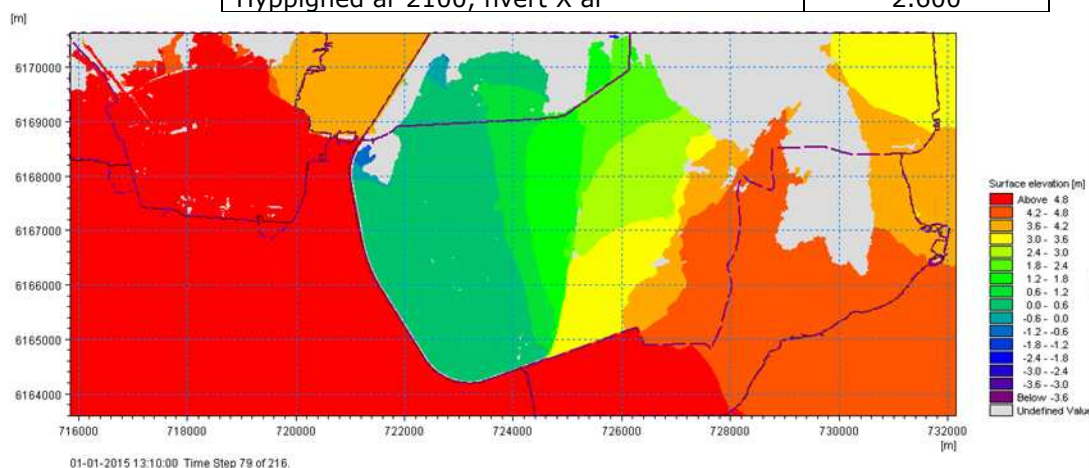
**Tårnby 5, sydvest:** Hele den sydlige del af Tårnby Kommune er oversvømmet og der løber vand ind i København via grøften langs Kanalvej og over Kalvebod Fælled.

Lokalitet, grøft ved kommunegrænse	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	498
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	160
Tid siden start af højvande, tt.mm	12.30
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



**Tårnby 6, sydvest:** Hele den sydlige del af Tårnby Kommune er oversvømmet og der løber vand ind i København over land langs hele den sydlige kommunegrænse mod Tårnby kommune.

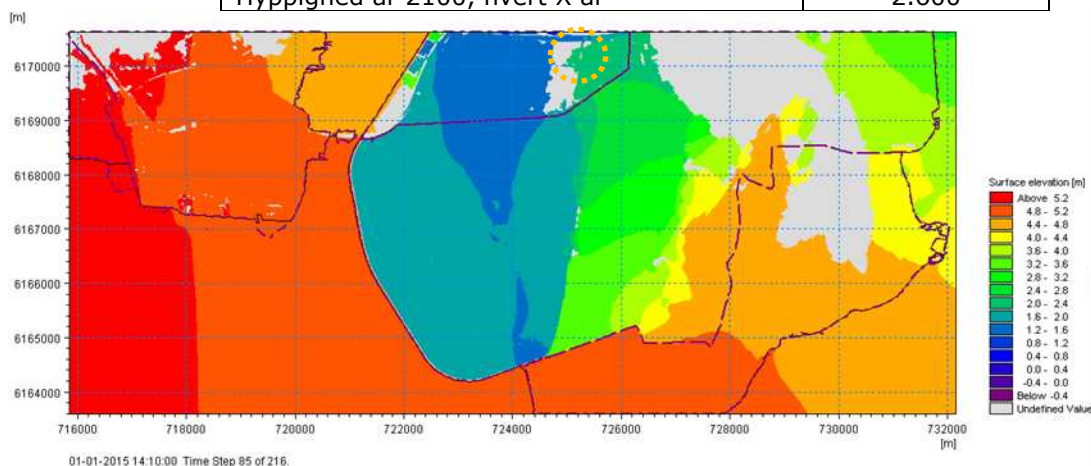
Lokalitet, grøft ved kommunegrænse	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	200
Tid siden start af højvande, tt.mm	13.10
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600





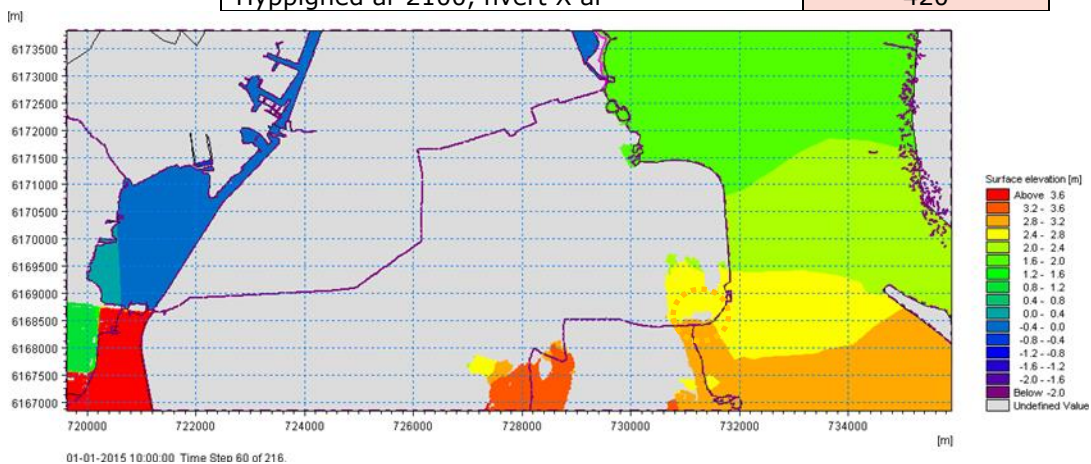
**Tårnby 7, sydvest:** Hele den sydlige del af Tårnby Kommune er oversvømmet og der løber vand ind i København over land langs hele den sydlige kommune-grænse mod Tårnby kommune. Vandet fylder nu motorvejen.

Lokalitet, motorvejen	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	185
Tid siden start af højvande, tt.mm	14.10
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



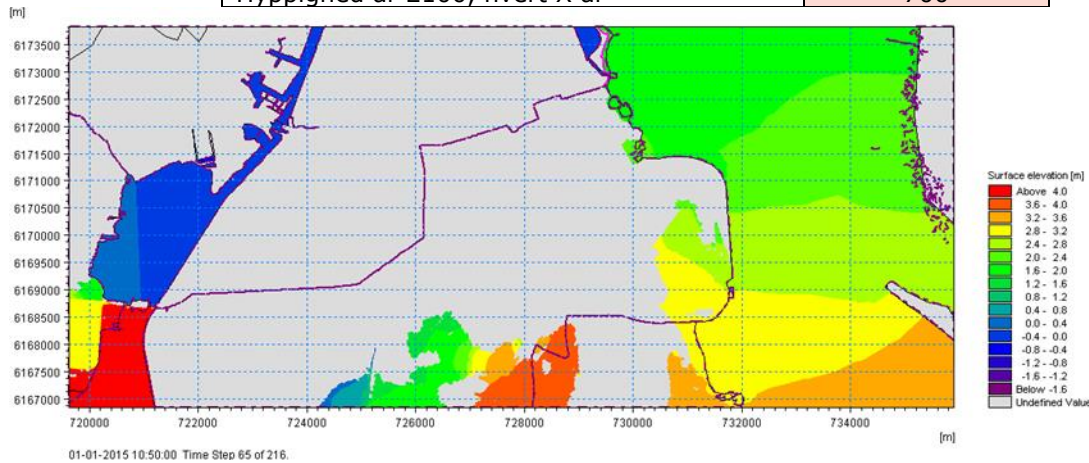
**Tårnby 8, øst:** Vand begynder at løbe ind ved Tårnby kommunes/lufthavnens diger mod syd samt over de laveste nordlige dele af Dragør kommune.

Lokalitet, Lufthavn Syd	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	390
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	270
Tid siden start af højvande, tt.mm	10.00
Hyppighed i dag, hvert X år	1.400
Hyppighed år 2100, hvert X år	420



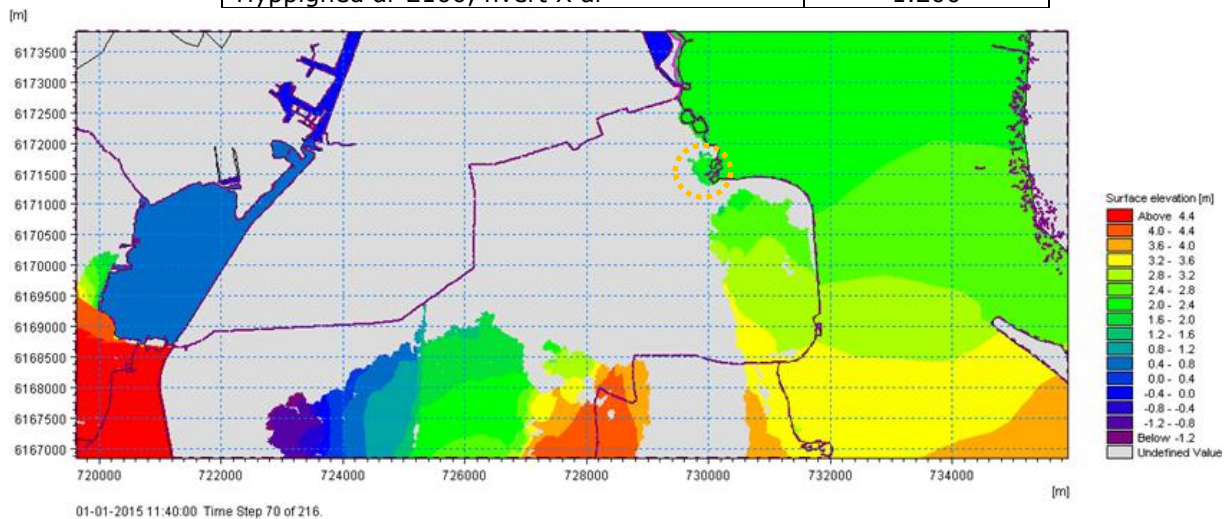
**Tårnby 9, øst:** Vandet breder sig fra syd mod nord over lufthavnens arealer.

Lokalitet, Lufthavn Syd	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	425
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	300
Tid siden start af højvande, tt.mm	10.50
Hyppighed i dag, hvert X år	3.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	700



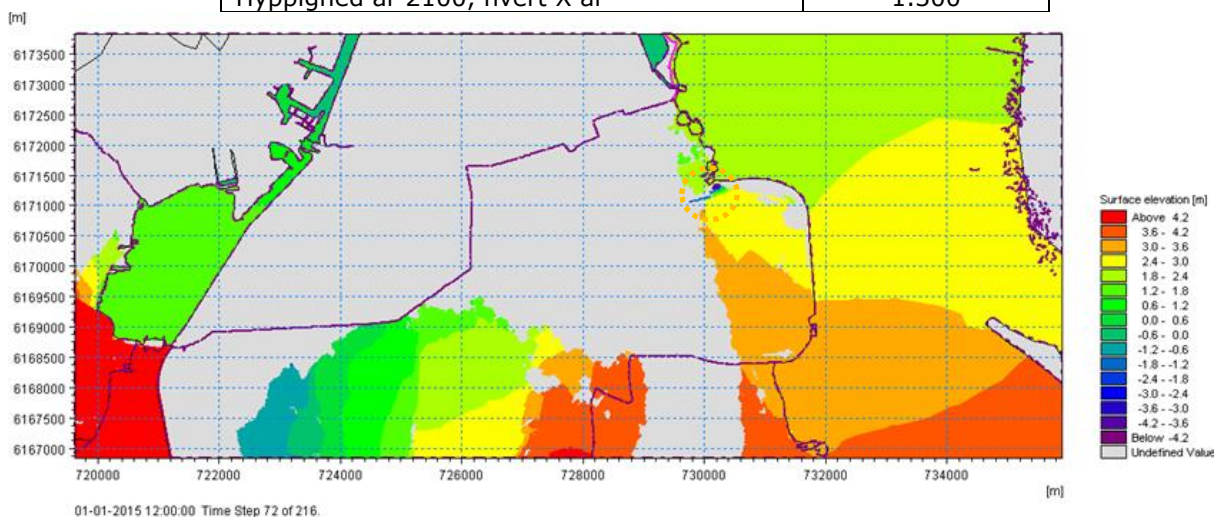
**Tårnby 10, øst:** Vandet breder sig yderligere mod nord over lufthavnens arealer og der er begyndende oversvømmelse ved Kastrup havn.

Lokalitet, Lufthavn Syd	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	465
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	330
Tid siden start af højvande, tt.mm	11.40
Hyppighed i dag, hvert X år	6.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	1.200



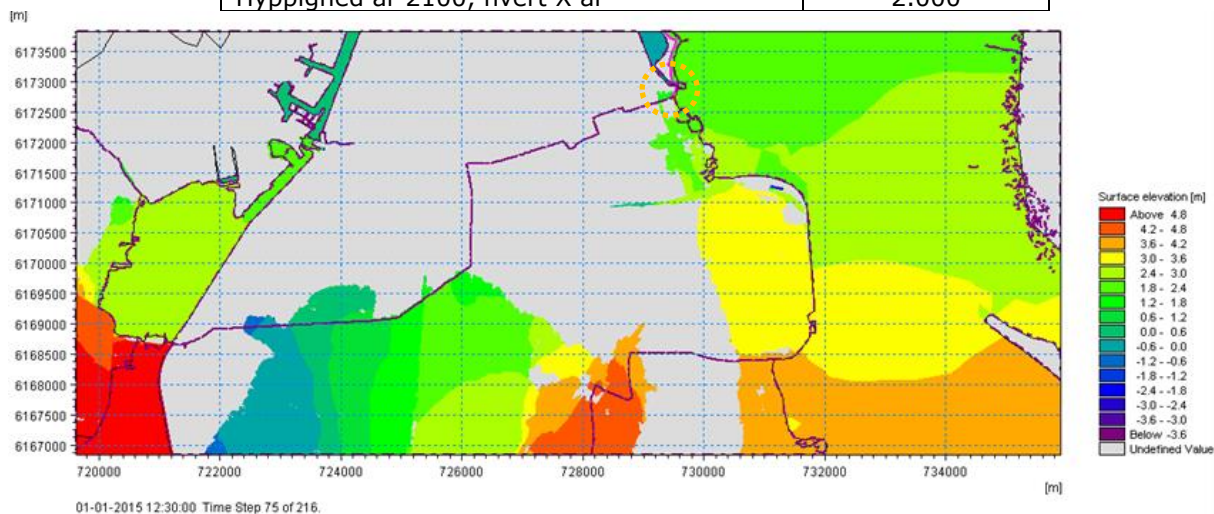
**Tårnby 11, øst:** Vand begynder fra syd at løbe ned på motorvejen. Begyndende oversvømmelser ved Kastrup Havn og Kastrup Strandpark.

Lokalitet, Lufthavn Syd	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	477
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	340
Tid siden start af højvande, tt.mm	12.00
Hyppighed i dag, hvert X år	7.500
Hyppighed år 2100, hvert X år	1.300



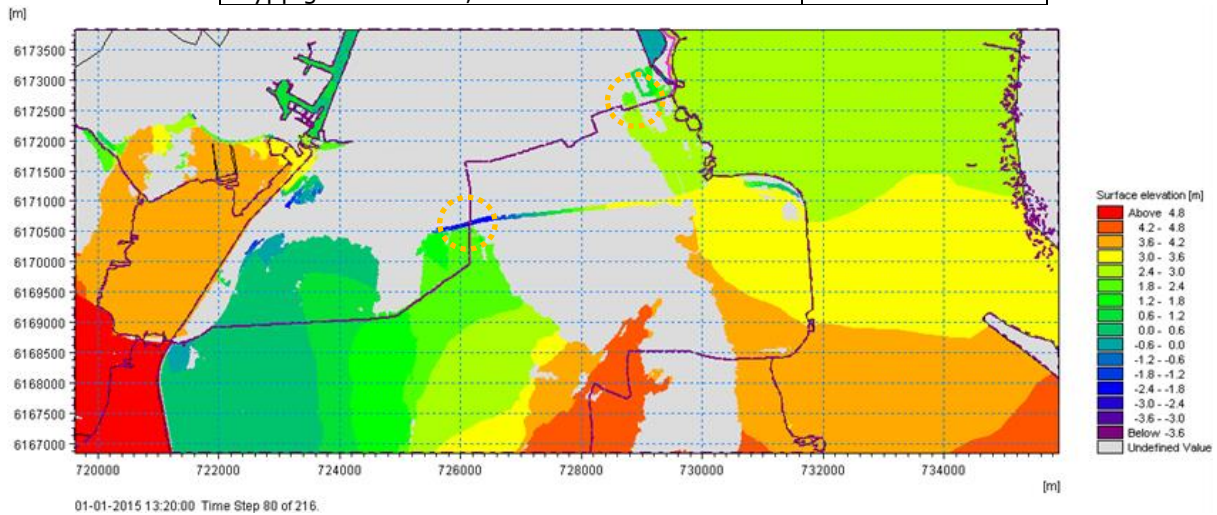
**Tårnby 12, øst:** Vand fra syd og Kastrup Havn fylder motorvejen og der begynder at løbe lidt vand til København via Amager Strandvej.

Lokalitet, Kommunegrænse, Kastrup Fort	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	498
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	170
Tid siden start af højvande, tt.mm	12.30
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.000



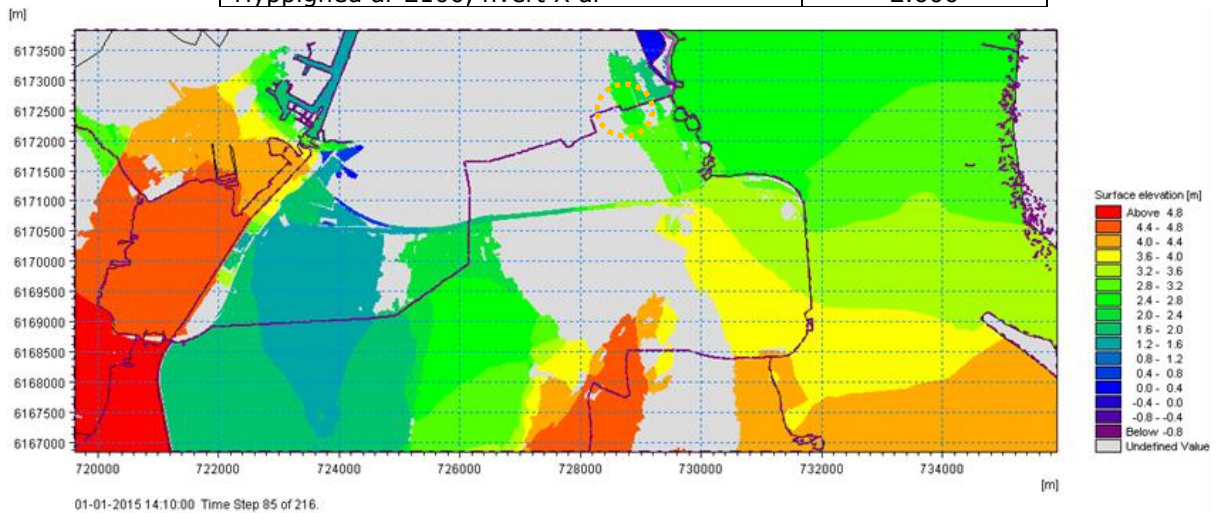
**Tårnby 13, øst:** Motorvejen er næsten fyldt og vandet fra syd løber til København langs Sumatravej og lidt langs Amager Strandvej.

Lokalitet, Kommunegrænse, Sumatravej	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	527
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	250
Tid siden start af højvande, tt.mm	13.20
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



**Tårnby 14, øst:** Motorvejen er fyldt og vandet fra syd løber til København via motorvejen, langs Sumatravej og lidt langs Amager Strandvej.

Lokalitet, Kommunegrænse, Sumatravej	
Vandstand ved Avedøre Holme (DVR90), cm	520
Vandstand ved lokalitet (DVR90), cm	265
Tid siden start af højvande, tt.mm	14.10
Hyppighed i dag, hvert X år	> 10.000
Hyppighed år 2100, hvert X år	2.600



## 12 Referencer

- COWI. (2010). *Muligheder og konsekvenser af klimasikring mod oversvømmelser. Udarbejdet for Københavns Kommune.*
- COWI. (2013). *Diger til beskyttelse af København. Udarbejdet for Københavns Kommune.*
- COWI. (2016). *Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København. Teknisk udredning for Københavns Kommune.*
- COWI. (2016). *Opfyldning ved Amager Strandpark. Udarbejdet for Københavns kommune.*
- Dr. A. Colding. (1881). *Stormen over Nord- og Mellem Europa af 12te-14de November 1872: Vandflod i Østersøen.*