STAVANGER KOMMUNE

Tromsø kommune

Klimatilpasning:

Konsekvenser av økt nedbør, havnivåstigning, stormflo, bølge og strømforhold

Kost/nytte-analyse for

Stavanger og Tromsø kommuner





22.06.2017

Rapporten er finansiert av Miljøverndirektoratet – M 705/2017

Kontakter i Stavanger

Hugo Kind (Hovedkontakt) (HK/PE)
Prosjektleder/beredskapsrådgiver

Eirik Mannsåker
Samordner/fagansvarlig
Geodata, Kultur og Byutvikling

Kontakter Tromsø kommune:

Torben Marthinus (HK)
Rådgiver/prosjektleder
Vann og avløp PU

Hans Petter Tollefsen
GIS-konsulent
Geodata, Byutvikling

Forsidefoto: Hugo Kind, Stavanger og Jan Holte, Tromsø

MAI 2017
TROMSØ OG STAVANGER KOMMUNER

ADRESSE COWI A/S
Parallelvej 2
2800 Kongens Lyngby

TLF +45 56 40 00 00
FAX +45 56 40 99 99
WWW cowi.dk

KOST/NYTTEANALYSE

av tiltak ved ekstrem nedbør, havnivåstigning, stormflo, strøm- og bølgepåvirkning



PROJEKTNR.	DOKUMENTNR.
A089544	M 705/2017

VERSION	UTGIVELSESDATO	BESKRIVELSE	UTARBEJDET	KONTROLLERT	GODKJENT
1	Mai, 2017		MEDG, ANB, LAFN, OJJ, SAFJ	GUBE	MEDG

INNHOLD

1	Sammendrag	5
1.1	Erfaringer fra dette prosjekt	5
1.2	Kort om metoden	6
1.3	Resultater fra Kost/nytte-analyse	9
1.4	Anbefalinger til videreutvikling av metoden	13
2	Innledning	15
2.1	Formål	15
2.2	Bakgrunn	15
2.3	Oppbyggingen av rapporten	15
3	Metoden i korte trekk	17
4	Utbredelse av flom fra hav og nedbør	21
4.1	Utbredelse av flom fra hav	21
4.2	Utbredelser av flom fra nedbør	28
5	Sannsynlighet	33
6	Verdi/skadekostnader ved skader	37
6.1	Skadekostnader av flom fra hav og nedbør	37
6.2	Skadeomfanget av flom fra hav	39
6.3	Skadeomfanget av flom fra nedbør	43
7	Den økonomiske risikoen	45
7.1	Stavanger	45
7.2	Tromsø	46

8	Tiltak	49
8.1	Skisser av konstruksjonstyper og anleggsoverslag	49
8.2	Kostnader ved tiltak	57
9	Kost/nytte-analyse	61
9.1	Generelle antakelser	61
9.2	Følsomhetsanalyser	62
10	Etterbehandling av analyseresultater	63
10.1	GIS-data	63
10.2	Regnearket	63
11	Resultater	65
11.1	Stavanger	65
11.2	Tromsø	67
12	Konklusjon	73
13	Referanser	75

BILAG

Bilag A	Ekstrembølge og bølgeoppskyllshøyder samt ekstrem høyvann
Bilag B	Hydrografiske forhold Stavanger
Bilag C	Hydrografiske forhold Tromsø
Bilag D	Prinsipper for beregning av bølgeoverskyll

1 Sammendrag

Klimatilpasningsnettverket "I Front" er et nettverk, som arbeider med klimatilpasningsprosjekter i Norge med hensikt å øke og dele kunnskap om hvordan de framtidige klimautfordringene kan håndteres. Nettverket består av 11 kommuner og Miljødirektoratet. Sistnevnte har koordineringsansvaret.

En av de store fremtidige klimautfordringene i Norge er oversvømmelser fra ekstremnedbør og stormflo. For å møte denne utfordringen er det behov for et relevant og kvalifisert bakgrunnsmateriale som kan danne grunnlaget for kommunenes arbeid med overordnet klimatilpasningsstrategi og -planer. Dette er et pilotprosjekt som primært sikter mot en overordnet strategi og vurdering av metodens anvendelse, og ikke mot spesifikke og detaljerte løsninger for lokal risiko i de to prosjektområdene. Målet er å vurdere metodens anvendelighet og se på fordelingen av den økonomiske risikoen for kommunene.

Tromsø og Stavanger kommune er valgt ut, og skadekostnadene før og etter tiltak i begge kommunene er vurdert. Det er utarbeidet risikokart for hver kommune, der det er mulig å se omfanget av skadene geografisk. På bakgrunn av risikokartene kan kommunene se hvor det er nødvendig å foreta klimatilpasning. Dette er et pilotprosjekt som legger meget stor vekt på metoden til vurderingen av kost/nytte ved klimatilpasning.

1.1 Erfaringer fra dette prosjekt

Dette pilot-prosjekt for Tromsø og Stavanger kommune har vist at:

- Det finnes godt og oppdatert materiale om ekstremvær og forventede klimaendringer i Norge.
- Det finnes godt digitalt kartmateriale som kan brukes ved analysen.
- Det er et stort potensiale for å benytte GIS-analyser i kommunene.

- Det er et behov for å gjennomføre mer detaljerte hydrauliske beregninger for å vurdere utbredelsen av flom og stormflo, men man kan komme langt ved enkle GIS-analyser.

- Flom fra nedbør er i rapporten kun inkludert for urbane områder ved hjelp av en svært enkel modell. Ved analyser bør man også inkludere oppstrømsområder, samt overløp fra vassdrag og bekker.

- I løpet av kort tid er det mulig å få et godt anslag over de samfunnsøkonomiske konsekvensene av ikke å gjøre noe, eller å gjennomføre tiltak til et valgt nivå.

- Den undersøkte metoden, med anvendelse av standard kjent software, kan gi en god oversikt over de økonomiske faremomentene, nyttekostnad av tiltak, utvikling av faremomentene over tid og lokalisering av områder med spesielt høy risiko ut fra et økonomisk synspunkt.

- De fleste kommuner med GIS-kompetanse og kjennskap til MS Excel vil kunne gjennomføre en tilsvarende analyse som denne for Tromsø og Stavanger.

- Metoden er universell, forholdsvis enkel og påliteligheten av resultatene avhenger av hvor detaljerte beregninger det er gjennomført for den dynamiske utbredelsen av flom og stormflo, samt påvirkninger fra bølger. Her vil det nok, for de minste kommunene, kreve bistand fra konsulenter eller hjelp fra de større kommuner.

1.2 Kort om metoden

Undersøkelsen er utført etter samme metoden som rapporten "Muligheder og konsekvenser af klimasikring af København mod oversvømmelser" bygger på. Undersøkelsen er supplert med erfaringer og metoder som er utviklet i lignende oppdrag etter 2010.

Det er benyttet eksisterende grunndata, modeller og rapporter for eksisterende undersøkelser av oversvømmelser fra regn og hav, vannføringer fra avløp og grunnvannspåvirkning.

Hovedtrekkene i metoden er skissert i Figur 1-1. Når alle trinnene i analysen er gjennomført vil resultatet av kost/nytte-analyse være en verdi av skadekostnadene før og etter klimatilpasningstiltak. Dermed er det mulig å vurdere om klimatilpasningen kan forsvares.



Figur 1-1 Hovedtrekk i metoden

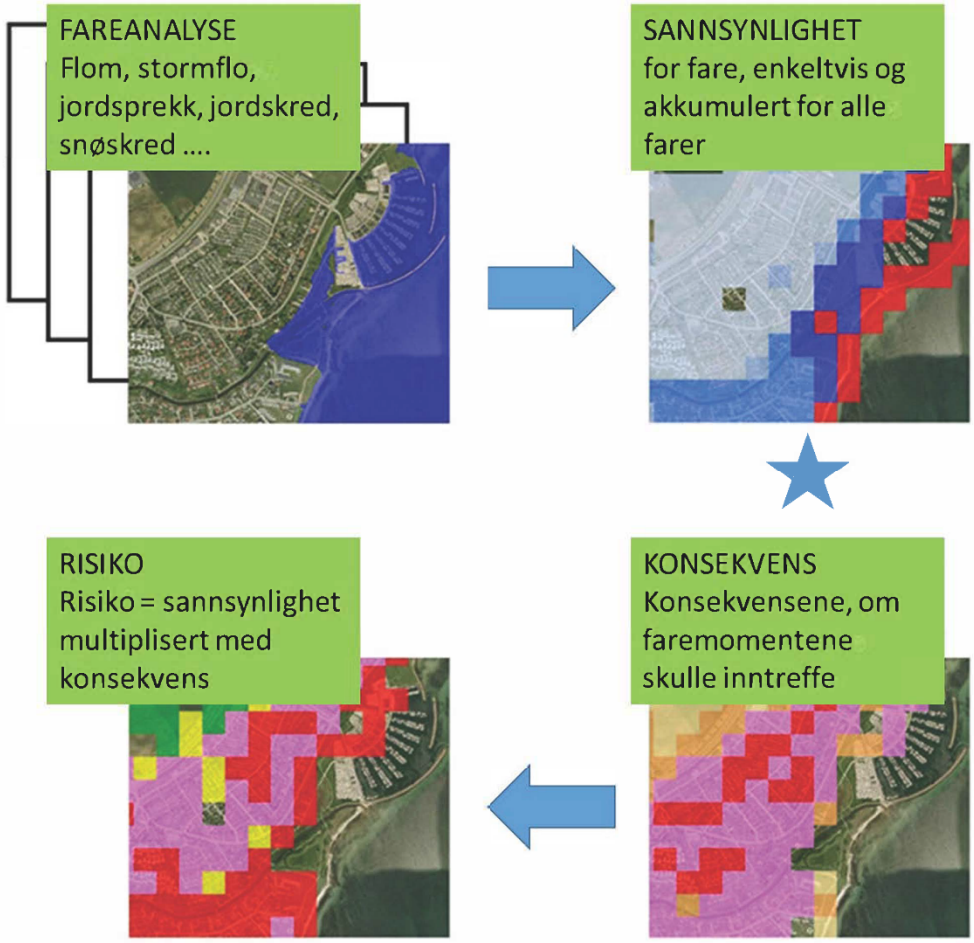
Overordnet beregnes utbredelsen av oversvømmelser fra stormflo og nedbør for utvalgte situasjoner ved bruk av modellberegninger for hver enkelt kommune, enten ved avanserte detaljerte hydrauliske modeller, eller ved enklere GIS-analyser av terrengmodeller. Ved hjelp av disse modellene er det mulig å beregne omfanget av private husstander, forretningsbygninger, stasjoner eller andre fasiliteter som blir skadet ved en rekke ulike høyvannstander og intensiteter av nedbør. I tidligere studier er det på bakgrunn av forsikringsdata funnet frem til skadeverdiene av de ulike fasilitetene. Ved å multiplisere skadeomfanget med skadeverdiene fra tidligere studier, får vi de samlede skadekostnadene ved en gitt hendelse av enten høyvann eller ekstrem nedbør. Deretter multipliseres de samlede skadekostnadene ved en gitt hendelse med sannsynligheten for at hendelsen inntreffer. På bakgrunn av dette er det mulig å illustrere på kart over kommunen, hvilke områder som har størst økonomisk risiko ved oversvømmelser, såkalte risikokart.

For å kunne utarbeide en kost/nytte-analyse beregnes antallet skader ved fire høyvann- eller regnintensiteter avhengig av om det er regn eller høyvann som vurderes. De fire nivåene benyttes til å estimere omfanget av skader for de mellomliggende nivåene. Dette resulterer i en estimering av skadekostnadene som en funksjon av enten høyvann eller regnintensitet. Deretter er det mulig å stille opp skadeomfanget for hvert enkelt år og nivå (koter eller intensiteter). Dette gjøres frem til 2100.

På bakgrunn av risikokartene utpekes områder, der det bør foretas tiltak for å begrense oversvømmelsene. Et nødvendig sikringsnivå velges, og skadeverdiene under dette nivået settes til null.

Ved å sammenligne skadekostnader uten tiltak med skadekostnader med klimatilpasningstiltak fra 2016 til 2100, vurderes den samfunnsøkonomiske verdien av klimatilpasningstiltak ved en nettonåtidsverdi som er fremtidige kostnader i dagens priser. En samlet positiv verdi indikerer at det vil være lønnsomt for samfunnet, samlet sett, å implementere klimatilpasningstiltaket. En negativ verdi indikerer det motsatte.

Den anvendte metoden til å utarbeide risikokartene og kost/nytte-analyse er vist grafisk i Figur 1-2 og kort beskrevet etter figuren.



Figur 1-2 Diagram for systematikk ved vurdering av risiko ved ekstremvær.

Metoden vist i Figur 1-2 er basert på følgende hovedprinsipp:

1 Modellering av **utbredelse av flom** fra hav og fra nedbør der avrenning og smeltevann samler seg i terrenget, ved forskjellige værsituasjoner i dag og i framtiden med eksakt beregning av data for flom og overføring av alle resultater til GIS. (FARE)

2 Hver modellert situasjon representerer en **sannsynlighet** som en kombinasjon av et gjentaksintervall og et årstall. Av dette kan det for hver enkelt gridcelle på f.eks. 100x100 meter oppsummeres samlet sannsynlighet for at cellen blir rammet av oversvømmelse. (SANNSYNLIGHET)

3 For de samme cellene oppsummeres **verdi/skadekostnader ved skader**, dersom cellen rammes av oversvømmelse. Oppgjøret av skadeverdi skjer ut fra kjennskap til arealanvendelse og funksjon (bolig, forretningslokaler, lufthavn, vei, tunnel osv.) (KONSEKVENS)

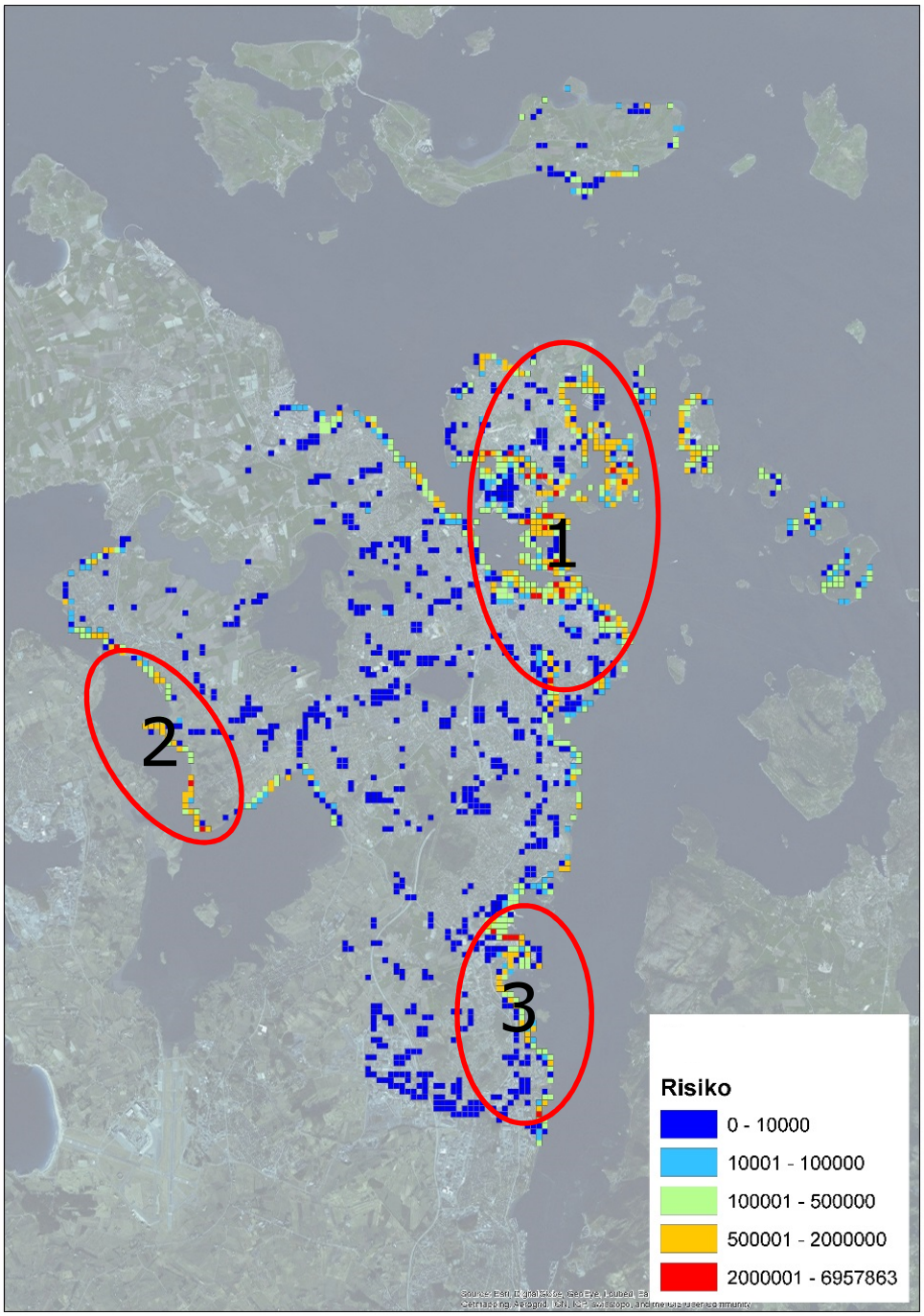
4 **Den økonomiske risikoen** regnes ut for hver celle ved å multiplisere sannsynligheten for oversvømmelse med omfanget av kostnader ved en oversvømmelse. (RISIKO)

5 Løsninger og overslag for **tiltak** for å imøtekomme ekstreme værforhold til et valgt nivå stilles opp. I denne analysen benyttes plan-og bygningslovens TEK10 samt anbefalingene fra DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) sin temaveileder havnivå og stormflo.

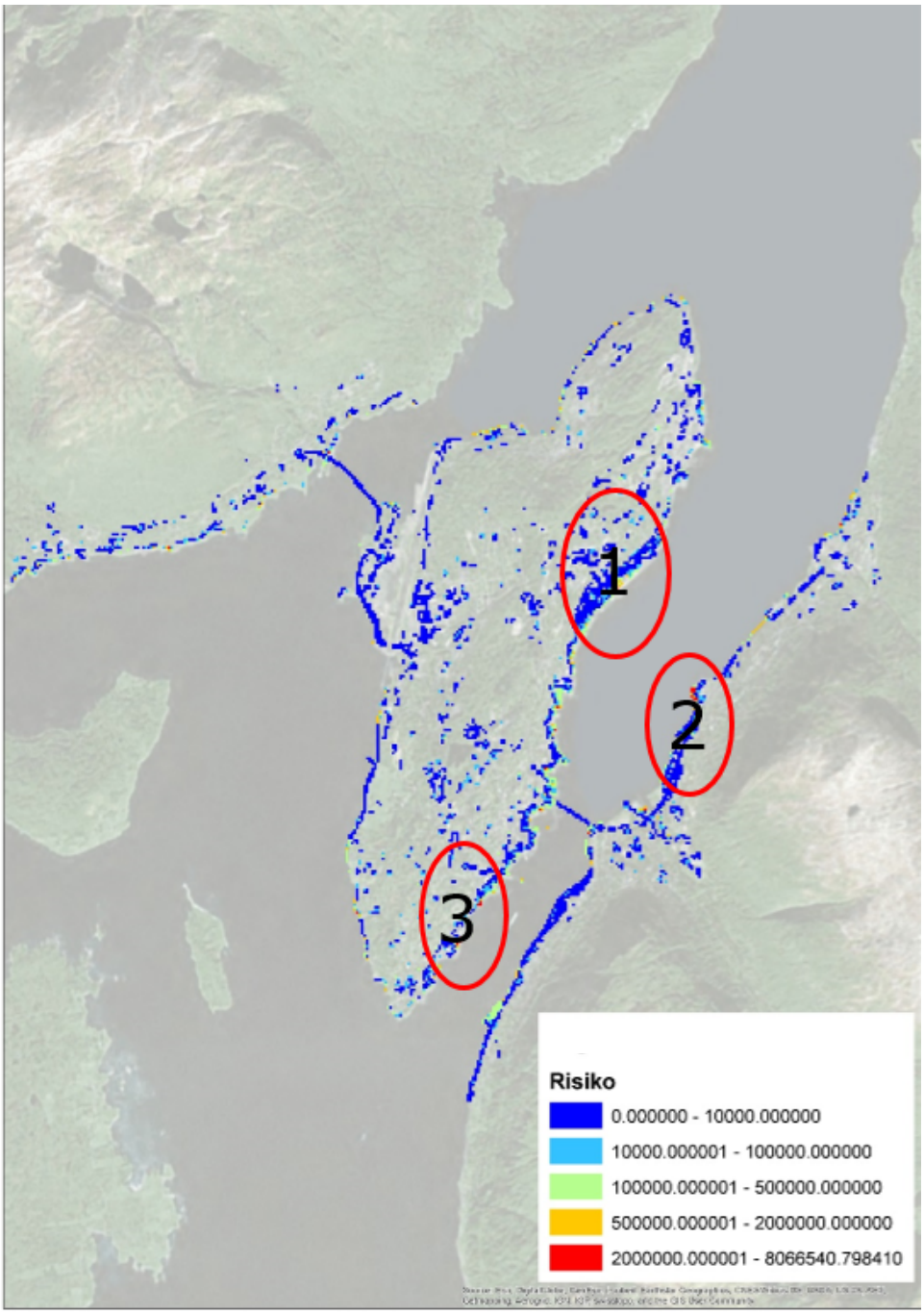
6 **Kost/nytte av tiltak**. I rapporten er det antatt at antallet skader reduseres med en vis prosentandel ved et gitt tiltak. Denne tilnærmingen er riktignok for enkel. For å få et korrekt resultat bør man modellere utbredelsen av flom fra hav og fra nedbør, samt de tilhørende sannsynlighetene, når tiltaket er gjennomført. Dermed kan det beregnes om investeringene i tiltaket er større eller mindre enn skadene man unngår ved å gjennomføre tiltaket.

1.3 Resultater fra Kost/nytte-analyse

For hver kommune er det utarbeidet et risikokart som gir et oversiktsbilde av hvor det er størst økonomisk risiko fra oversvømmelser ved henholdsvis høyvann og ekstremregn i år 2090. Figur 1-3 og Figur 1-4 viser risikokartene for Stavanger og Tromsø. På kartene angir den røde fargen høyest risiko og dermed de stedene det bør innføres klimatilpasningstiltak. Det framgår av risikokartene at den økonomiske risikoen ved oversvømmelser i Stavanger kommune er høyere enn i Tromsø. De tre markerte områdene på hvert kart indikerer hvor det vil være relevant å foreta klimatilpasningstiltak.



Figur 1-3 *Risikokart for Stavanger. Risiko er angitt som NOK/år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Samlet risiko ved stormflo og nedbør.*



Figur 1-4 *Risikokart for Tromsø. Risiko er angitt som NOK/år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Samlet risiko ved stormflo og nedbør.*

Ved beregningen av skader fra oversvømmelsene fra høyvann, og tiltakene som er nødvendige for å sikre seg mot havet, har det vært innhentet studier og vurderinger av strøm og bølgeforhold som vil opptre under de ekstreme høyvanns- og vindforhold.

På bakgrunn av risikokartene og et valgt sikringsnivå for de utsatte områdene, er det utarbeidet en kost/nytte-analyse som vurderer om det er samfunnsøkonomisk lønnsomt å innføre klimatilpasningstiltak for å unngå oversvømmelser fra ekstremnedbør og stormflo.

Tabell 1-1 De overordnede resultatene av den samfunnsøkonomiske analysen ved stormflo i Stavanger og Tromsø kommune

	Nettonåtidsverdien (mill. NOK)	
	Stavanger	Tromsø
Skadekostnader uten tiltak	10.910	1.825
Skadekostnader med tiltak	2.707	494
Avverget skade	8.203	1.331
Tiltakskostnader	910	182
Nettogevinst ved tiltak	**7.293**	**1.149**
Omkostninger ved skader og tiltak	3.617	676

Tabell 1-1 viser de overordnede resultatene fra kost/nytte-analyse av stormflo i Stavanger og Tromsø kommune. I Stavanger kommune er skadekostnadene fra utbredelse av flom fra hav på ca. 10.910 mill. NOK og i Tromsø på ca. 1.825 mill. NOK angitt i nettonåtidsverdi over omkring 80 år.

I den samfunnsøkonomiske analysen er det antatt at det både i Tromsø og Stavanger kan settes opp en oversvømmelsesmur eller diker på steder i byen der det er størst økonomisk risiko ved havvannstigning. I Stavanger kommune kan det for eksempel settes opp en mur eller dike på en strekning av 32 km, og i Tromsø kommune på 9 km på utvalgte steder. I begge kommunene forventes tiltaket å kunne redusere antallet skader med 80 %. Av Tabell 1-1 framgår det at nettogevinsten ved å sette opp oversvømmelsesmur eller diker er positiv i begge kommunene. Reduksjonen i de forventede skadekostnadene ved å sette opp oversvømmelsesmuren er altså større enn kostnaden ved sette opp og vedlikeholde muren. Det er antatt at oversvømmelsesmur eller diker i begge kommunene tidligst kan stå klar i 2025.

Tabell 1-2 De overordnede resultater av den samfunnsøkonomiske analyse ved ekstremregn i Tromsø kommune

	Nettonåtidsverdi (mill. NOK)
Skadekostnader uten tiltak	443
Skadekostnader med tiltak	359
Avverget skade	84
Tiltakskostnader	52
Nettogevinst ved tiltak	**31**
Omkostninger ved skader og tiltak	412

Note: Det er ikke utført en kost/nytte-analyse av ekstremnedbør i Stavanger kommune, siden skadeomfanget ved den enkle anvendte metode ikke er i et nivå, hvor det kan forsvares, å innføre tiltak.

Med hensyn til den økonomiske risikoen ved ekstremregn er det benyttet en enkel tilnærming til å estimere skadene, og det bør derfor tas et lite forbehold om resultatene. Med den enkle metoden til å estimere skadene er den økonomiske risikoen ved ekstremregn størst i Tromsø kommune, mens den økonomiske risikoen i Stavanger ikke er i en størrelsesorden der det kan forsvares å innføre tiltak mot skadene. Dette skyldes riktignok høyst sannsynlig den enkle analysen

av oversvømmelse ved ekstrem nedbør. En detaljert hydraulisk analyse ville sannsynligvis vist store oversvømte områder i Stavanger.

Tabell 1-2 viser de overordnede resultatene av kost/nytte-analyse ved ekstremregn i Tromsø. Dersom det ikke innføres noe klimatilpasningstiltak blir skadekostnadene 443 mill. NOK angitt i nettonåtidsverdi over ca. 80 år. For å redusere omfanget av skader antas det at kloakksystemet legges om fra et fellessystem til et separatsystem i et område på 20 ha. Det antas at omlegningen av kloakksystemet vil redusere samlede antall av skader med ca. 25 %. Tiltaket vil medføre en positiv nettogevinst på ca. 31 mill. NOK, som sier at reduksjonen i de forventede skadekostnadene er større enn kostnadene ved å legge om kloakk-systemet. Det er antatt, at omleggingen av kloakksystemet tidligst kan være ferdig i 2025.

1.4 Anbefalinger til videreutvikling av metoden

Nedenfor er det satt opp en rekke anbefalinger til hvordan metoden bør anvendes og videreutvikles.

Potensiale for generell anvendelse i kommunene

- Det anbefales at den oppstilte metoden i rapporten benyttes spesielt i kystkommunene for å teste om DSBs (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) foreslåtte sikkerhetsklasser basert på TEK10 gir en avkastning ut fra metodens beregning av nyttekostnad. Metoden kan også raskt beregne de samlede økonomiske faremomentene kommunen statistisk står overfor, på samme måte som omfanget av og prisen på skader ved de undersøkte utvalgte ekstreme værsituasjonene, gir en god indikasjon av skadeomfanget – dersom det kommer stormflo eller styrtregn.

Enhetspriser for skadekostnader

- Det anbefales at det utarbeides skadekostnadsverdier for en rekke relevante kategorier som boliger, forretninger, stasjoner med mer på bakgrunn av skadedata. Skadekostnadsverdiene kan enten utarbeides på nasjonalt plan eller for de enkelte kommunene. Fordelen ved å benytte nasjonale estimater på skadekostnader framfor estimater på kommunalt nivå, er at det muliggjør en sammenligning av risikokart og kost/nytte-analyser mellom kommunene. Utover dette vil man ved en nasjonal estimering ha et større datagrunnlag. Skadekostnader fra tidligere skader kan meldes inn fra forsikringsselskapene, men siden det registreres få opplysninger om årsaken til skadene er det vanskelig å tolke om skaden skyldes, stormflo, styrtregn og om vannet er kommet inn via VA-systemet, fra flom, fra utett tak, fra tett takrenne etc. Det anbefales derfor at forsikringsselskapene bruker flere koder for skadeårsak, slik at det blir lettere å benytte disse dataene ved oppgjør av forventet skadekostnad.

Hyppighet av hendelser – utregning av sannsynligheter

- Det anbefales å benytte det foreliggende meget detaljerte og oppdaterte statistiske datamaterialet om havvannsstigning, stormflo, styrtregn etc. til å

sette opp statistikken i Excel-arket. Kartverket, Norsk klimaservicesenter (NCCS), Meteorologisk Institutt og DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) kan levere både data og formler for sannsynlighetskurver etc. Det anbefales riktignok ved den undersøkte metoden, å benytte formlene modellen selv beregner ut fra data for gjentaksintervallene større enn 20 år. Dette gjør det lettere å benytte modellen direkte for en utrent bruker.

2 Innledning

2.1 Formål

Fra november til januar 2017 gjennomførte COWI en kost/nytte-analyse av tiltak mot oversvømmelser fra hav og ekstremregn i Tromsø og Stavanger kommuner. Dette er et pilotprosjekt som primært sikter mot en overordnet strategi og vurdering av metodens anvendelse – ikke mot spesifikke og detaljerte løsninger for lokal risiko i de to prosjektområdene. Målet er å vurdere metodens anvendelighet og vurdere fordelingen av økonomisk risiko for kommunene.

Tromsø og Stavanger kommune er valgt og skadekostnadene før og etter tiltak i begge kommunene er vurdert. Det er utarbeidet risikokart for hver enkelt kommune, der det er mulig å se omfanget av skadene geografisk. På bakgrunn av risikokartene kan hver kommune se hvor det er nødvendig å foreta klimatilpasning. Dette er et pilotprosjekt som legger stor vekt på metoden for vurderingen av kost/nytte ved klimatilpasning.

2.2 Bakgrunn

Tromsø og Stavanger kommuner er med i klimatilpasningsnettverket "I Front", som driftes av 11 kommuner og Miljødirektoratet. Kommunene i nettverket arbeider med ulike klimatilpasningsprosjekter for å øke kunnskapen og kompetansen rundt klimautfordringene. Resultatene forutsettes delt internt mellom deltakerne i nettverket. Arbeidet ventes å gi grunnlag for råd og anbefalinger til landets øvrige kommuner. Både Tromsø og Stavanger har store fremtidige utfordringer med hensyn til ekstrem nedbør og økt havnivå under stormflosituasjoner. For å møte utfordringene er det svært viktig å skaffe seg et relevant og kvalifisert bakgrunnsmateriale til å danne grunnlag for kommunenes arbeid med overordnet klimatilpasningsstrategi.

2.3 Oppbyggingen av rapporten

Rapporten består av 9 kapitler foruten et sammendrag og denne innledningen. Sammendraget er utarbeidet og skrevet til beslutningstaker, som skal ha en oversikt over innholdet i analysen. De etterfølgende kapitlene inneholder:

Kapittel 3: Metoden i korte trekk: Vi beskriver her den benyttede metoden. Det er denne metoden vi mener skal brukes til kommunenes planlegging av klimatilpasningstiltak. Resten av rapporten følger metodebeskrivelsen.

Kapittel 4: Utbredelse av flom fra hav og regn.

Kapittel 5: Sannsynligheter: Her beskrives hvordan de underliggende sannsynlighetene er vurdert.

Kapittel 6: Verdi/skadekostnader ved skader.

Kapittel 7: Den økonomiske risikoen.

Kapittel 8: Tiltak. Det er utarbeidet noen vurderinger i forhold til valg av konstruksjoner for å forhindre oversvømmelse fra hav.

Kapittel 9: Kost/nytte-analyse. Forutsetningene beskrives i dette avsnittet.

Kapittel 10: Etterbehandling av analyseresultatene.

Kapittel 11: Resultater

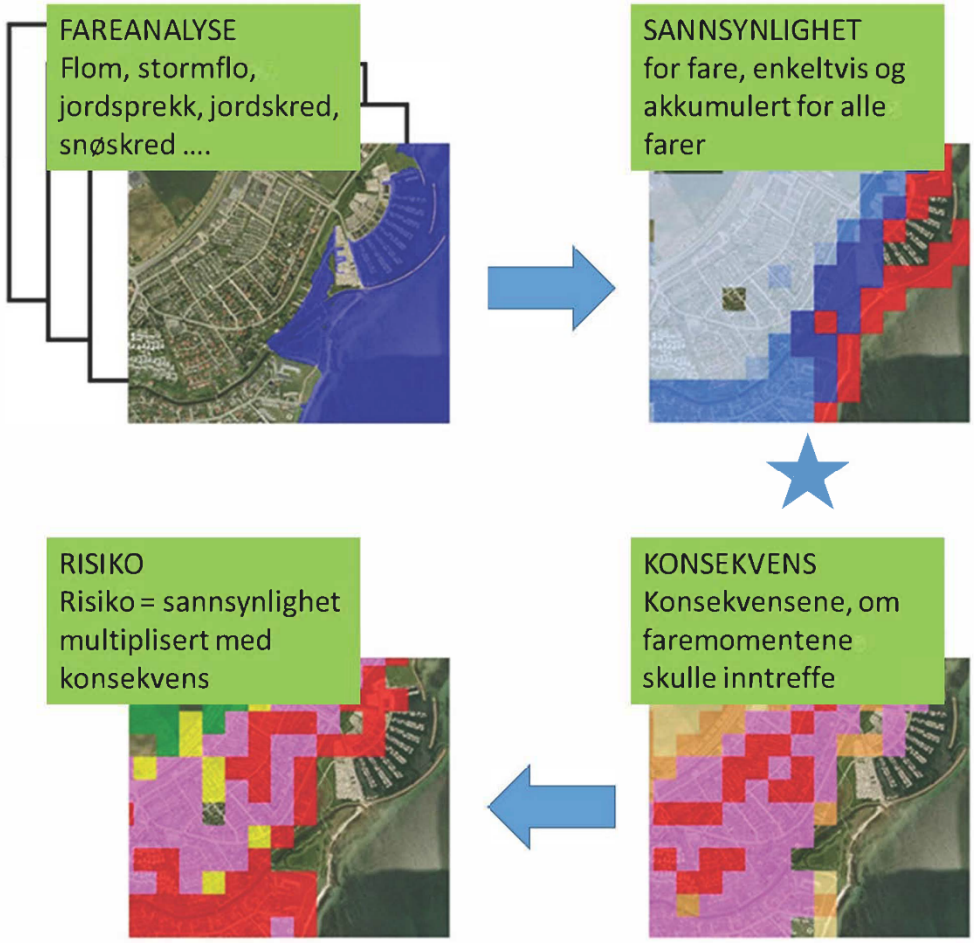
Kapittel 12: Konklusjon

Utover dette er det fire vedlegg.

3 Metoden i korte trekk

Den benyttede metoden for å beregne skadekostnadene som følge av oversvømmelse fra hav og ekstrem nedbør er beskrevet i dette kapitlet. Metoden har som formål å gi en oversikt over hvor det er størst økonomisk risiko forbundet med ekstremvær i dag og i fremtiden, samt å vurdere om det kan lønne seg å gjennomføre et planlagt tiltak for å imøtekomme truslene fra mer ekstremvær.

I dette pilotprosjektet et det sett på Tromsø og Stavanger kommuner. Disse kommunene skiller seg fra hverandre på en rekke parametere. Blant annet omfanget av skader som skjer ved de enkelte hendelsene, men også i forhold til vannstand, strøm og bølgeforhold. For hver kommune er det utarbeidet en kartlegging av den økonomiske risikoen for skader på risikokart. Dermed er det mulig å få et overblikk over steder med størst reel risiko målt ut fra økonomiske konsekvenser. Risikokartene gjør det mulig å prioritere klimatilpasningen og velge riktige tiltak. Metoden er vist grafisk på Figur 3-1 og på kartet beskrevet etter figuren.



Figur 3-1 Diagram for systematikk i vurdering av risiko ved ekstremvær.

Metoden vist i Figur 3-1 er basert på følgende hovedprinsipp:

1 Modellering av **utbredelse av flom** fra hav og fra nedbør der avrenning og smeltevann samler seg i terrenget ved forskjellige værsituasjoner i dag og i framtiden, med eksakt beregning av data for flom og overføring av alle resultater i GIS. (FARE)

2 Hver modellert situasjon representerer en **sannsynlighet** som en kombinasjon av et gjentaksintervall og et årstall. Av dette kan det for hver enkelt gridcelle på f.eks. 100x100 m oppsummeres samlet sannsynlighet for at cellen blir rammet av en oversvømmelse. (SANNSYNLIGHET)

3 For de samme cellene oppsummeres **verdi/skadekostnader ved skader** hvis cellen rammes av oversvømmelse. Oppgjøret av skadeverdi skjer ut fra kjennskap til arealanvendelse og funksjon (bolig, forretningslokaler, lufthavn, vei, tunnel osv.) (KONSEKVENS)

4 **Den økonomiske risikoen** regnes ut for hver celle ved å multiplisere sannsynligheten for oversvømmelse med omfanget av kostnader ved en oversvømmelse. (RISIKO)

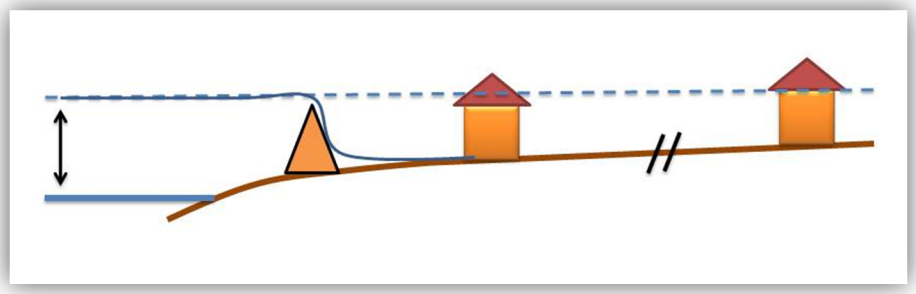
5 Løsninger og overslag for **tiltak** for å imøtekomme ekstreme værforhold til et valgt nivå stilles opp.

6 **Kost/nytte av tiltak**. Det antas at antallet skader reduseres med en viss prosentandel opp til et bestemt nivå ved et gitt tiltak. Dermed kan det beregnes om investeringene i tiltaket er større eller mindre enn skadene man unngår ved å gjennomføre tiltaket.

4 Utbredelse av flom fra hav og nedbør

4.1 Utbredelse av flom fra hav

Utbredelsen av flom ved stormflo kan beregnes med avanserte hydrauliske modeller eller enklere metoder som terrengmodeller/høydemodeller, der det antas at alle områder lavere enn høyeste stormflonivå vil bli rammet av flom. Forskjellen på den enkle (statiske) og den avanserte (dynamiske) er skissert på figuren nedenfor:



Figur 4-1 *Forskjell på statisk og dynamisk modellering av stormflo. Den stiplede linjen angir utbredelsen av stormflo ved statisk modellering, og den andre linjen angir den dynamiske. Den dynamiske modellen simulerer en tidsserie mens den statiske kun forholder seg til høydekoter.*

I dette prosjektet er det benyttet en terrengmodell (statisk modellering). En terrengmodell gir normalt en litt større utbredelse av flom enn de avanserte hydrauliske modellene, som tar hensyn til at vannet ikke kan passere over høyereliggende terreng og forbi husene før stormflonivået er fallende. Når det benyttes en terrengmodell er det viktig, at den er detaljert og at det er et godt statistisk grunnlag for de forventede stormflonivåene i dag og i fremtiden. Valg av modell bør baseres på en vurdering av områdets topografi. Finnes det nedsenkede områder med større fordypninger eller flate arealer, vil en dynamisk modell være å foretrekke ettersom vannet sjelden vil kunne nå flere kilometer inn på land. I områder der terrenget stiger kraftig mot land vil det være tilstrekkelig å benytte den enkle modellen.

For Norge er det utført meget omfattende og detaljerte studier av stormflo og havnivåendring, både for historisk data og for forventet utvikling i klimaet, i henhold til IPCCs siste klimarapport AR5. Rapportene fra dette arbeidet gir anbefalinger på valg av sikkerhetsnivå og statistiske vurderinger av hvilken vannstand man bør benytte ved stormflo med ulik hyppighet.

I denne konsekvensvurderingen brukes det nøkkeltall til den statistiske behandlingen av konsekvenser ved stormflo og havnivå fra følgende rapporter:

- /1/ Sea Level Change for Norway, NCCS report no. 1/2015
- /2/ Klimaprofil Troms, Marts 2016, Norsk Klimaservicesenter (NCCS)
- /3/ Tidevannstabeller – For den norske kyst med Svalbard samt Dover, England. 80. Årgang 2017, Kartverket
- /4/ Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging, DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap).

Ved beregningene av flomutbredelse ved stormflo og sannsynligheten for stormfloen skal man kjenne statistikken for stormflo og forutsetningene om det stigende havnivået over tidshorisonten det analyseres for.

Høyvann

Statistikk for høyvann hentes fra /3/ "Tidevannstabeller" hvor det, for 15 havner pluss Svalbard og Dover, er gitt høyvann for følgende 6 hyppigheter: 1 år, 5 år, 20 år, 100 år, 200 år og 1000 år. I Tabell A.1.2 i /1/ "Sea Level Change" er det, for en lang rekke lokaliteter langs kysten, gitt høyvann for følgende hyppigheter: 20 år, 200 år og 1000 år. Det er full overensstemmelse mellom høyvann i de to rapportene. Det benyttes middelverdien for stormflo høyvann, som anbefalt i /4/ "Havnivåstigning og stormflo". I /1/ "Sea Level Change" meldes det at det ikke forventes noen signifikant endring i ekstrem vind og bølger frem til år 2100, som medfører at statistikken for høyvann/stormflo ikke forventes å endre seg i perioden frem til år 2100.

Havnivåstigning

Det er, i /1/ "Sea Level Change", redegjort detaljert for håndteringen av data fra IPCC til norske forhold med kompensasjon for landhevning etc.. I /4/ " Havnivåstigning og stormflo" er det anbefalt å bruke IPCCs scenario RCP8.5 og framskrivningens øvre del (95-persentilen). RCP = Representative Concentration Pathways. Stigningen i havnivå for tre perioder kan hentes i Tabell A.2.3 i /1/ "Sea Level Change". De tre periodene er 2041-2060 (2050), 2081-2100 (2090) og året 2100.

Høyeste høyvann

I de følgende beregningene er det høyeste høyvann beregnet som summen av den fremskrevne 95-persentilen, for den generelle havnivåstigningen pluss høyvannsnivået for den nåværende høyvannsstatistikken, som ikke forventes å endre seg markant med tiden.

Referansenivå

For både høyvann og havnivåstigning skal man være svært oppmerksom på hvilket nivå det refereres til, ettersom det benyttes mange forskjellige referan-

senivåer for høyde, bl.a. Sjøkartnull (CD), Middelvann (MSL1986-2005), Middelvann (MSL1996-2014), Normalnull 1954 (NN1954) og Normalnull 2000 (NN2000). Alle data om høyvannsnivå skal referere til samme høydesystem som benyttes for det digitale høydekartet, som benyttes ved vurderingene av stormfloens utbredelse.

Ved hjelp av tabellene i overnevnte rapporter og korreksjon for referansenivå, kan det stilles opp et skjema over høyeste høyvann ved forskjellige gjentaksintervall i dag og frem til år 2100. Nedenfor fremgår høyvann/stormflo gitt i cm i høydesystem NN2000 for Stavanger og Tromsø. Det er disse dataene som er benyttet i våre modellberegninger:

Tabell 4-1 *Havnivåstigning SLR (95%-persentil), Middelvann MSL og Høyvannstabell for Stavanger for ulike gjentaksintervall og årstall. Alle nivåene er gitt i cm i referansesystemet NN2000. Stavanger*

Stavanger								
Ref:	MSL 1995	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000
	SLR	MSL	1	5	20	100	200	1000
1995	0	-11						
2005	2	-9	71	82	92	102	**106**	115
2050	36	25	105	116	126	136	140	**149**
2090	79	68	148	159	169	**179**	183	**192**
2100	90	79	159	170	180	190	194	203

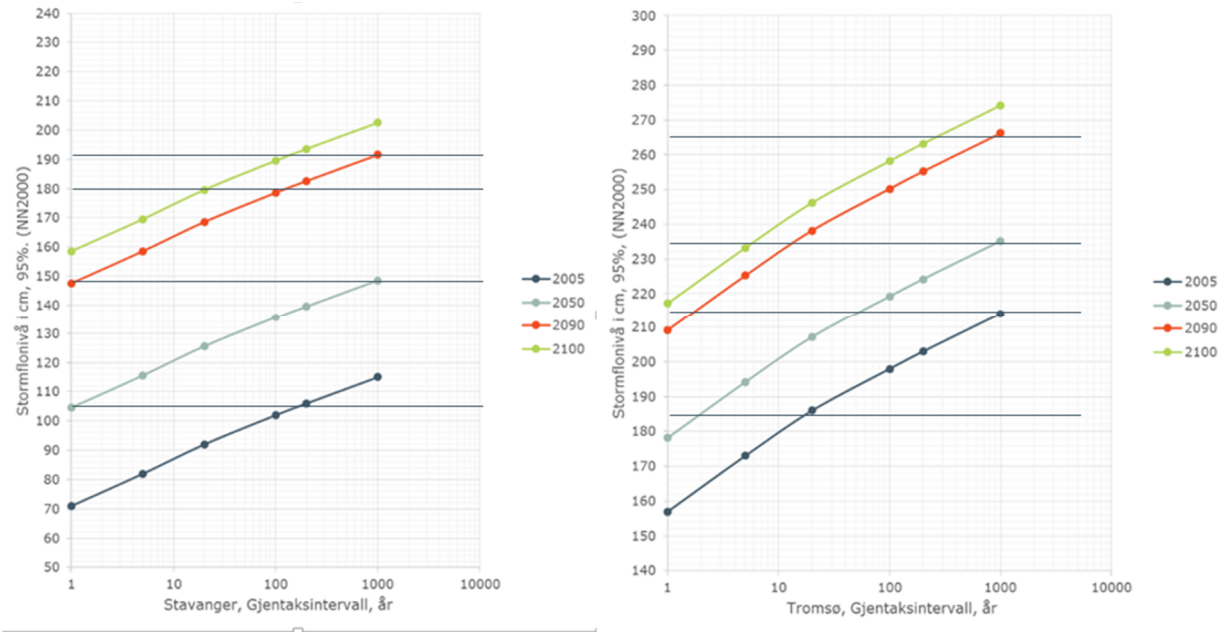
Note: Fed angiver du de analyserede hændelser

Tabell 4-2 *Havnivåstigning SLR (95%-persentil), Middelvann MSL og Høyvannstabell for Tromsø for ulike gjentaksintervall og årstall. Alle nivåene er gitt i cm i referansesystemet NN2000. Tromsø*

Tromsø								
Ref:	MSL 1995	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000	NN 2000
	SLR	MSL	1	5	20	100	200	1000
1995	0	-20						
2005	3	-17	157	173	**186**	198	203	**214**
2050	24	4	178	194	207	219	224	**235**
2090	55	35	209	225	238	250	255	**266**
2100	63	43	217	233	246	258	263	274

Note: Fed angiver du de analyserede hændelser

I Figur 4-2 er stormflonivåene for Stavanger og Tromsø vist grafisk for den forventede utviklingen fra 2005 til 2100.



Figur 4-2 *Resulterende høyvannskurver for Stavanger for ulike gjentaksintervall og årstall basert på havnivåstigning SLR (95%-persentil). Alle nivåene er gitt i cm i referansesystemet NN2000 for Stavanger og Tromsø.*

4.1.1 Ekstreme bølger i Stavanger

Vurderingene av bølgeforholdene i Stavanger er utført dels ved å studere de hydrografiske forholdene, jf. Bilag B samt eksisterende litteratur. Bølgeforholdene i Stavanger kommune er vurdert i en rapport utarbeidet av Norges Meteorologiske Institutt (www.met.no). Det er foretatt numeriske beregninger av bølgeforholdene for områdene vist i Figur 4-3.



Figur 4-3 *Kart over Stavanger Kommune med utvalgte områder, A-I, der bølgene er vurdert.*

Det fremgår av resultatene nedenfor i Tabell 4-3 at område A er meget utsatt for bølger fra havet, mens andre områder i byen er mindre utsatt, med bølger som typisk er omkring, Hs=1-1.5 m. [1]

Tabell 4-3 *Ekstreme bølger i/omkring Stavanger (fra rapport av met.mo)*

Posisjon	Hs (m)	Hm (m)
A	5.0	9.5
B	2.2	4.2
C	0.9	1.7
D	1.2	2.3
E	1.4	2.7
F	1.8	3.4
G	1.5	2.8
H	1.4	2.7
I	1.4	2.7

Når bølgene i tilfelle av ekstremt høyvann når bebygde områder vil de typisk være brutt, og har derfor ikke noen utbredt betydning for skadekostnadene. Lokale variasjoner i bølgehøyder brukes derimot til dimensjonering av nødvendige tiltak i utvalgte områder. Konstruksjonenes høyde bør altså bestemmes ut fra

[1] *Noter fra www.met.no Ekstreme verdier av Hs og Hm er oppsummert i tabellen under. Estimatene er noe usikre. For å få sikrere estimat må det settes opp en finskala bølgemodell for området, og denne modellen må kjøres for en del ekstremsituasjoner. Det bør helst også kjøres en finskala atmosfæremodell for å få mest mulig nøyaktige vinddata til bølgemodellen. Estimerte ekstremverdier av signifikant bølgehøyde Hs og maksimal bølgehøyde Hm i posisjonene A-I merket på kartet.*

vannstanden, den aktuelle bølgehøyden som treffer konstruksjonen og overskyllet disse bølger forårsaker.

4.1.2 Ekstreme bølger i Tromsø

For å kunne vurdere effekten av ekstreme bølger i Tromsø er det først sett på de hydrografiske forholdene. Deretter er det utarbeidet en case, der det ses på bølgeforhold. Det er benyttet en teoretisk forenklet hindcastmodell til å se på de lokale forskjellene i høyvannstand.

Størrelsen på det astronomiske tidevannet, det barometriske høyvannet samt vindforholdene vil være tilnærmet det samme i hele Tromsø-området. Derfor er det kun ekstrembølgene som skaper ytterligere lokale forskjeller for virkningen av høyvannet. Lokale forskjeller for oversvømmelsesrisiko avhenger ytterligere av kystens helning, nivåforhold og eventuell eksisterende beskyttelse. Dette skal behandles etter beregning av ekstrembølgehøydene ved den teoretiske modellen.

Modellen bygger på allment anvendte bølgeteorier utledet fra fysiske lover og omfangsrikt datasett av observasjoner. Metoden relaterer vindhastighet og varighet for denne situasjonen der bølgene utvikles ved fritt farvann og havdybder, /6/. Alt dette avgjør om bølgene utvikles fullt ut under de eksisterende vindforholdene.

Da det her undersøkes ekstrembølgehøyder antas det at bølgene har hatt tilstrekkelig tid til å bli fult utviklet. Med en ekstrem vindhastighet på 25 m/s, er dette allerede etter 2 t. Vanndybdene i fjordene er også store nok til ikke å begrense bølgehøyden. Dette skjer allerede ved 5 meter vanndybde. Det avgjørende for lokale forskjeller av ekstrembølgehøyder i de ulike kystområdene er derfor fritt farvann.

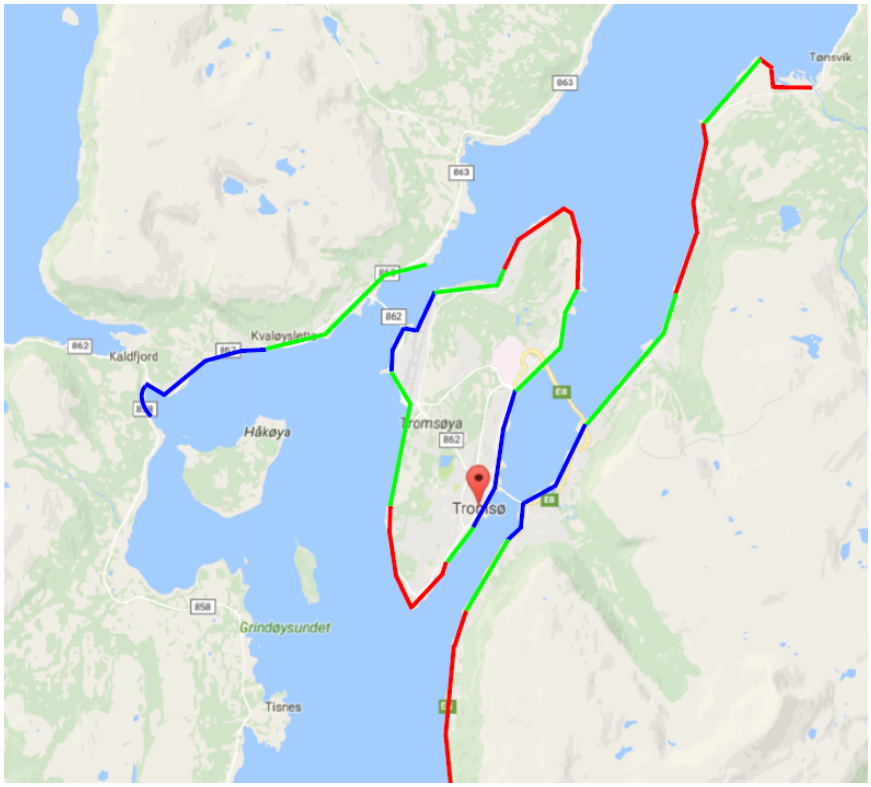
Ved gjennomgang av sjøkart er fritt farvann inndelt i 3 kategorier og et omtrentlig anslag på signifikant bølgehøyde (H_s) og –periode (T_p) knyttet til det, Tabell 4-4.

*Tabell 4-4 Ekstreme signifikante bølgehøyder, H_s, for vanndybder på 5 m og ekstrem vindhastighet 10 m.o.h. på 25 m/s. Den maksimale bølgehøyden H_{max} kan da forventes å bli 1,8*H_s, /6/.*

Fritt farvann [km]	H_s [m]	T_p [s]
1-2	1,0	2,7
3-5	1,4	3,7
7-15	1,8	5,2

I Figur 4-4 er det laget en illustrasjon av bølgenes forventede høyde rundt langs kysten. Det er tatt hensyn til at området er omgitt av relativt høye fjell, slik at de dominerende vindene i fjorden blåser primært langs med fjordarmen. Denne vurderingen er et omtrentlig anslag og i vurderingen er det, utover fritt farvann, tatt hensyn til bølgefraksjon, som skjer når bølgene treffer med stor innfallsvinkel på en relativt grunn kyst. Dette dreier bølgene så innfallsretningen blir mer

vinkelrett på kysten samtidig som bølgehøyden reduseres. En mer detaljert analyse vil kreve at det uføres numerisk modellering med en modell som inkluderer effekten av refraksjon og bølgebryting. I tilfelle av ekstremt høyvann og oversvømmelse, vurderes bølgene heller ikke i Tromsø å ha stor innflytelse på skadekostnadene, da de vil være brutt innen de når bebyggelsen. Bølgehøydevariasjoner benyttes dermed også i Tromsø til dimensjonering av konstruksjoner.



Figur 4-4 *Omtrentlig anslag av ekstreme bølgeforhold i området: Blå, Hs= 1,0 m, Grøn, Hs= 1,4 m og Rød, Hs=1,8 m.*

Når bølgene kommer inn mot kysten vil de brytes, dersom vanndybden blir begrenset, for så å fortsette som brutte bølger inn over land dersom landet er oversvømt. Hvis det er eksisterer en voll, et dike eller annen kyst/oversvømmelsesbeskyttelseskonstruksjon vil bølgene treffe denne.

I kapittel 8 vises prinsippene for hvordan bølgene løper opp på konstruksjonen (run-up). Dersom bølgene har en viss størrelse i forhold til konstruksjonens høyde og utforming vil det forekomme overtopping, og vann eller sjøsprøyt vil renne ned på baksiden av konstruksjonen.

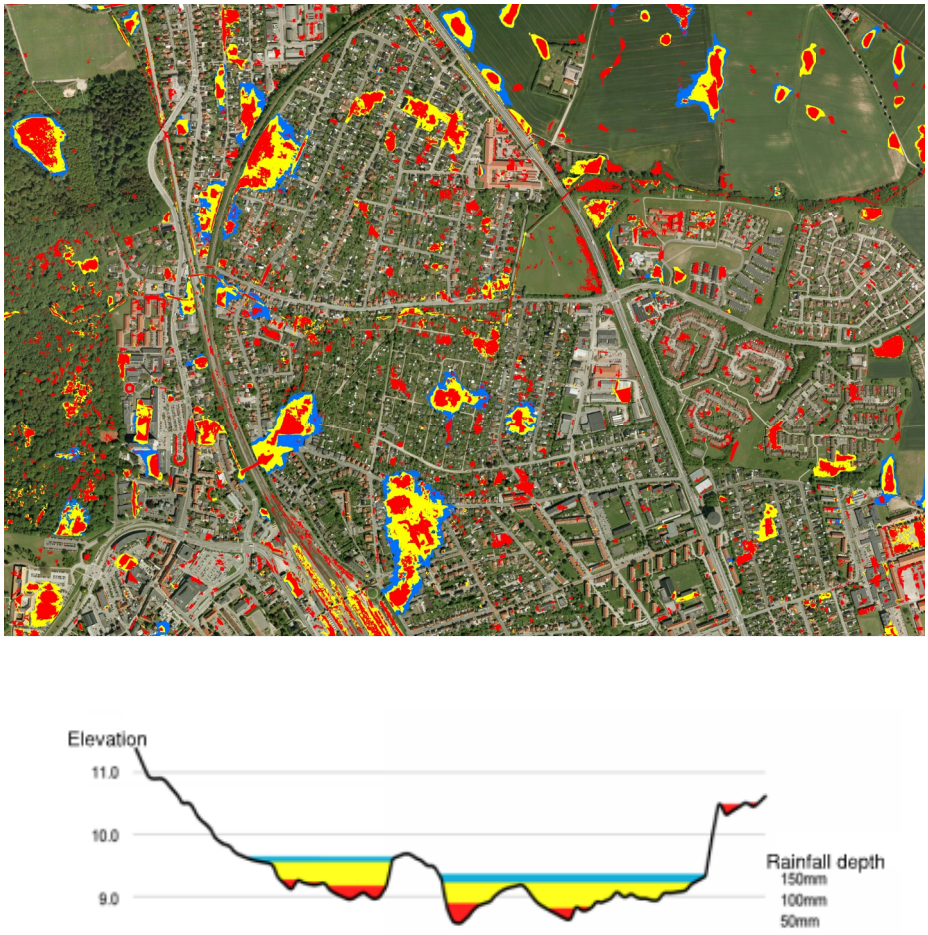
Referanser:

› /6/ Hurdle, D. P. & Stive: R.J.H. (1989). Revision of SPM 1984 Wave Hindcast Modell to Avoid Inconsistencies in Engineering Applications, Coastal Engineering, 12 (1989) 339-351, Elsevier Publishers, Amsterdam.

4.2 Utbredelser av flom fra nedbør

Utbredelsen av flom fra nedbør kan beregnes ved hjelp av avanserte hydrauliske modeller eller ved bruk av enklere metoder basert på en analyse av områdets topografi. Felles for alle beregningene er at det kreves en god digital terrengmodell og et godt datagrunnlag for nedbøren i området.

I forhold til kartlegging av regnskyll bør det arbeides med metoder som muliggjør en kobling til gjentagelse av perioder. Dette kan gjøres på flere måter. I byområder anbefales det å utarbeide en dynamisk modell med kobling mellom avløpssystem og overflatemodell. Da kan konstruerte nedbørsituasjoner for nåværende og fremtidige forhold simuleres og oversvømte arealer kartlegges. Den høyeste konsentrasjonen av verdier/skadekostnader vil også være å finne i disse områdene, som igjen er et argument for å benytte detaljert kartlegging. I landlige områder vil det ofte være forbundet med store utgifter å lage detaljerte modeller. Derfor vil en analyse av fordypninger i terrenget samt strømningsveier være tilstrekkelig. Men de enkleste analysene vil være begrenset av mange antagelser. Her anbefales det derfor å vurdere semidynamiske betraktninger basert på terrengmodellen, slik at det også her kan knyttes en gjentagelse av perioder til kartleggingene. Med semidynamisk menes metoder hvor terrengmodellen gradvis kan påføres vann i form av regndybde og oversvømmelsens utbredelsekan dermed variere fra hvert enkelt tilfelle eller regnskyll. I denne analyse er det ikke anvendt en semidynamisk modell, da det ikke har vært mulig innenfor rammene av prosjektet, men det anbefales i det videre arbeidet.



Figur 4-5 *Eksempel på semidynamisk modell av regnskyll. Modellen tillater at det løpende kan påføres regn utrykt som regndybde. Da vil oversvømmelsesutbredelser svare til et regntilfelle og dermed kobling til gjentatte perioder. Bildet stammer fra Næstved i Danmark.*

I denne rapporten er det benyttet en forenkling og generalisering av fordypninger i terrenget. Som oversvømmelser er medregnet oversvømmelser større enn 100 m² og dypere enn 10 cm. De resterende fordypningene er kategorisert etter volumet: 20-50 m³, 50-100 m³, 100-1000 m³ samt fordypninger større enn 1000 m³. Dette er en forenkling og inkludert for å eksemplifisere følgene av et regnskyll i beregningene.

I modellberegningene er det benyttet eksisterende statistikk for nedbør som kan hentes hos Meteorologisk Institutt (www.met.no), som har bearbeidet nedbørsstatistikk fra værstasjoner i eller ved de fleste byer.

For de fleste byer kan det hentes nedbørsstatistikk i likhet med dataene som er vist i Tabell 4-5 nedenfor for nedbør i Tromsø og Stavanger.

Tabell 4-5 Statistikk for eksisterende nedbør i Stavanger og Tromsø angitt i l/s/ha.

44640 STAVANGER - VÅLAND
Periode:
1999 - 2014
Antall sesonger: 14

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	258.4	215.8	192.7	163.6	116.6	96.8	82.3	61.9	46.8	38.8	25.7	21.7	14.5	10.8	7
5	324	265.1	240.3	212.3	156.4	131.9	115.1	86.8	66.6	55.2	34.9	28.2	18.1	14.1	8.6
10	367.5	297.7	271.8	244.6	182.6	155.2	136.7	103.3	79.7	66.1	41	32.5	20.5	16.3	9.6
20	409.2	329.1	302.1	275.5	207.9	177.5	157.5	119.1	92.3	76.6	46.8	36.7	22.7	18.5	10.7
25	422.4	339	311.7	285.4	215.9	184.6	164.1	124.1	96.2	79.9	48.7	38	23.5	19.1	11
50	463.1	369.6	341.2	315.6	240.5	206.5	184.4	139.5	108.5	90.1	54.4	42.1	25.7	21.2	12
100	503.6	400	370.5	345.6	265	228.1	204.6	154.9	120.7	100.3	60	46.1	27.9	23.3	13
200	543.9	430.3	399.8	375.6	289.4	249.7	224.7	170.2	132.9	110.4	65.7	50.1	30.1	25.3	14

Tromsø:

Regnvarighet minutter	Gjentaksintervall med intensitet (L/s & Ha)						
	2 År	5 År	10 År	20 År	30 År	50 År	100 År
2	86,7	129,9	152,0	192,0	213,7	232,5	247,7
10	58,6	83,1	97,3	121,5	134,8	145,3	156,0
20	43,8	59,8	69,9	86,5	95,8	102,7	111,2
30	36,9	49,6	57,8	71,2	78,8	84,1	91,9
40	32,8	43,5	50,6	62,2	68,7	73,2	80,5
50	29,9	39,4	45,7	56,0	61,8	65,9	72,8
60	27,8	36,4	42,1	51,5	56,8	60,5	67,2
90	23,6	30,5	35,2	42,9	47,2	50,2	56,5
120	21,0	27,1	31,0	37,8	41,5	44,1	50,2
150	19,2	24,8	28,2	34,3	37,7	40,0	45,9
180	17,9	23,0	26,1	31,7	34,9	37,0	42,8
240	16,0	20,6	23,2	28,2	30,9	32,9	38,5
360	13,7	17,8	19,8	24,0	26,3	28,0	33,4

ref.: https://www.tromso.kommune.no/plandokumenter-veiledere.122126.no.html

Årlig nedbør og nedbør per døgn forventes å øke med 20-30% frem til år 2100, avhengig av hvor man befinner seg langs kysten. Denne økningen har størst betydning for vann og flom fra elver, kvikkleireskred, jord-, flom-, og sørpeskred. Når det dreier seg om vurdering av konsekvensene av ekstremvær i byområder er det primært nedbørintensiteten over en kort periode som gir anledning til direkte flom fra tette overflater. Nedbørintensiteten forventes å øke mest om sommeren. I Tromsø er det i /2/, Klimaprofil Tromsø, meldt at intensiteten om sommeren forventes å øke med 30 % frem mot 2100. I VA teknikken benyttes en "klimafaktor" for utviklingen i intensitet i forhold til nåværende intensitet.

Ved framskrivningen av nedbørintensitet er det valgt å bruke en klimafaktor på 1,1 for år 2050 og 1,3 for år 2100.

Det skal også ses på hvor lang tid det tar for regnet å samle seg i de laveste delene av byen, og hvorfor avrenningstiden gjennom byen har betydning for hvilken kombinasjon av varighet og intensitet man skal bruke i vurderingene. I dette prosjektet er det valgt å bruke nedbør med en varighet på to timer.

Overnevnte antagelser gir data til Tabell 4-6 for nedbør i Stavanger og Tromsø.

Tabell 4-6 Nedbør. Intensitet og mm nedbør for et 2-timers regnvær i Stavanger og Tromsø, i dag og i fremtiden basert på klimafaktor 1,1 og 1,3. Nedbør er dels gitt som gjennomsnittlig intensitet i l/s/ha og som nedbørsmengde i mm.

l/s/ha	År	2	5	10	20	25	50	100	200
Stavanger									
120 min.	i dag	25,7	34,9	41,0	46,8	48,7	54,9	60,0	65,7
120 min.	2050	28,3	38,4	45,1	51,5	53,6	60,4	66,0	72,3
120 min.	2090	33,4	45,4	53,3	60,8	63,3	71,4	78,0	85,4
Tromsø									
120 min.	i dag	12,2	17,6	21,1	24,6	25,6	29,0	32,3	35,6
120 min.	2050	13,4	19,4	23,2	27,1	28,2	31,9	35,5	39,2
120 min.	2090	15,9	22,9	27,4	32,0	33,3	37,7	42,0	46,3

mm	År	2	5	10	20	25	50	100	200
Stavanger									
120 min.	i dag	18,5	25,1	29,5	33,7	35,1	39,5	43,2	47,3
120 min.	2050	20,4	27,6	32,5	37,1	38,6	43,5	47,5	52,0
120 min.	2090	24,1	32,7	**38,4**	43,8	45,6	**51,4**	**56,2**	**61,5**
Tromsø									
120 min.	i dag	8,8	12,7	15,2	17,7	18,4	20,9	23,3	25,6
120 min.	2050	9,7	13,9	16,7	19,5	20,3	23,0	25,6	28,2
120 min.	2090	11,4	16,5	**19,7**	23,0	24,0	**27,1**	**30,2**	**33,3**

Note: Fet skrift angir de analyserte hendelser

I rapporten "Background information for "Klima i Norge 2100"" er det beregnet klimafaktorer for korttidsnedbør for ulike regioner i Norge. Klimafaktorene er beregnet for flere scenarier og gjelder en framskriving til 2100. Nedenfor i Tabell 4-7 er tabell 6.4 fra bakgrunnsrapporten direkte gjengitt. Tromsø ligger i region 11 "Hålogaland" mens Stavanger ligger i region 4 "Sørvestlandet". I dette prosjektet er det brukt en klimafaktor på 1,3, noe som tilsvarer RCP8.5 "Mean", men det kan også velges å bruke et annet scenario som f.eks. Low eller high.

Tabell 4-7 *Klimafaktorer for korttidsnedbør med et gjentaksintervall på 200 år, i år 2100 for regioner i Norge. Kilde: Background information for "Klima i Norge 2100"*

Table 6.4 *Region-wise climate factors for 3-hourly (black) and daily (orange) precipitation based on simulated changes in M200, mean over all simulations and low/high estimate.*

	RCP4.5						RCP8.5					
Region	Mean		Low		High		Mean		Low		High	
1	1.20	0.99	1.07	0.85	1.40	1.19	1.51	1.24	1.05	1.02	2.23	1.40
2	1.17	1.10	1.09	0.98	1.32	1.20	1.37	1.27	1.18	1.11	1.70	1.41
3	1.19	1.07	1.07	0.90	1.38	1.33	1.29	1.17	1.08	1.02	1.53	1.47
4	1.16	1.13	1.02	0.97	1.42	1.42	1.29	1.22	1.10	1.11	1.53	1.48
5	1.16	1.06	1.08	0.93	1.37	1.11	1.33	1.20	1.21	1.12	1.46	1.28
6	1.18	1.11	1.08	1.03	1.28	1.18	1.32	1.21	1.21	1.14	1.42	1.29
7	1.18	1.07	1.05	0.92	1.24	1.15	1.38	1.23	1.30	1.06	1.59	1.32
8	1.23	1.18	1.13	1.00	1.39	1.38	1.39	1.29	1.20	1.05	1.64	1.48
9	1.19	1.11	1.05	0.92	1.37	1.25	1.31	1.18	1.16	1.04	1.60	1.37
10	1.20	1.15	1.12	1.10	1.35	1.23	1.35	1.20	1.21	1.08	1.56	1.29
11	1.19	1.15	1.10	1.11	1.25	1.20	1.36	1.27	1.23	1.19	1.41	1.35
12	1.19	1.25	1.12	1.20	1.35	1.43	1.39	1.38	1.27	1.13	1.54	1.51
13	1.19	1.31	1.07	1.26	1.37	1.44	1.40	1.45	1.27	1.19	1.60	1.61

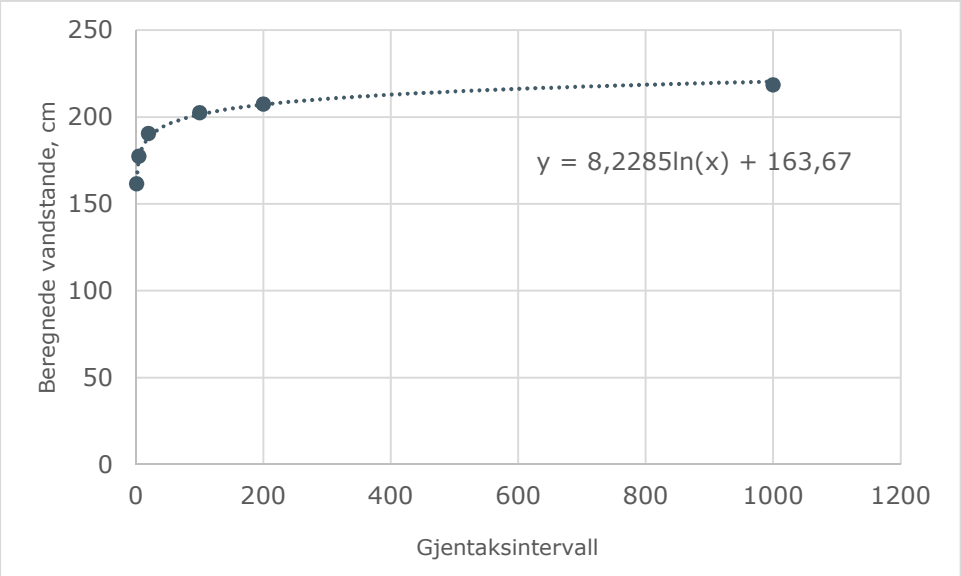
5 Sannsynlighet

For å kunne estimere skadekostnader i hvert enkelt år fra 2016 frem til 2100, skal antallet sannsynlige hendelser, i hvert år, for forskjellige vannstander fastsettes ved både havvannsstigning og ekstrem nedbør. For hvert klimascenario, f.eks. 100 års hendelser for nedbør i år 2110, er sannsynligheten definert som antallet ganger hendelsen inntreffer per år. En 20-årshendelse er derfor fem ganger så sannsynlig som en 100-årshendelse. Utbredelsen av hvert enkelt scenario kjennes ut fra hendelsene, og hver celle får en verdi alt etter hvor stor sannsynligheten for oversvømmelser er.

I Tabell 5-1 er et eksempel på høyeste høyvann ved forskjellige gjentaksintervall i 2005, 2050, 2090 og 2100 Ved å interpolere mellom disse fire årene beregnes vannstanden for hvert gjentaksintervall for hvert år fra 2016 og frem til 2100.

Tabell 5-1 Eksempel: Beregnede vannstander i 2016

Gjentaksintervall	2016
1	162
5	178
20	191
100	203
200	208
1000	219



Figur 5-1 Eksempel: De beregnede vannstander som funksjon av gjentaksintervall i 2016

Av Figur 5-1 fremgår de beregnede vannstandene for 2016 som en funksjon av gjentaksintervallene. I figuren fremgår det, at de beregnede vannstandene er en logaritmisk funksjon av gjentaksintervallene. For hvert år fra 2016 til 2100 estimeres den logaritmiske funksjonen. Ved hjelp av disse funksjonene estimeres gjentaksintervallet for de forskjellige vannstandene i et gitt år. I Tabell 5-2 er et eksempel på gjentaksintervallet for de forskjellige vannstandene i 2016. Data og funksjon som beskriver gjentaksintervall kan fås direkte fra Kartverket for mange lokaliteter i Norge.

Tabell 5-2 Eksempel: Gjentaksintervall for et gitt høyvannsnivå i 2016

Vannstand/år	2016
145	<1
155	<1
165	1
175	4
185	13
195	45
205	152
215	512
225	1.726
235	5.819
245	19.616
255	66.132
265	222.949
275	751.625
285	2.533.944

Det sannsynlige antall ganger et gitt høyvannsnivå overskrides, estimeres ved å dividere gjentagelsesintervall for et gitt høyvannsnivå opp i 1. Utover dette antas det, at en oversvømmelse grunnet stormflo maksimalt kan inntreffe hvert andre år.

Tabell 5-3 Sannsynlig antall ganger et gitt høyvann overskrides

Vannstand/år	2016
145	9,7
155	2,9
165	0,9
175	0,25000000
185	0,07692308
195	0,02222222
205	0,00657895
215	0,00195313
225	0,00057937
235	0,00017185
245	0,00005098
255	0,00001512
265	0,00000449
275	0,00000133
285	0,00000039

Note: Fra vannstand 195 til 285 er sannsynligheten tilnærmet 0.

Tilsvarende metode benyttes for ekstremregn.

6 Verdi/skadekostnader ved skader

For å beregne kostnader ved skader velges det minst fire hendelser som prissettes for å kunne tegne en kostnadskurve. Hendelsene utvelges slik at de er mest representative for bestemmelse av kostkurver, som viser sammenhengen mellom skader og hendelser. De utvalgte verdiene er vist i Tabell 4-1, Tabell 4-2 og Tabell 4-6.

6.1 Skadekostnader av flom fra hav og nedbør

Skadekostnadsverdiene er gjort opp ut fra erfaringstall for oversvømmelsesskader, verdien av bygninger, betydningen av infrastrukturen for transport etc. Inputdata om areal er GIS temaer fra grunnkart deriblant bygningspolygoner klassifisert etter anvendelse (bolig, forretning etc.), infrastruktur (veier, jernbaner) tekniske anlegg m.m. Tabell 6-1 viser skadekostnadsverdiene, som er inkludert for ekstremregn. Skadekostnaden for havvannstigning antas til å være 2 prosent høyere enn skadekostnaden for ekstremregn. I modellen er enhetsprisene regnet om til norske kroner ved å benytte en valutakurs på 1,21 norske kroner. Alle beregningene i den samfunnsøkonomiske modell er laget for NN1954 og resultatene er derfor for NN1954. Dette skyldes at den digitale høydemodellen for beregningene finnes i NN1954. I den øvrige delen av rapporten er det brukt NN2000 som man har gått over til i Stavanger og Tromsø kommune. Hvis man ønsker å regne om fra NN1954 til NN2000, skal man trekke 11 cm fra stormflonivået i Tromsø og 7 cm fra stormflonivået i Stavanger.

Tabell 6-1 Skadekostnader med tilhørende enhetspriser for Tromsø og Stavanger – alle enhetsprisene er gitt i markedspriser

Kategori	Enhet	Enhetspris ekstrem nedbør	Kilde
Bebyggelse			
Privat, stueetasje	NOK/m²	3.418	Designgrunnlag for oversvømmelsesbeskyttelse av København, COWI 2016
Forretning, bygningsskader	DK NOK/stk	542.080	Designgrunnlag for oversvømmelsesbeskyttelse av København, COWI 2016
Kultur, offentlig	NOK/stk	542.080	Antatt samme kostnad som ved forretninger
Skole, sykehus, pleiehjem	NOK/stk	542.080	Antatt samme kostnad som ved forretninger
Diverse offentlige	NOK/m²	3.418	Antatt samme kostnad som ved privat, stueetasje
Infrastruktur og trafikk			
Lufthavn - forsinkelser	NOK/stk	3.357.320	Beregnet ut fra passasjer antall og transportøkonomiske enhetspriser (DTU). Det antas, at ved en skade på lufthavnen forsinkes passasjerer i 4 fire timer. Kostnaden til opprydning/gjenoppbygning er ikke inkludert.
Trafikkforstyrrelser	NOK/stk	288	Designgrunnlag for oversvømmelsesbeskyttelse av København, COWI 2016
Kollapset vei	NOK/m	3.571	Designgrunnlag for oversvømmelsesbeskyttelse av København, COWI 2016
Opprydning av vei	NOK/m²	4	PLASK modell
Hotspots			
Vannverksbygninger/renseanlegg/installasjonsskap/pumpestasjoner	NOK/enhet	1.210.000	Antatt samme kostnad som ved transformer stasjoner
Transformatorstasjon	NOK/enhet	1.210.000	KBH modell

De forventede kostnadene ved en eventuell oversvømmelse er, for hver enkelt kategori, fastsatt per m², pr. m eller antall enheter, som rammes. For hver celle er for eksempel mengden av antall m² boliger som blir skadet ved en oversvømmelse regnet ut. Følgelig er det mulig å vise skadekostnadene for alle cellene i kroner.

Det er mulig å utarbeide skadekostnadsverdier for de enkelte kommunene på bakgrunn av skadedata. Skadedata for Stavanger kommune inneholder en rekke kategorier som villaer, private boliger etc. For hver verdi er det registrert en erstatningssum. For å kunne benytte disse dataene er det nødvendig å vite hvor

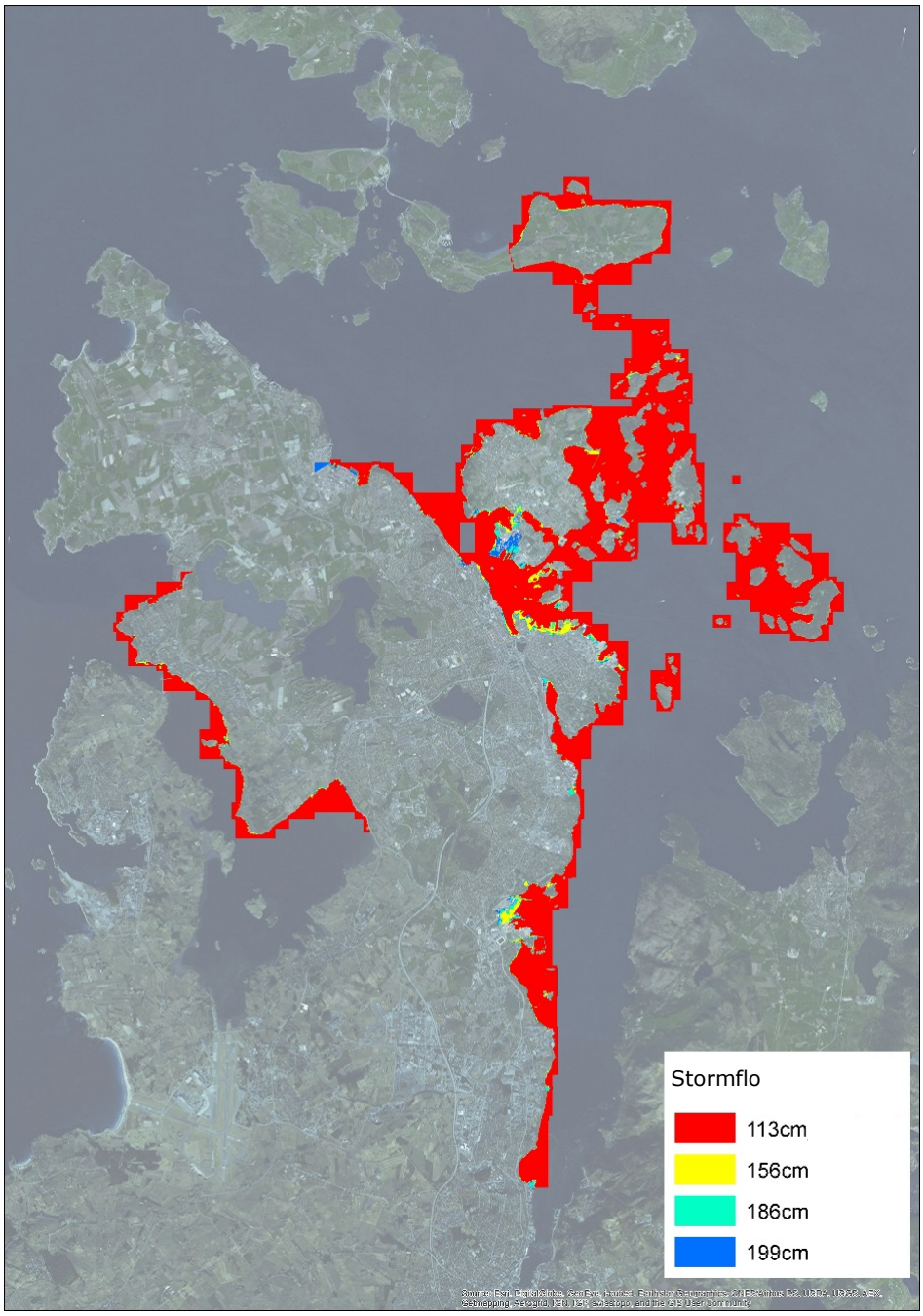
stor boligen, som har mottatt erstatningen er. Dette bør ligge i allerede eksisterende datakilder. Derfor vil det kunne lages et vektet gjennomsnitt over alle utbetalte skader. Etter vår vurdering bør prisene på skader fastsettes etter et størst mulig "sample" for å kunne gi et representativt bilde av skadekostnaden. Det skal likevel poengteres at det kan være fordeler ved å lage nasjonale parametere på skadekostnadene fremfor parametere på kommunalt nivå. Ved å benytte de samme enhetsprisene for skadekostnadene på nasjonalt nivå sikres muligheten til å sammenligne risikokart og nyttekostanalyser mellom kommunene.

6.2 Skadeomfanget av flom fra hav

Ved bruk av terrengmodellen kan omfanget av skader for ulike hendelser av stormflo estimeres for hver enkelt kommune. For begge kommunene ser vi på fire hendelser der vi identifiserer omfanget av skadene. Ved hjelp av terrengmodellen er det for de fire hendelsene beregnet hvilke områder som rammes av oversvømmelse og hvor dypt vannet maksimalt vil stå i hvert enkelt berørte område uten tiltak. På bakgrunn av dette er det fastlagt hvor stor andel av bygningene, infrastrukturen mm., som blir rammet ved ulike vannstandsnivå.

6.2.1 Stavanger

Illustrasjon av skadeomfanget i Stavanger er vist i Figur 6-1



Figur 6-1 Utbredelse av oversvømmelse i Stavanger ved ulike stormflohendelser.

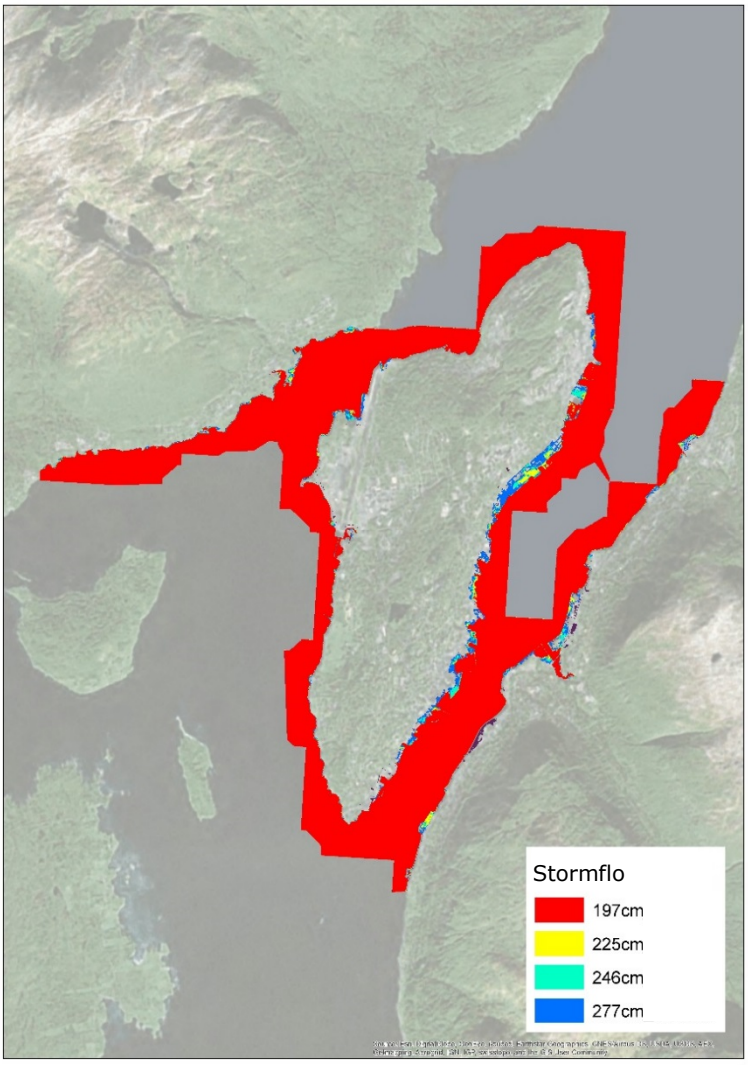
I Tabell 6-2 fremgår skadeomfanget ved stormflo i Stavanger.

Tabell 6-2 Skadeomfanget ved stormflo, Stavanger

Kategori	Enhet	Stormflonivå i cm NN1954			
		113	156	186	199
Privat, første etasje	m²	48.034	91.059	110.521	122.572
Virksomhet, bygningsskader	Antall	142	311	398	433
Kultur, offentlig	Antall	8	12	15	19
Skole, sykehus, pleiehjem	Antall	2	9	15	16
Private og kommunale veier	m²	18.500	82.191	113.034	124.829
Stasjoner	Antall	0	0	0	0
Vannverksbygninger/rensean-legg/installasjonsskap/pumpe-stasjoner	Antall	9	20	29	32

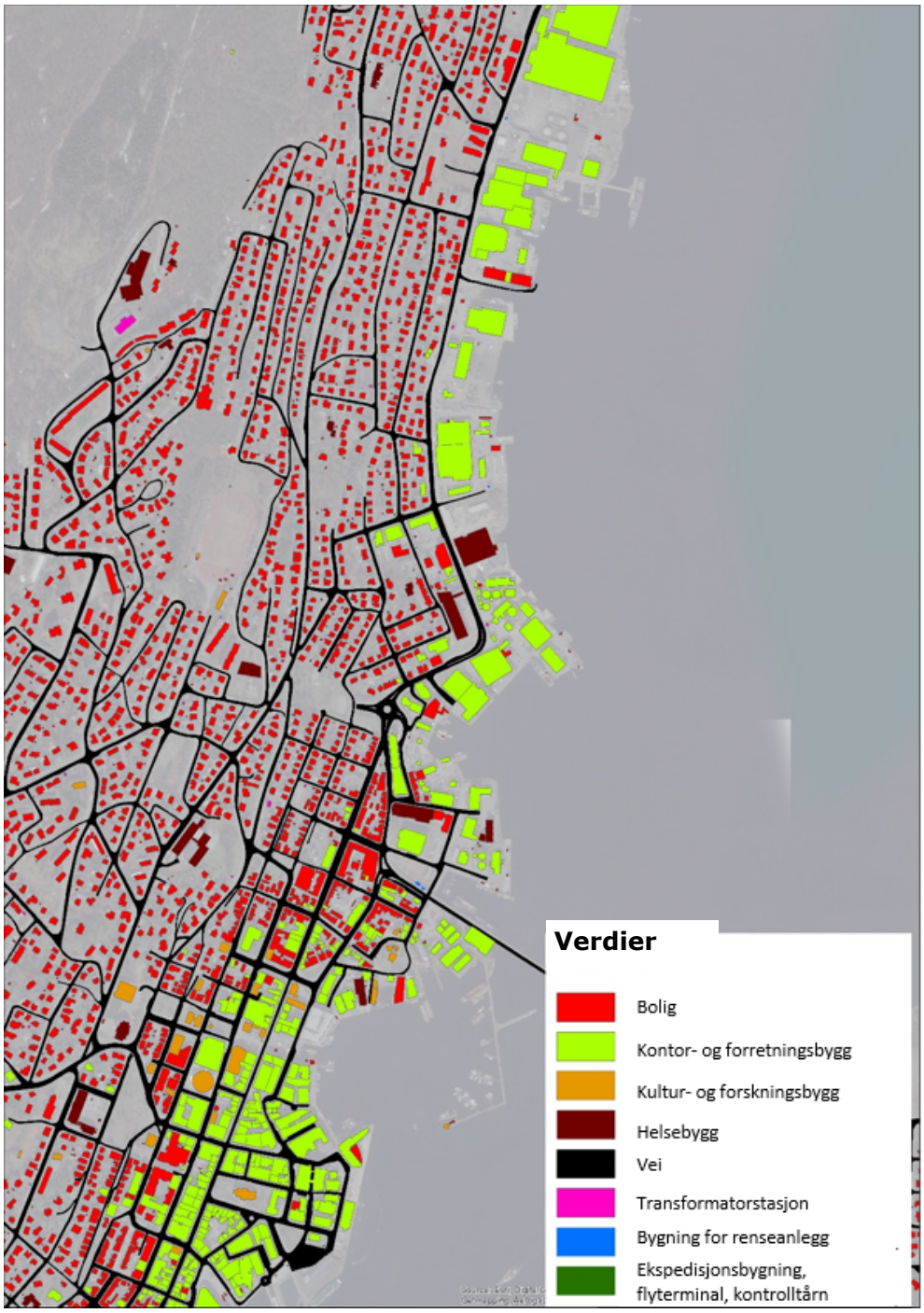
6.2.2 Tromsø

Illustrasjon av skadeomfanget i Tromsø er vist i Figur 6-2.



Figur 6-2 Skadesomfang ved stormflo Tromsø

Det er primært forretningsbygninger, som ligger langs havnefronten og derfor er det primært denne typen bygninger som blir skadet ved stormflo, jf. Figur 6-3.



Figur 6-3 Typen av skader i Tromsø

I Tabell 6-3 skadeomfanget ved stormflo i Tromsø.

Tabell 6-3 Skadeomfanget ved stormflo, Tromsø

Kategori	Enhet	Stormflonivå i cm NN1954			
		197	225	246	277
Privat, første etasje	m²	10.879	16.640	21.231	32.284
Virksomhet, bygningsskader	Antall	22	41	78	219
Kultur, offentlig	Antall	4	6	8	10
Skole, sykehus, pleiehjem	Antall	0	1	5	9
Flyplass	Antall	0	0	0	0
Private og kommunale veier	m²	11.706	14.552	23.798	51.440
Vannverksbygninger/rense-anlegg/installasjons-skap/pumpestasjoner	Antall	1	3	4	7
Transformatorstasjon	Antall	0	2	3	8

For Tromsø er det utpekt to områder som vil ta spesielt skade pga. bølger. Det er vurdert at det skal medregnes nedskrivinger for skadekostnadene tilsvarende 5 prosent. Terrenget rundt Tromsø er bratt, som betyr at de største skadene er forbundet med stormflo konsentrert rundt kysten og i bebyggelse med kort avstand til vannet. Da stormfloen i seg selv generer de største skadene vurderes det at et bidrag til skadekostnader på 5 prosent er realistisk.

6.3 Skadeomfanget av flom fra nedbør

Tilsvarende stormflo er det for ekstremregn identifisert omfanget av skader.

6.3.1 Stavanger

På bakgrunn av våre beregninger har det vært mulig å finne frem til skadeomfanget fra av flom fra nedbør ved de ulike nedbørsmengdene, jf. Tabell 6-4

Tabell 6-4 Skadeomfanget av flom fra nedbør, hvor det er antatt en konsentrationstid på 2 timer, Stavanger

Kategori	Enhet	mm nedbør på 2 timer			
		38,4	**51,4**	**56,2**	**61,5**
Privat, første etasje	m²	5.260	8.100	27.112	43.835
Virksomhet	Antall	4	12	58	71
Kultur/offentlig	Antall	1	3	9	10
Sykehus/skoler/institusjoner	Antall	4	9	17	19
Private og kommunale veier	m²	2.393	4.061	18.539	28.215
Stasjoner	Antall	0	0	0	0
Vannverksbygninger/rensean-legg/installasjonsskap/pumpe-stasjoner	Antall	0	1	1	1

6.3.2 Tromsø

På bakgrunn av våre beregninger har det vært mulig å finne frem til skadeomfanget fra av flom fra nedbør ved de ulike nedbørsmengdene, jf. Tabell 6-5

Tabell 6-5 Skadeomfanget av flom ved nedbør, hvor det er antatt en konsentrasjons-tid på 2 timer, Tromsø

Kategori	Enhet	mm nedbør på 2 timer			
		19,8	**27,2**	**30,3**	**33,3**
Privat, første etasje	m²	34.528	48.544	71.913	78.676
Virksomhet	Antall	50	78	155	182
Kultur/offentlig	Antall	9	12	19	20
Sykehus/skoler/institusjo-ner	Antall	17	23	31	32
Flyplass	Antall	0	0	1	1
Private og kommunale veier	m²	8.913	15.474	29.603	59.139
Vannverksbygninger/rense-anlegg/installasjons-skap/pumpestasjoner	Antall	2	2	5	8
Transformatorstasjon	Antall	2	2	7	9

7 Den økonomiske risikoen

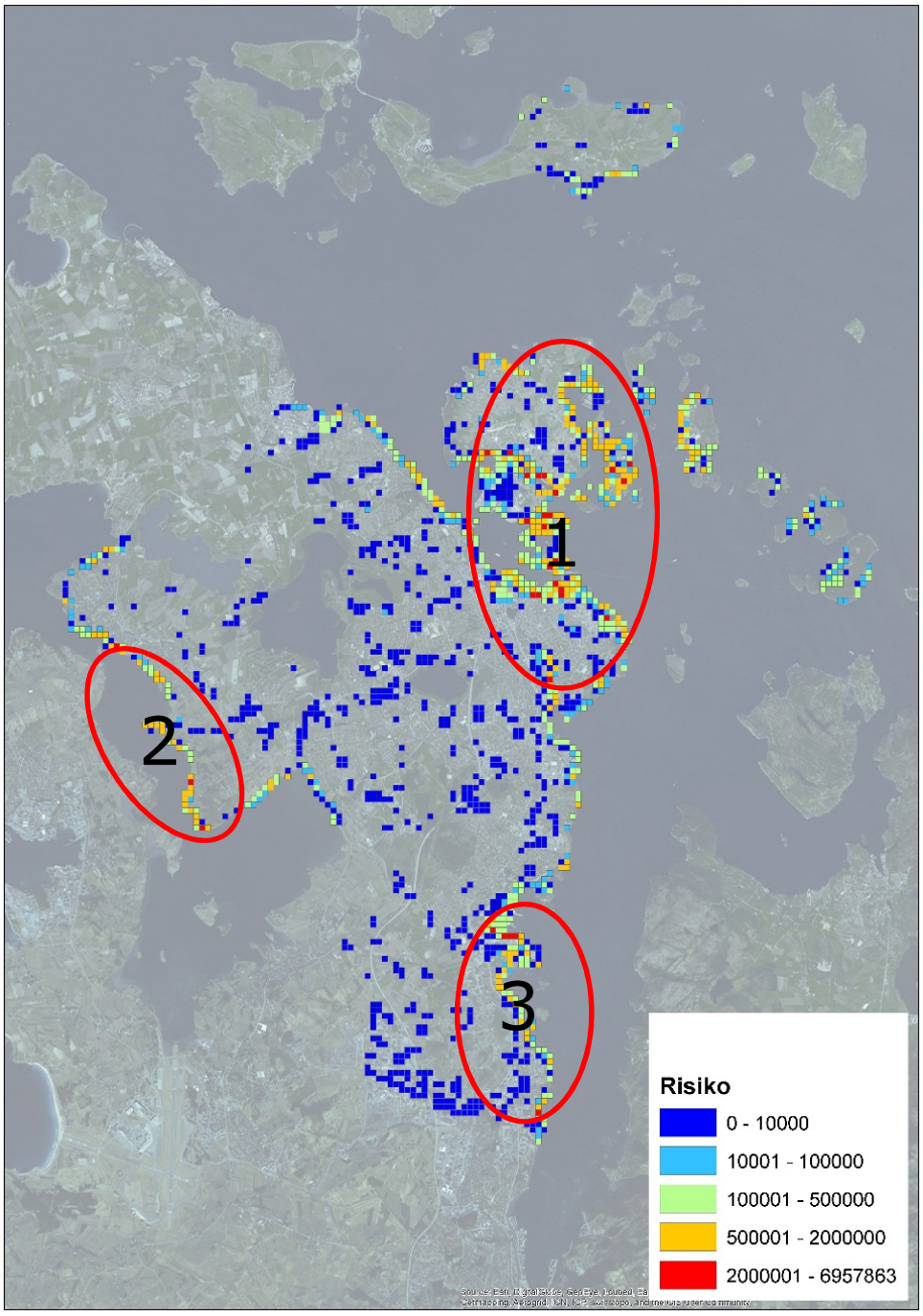
Den økonomiske risikoen er beregnet for begge kommunene. Den økonomiske risikoen regnes ut ved å multiplisere sannsynligheten for et gitt vannstandsnivå med de forventede skadekostnadene ved den gitte vannstanden.

Den økonomiske risikoen for år 2090 er illustrert på risikokartet i Figur 7-1 og Figur 7-2 for hhv. Stavanger og Tromsø. På bakgrunn av risikokartet er det mulig å peke ut hvilke områder det er størst økonomisk risiko ved økt havnivå eller ekstremregn. På kartene angir rød farge høyest risiko og dermed de stedene der det bør innføres klimatilpasningstiltak.

Omfanget av skader ved økt havnivå er størst i Stavanger kommune, mens omfanget av skader ved ekstrem nedbør er størst i Tromsø jf. risikokartet.

7.1 Stavanger

Skadene fra oversvømmelse ved økt havnivå er konsentrert til tre områder. Vi ser at det er stor konsentrasjon av skader i de gule og røde områdene som indikerer skadekostnader over 500.000 kr. pr. celle (100*100 m), jf. Figur 7-1



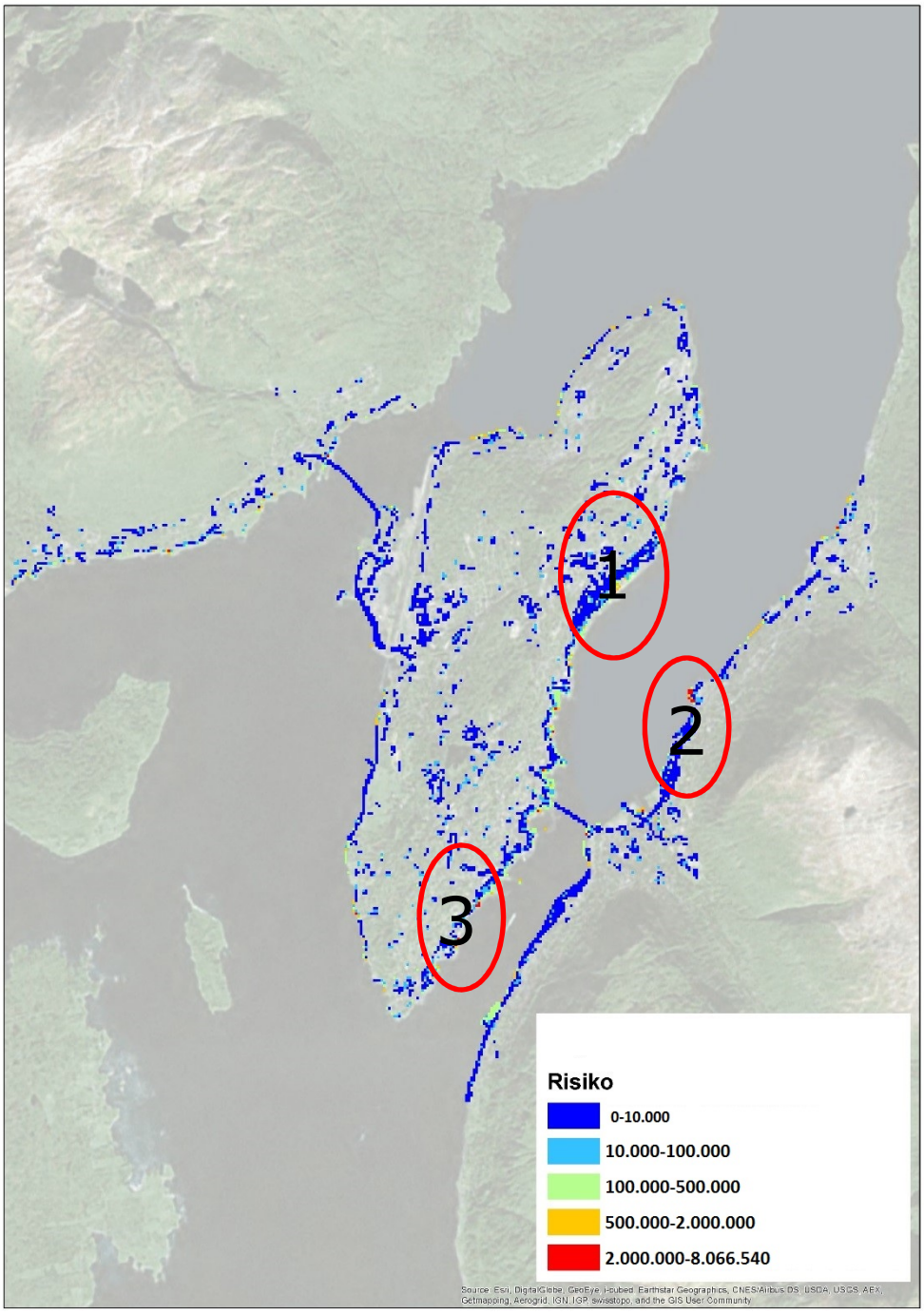
Figur 7-1 *Risikokart for Stavanger. Risiko er gitt som kr./år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Samlet risiko ved stormflo og nedbør.*

Det karakteristiske for Stavanger er at det er noen flate bebyggede områder som ligger nært vannet og derfor er utsatt for oversvømmelse. Kartet viser at skadekostnadene er spesielt høye rundt bykjernen i Stavanger, noe som betyr at det spesielt er i dette området det bør implementeres tiltak.

7.2 Tromsø

Risikokartet for Tromsø ser litt annerledes ut enn for Stavanger. Skadekostnadene er ikke like markante, noe som skyldes at det er flere åpne områder uten

bebyggelse, og at landskapet er brattere i Tromsø. I mange områder ligger det en vei langs vannet og bebyggelsen begynner først innenfor denne veien og oppover skråningen, jf. Figur 7-2.



Figur 7-2 Risikokart for Tromsø. Risiko er gitt som kr./år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Samlet risiko ved stormflo og nedbør.

På kartet er det markert tre områder der det vil være relevant å foreta klimatil-pasningstiltak.

8 Tiltak

I rapporten "Havnivåstigning og stormflo – samfunnssikkerhet i kommunal planlegging" utgitt av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (dsb) i september 2016, er det anbefalt å bruke tre sikkerhetsklasser jf. TEK10 kap. 7. Sikkerhetsklasse F1 gjelder tiltak der oversvømmelse har liten konsekvens, Sikkerhetsklasse F2 gjelder tiltak der oversvømmelse har middels konsekvens og Sikkerhetsklasse F3 gjelder tiltak der oversvømmelse har stor konsekvens. For de tre sikkerhetsklassene må den største nominelle årlige sannsynligheten være 1 gang hvert 20 år, 1 gang hvert 200 år og 1 gang hvert 1000 år.

I denne analysen er alle tiltak dimensjonert etter Sikkerhetsklasse F2, som knytter seg til 200 års gjentaksintervall, og til middelverdien av observerte stormfloverdier. For havnivå anbefales det å bruke tallene fra RCP8.5 for årene 2081-2100 og framskrivningenes øvre del (95-persentilen) som klimapåslag. I denne analysen har vi valgt å bruke år 2100.

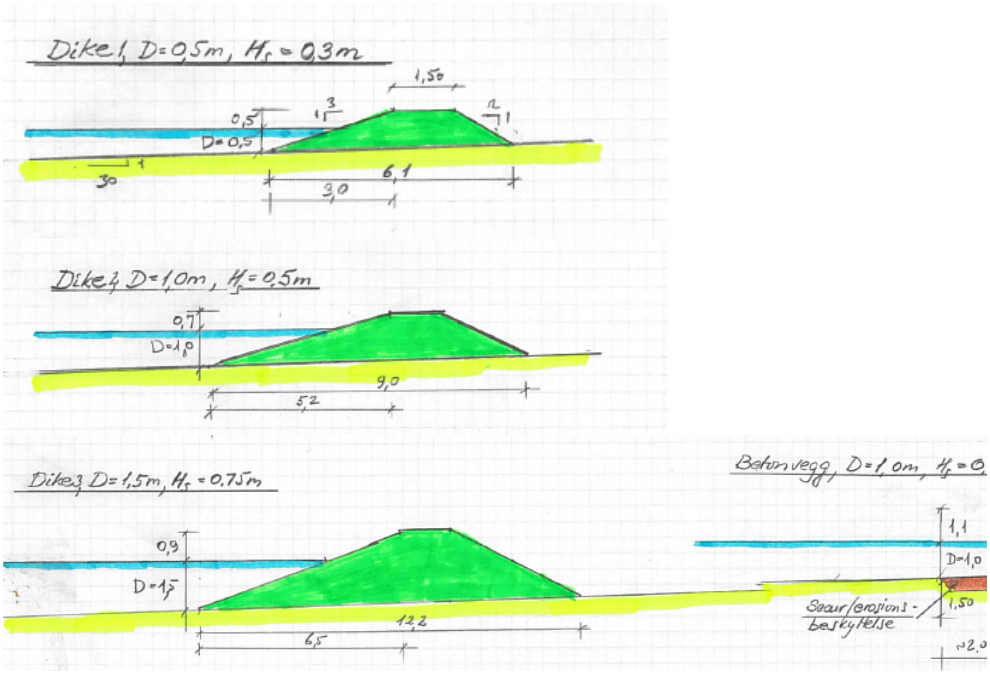
8.1 Skisser av konstruksjonstyper og anleggsoverslag

Innen det skal velges konstruksjonstype for oversvømmelsessikring må det gjøres en rekke avveininger. Det er viktig å se på hvor mye plass som er tilgjengelig for å bygge konstruksjonen i bredden. Det billigste er normalt et jord/leiredike, enten i ren leire eller med steinkledning på forsiden. Dersom det ikke er tilstrekkelig plass kan en mur (vegg) være en løsning. En slik konstruksjon har f. eks. blitt utført på Lemvig Havn i Nordvestjylland (DK) etter design av COWI (se foto) med muren under den kraftige stormen Bodil. Her er det utført en rekke portåpninger i muren. Disse er normalt åpne for å sikre gjennomgang. Portåpningene kan stenges igjen slik at det er sperret i tilfelle av høy vannstand.



Figur 8-1 Oversvømmelsesbeskyttelsesmuren i Lemvig under stormen, Bodil etter COWI design (Lemvig Kommunes hjemmeside), og prinsipper for muren (Ingeniøren)

Det er derfor viktig å se på størrelsen og høyden av diket eller muren, som avhenger av en rekke faktorer, som: terrenget, vannstand ved ekstremt høyvann, bølger (høyde og retning), akseptabelt overskyll over muren, se Bilag D for prinsipper for beregning av bølgeoverskyll.

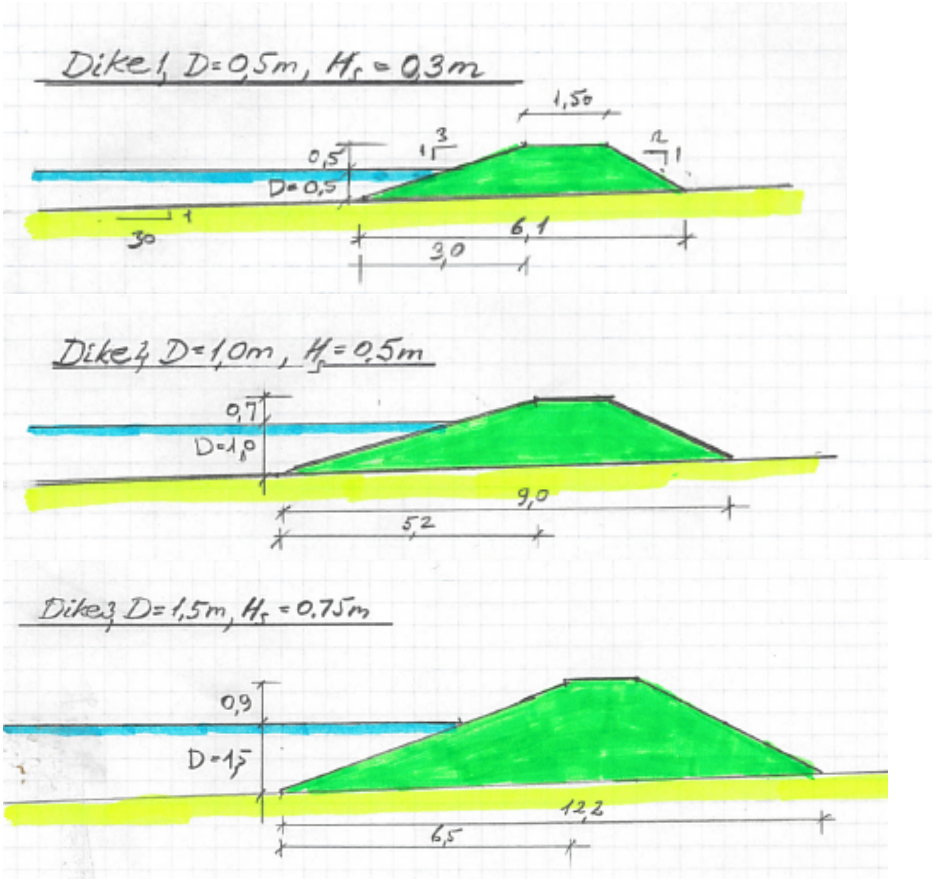


Figur 8-2 Forskjellige størrelser av diker i forhold til vanndybden og bølger foran diket

Figur 8-2 viser en rekke situasjoner med forskjellige høydeprofiler i forhold til havnivå. Her vises typiske situasjoner hvor det er vanndybder på henholdsvis 0,5 og 1,0 m foran konstruksjonen under høyvannssituasjonen. Det er en viss helning på landet/havbunden foran konstruksjonen på 1:30 eller flatere, og bølgene har en viss skrå innfallsvinkel, f.eks. 45-60 grader, som begrenser bølgeoverskyllet, som redegjort for ovenfor. I praksis må man regne med at en normal høyvannssituasjon ikke vil medføre oversvømmelse. Et normalt høyvann er i nærheten av Høyeste Astronomiske Tidevann (HAT) og svarer til +0,33 m (NN2000) i Stavanger og +1,38 m (NN2000) i Tromsø. Hvis det først ses på en situasjon, hvor det er plass til å bygge et dike, kan det antas at det normalt ikke forekommer oversvømmelse når vannstanden når HAT, men oversvømmes når HAT overskrides. Vi kan derfor anslagsvis anta, at terrengkoten der man vil bygge konstruksjoner mot stormflo er i dette nivået. Det er altså mulig å vurdere forskjellen mellom vannstanden med 200 års gjentagelsesintervall, som er vurdert til, VS= +1,79m (NN2000) i Stavanger og VS= +2,55 m i Tromsø. Under antagelsene ovenfor av at terrengkoten (TK) er ca. på kote/høydenivå HAT, får vi at dybden D, like foran konstruksjonene er ca.:

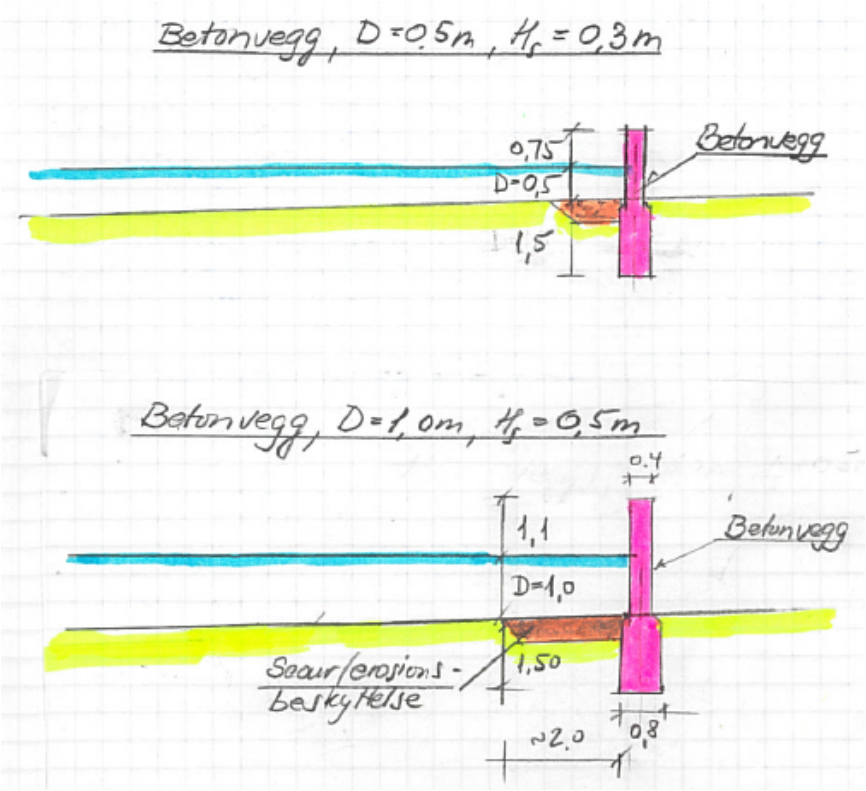
- Tromsø: D=VS-TK=2,55-1,38 m=1,06 m
- Stavanger: D =VS-TK= 1,79-0,33=+1,35 m

Dvs. vanndybden foran konstruksjonen forventes å være av størrelsesordenen 1 til 1,5 m. Figur 8-3 viser omtrentlig et jorddikes geometri for henholdsvis, D=0,5, 1,0 og 1,5 m.



Figur 8-3 *Forskjellige størrelser av diker i forhold til vanndybden og bølger foran diket*

I Figur 8-4 vises tilsvarende situasjon der en mur er benyttet som konstruksjon til beskyttelse mot oversvømmelse. Her er det vist to størrelser av muren. De fleste steder er det den minste muren, som er vist øverst, som kan bli aktuell; idet man må forvente at vanndybden i det oversvømte området ikke vil overstige 0,5 m, i de fleste stedene. Muren er her vist som en enkel mur. I praksis kan man forestille seg en barriere med trapper i stedet, som et attraktivt element i byrommet. Her må arkitekter inkluderes i arbeidet, sammen med ingeniører, for å sikre det estetiske og funksjonelle i utover de tekniske spesifikasjonene av de valgte løsningene. Videre er muren her vist som en betongmur. I praksis kan man forestille seg at det vil passe bedre til eksisterende kai og andre konstruksjoner, hvis muren dekkes med tre, så den får et uttrykk som passer bedre inn i det eksisterende miljøet.



Figur 8-4 *Skisser av betongvegg for forskjellige vanndybder og maksimale bølger foran muren.*

Nedenfor i Tabell 8-1 er det vist et overslag over volum og pris på diket for tre ulike vanndybder foran konstruksjonen. Prisene er et løst anslag, siden det kan være stor variasjon på enhetspriser for fyllmasse, og det kan være diverse andre kostnader til bygging av konstruksjoner i urbane områder. Det er regnet med enhetspriser som angitt i figurteksten.

Tabell 8-1 *Prisoverslag for jorddiker, uten eller med stein. Leire/jordmasse innbygget antas å koste 500 kr/m³ og stein 1000 kr/m³ alt inkludert.*

Forskjell mellom terreng og vannivå, WL (m)	Bølger Hs (m)	Toppkote Jorddike (m over WL)	Toppkote Jorddike med stein (m over WL)	Volum Jorddike med stein (jord) (m³/m)	Volum av Stein Jorddike med stein (m³/m)	Volum Jorddike Ren jorddike uten stein (m³/m)	Anleggsoverslag rent jorddike Kr/m	Anleggsoverslag Jorddike med stein på geotextil Kr/m
0,5	0,3	+0,75c	+0,5	3,4	0,60	4,9	2.450	2.300
1,0	0,5	+1,1	+0,7	8,0	2,0	12,0	6.000	6.000
1,5	1,0	+1,8	+1,2	14,9	5,5	27,3	13.650	12.950

Et alternativ til et jorddike er en betongmur. En slik mur skal ha en topphøyde på ca. +0,65, +0,9 m og +1,5 m over vannflaten. Det antas at muren fundamenteres ca. 1,5 m ned i bakken, og at fundamentet er med dobbel bredde av selve muren, som antas å ha en bredde på ca. 0,3, 0,4 og 0,5 m for de tre tilfellene som vurderes.

Herved fås de i Tabel 8-2 viste betongvolumer og priser. Betongprisen er antatt å være 4.000 kr/m³ alt inklusive. I tillegg kommer antatt 10% ekstra til erosjonssikring foran muren (veggen), i alt 4.400 kr/m.

Tabel 8-2 *Detaljer av oversvømmelsesmur (vegg) og prisoverslag (se tekst under tabell vedr. pris for mur med åpninger)*

Forskjell mellom terreng og vann-nivå, WL (m)	Toppkote Betong-mur (m over WL)	Bredde på mur (vegg) over terreng (dobbelt bredde under terreng til -1,5 m)	Høyde på mur over terreng (m³/m)	Volumen av mur over ter-reng (m³/m)	Volumen av mur under ter-reng (m³/m)	Total-volu-men (m³/m)	Anleggs-overslag Mur (vegg) i beton (kr/m)
0,5	+0,75	0,3	1,25	0,38	0,9	1,3	5.700
1,0	+1,1	0,4	2,1	0,84	1,2	2,0	8.800
1,5	+1,8	0,5	3,3	1,65	1,5	3,2	14.100

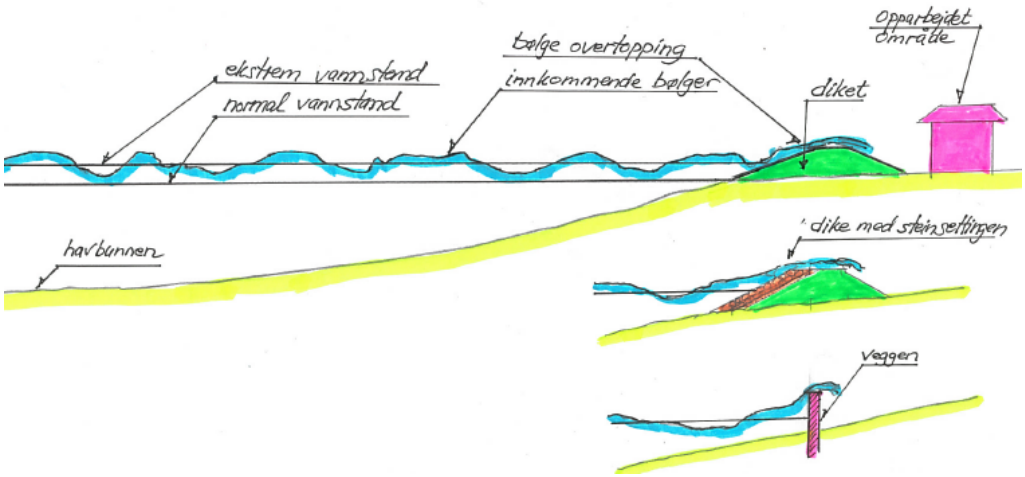
I tillegg til en mur er det nødvendig, som vist ovenfor, at det innføres åpninger i muren for å sikre gjennomgang. Slike åpninger, som tilsvarer de i Lemvig, koster ca. 40.000 kr/m, altså ca. 10 ganger prisen for muren. Hvis det antas at åpninger utgjør 5 % av muren, blir gjennomsnittsprisen dermed ca. 7.500 kr/m for den laveste muren som er angitt ovenfor.

Et dike eller en mur krever vedlikehold. På et jorddike med gress, skal gresset slås og etter kraftig uvær kan det bli nødvendig med mindre reparasjoner dersom diket er skadet. En betongmur er tilnærmet vedlikeholdsfri de første årene. Et budsjett for vedlikehold er vanskelig å fastsette, men et omtrentlig anslag vurderer 2-4 %/år av anleggssummen som rimelig, og maksimalt for en mur med åpninger. Dette er eksklusiv kostnader til gressklipping.

8.1.1 Beskyttelseskonstruksjoner i Tromsø

Figur 8-5 viser en størrelsesorden av ekstreme lokale bølger i det relevante området i Tromsø. Det er snakk om bølger på ca. Hs=1, 1,4 og 1,8 m avhengig av lokaliteten og det hvorvidt det er fritt farvann hvor bølgene bygges opp. Bølgehøydene skal ses sammen med resultater av dimensionsgivende høyvannstand. Herfra kan det oppnås et omtrentlig bilde av hvor utsatt de enkelte områdene er.

På bakgrunn av høyden til de relevante områdene er det mulig, å foreta et første anslag på om det er risiko for oversvømmelse. I det følgende, redegjøres det for ulike scenarier med og uten nye konstruksjoner til sikring mot oversvømmelse. Figur 8-5 viser prinsippene for et område med oversvømmelse hvis det bygges konstruksjoner til beskyttelse mot stormflo.



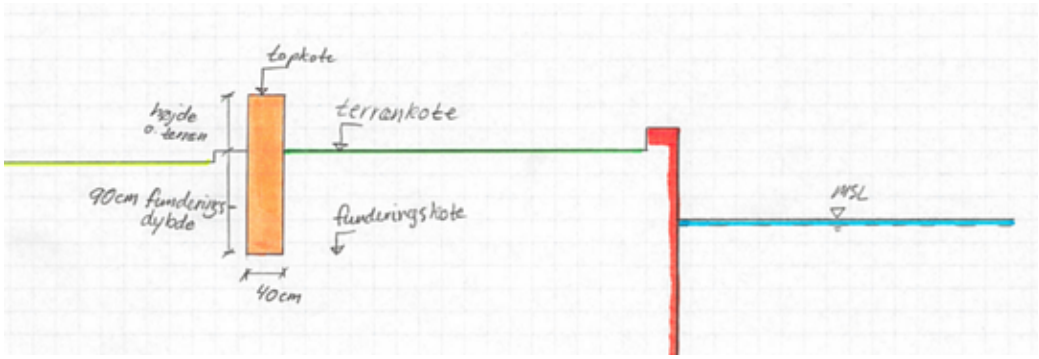
Figur 8-5 *Prinsippet for bølger som treffer et dike eller loddrett mur og bølgeoverskyll.*

Det fremgår at bølgene forplanter seg i kombinasjon med det ekstreme høyvannet inntil de skyller inn over land og treffer konstruksjonen, muren (veggen) eller jorddiket (diket). I de to kommunene er det mange steder snakk om at det er kaier ut til vannkanten med bygninger mm bak/oppå som vist på bildet fra Tromsø jf. Figur 8-6



Figur 8-6 *Foto fra Tromsø med bygninger tett ved kaikanten*

På Figur 8-7 er det laget en skisse av havnebassenget der havnebassenget er til høyre og kaikanten vist med rødt. Ved ekstremt høyvann og stormflo skyller vannet inn over kaikanten og oversvømmer området oppå kaien. Her kan oversvømmelsen unngås ved å bygge en mur, som vist med oransje. Denne muren skal ha en toppkote, som er over et gitt vannstandsnivå pluss et tillegg for bølgepåvirkning og mulig overskyll fra bølger.



Figur 8-7 Skisse av havnebasseng med kai, landareal og beskyttelsesmur mot oversvømmelse.

Bølgene skyller dermed opp på konstruksjonen (run-up) og det skjer overskyll hvis bølgene er store nok i forhold til konstruksjonens høyde mm. Størrelsen og vannvolumet i overskyllet avhenger av en lang rekke faktorer. Hvis vi først ser på situasjonen uten konstruksjoner, og det skjer en oversvømmelse inn over terrenget f.eks. i et byområde, er det relevant å se på vannstanden (WL) minus terrengkoten (TK), som bestemmer vanndybden inne i det oversvømmende området. Her kan det forekomme bølger som kan forplante seg inn fra fjorden/havet inn over området. Bølgene lokalt i det oversvømte området avhenger derfor av hvor store bølger som rammer området. Men bølgenes høyde er begrenset av vanndybden, og hvis denne er begrenset og området relativt flatt, kan bølgehøyden ikke overstige ca. 80% av vanndybden. Vi har altså: $H_{max}<=0.8(WL-TK)$. Den maksimale signifikante bølgehøyden er ca. $H_s=0,5(WL-TK)$.

I de fleste tilfeller med oversvømmelse inn i et byområde, og uten at det er bygget en konstruksjon til å forhindre oversvømmelse, er vanndybden inne i byen meget begrenset, så bølgenes størrelse er også begrensede. Derfor betyr bølgene normalt ikke stort for virkningen av en slik oversvømmelse. Det er altså primært vannstanden inne i byområdet som er den primære faktoren.
På en annen side, er bølgene av betydning hvis det er snakk om f.eks. en mur; idet bølgenes størrelse er bestemmende for hvor høy muren og dens fribord skal være.

I Tromsø er det altså primært snakk om en meget lang strekning med urban bebyggelse bak ved kaiene og havnebassengene. Mange steder kan det antakelig bygges murer tilsvarende i Lemvig, som redegjort for ovenfor. Andre steder kan man benytte en forhøyelse av kaikanten.

Men det opplyses, at mange steder er kaikonstruksjonene gjennomtrengelig så selv om det føres opp en mur oppe på kaien, vil det være en mulighet for at vann trenger inn under kaien og opp i bebygde områder. I slike tilfeller vil det bli

svært komplisert og dyrt å sikre bygningene, og dette kan f.eks. skje ved underjordiske foranstaltninger rundt en bygning eller grupper av bygninger.

Når det er snakk om å bygge nye bygninger, er det nødvendig at terrenget heves til er relativt høyt nivå. Ved endringer av eksisterende bygg, kan det noen ganger foretas tilpasninger, slik at bygningene og deres installasjoner bedre kan tåle vann. På litt lengere sikt kan det vise seg, å være for dyrt å sikre noen spesielt utsatte bygninger eller områder i byen; dermed kan fraflytting og nedskrivinger/tap bli aktuelt i noen tilfeller.

8.1.2 Beskyttelseskonstruksjoner i Stavanger

For Stavanger kommune har overnevnte analyse vist at det er stor forskjell på hvor utsatte områdene er for bølger. I Stavanger er det opplyst at det stort sett ikke er plass til å bygge jorddike. Derfor framstår en mur eller tilsvarende barriere med samme høyde som den beste løsningen. Det vil være nødvendig med en nærmere analyse av den faktiske og lokale situasjon i de ulike bydelene. Da må det kartlegges hvor det er risiko for oversvømmelse i dag eller i fremtiden, når havnivået har økt ytterligere på grunn av global oppvarming.

Når det er snakk om å bygge nye bygninger er det nødvendig at terrenget heves til er relativt høyt nivå. Ved endringer av eksisterende bygg kan det noen ganger foretas tilpasninger, slik at bygningene og deres installasjoner bedre kan tåle vann. På litt lengre sikt kan det vise seg å være for dyrt å sikre noen spesielt utsatte bygninger eller områder i byen; dermed kan fraflytting og nedskrivinger/tap bli aktuelt i noen tilfeller.

8.2 Kostnader ved tiltak

På bakgrunn av de utarbeidede risikokartene vises omfanget av skadene og hvor tiltak er nødvendige. I Kost/nytte-analysen er det sett på to tiltak for hhv. havvann og ett tiltak for ekstrem nedbør. Før et tiltak etableres anbefaler vi at det utarbeides et skisseprosjekt for det gjeldende området. Dette prosjektet er et pilotprosjekt, som har til formål å illustrere effekten klimatilpassing, hvor valg av tiltak bare er en skjønnsvurdering.

8.2.1 Tiltak i forhold til havvann

For utbredelse av flom fra hav er det regnet på de økonomiske konsekvensene ved å etablere et jorddike eller en oversvømmelsesmur. Ut fra risikokartet er det vurdert at det i Tromsø skal etableres beskyttelse i område 1 på 3 km, område 2 på 2 km og område 3 på 4 km, jf Figur 7-2. Dette gir i alt beskyttelse på 9 km enten jorddike eller oversvømmelsesmur for Tromsø. Hvis Tromsø kommune velger å beskytte alle de tre områdene, vil skadekostnadene bli redusert med ca. 80% op til kote 277 i NN1954.

For Stavanger kommune kan det i område 1 etableres en mur på 20 km. i område 2 bør muren være 8 km og i område 3 kan den være 4 km. Dette gir alt i alt en beskyttelse på 32 km oversvømmelsesmur eller jorddike. I kost/nytte-analysen er det regnet på at alle tiltak implementeres, noe som vil redusere skadene med 80% opp til kote 199 i NN1954.

Tabell 8-3 Investeringskostnader for tiltak

	Investering (NOK/m)	Antall meter	Totale kostnad mill. NOK
Tromsø			
- Jorddike	9.075	9.000	82
- Oversvømmelsesmur	12.100	9.000	109
Stavanger			
- Jorddike	15.670	32.000	501
- Oversvømmelsesmur	17.061	32.000	546

I Tromsø kommune kan det være relevant også å etablere en pumpestasjon for det vannet som blir liggende inne i landet. En pumpestasjon koster i om lag 1 mill. kr pr. bebyggelse, dette er ikke medregnet i kost/nytte-analysen.

8.2.2 Tiltak for utbredelse av flom fra nedbør

Risikokartene viser, at de primære skadene vil være fra havvannsstigning, men det er noen av skadene som er sammenfallende med utbredelse av flom fra nedbør.

Det bør for nedbør gjennomføres en hydraulisk analyse for avrenning på flater og i rør, men det har ikke været mulig i dette prosjektet. Derfor er det benyttet en forenklet metode for analyse av terrengformer for bestemmelse av strømmingsveier og vannfylling av nedsenkninger. På bakgrunn av den forenklede analysen er det vurdert at det skal foretas en videre analyse av vann og avløpssystemet. Tiltaket kan omfatte at kloakken graves opp i sin fulle lengde og legges om til ny og større dimensjon, siden det forutsettes at vann og avløp i sin helhet oppdimensjoneres med 2 dimensjoner. Det er regnet på standard nedbørsfelt av 10 ha i størrelse. Befestelsesgraden, som er andelen av tette (impermeable) flater, i bykjernen og forretningsområder er 90% og i villaområder 40%. I bykjernen er det 150 m ledning/ha og villaområder 160 m/ha i forretningsområder 50 m/ha. Det er 1 kum pr. 50 meter ledning. Det er innregnet i alt 32 stk/ha i bykjerne, 20 i villaområder og 9 i forretningsområder.

For Tromsø kommune er det primært forretningsområder som blir skadet i forhold til utbredelse av flom fra nedbør. Skadene er allokert ved område 1 og utgjør ca. 20 ha. Det antas derfor, at kloakksystemet vil bli lagt om i dette området, noe som antas å redusere samlet antall skader med 25 % opp til 33,28 mm nedbør på 2 timer.

For Stavanger er skadekostnadene fra nedbør relativt små, og vi har derfor ikke sett på tiltak til å sikre mot ekstrem nedbør i denne kommunen. Det skal allikevel merkes at det, til å estimere skadene ved ekstrem nedbør, er benyttet en forenklet metode med analyser av fordypninger i terrenget. I anbefalingsavsnittet er det spesifisert, hvilken avansert metode som anbefales i forhold til å estimere skadene ved ekstrem nedbør. I Tabell 8-4 er det angitt drifts- og investeringskostnader for tiltak som reduserer skadene fra ekstrem nedbør for Tromsø kommune.

Tabell 8-4 Investerings og driftskostnader for tiltak i forhold til ekstrem nedbør.

Type	Enhet	Investeringskostnad	Driftskostnad	Levetid	Reinvestering
		NOK/enhet	NOK/enhet/år	år	%
Omlegging av fellessystem til separatsystem, Villa	ha	2.178.000	4.477	75	100%
Omlegging av fellessystem til separatsystem, bykjernen	ha	4.815.800	5.687	75	100%
Omlegging av fellessystem til separatsystem, forretning	ha	2.226.400	5.203	75	100%

9 Kost/nytte-analyse

En kost/nytte-analyse av tiltakene til sikring mot flom fra hav og nedbør er utarbeidet for hver av de to kommunene Tromsø og Stavanger.

Formålet med kost/nytte-analysen er å belyse, om det vil være samfunnsøkonomisk lønnsomt å innføre klimatilpasningstiltak. Ved å sammenligne den økonomiske risikoen uten tiltak med den økonomiske risikoen med klimatilpasningstiltak fra år 2016 til 2100 har vi vurdert den samfunnsøkonomiske verdien av hvert enkelt klimatilpasningstiltak. En samlet positiv verdi indikerer, at det vil være lønnsomt for samfunnet, samlet sett, å implementere klimatilpasningstiltaket. En negativ verdi indikerer det motsatte. Resultatene er fremvist i NOK.

9.1 Generelle antakelser

Analysen er utført i overensstemmelse med den samfunnsøkonomiske veilederen fra det norske Finansdepartement.

Tabellen nedenfor oppsummerer de sentrale forutsetningene og antagelsene, som er benyttet i denne nyttekostnad analysen.

Tabell 9-1 Forutsetningene og antagelsene

Parameter	Verdisetning
Grunnleggende metode	Kost/nytte-analyse
Tidshorisont	2100
Diskonteringsfaktor	0-40 år:4 % 41-75 år: 3% 76-100 år: 2%
Skatteforvridningsfaktor	20 %
Nettoavgiftsfaktor	32,5%
Prisnivå	2016-priser

Ettersom effektene av havvannsstigning og ekstremregn undersøkes over en lengre tidsperiode er det nødvendig å diskontere skade- og tiltakskostnadene fra 2016 til 2100, så de utrykkes i en felles verdienhet. Til å diskontere kostnadene i de enkelte år benyttes en diskonteringsfaktor. Diskonteringsfaktoren fastsettes av Finansdepartementet. Den siste offisielle verdien er på 4 %. I samfunnsøkonomiske analyser på klimaområdet regnes det ofte på svært lange tidshorisonter 50 eller 100 år. Ved en diskonteringsfaktor av en viss størrelse vil man risikere at nåverdien blir meget liten. Det kan bety, at skadekostnader, som opptrer i siste del av århundret, nesten ikke teller med i regnestykket. Jamfør Finansdepartementets veiledning er diskonteringsfaktoren fra 41-75 år derfor satt til 3% og fra 76-100 år til 2 %.

I overensstemmelse med Finansdepartementets anbefalinger medregnes et skattevridningstap for alle nettokostnader. Skattevridningstapet er satt til 20% i overensstemmelse med anbefalingen i Finansdepartementets veiledning.

9.2 Følsomhetsanalyser

For å teste robustheten til resultatene i analysen er det utført en rekke følsomhetsanalyser. De er listet nedenfor

- Enhetspriser + 50%
- Enhetspriser -50%
- Investeringstiltak +50%
- Investeringstiltak -50%
- Diskonteringsfaktor 2%
- Diskonteringsfaktor 5%

10 Etterbehandling av analyseresultater

I dette kapitelet beskrives kort verktøyene og kartene kommunene kan bruke i ettertid.

10.1 GIS-data

Alle data og kart foreligger i GIS-format, som sikrer at kommunen kan jobbe dynamisk med alle GIS-temaer og kartutforminger i ettertid. Dette muliggjør nærstudier av delområder, en annen utforming og definisjon av fargeskalaer etc. Ved bruk av GIS-hjelpeverktøy kan hver enkelt område utsettes for oversvømmelse sammen og hver for seg, på samme måte som sannsynlighet og risiko kan presenteres for ulike år, som det er gjort med eksempelkartene i denne rapporten.

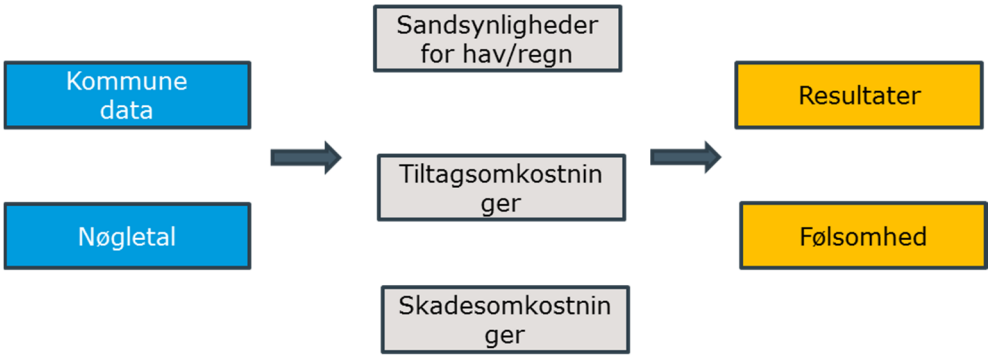
Risikokart, sannsynlighetskart og verdikart ligger i samme GIS-kart og benyttes som overblikk over hele kommunen. Så lenge det skal jobbes detaljert rundt innsatsområder m.m. bør hendelseskartene benyttes (temaer for havvannsstigning eller regnskyll). GIS-data ligger som ESRI/ARCMAP tabeller.

I og med at all data er samlet i samme GIS-lag er det også mulig å skifte ut eller tilføre ytterligere "lag" til analysen. Dette gjøres ved en enkel oppdatering av attributter i GIS. Eksempelvis kan analysen av fordypninger skiftes ut med resultatene fra en dynamisk oversvømmelsessimulering.

10.2 Regnearket

Det er utviklet et regneverktøy til kost/nytte-analyse. I regneverktøyet er det mulig å regne på andre kommuners kostnader ved klimatilpasning. Metoden og regnearket er derfor bygget opp på en slik måte at det er flere gjenbrukelige moduler, samt en kommunespesifikk modul som inneholder kommunes spesifikke data. Grunntanken er at det er en rekke forhåndsdefinerte nøkkeltall, som er direkte input-data i modellen. Utover dette er det en rekke input-data for den spesifikke kommunen. Disse dataene inngår i de videre beregningene til å regne ut sannsynligheter for hav og ekstrem nedbør, tiltakskostnader og skadekostna-

dene både før og etter tiltak. Til sammen utgjør alt dette resultatene for klimascenariet for den enkelte kommunen. For å teste robustheten i de beregnede resultatene er det utarbeidet en rekke følsomhetsscenarier.



Figur 10-1 Regnearkets oppbygning

11 Resultater

I dette prosjektet har det, på bakgrunn av eksisterende GIS data for hhv. Tromsø og Stavanger, vært mulig å utarbeide risikokart for hver kommune. Risikokartene gir et bilde av hvilke områder det er størst økonomisk risiko fra oversvømmelser i 2090, og dermed hvor det bør implementeres klimatilpasningstiltak.

I analysen er det foretatt en vurdering av bølgenes og strømforholdenes betydningen. Bølgeforholdene har spesielt en betydning for hvilke tiltak, som velges til å sikre mot havvannsstigninger.

Sammenlignes de to kommunene viser både risikokartene og de samfunnsøkonomiske beregningene at den økonomiske risikoen i Stavanger kommune er høyere enn i Tromsø ved havvannsstigninger. I Stavanger kommune er skadekostnadene fra utbredelse av flom fra hav på ca. 10.910 mill. NOK og i Tromsø på ca. 1.825 mill. NOK gitt i nettonåtidsverdi fra år 2016 til 2100.

Med tanke på økonomiske risiko ved ekstremregn er det, som tidligere nevnt, benyttet en enkel tilnærming til å estimere skadene og resultatene bør derfor tas med et lite forbehold. Med den enkle metoden for å estimere skadene er den økonomiske risikoen ved ekstremregn størst i Tromsø kommune, mens den økonomiske risikoen i Stavanger ikke i en slik størrelsesorden at det kan forsvares å innføre tiltak mot skadene. Det er derfor heller ikke beregnet samfunnsøkonomi for Stavanger kommune.

11.1 Stavanger

I Stavanger er det altså kun regnet samfunnsøkonomi for havvannsstigninger. Dette er likevel ikke en entydig konklusjon, men et resultat av at det ift. nedbør er benyttet en enkel tilnærming med analyser av fordypninger i terrenget. I sammendraget er det spesifisert hvilke modelltilnærminger som anbefales i forhold til ekstremregn.

I Tabell 11-1 fremgår resultatene ved havvannsstigning, når det settes opp en oversvømmelsesmur. Tabellen viser den diskonterte nettogevinsten, som er samlede skadekostnader uten tiltak fratrukket de samlede skadekostnadene

med tiltak samt tiltakskostnadene. Overordnet viser resultatene, at de samlede kostnadene vil falle, hvis det settes opp en oversvømmelsesmur. Det er antatt, at tiltaket kan stå klar i 2025.

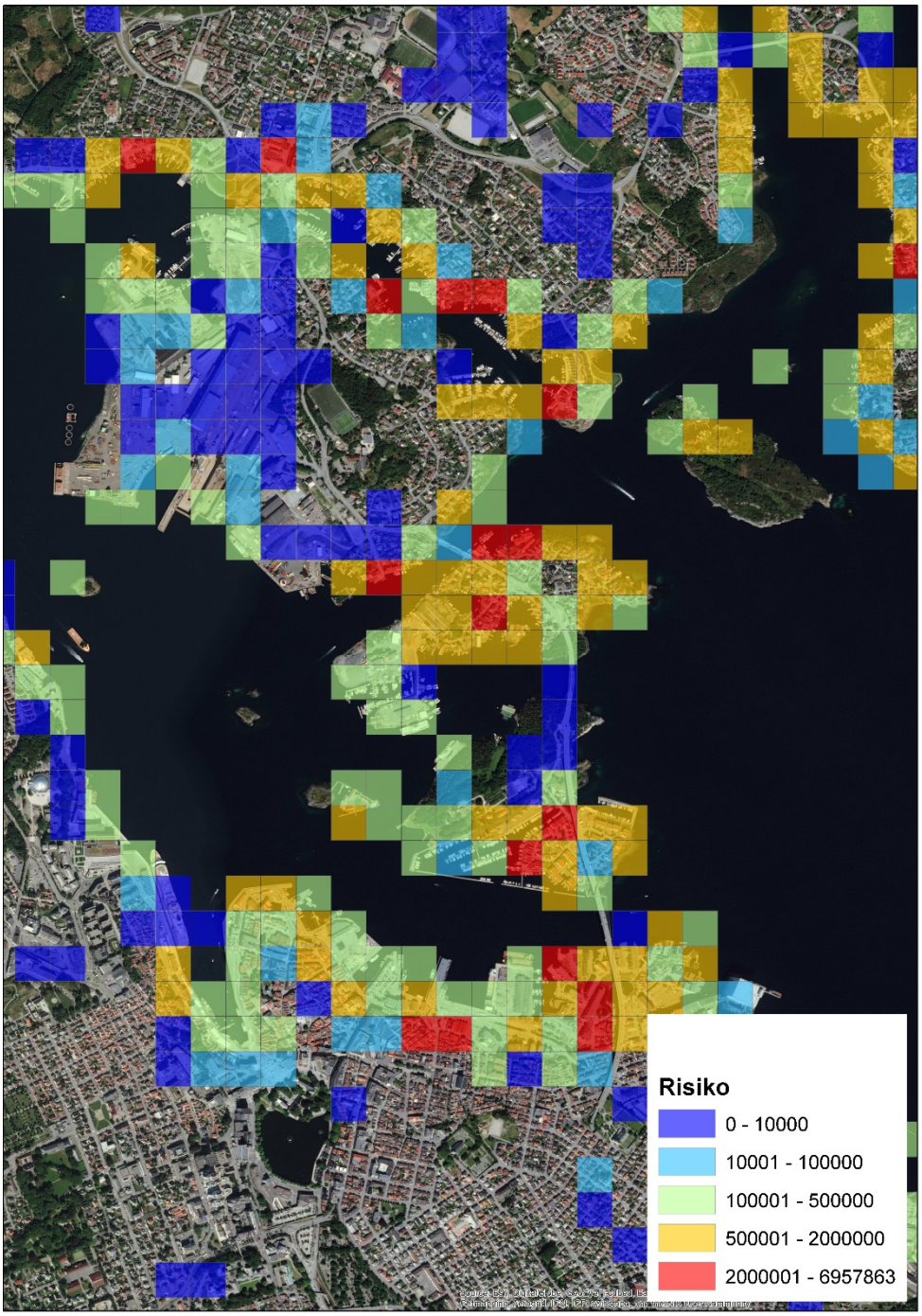
Tabell 11-1 Samlede resultater ved stormflo, når det settes opp oversvømmelsesmur i 2025

	Nettonåtidsverdi (mill. NOK)
Skadekostnader uten tiltak	10.910
Skadekostnader med tiltak	2.707
Avverget skade	8.203
Tiltakskostnader	910
Nettogevinst	**7.293**
Omkostninger ved skader og tiltak	3.617

For stormflo blir de samlede diskonterte skadekostnadene dersom man ikke innfører noen tiltak ca. 10.910 mill. NOK. Tabell 11-2 viser, hvordan skadekostnadene fordeler seg på de enkelte underkategoriene i 2090. Av tabellen fremgår det, at private boliger samt forretningsbygningene har de største skadekostnadene.

Tabell 11-2 Skadekostnadene for hver enkelt underkategori uten tiltak i 2090, mill. NOK

	Stormflonivå i cm NN1954			
	113	**156**	**186**	**199**
Privat, første etasje	167	317	385	427
Virksomhet, bygningsskader	79	172	220	239
Kultur, offentlig	4	7	8	11
Skole, sykehus, pleiehjem	1	5	8	9
Opprydning av vei	0,1	0,3	0,4	0,5
Vannverksbygninger/renseanlegg/installasjonsskap/pumpestasjoner	11	25	36	39
Total	**263**	**526**	**658**	**726**



Figur 11-1 *Risiko er gitt som kr./år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Utsnitt av område 1 på risikokart for Stavanger*

11.2 Tromsø

Resultatene er delt opp for flom fra hav og nedbør. Nedenfor oppsummeres først de overordnede resultatene for stormflo, og deretter oppsummeres resultatene for ekstremregn.

11.2.1 Overordnede resultater ved stormflo

I Tabell 11-3 fremgår resultatene ved stormflo når det settes opp en oversvømmelsesmur. Tabellen viser den diskonterte nettogevinsten som er samlede skadekostnader uten tiltak fratrukket de samlede skadekostnadene med tiltak samt tiltakskostnadene. Overordnet viser resultatene at de samlede kostnadene vil falle dersom det settes opp en oversvømmelsesmur. Den høyeste nettogevinsten oppnås ved sette opp oversvømmelsesmuren i 2025.

Tabell 11-3 Samlede resultater ved stormflo, når det settes opp en oversvømmelsesmur i 2025

	Nettonåtidsverdien (mill. NOK)
Skadekostnader uten tiltak	1.825
Skadekostnader med tiltak	494
Avverget skade	1.331
Tiltakskostnader	182
Nettogevinst	**1.149**
Omkostninger ved skader og tiltak	676

For havvannsstigning blir de samlede diskonterte skadekostnadene, uten tiltak, ca. 1.825 mill. NOK. Tabell 11-4 viser, hvordan skadekostnadene fordeler seg på hver enkelt underkategorier i 2090. Av tabellen fremgår det at private boliger samt forretningsbygninger har de største skadekostnadene.

Tabell 11-4 Skadekostnadene uten tiltak fordelt på hver enkelt underkategorier og stormflonivå i 2090, mill. NOK

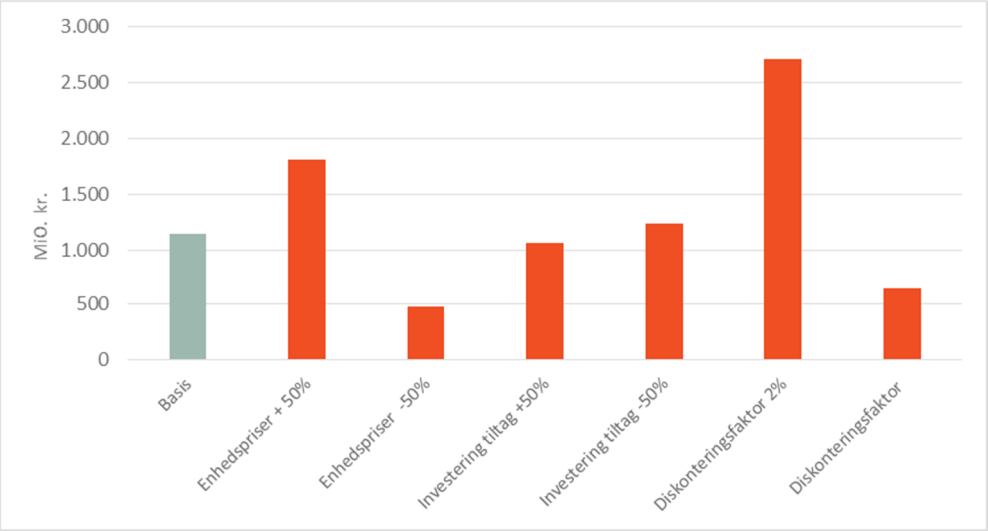
	Stormflonivå i cm NN1954			
	197	**225**	**246**	**277**
Privat, første etasje	40	61	78	118
Virksomhet, bygningsskader	13	24	45	127
Kultur, offentlig	2	3	5	6
Skole, sykehus, pleiehjem	0	1	3	5
Opprydning av vei	0,0	0,1	0,1	0,2
Vannverksbygninger/renseanlegg/installasjonsskap/pumpestasjoner	1	4	5	9
Transformatorstasjon	0	3	4	10
Total	**56**	**95**	**140**	**276**

11.2.2 Følsomhetsanalyser for stormflo

For resultatene for stormflo er det gjennomført en rekke følsomhetsanalyser. Det er laget følsomhetsanalyser på følgende inputparametere:

- Enhetspriser for skader (+ og – 50 %)
- Investeringskostnad for tiltak (+ og – 50 %)
- Diskonteringsfaktor (2 og 5 %)

I Figur 11-2 fremgår nettogevinsten ved de ulike følsomhetsanalysene. Av figuren fremgår det, at spesielt størrelsen på enhetsprisene for skader har betydning for nettogevinsten, hvis enhetsprisene faller med 50 % blir nettogevinsten ved å innføre et tiltak mot oversvømmelse redusert vesentlig. På samme måte har diskonteringsfaktoren også en vesentlig betydning for den samlede nettogevinsten. Til slutt har kostnaden ved å sette opp en oversvømmelsesmur også betydning for nettogevinstens størrelse, men påvirkningen er vesentlig mindre sammenlignet med de andre inputparameteres betydning.



Figur 11-2 Resultater av følsomhetsanalyser for inputparametere

Et annet parameter som resultatene er meget følsomme overfor er nivået for høyeste høyvann ved forskjellige gjentaksintervaller. I denne analysen er 95-persentilen for nivået for høyeste høyvann benyttet. Hvis man i stedet benyttet gjennomsnittet for nivået for høyeste høyvann ville skadekostnadene bli vesentlig redusert, og dermed også nettogevinsten ved å innføre tiltak mot oversvømmelser.

11.2.3 Overordnede resultater ved ekstremregn

I Tabell 11-5 fremgår den diskonterte nettogevinsten ved ekstremregn, når kloakken legges om fra et fellessystem til separatsystem. Den høyeste nettogevinsten oppnås ved å innføre tiltaket så tidlig som mulig. Det er antatt at tiltaket tidligst kan stå klart i 2025.

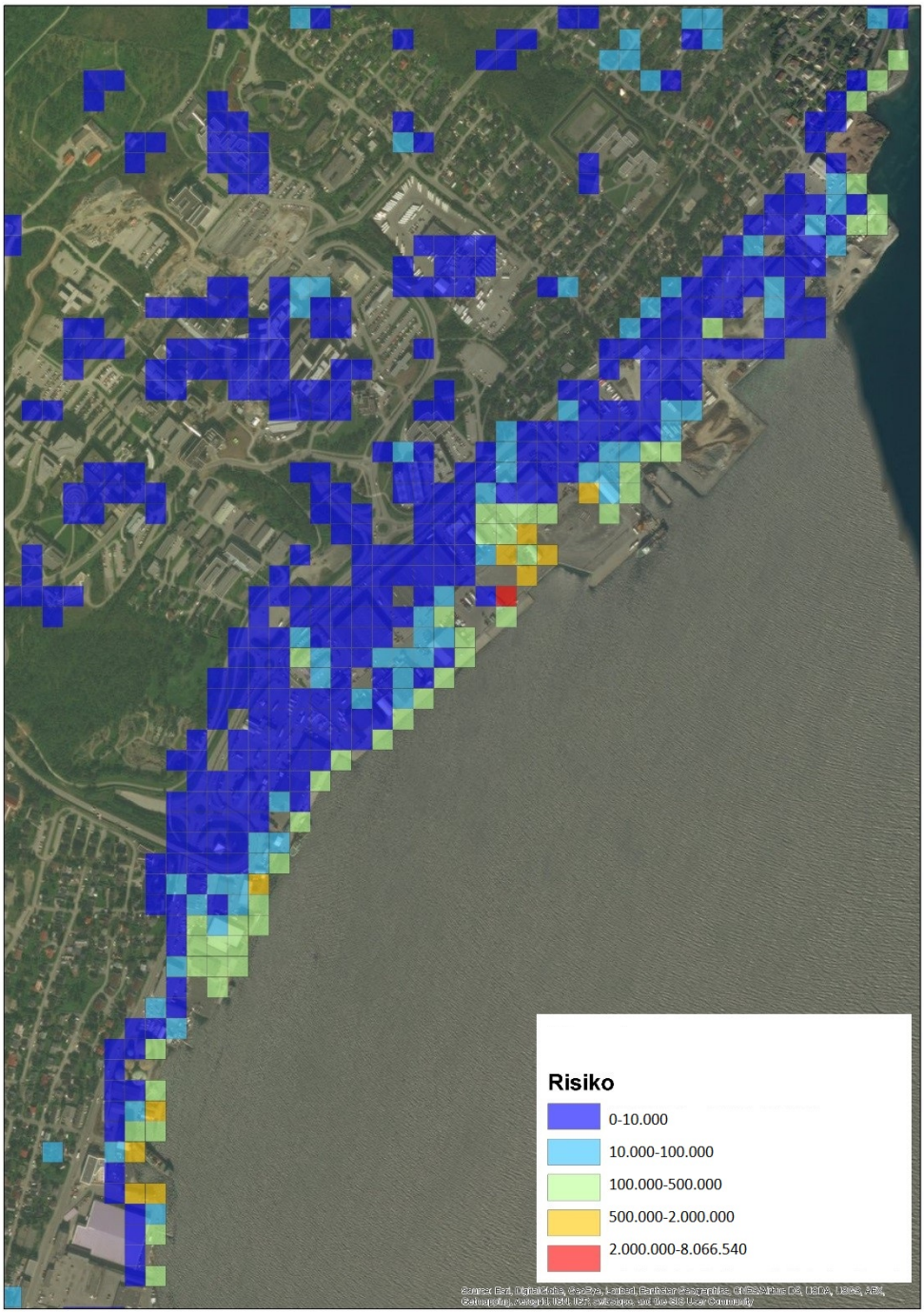
Tabell 11-5 Samlede resultater ved ekstremregn, når kloakken legges om fra fellessystem til separatsystem i 2025

	Nettonåtidsverdi (mill. NOK)
Skadekostnader uten tiltak	443
Skadekostnader med tiltak	359
Avverget skade	84
Tiltakskostnader	52
Nettogevinst	**31**
Omkostninger ved skader og tiltak	412

De samlede skadekostnadene, hvis det ikke innføres noen tiltak blir ca. 443 mill. NOK. I Tabell 11-6 ser vi, hvordan skadekostnadene fordeler seg på de ulike underkategoriene i 2090. På samme måte som ved havvannstigning er det boliger og forretningsbygninger som får de største skadekostnadene.

Tabell 11-6 Skadekostnader fordelt på de ulike underkategorier i 2090, mill.NOK

	mm nedbør på 2 timer			
	19,76	**27,17**	**30,29**	**33,28**
Privat, stueetage	118	166	246	269
Forretning, bygningsskader	27	42	84	99
Kultur, offentlig	5	7	10	11
Skole, sykehus, pleiehjem	9	12	17	17
Lufthavn -forsinkelser (forsinkelse på 4 timer)	0	0	3	3
Opprydning av vei	0,0	0,1	0,1	0,2
Vannverksbygninger/renseanlegg/installasjonsskap/pumpestasjoner	2	2	6	10
Transformatorstasjon	2	2	8	11
Total	**164**	**232**	**375**	**420**



Figur 11-3 *Risiko er gitt som kr./år pr. celle a 100x100 m i år 2090 (2081-2100). Utsnitt av område 1 på risikokart for Tromsø*

12 Konklusjon

I denne analysen har det vært fokus på å benytte det nåværende datamateriale for å utvikle en metode til å regne ut nyttekostnad av klimatilpasningstiltak. Tiltak som også kan brukes i andre kommuner i Norge. Denne rapporten viser en overordnet metodetilnærming og en vurdering av denne, og ikke mot spesielle og detaljerte løsninger for lokal risiko i de to prosjektområdene.

Nedenfor er de generelle erfaringene fra dette prosjektet samt anbefalinger til å benytte og videreutvikle metoden oppsummert. Dette pilotprosjektet for Tromsø og Stavanger kommune har vist, at:

- Det i Norge finnes et riktig godt og oppdatert materiale om ekstremvær og forventelige klimaendringer.
- Det finnes et godt digitalt kartmateriale som kan brukes ved analysen.
- Det er et stort potensiale for å benytte GIS-analyser i kommunene.
- Det er et behov for å gjennomføre mere detaljerte hydrauliske beregninger til vurdering av utbredelsen av flom og stormflo, men at man kan komme langt ved enkle GIS-analyser.
- Det er mulig, innenfor forholdsvis kort tid, å få et godt anslag over de samfunnsøkonomiske konsekvensene av ikke å gjøre noe eller å gjennomføre tiltak til et valgt nivå.
- Den undersøkte metoden, med anvendelse av standard kjent software, kan gi en god oversikt over de økonomiske faremomentene, nyttekostnad av tiltak, utvikling av faremomentene over tid og lokalisering av områder med spesielt høy risiko ut fra et økonomisk synspunkt.
- De fleste kommunene med GIS-kompetanse og kjennskap til MS Excel vil kunne gjennomføre en analyse tilsvarende denne for Tromsø og Stavanger.

- Metoden er universell, forholdsvis enkel og påliteligheten av resultatene avhenger av, hvor detaljerte beregninger det er gjennomført for den dynamiske utbredelsen av flom og stormflo, samt påvirkninger fra bølger – og her vil det nok, for de minste kommunene, kreve input fra konsulenter eller hjelp fra større kommuner.

Nedenfor er det stilt opp en rekke anbefalinger til hvordan metoden bør anvendes og videreutvikles.

Potensiale for generell anvendelse i kommunene

- Det anbefales at den oppstilte metoden i rapporten benyttes i spesielt kystkommunene for å teste om DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) sin foreslåtte sikkerhetsklasser baseret på TEK10 gir et avkastning ut fra metodens beregning av nyttekostnad. Metoden kan også raskt beregne samlede økonomiske faremomenter kommunen statistisk står ovenfor, på samme måte som omfanget av og prisen på skader ved de undersøkte utvalgte ekstreme værsituasjonene, gir en god indikasjon av skadeomfanget – hvis det kommer stormflo eller styrtregn.

Enhetspriser for skadekostnader

- Det anbefales, at det utarbeides skadekostnadsverdier for en rekke relevante kategorier som boliger, forretninger, stasjoner m.m. på bakgrunn av skadedata. Skadekostnadsverdiene kan enten utarbeides på nasjonalt plan eller for de enkelte kommunene. Fordelen ved å benytte nasjonale estimater på skadekostnader fremfor estimater på kommunalt nivå, er at det muliggjør en sammenligning av risikokart og kost/nytte-analyser mellom kommunene. Utover dette vil man ved en nasjonal estimering ha et større datagrunnlag. Skadekostnader fra tidligere skader kan meldes inn fra forsikringsselskapene, men siden registreres få opplysninger om årsaken til skadene, er det vanskelig å tolke om skaden skyldes, stormflo, styrtregn og om vannet er kommet inn via VA-systemet, fra flom, fra utett tak, fra tett takrenne etc. Det anbefales derfor at forsikringsselskapene bruker flere koder for skadeårsak, slik at det blir lettere å benytte disse dataene ved oppgjør av forventet skadekostnad.

Hyppighet av hendelser – utregning av sannsynligheter

- Det anbefales å benytte det foreliggende meget detaljerte og oppdaterte statistiske datamaterialet om havvannsstigning, stormflo, styrtregn etc. til å sette opp statistikken i Excel-arket. Kartverket, Norsk klimaservicesenter (NCCS), Meteorologisk Institutt og DSB (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap) kan levere både data og formler for sannsynlighetkurver etc. Det anbefales riktignok å benytte formlene modellen selv beregner ut fra data for gjentaksintervallene større enn 20 år. Dette gjør det lettere å benytte modellen direkte for en utrent bruker.

13 Referanser

- NCCS report no. 2 (2015). *Klima i Norge 2100*
- NCCS report no. 1 (2016). Background information for "Klima i Norge 2100".
- Kartverket (2017). Tidevannstabeller. For den norske kyst med Svalbard samt Dover, England
- dsd Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2016). *Havnivåstigning og stormflo.*
- NCCS report no. 1 (2015). Sea Level Change for Norway. Past and Present Observations and Projections to 2100.
- dsd Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2015) Fremgangsmåte for utarbeidelse av Nasjonalt risikobilde (NRB).
- Jernbaneverket. (2015). Dimensjonerende korttidsnedbør. Naturfareprosjektet Dp 5 Flom og vann på avveie
- COWI. (2014). Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet. Udarbejdet for Miljødirektoratet.
- dsd Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (2016). *Risikoanalyse av regnflom i by.*
- Norsk Klimaservicesenter (2016). *Klimaprofil Troms.*
- Akvaplan-niva AS Rapport: 8055-01 Endring av strømforhold i Tromsøsundet som følge af utfylling vedr. Fr. Nansens plass.

Bilag A Ekstrembølge og bølgeoppskyllshøyder samt ekstrem høyvann

I det følgende beskrives en generell metode for å bestemme av ekstrembølge- og bølgeoppskyllshøyder på kystbeskyttelseskonstruktioner samt ekstremhøyvann. Denne metoden er teoretisk utviklet og kan benyttes på de fleste kyststrekninger til å finne et fornuftig estimat på kombinasjonen ekstremhøyvann samtidig med bølgepåvirkning.

Ettersom formålet med dette skisseprosjektet er å redegjøre for ekstreme forhold samtidig med høyvann og bølger, ligger det ikke innenfor oppgaven å utføre detaljerte statistiske studier av bølge- og vindobservasjoner. Det ligger heller ikke innenfor prosjektets detaljeringsgrad å sette opp numeriske modeller av vanndybdeforhold og vindforhold, til beregning av ekstrembølgenes størrelse og utbredelse som funksjon av dette. På tross av dette, kan kunnskap om ekstreme vindhastigheter benyttes til å sette opp en forenklet hindcast-modell. Den kan generere en generell tabell for ekstrembølgehøyde i tilfelle av varierende lengde på fritt farvann. En slik modell benyttes ofte i tilfelle av manglende bølgeinformasjon eller til omtrentlige anslag på estimater. Metoden vurderes derfor å kunne anvendes langs hele den norske kystlinjen til å bestemme ekstrembølgehøyde, men som case-tilfelle vil Tromsø området anvendes.

Utover dette vil en konseptuell metode for kombinering av de estimerte bølgestørrelser med den estimerte ekstreme høyvannstanden gjennomgås. Under dett relateres effekten ved ulike kystbeskyttelseskonstruktioner, akseptable nivåer av overskyll og prisoverslag på tilstrekkelig sikring.

Forholdene i Stavanger er mer kompliserte, siden bølgene må forventes å være en kombinasjon av dønninger fra Atlanterhavet, som meget dempet kan forplante seg inn mellom øyene hvor de mikses med lokalt genererte bølger.

Generelle parametere

En rekke felles og forskjellige parametere gjør seg gjeldende ved bestemmelse av omtrentlig dimensionsgivende høyvann og bølgehøyde.

Dimensionsgivende høyvann

Ved undersøkelse av størst sannsynlige ekstremhøyvann skal bl.a. følgende faktorer overveies:

- Størst **observerte høyvann**
- En **høyvannsstandshendelse** med utvalgt returperiode.
- **Astronomisk tidevann**
- **Barometrisk høyvann**
- **Flom fra vinddrag**
- **Vanndybdeforhold** (bathymetry)

Med hensyn til ekstremhøyvann varierer innflytelsen fra andre hydrografiske faktorer mellom de to ulike lokalitetene. Disse forholdene redegjøres separat for hver av de to lokalitetene, Tromsø og Stavanger.

Dimensjonsgivende bølgehøyde

Ved undersøkelse av den største sannsynlige bølgehøyde for en gitt sannsynlighet (gjentagelsesintervall) langs en kystlinje skal en rekke faktorer overveies:

- **Vindhastigheten** som genererer bølgene samt om det er lokale bølger eller bølger langt ute på havet, som forplanter seg inn i et bebygd område.
- **Varigheten** hvor denne vindstyrken forekommer og hvor bølgene har mulighet til å utvikle seg.
- **Det frie farvannet**, dvs. avstanden over området hvor bølgene bygges opp.
- **Vanndybdeforholdene** over hvilken dybde bølgene dannes, innen de når kystlinjen (bathymetry).

Ekstremhøyvann i Tromsø og Stavanger

I forhold til størrelsen av ekstremhøyvann er adskillige av de gjeldende faktorene felles for både Tromsø og Stavanger.

Astronomisk tidevann

Det astronomiske tidevannet er uavhengig av forekomsten av stormer, og det er derfor kun en meget liten sannsynlighet for at høy springflo forekommer nøyaktig samtidig med, at en ekstrem storm når sitt maksimum over en gitt lokalitet.

Tidevannsstørrelsen i Stavanger og Tromsø er vidt forskjellige og vil derfor bli gjennomgått separat for de to lokalitetene. For begge lokalitetene er det et høy- og lavvann to ganger i døgnet.

Barometrisk høyvann

Det barometriske høyvannet vil være omtrent det samme for begge lokalitetene, siden det vil være de samme lavtryksystemene fra Nord-Atlanteren, som skaper ekstremtilfellene. Middellufttrykket er 1013 MB, som tilsvarer 10,0 m H2O. Et lavtrykk på ned til 940 MB må forventes å være i nærheten av den laveste forekomsten, som tilsvarer ca. 70 cm høyere vannflate.

Det skal riktignok merkes, at vindhastighetene direkte under selve lavtrykket vil være markant mindre enn ekstremvindhastighedene, og at bølgehøydene dermed ikke vil nå ekstreme høyder, når lavtrykket er like over lokaliteten. Derfor kan det lave lufttrykket anslagsvis medføre et ekstra høyvann i størrelsesordenen +50 cm.

Flom fra vinddrag

Flom fra vinddrag skyldes at vinden utøver en kraft på vannoverflaten i vindens retning. I grunne havområder kan flom fra vinddraget bli betydelig, som er tilfellet bl.a. ved Nordsjøkysten av Danmark, Tyskland og Holland, hvor flom fra vinddraget kan nå flere meters høyde.

I både Tromsø og Stavanger er forholdene annerledes. Fjordene er relativt dype, og vannet kan renne vekk under det vindpåvirkede laget av vannsøylen. Det er anslagsvis snakk om opp til ca.+10 til 15 cm flom fra vinddrag på de to lokalitetene.

Bølgevurderinger i Tromsø og Stavanger

Strøm

Både Tromsø og Stavanger ligger inne i en fjord bort fra det åpne havet. Det er en rekke effekter som påvirker havstrømmene inne ved de bebygde områdene i de to kommunene. Det astronomiske tidevannet er den viktigste parameteren som påvirker strømmen; mens det barometriske lufttrykket og den lokale vinden ved kraftige stormer også påvirker strømmene, når et høy- eller lavvann bygges opp ved at det fylles mer eller mindre vann inn i fjordene.

Oversvømmelser over landområder skyldes primært ekstremt høyvann eventuelt, avhengig av lokaliteten, kombinert med bølger. Strømmen ute i fjorden foran en lokalitet har meget begrenset påvirkning; men kan riktignok i noen tilfeller endre bølgenes forplantning ved såkalt "strømrefraksjon". Det er derfor primært vannstanden og bølgene, som er av betydning for om det oppstår oversvømmelser, og det er disse fysiske fenomen, det fokuseres på i det følgende.

I forhold til størrelsen av ekstrembølgene er enkelte av de gjeldende faktorer også felles for både Tromsø og Stavanger.

Vindhastighet og varighet

Ved gjennomgang av litteraturen finner vi ekstremvindhastigheter omkring Stavanger og Tromsø på omtrent 25 m/s, mens på havsiden av Randaberg, Kvaløya og i Nord-Atlanteren må forventes ekstremvindhastigheder på av størrelsesordenen ca. 35 m/s.

Disse vindhastighetene vil forekomme i forbindelse med lavtrykk det beveger seg inn over Norskekysten fra Nord-Atlanteren med vindretninger mellom nord og vest.

Lokalt vil det riktignok forventes å forekomme endringer i både hastighet og retning grunnet lokal topografi. Vindretninger og således følgende bølgeretninger og størrelser vil derfor bli ytterligere gjennomgått for hver av de to lokalitetene.

Det er viktig å fremføre, at for en ekstrem situasjon skal oppstå, skal det nesten være sammenfall mellom ekstremt høyvann, som opptrer ved springtid, og maksimum effekt av en storm med barometrisk høyvann og samtidig kraftig vind og dermed bølger.

Videre er det av betydning, at varigheten av en ekstrem høyvannssituasjon er begrenset. Tidevannet varierer som en sinuskurve med ca. 12 timer mellom høyvann. 90% gir et maksimalt tidevann som kun opptrer ca. 1 time på hver side av det maksimale høyvann. For 80% gelder ca. +- 2 timer. Derfor må man forvente at varigheten av ekstremt høyvann kun er ca. 2 til 4 timer.

Bilag B Hydrografiske forhold Stavanger

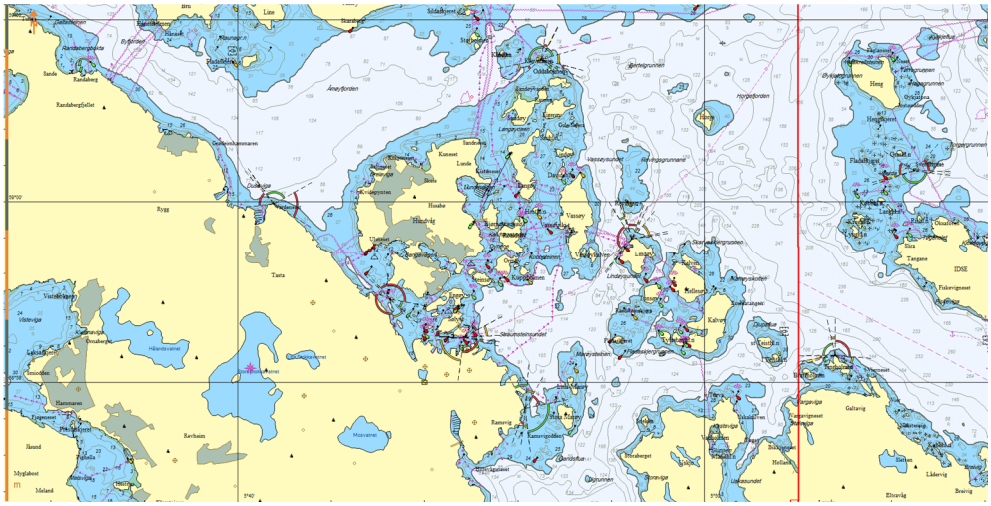
Stavanger ligger på østsiden av en halvøy som ligger direkte ut mot den nordlige delen av Nordsjøen. Umiddelbart nord for selve Stavanger ligger en rekke øyer som utgjør Rennesøy kommune,



Figur 13-1 Oversiktskart over Stavangerområdet og forbindelsen med Nordsjøen. Oversiktskart over Stavanger området og forbindelsen med Nordsjøen.

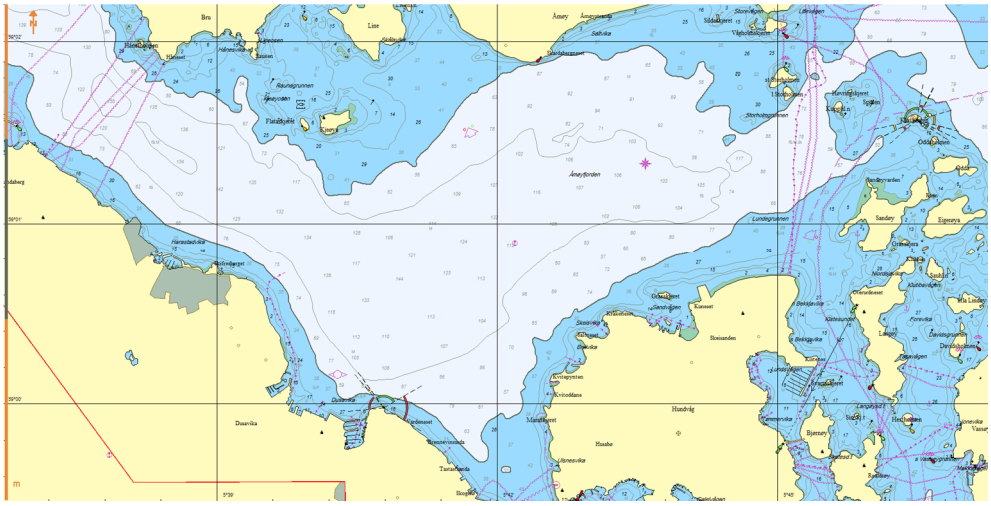
Disse øyene ligger ubeskyttet i en 22 km bred åpning mot Nordsjøen til skjærgården. Åpningen strekker seg fra Skudeneshavn til Tungenes fyr og er 100-300 meter dyp.

Gjennom Byfjorden er vanndybden 80-130 m, som gjør seg gjeldende inntil Åmøyfjorden hvor vanndybden er 50-80 m. Åmøyfjorden ligger rundt den vestlige og nordlige delen av Stavanger kommune, Figur 13-2.



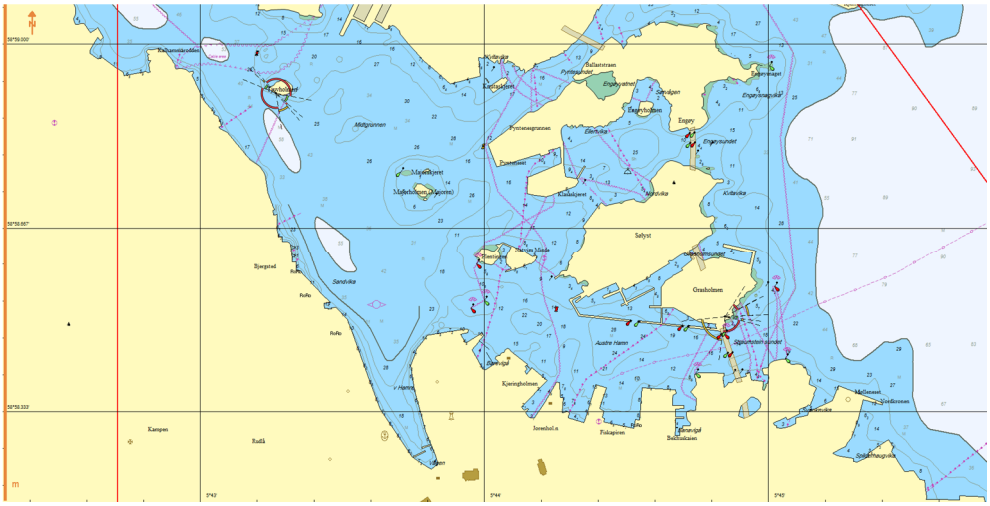
Figur 13-2 Sjøkart over hele Stavanger prosjektområde. Kilde: C-Map

I sundet mellom Randaberghalvøya og øya Hundvåg og inn til den vestlige delen av Stavangers havneområde er vanndybden 30-40 m. I havneområdet varierer dybden mellom 10-20 m, Figur 13-3.



Figur 13-3 Sjøkart over Åmøy fjorden og området utenfor Dusavika og Hundvåg. Kilde: C-Map

Fjordene inn til Stavanger er altså dype nok til at bølger fra Nordsjøen kan forplante seg inn som dønninger med meget redusert høyde. Fjordens lengderetning og åpning er mot nordvest, men fra denne retningen blokkeres bølgene delvis fra Nordsjøen av tuppen ved Skudeneshavn.



Figur 13-4 Sjøkart over Stavanger havneområde. Kilde: C-Map

Stavanger ligger således delvis/indirekte eksponert mod Nordsjøen. Bølgene rundt Stavanger og i Åmøyfjorden må forventes å være en kombinasjon av dønninger fra Atlanterhavet, som meget dempet kan forplante seg inn mellom øyene ved refleksjon mot de relativt bratte fjordsidene, hvor de mikses med lokalt genererte bølger.

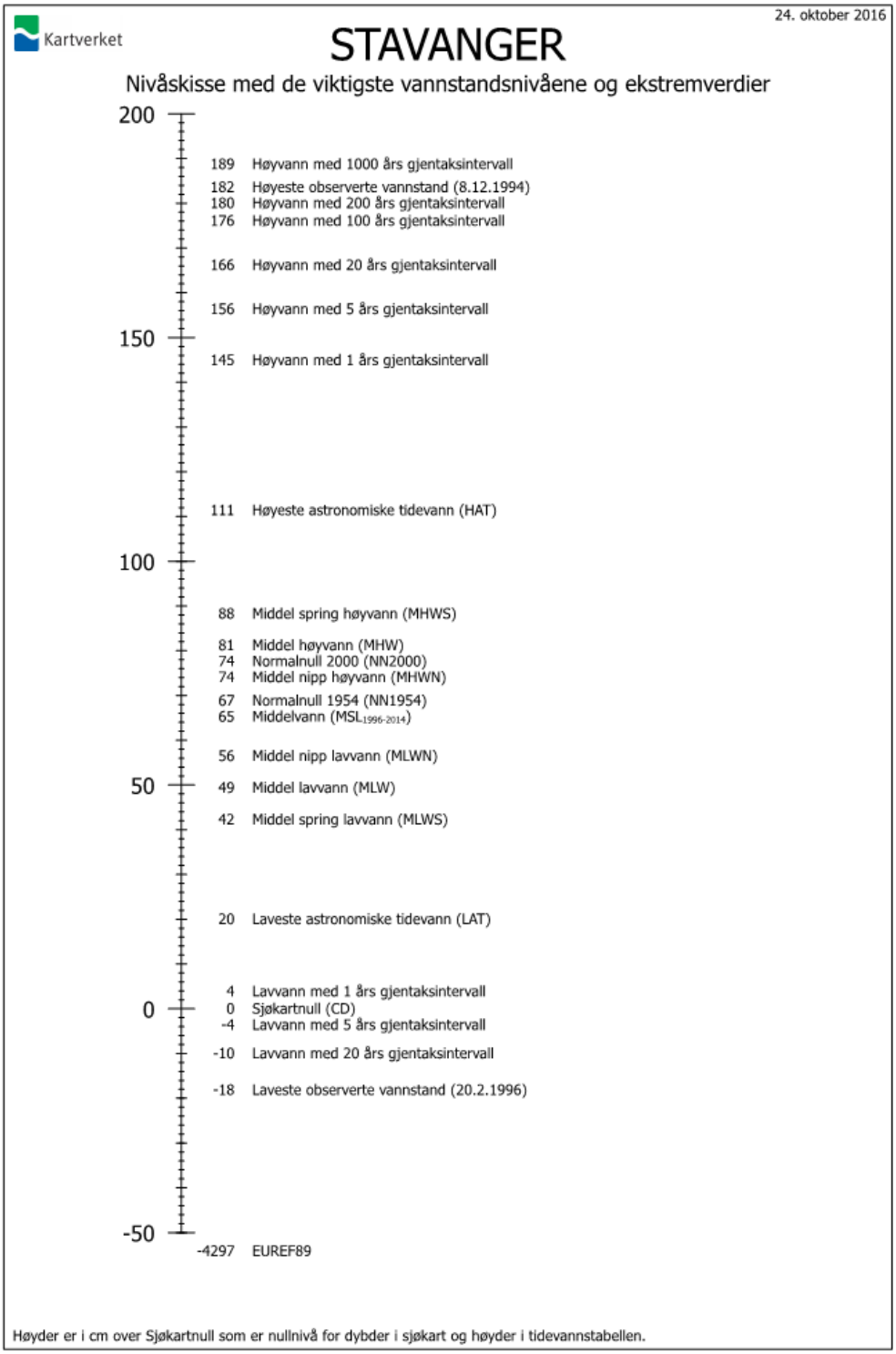
Videre er det sannsynlig at bølger fra vest og nordvest kan forplante seg inn i fjordsystemet ved refraksjon og diffraksjon, og videre kan reflekteres på de relativt bratte fjordsidene og således forplante seg ytterligere inn til Åmøyfjorden og Stavanger, riktignok med meget redusert høyde.

Dette kan kun nærmere vurderes gjennom innsamling av erfaringer fra hver enkelt lokalitet i kommunen, og oppbyggingen av en numerisk bølgemodell, som altså ligger utenfor denne oppgaven.

Lokalt genererte bølger vil også kunne ha betydning for den vestvendte delen av Stavanger hvor fjordene er et sted mellom 80-200 m dype og det frie farvannet er mellom 5 og 10 km.

Landskapet omkring Stavanger er relativt lavt og med åpne landområder ut mot fjordene. Over Randaberg er høyeste punkt 75 m.o.h. med gjennomsnittlige høydekoter mellom 15-30 m.o.h, Figur 13-5. Derfor forventes bølgene i høy grad å oppstå og forplantes med vinden. Enkelte steder vil topografien moderat kanalisere og vinden og dermed føre bølgene i fjordenes lengderetning.

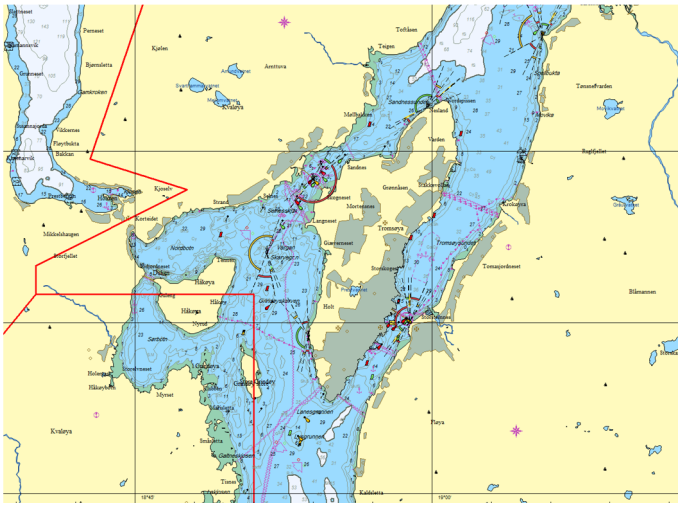
Tidevannet rundt Stavanger er meget begrenset med en typisk amplitude på 0,32 m og med det høyeste astronomiske tidevann observert på 0,37 m over Normalnull 2000 (NN2000), Figur 13-5, /3/. Høyeste observerte vannstand i Stavanger er + 1,08 m over NN2000 og forekom i desember 1994.



Figur 13-5 Nivåskisse med vannstandsnivåer og ekstremverdier for Stavanger, /3/.

Bilag C Hydrografiske forhold Tromsø

Tromsø ligger godt beskyttet mod Norske havet og Barentshavet bak øyene Kvaløya og Ringvassøya, og bølgene i området vil således alltid være lokalt generert, Figur 13-6.

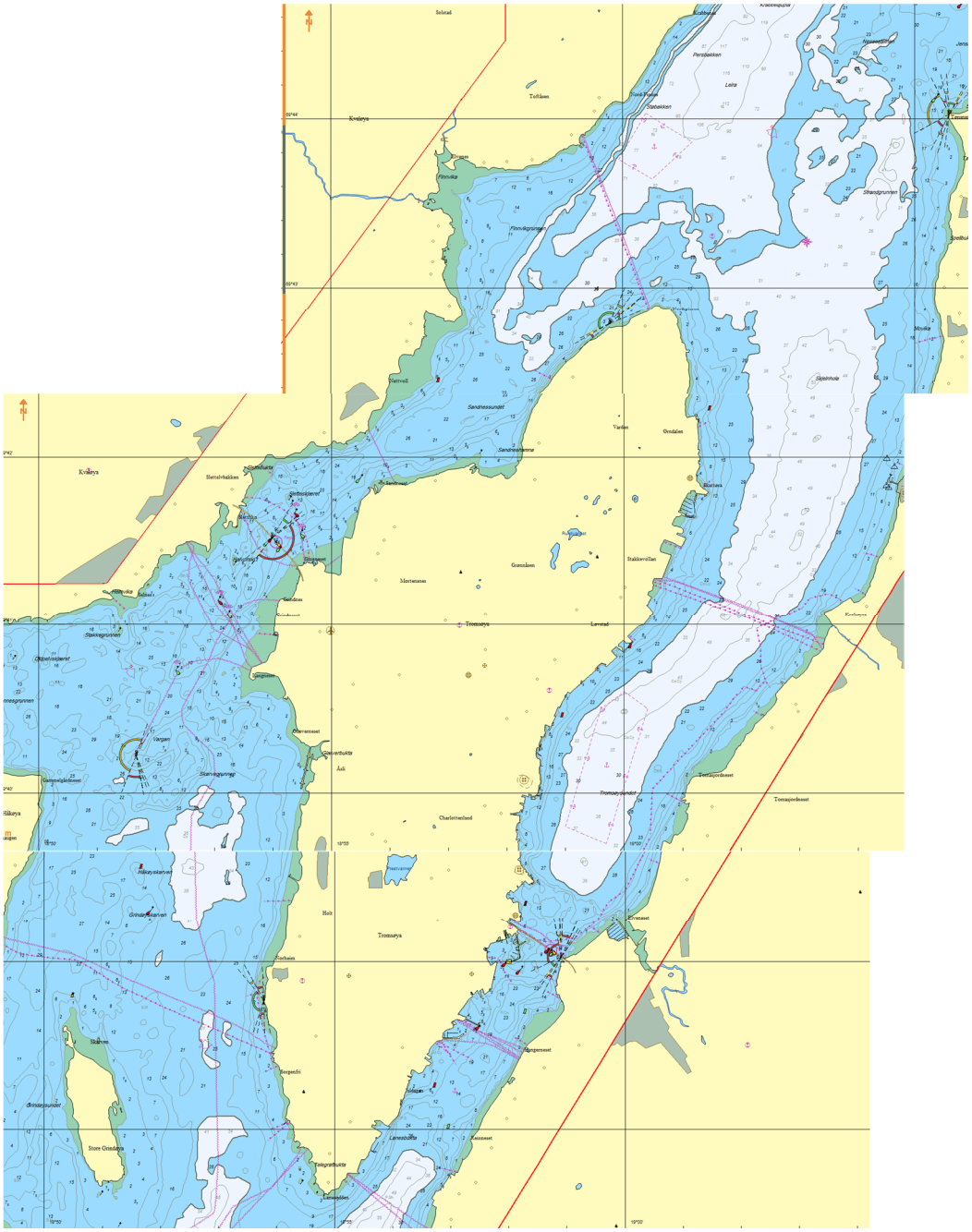


Figur 13-6 Søkort over hele Tromsø prosjektområdet. Kilde: C-Map

Tromsøya ligger som en avlang øy i Grøtsundet, like nordafor hvor det er forbundet med Baltsfjorden. I Balsfjorden og syd for Tromsøya er vanndybden ca. 50-100 m, mens det i den sørlige delen av Grøtsundet nær Tromsøya gjennomsnittlig er under 50 m dypt, Figur 13-7.

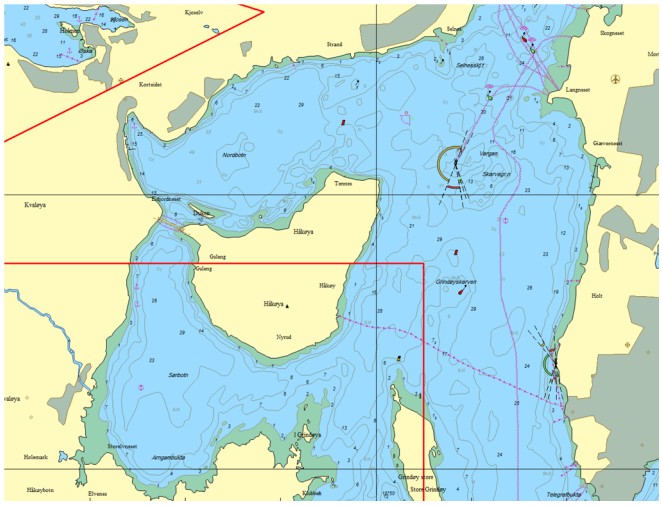
Gjennom Tromsøysundet på den østlige siden av Tromsøya er vanndybden ca. 40 m i begge ender, men ca. 10 m i den sentrale og smaleste delen.

Sandnessundet ligger på den vestlige siden av Tromsøya og gjennom den nordlige delen er det noenlunde samme variasjon av vanndybder som i Tromsøysundet. Vanndybden er ca. 40 m ved den nordlige delen av Tromøya og ned til ca. 10 m på den sentrale og smaleste delen ved Tromsø Lufthavn, Figur 13-7.



Figur 13-7 Sammensat sjøkart over farvannet omkring Tromsøya, Sandnessundet og Tromsøysundet samt den sørlige delen av Grøtsundet. Kilde: C-Map

I den sørlige delen av Sandnessundet og inn til sammenflettingen med Balsfjorden sør for Tromsøya er vanndybden kun ca. 15-20 m og mange steder kun omkring 5 m. I Nordbotn som omgir den nordlige delen av øya Håkøya er vanndybden riktignok omkring 30 m, Figur 13-8.



Figur 13-8 Sjøkart av den vestlige siden av Tromsøya og Nordbotn. Kilde: C-Map

Det frie farvannet på tvers av de to sundene på hver side av Tromsøya er ca. 0,5-2 km. I den sydlige delen av Sandnessundet er denne avstanden riktignok på ca. 3-5 km.

Siden topografien i området er omgitt av fjell med bratte fjellsider ned til vannkanten, vil det være høyst usannsynlig at vinden med ekstreme hastigheter vil blåse på tvers av disse to sundene. I fjell- og fjordlandskap vil vinden typisk bli kanalisert og ledet mellom fjellene og langs med fjordene, og ofte styrkes vindhastigheten her.

Det forventes derfor at ekstremvinder i området omtrentlig vil ha en nord-sør eller sør-nord retning gjennom Grøtsundet, Sandnessundet, Tromsøyasundet og Balsfjorden. Derfor forventes det også at de største bølgene vil forplante og utvikle seg i disse retningene.

Ettersom områdets lengste frie farvann (7-15 km) forekommer gjennom Grøtsundet og Balsfjorden vil de mest utsatte kystlinjene i Tromsøområdet være sidene av disse fjordene samt nord- og sørspissen av Tromsøya. Utfor Tønsnes vil det riktignok være mindre bølgepåvirkning siden det ligger et grunnere område her utenfor kystlinjen, Figur 13-6.

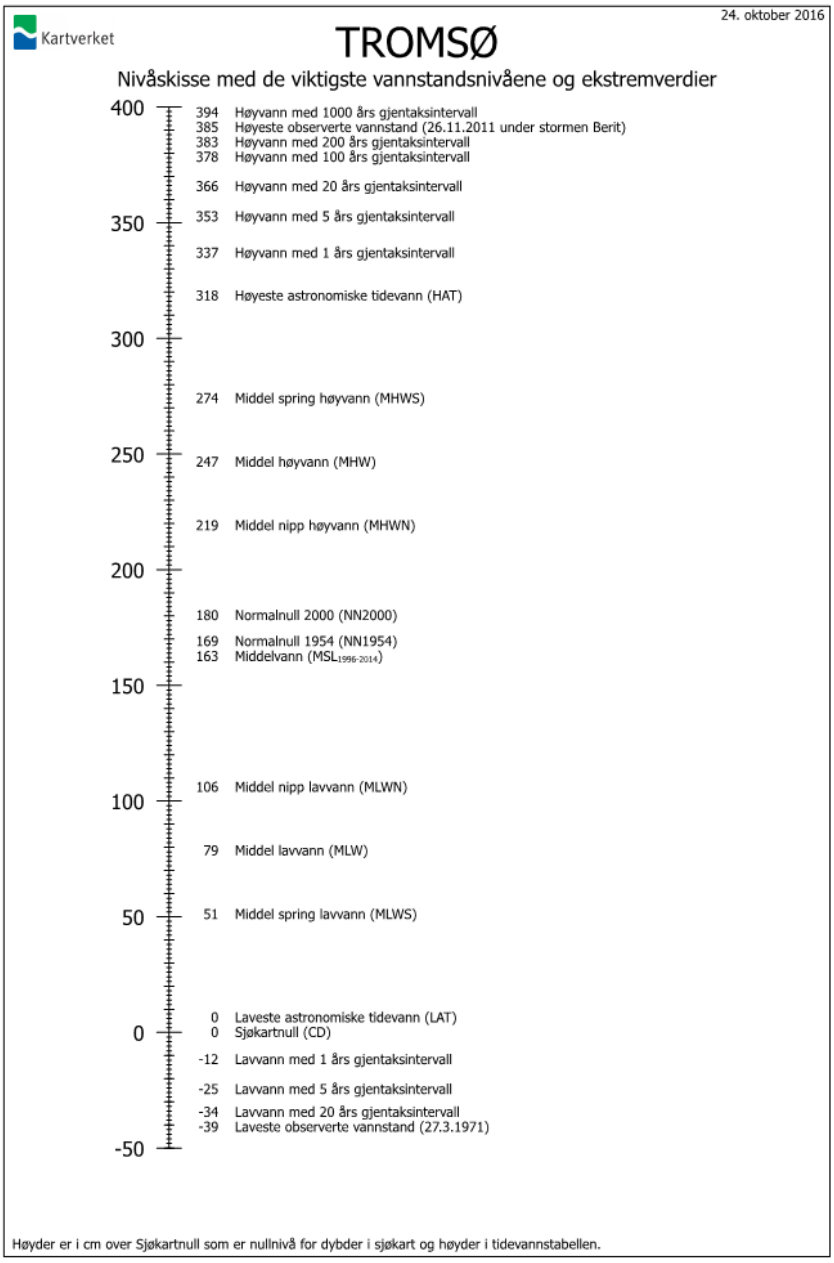
Som ved Stavanger kan dette også kun redegjøres for i detaljer gjennom oppsamling av erfaringer fra hver enkelt lokalitet i kommunen, og oppbygging av en numerisk bølgemodell, som ligger utenfor denne oppgaven.

Derimot kan omtrentlige estimater på ekstrembølgehøydene over noenlunde hydrografisk ens kyst settes opp ved bruk av en teoretisk modell. Et eksempel på dette vil bli behandlet for Tromsøområdet i etterfølgende avsnitt.

Ytterligere er det en betydelig tidevannsvariasjon i Tromsø, med to markante høy- og lavvann i døgnet. Amplituden av dette tidevannet er på 1,68 m, med det høyeste astronomiske tidevannet observert på 1,38 m over Normalnull (NN2000), Figur 13-9, /3/.

En stormsituasjon sammenfallende med høyt tidevann vil derfor være av stor betydning for den samlede vannstanden i Tromsø området, spesielt hvis stormens maksimum forekommer samtidig med springtids tidevannet. Dette er det allikevel, som nevnt, kun liten sannsynlighet for.

Den høyeste vannstanden, som noensinne er observerte ved Tromsø, var under stormen Berit d. 26. 11. 2011 med et nivå på 2,05 m over NN2000, Figur 13-9.



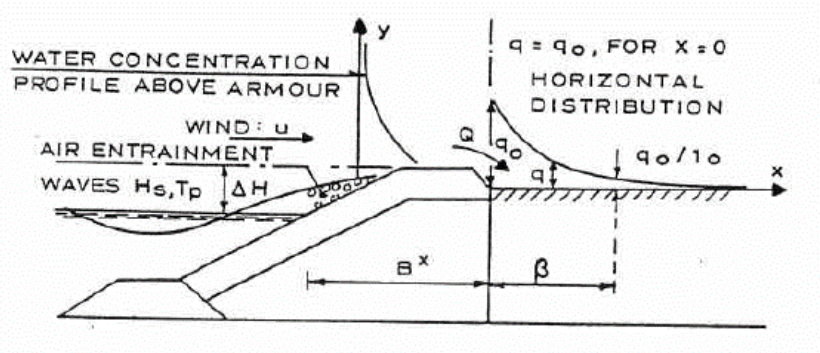
Figur 13-9 Nivåskisse med vannstandsnivåer og ekstremverdier for Tromsø, /3/.

Bilag D Prinsipper for beregning av bølgeoverskyll

For å vurdere størrelsen og vannvolumet i et bølgeoverskyll er det viktig å se på vannstand, WL og bølgehøyde, H_s foran diket. H_s er signifikant bølgehøyde, som er et mål for uregelmessige bølger i naturen.

Bølgeretningen i forhold til diket. Den største påvirkning og de største bølgeoverskyllene (bølgeovertopping) skjer ved vinkelrett bølgeinnfall. Når man ser på den aktuelle situasjonen i Tromsø, fremgår det, at kystlinjenes orientering er således, at det i de fleste tilfeller er snakk om bølger med en skrå innfallsvinkel. Derfor er bølgenes effekt mindre enn hvis det var snakk om vinkelrett bølgeinnfall.

Høyden (topkoten av diket), (TD) av diket i forhold til vannstanden, WL. En viktig parameter er fribordet (FB), dvs.: FB= TD-WL. Her er FB den vertikale avstanden fra rolig vannflate opp til diketoppen, se Figur 13-10, hvor FB er vist som "delta H". En viktig parameter er således bølgehøyden, H_s dividert med FB, dvs. H_s/FB.



Figur 13-10 Prinsippene for bølgeoverskyll på en vannbarrierekonstruksjon.

Normalt bestemmer man således toppkoten (TK) til en vannbarrierekonstruksjon eller dike, som: TK=WL+A*$_{Hs}$, hvor WL er dimensionsgivende vannstand, og A er en koeffisient.



Figur 13-11 Hornbekk Havn (DK) under stormen, Bodil med brytende bølger som forplanter seg over det oversvømte havneområdet



Figur 13-12 Rågeleje strandvei under Bodil (DK) og med oversvømt kystvei på grunn av bølgeoverskyll.

Jo større A er, jo mindre overskyll vil det forekomme over konstruksjonen.

Figur 13-13 viser et eksempel for en mindre vannbarrierekonstruksjon med steinforsterkning på forsiden, og målt middelbølgeoverskyll i "m³/m/s" fra målinger både i natur og fysisk modell.

Det vises hvordan logaritmen av bølgeoverskyllet er proporsjonalt med H_s/FB. Hvis man ser på et nivå for overskyll på 10-3 m³/m/s (1l/m/s) vises det, at H_s/FB=0.67.

Dette betyr, at fribordet for en slik konstruksjon med vinkelrett bølgeinnfall, og for å oppnå dette overskyllet, skal være ca. FB=1.5*H_s. Tilsvarende vises, det at hvis man aksepterer et bølgeoverskyll på 10 l/s/m fås ca. H_s/FB=0.82, og tilsvarende, FB=1,2 H_s. Hvor stort bølgeoverskyll som kan aksepteres er svært avhengig av, hva som ligger på baksiden av diket/konstruksjonen, og hvor lang avstand det er fra diket. For forholdene ved Tromsø, hvor man som tidligere nevnt må regne med skrå innfallsvinkel fra bølgene, regner vi med faktor, A=1,2

for et dike med helning ca. 1:3 ru forside, dvs. med steinkledning eller lignende. Hvis der er snakk om et jorddike med glattere forside, dvs. gressbekledning kan man omtrentlig regne med A=1,8. I praksis som eksempel er det i det følgende regnet med, A=1,2 som gir stort overskyll for vinkelrett bølgeinnfall; men vurderes som akseptabelt for bølger med skrå innfallsvinkel.

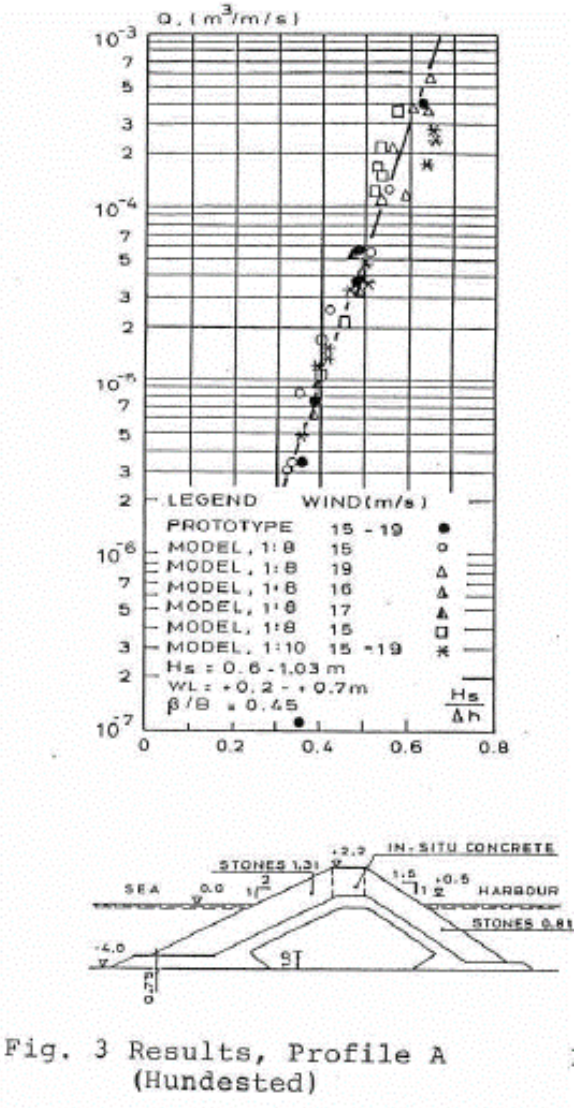
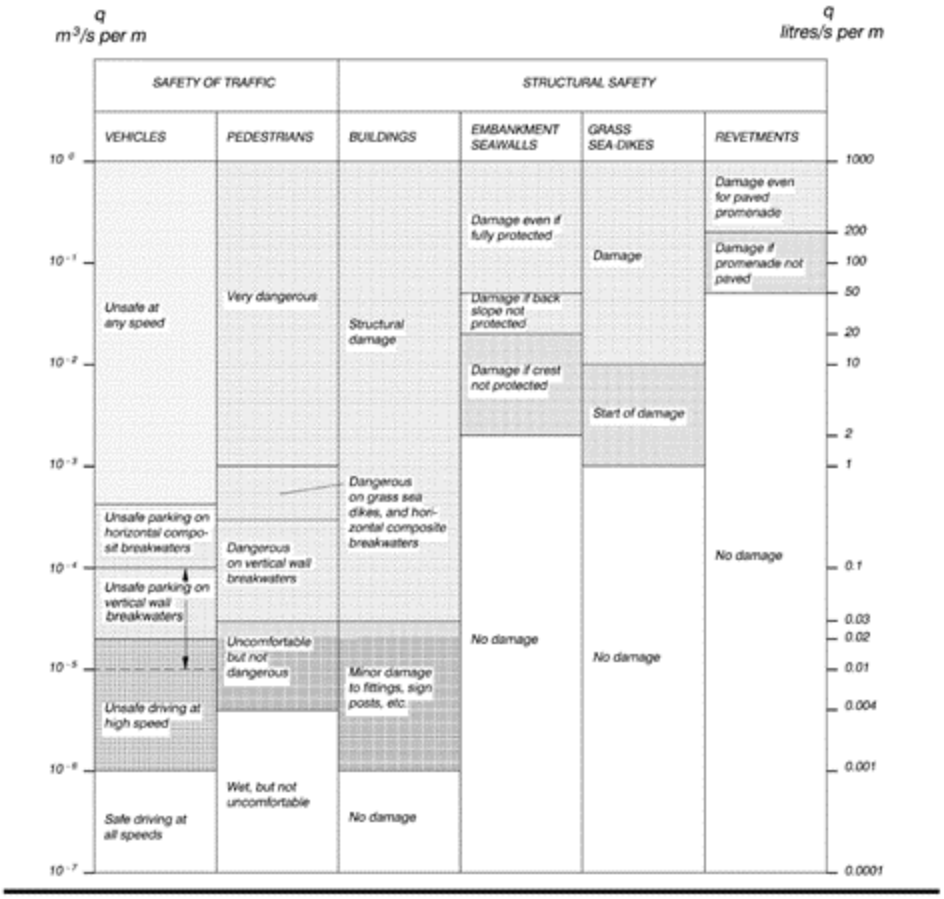


Fig. 3 Results, Profile A
(Hundested)

Figur 13-13 Bølgeoverskyll på bryggekonstruksjon med steinkledning på forsiden

Men selv om det kan aksepteres et stort bølgeoverskyll, er det viktig at dreneringen vurderes nøye, så det ikke allikevel skjer oversvømmelse på baksiden av diket. Selv med 1 l/m/s er det snakk om 3,6 m³/m/time, og hvis den aktuelle strekningen f.eks. er 100 m lang, er det snakk om 360 m³/time. Hvis dette vannet ikke dreneres tilbake til havet, men samles opp bak diket, kan det forårsake oversvømmelse, selv om det er et dike mellom fjorden/havet og bebyggelsen. Dreneringen av et område er også viktig med hensyn til nedbør. Det finnes eksempler i andre land hvor man har sikret seg mot oversvømmelse ved stormflo fra havet eller flom, men ikke sikret dreneringen. Dermed er det oppstått oppsamling av regnvann, som ikke kunne renne vekk.

Det finnes internasjonale kriterier for akseptabelt bølgeoverskyll. Disse kriteriene er vist i Figur 13-14.



(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 13-14 Internasjonale kriterier for bølgeoverskyll (bølgeovertopping)