

GIS-basert verktøy for å estimere fremtidige flomskadekostnader

Rebecka Snefugli Sondell¹, Daniela Baer¹, Nathalie Labonotte¹ og Edvard Sivertsen¹

Vitenskapelig vurdert (refereed) artikkel

Rebecka Snefugli Sondell et al. A GIS-based tool for estimating future urban flood-damage costs

KART OG PLAN, Vol. 78, pp. 383–395, POB 7030, NO-5020 Bergen, ISSN 0047-3278

Sea level rise is a climate challenge that society will face in the years to come. Despite high awareness of the problem, adaptation measures are still largely missing. Two factors that have been identified that explain the absence of climate adaptation measures are inadequate transfer of knowledge and lack of locally relevant information. With the ambition to improve information access in the urban planning process, we have developed a GIS-based tool that connects available data about flood damage costs, buildings and scenarios for sea level rise to produce an estimate of future flood damage costs. The tool could be used to strengthen the information on which impact assessments in the planning process are based. In the long term it could also contribute to reducing risks in the local community.

Keywords: flood-damage cost, sea-level rise, GIS, urban planning.

Nathalie Labonotte, Senior Scientist, SINTEF Byggforsk, Høgskoleringen 7b, NO-7034 Trondheim, Norway. E-mail: nathalie.labonotte@sintef.no

Innledning

Havnivåstigning vil komme til å bli en av de store klimautfordringene fremover (IPCC, 2013, s. 1140). I dag har kommunene hovedansvaret for å sikre at lokalsamfunnet er tilpasset et endret klima og konsekvensene som følger, men til tross for kunnskap om forventet havnivåstigning så er det fortsatt få kommuner som ivaretar og forebygger denne risikoen i de lokale planprosessene (St. Meld. 33, 2013, s. 63). Tidligere forskning viser at en av hovedårsakene til den passive holdningen blant mange av kommunene er mangel på lokalt tilpasset informasjon og verktøy som gir kommunene mulighet å utføre risikoanalyser selv (Aall, Baltruszewicz, Groven, Almås & Vagstad, 2015; Dannevig & Aall, 2015; Hanger, Pfenninger, Dreyfus & Patt, 2013; Storbjörk, 2007; Tol, Klein & Nicholls, 2008). Denne studien har derfor som målsetning å bidra til å øke tilgangen på relevant informasjon om klimaeffektene. Dette gjøres ved å utvikle et enkelt verktøy som kan estimere direkte kostnader på bygninger som følge av havnivåstigning.

Verktøyet baseres på kostnadsestimat for flomskader som kobles til projeksjoner for fremtidige havnivåer. Kostnadsanalyser av klimakonsekvenser eksisterer allerede (COWI, 2017), men i de fleste tilfeller er metodikken og verktøyene som brukes kompliserte og mange studier beskriver heller ikke fremgangsmåten tilstrekkelig for at analysen skal kunne reproduseres av andre aktører (f.eks. Anthoff, Nicholls, Tol, & J (2010); Fankhauser (1995); Jonkman, Bočkarjova, Kok, & Bernardini, (2008)). Verktøyet vil derfor være basert på forenklede estimater og fokuset ligger hovedsakelig på metodikken og brukervennligheten.

Målgruppe for et slikt verktøy vil først og fremst være planenheten på kommunen, hvor det vil kunne brukes som beslutningsgrunnlag både for tilpasningstiltak for eksisterende bygninger, men også i planprosessen for utvikling av områder. Verktøyet vil også kunne være av interesse for eiendomsutviklere, privatpersoner og forsikringsselskap som har interesse av å vite noe om risiko for havni-

1. SINTEF Byggforsk, Høgskoleringen 7b, NO-7034 Trondheim, Norway

våstigning i ulike områder, og da særlig fremtidige skadekostnader for et bestemt område eller bygg.

I det følgende presenteres bakgrunnen til problematikken med havnivåstigningen, fulgt av relevante konsepter for å forklare tilpasningsprosessen. Deretter presenteres en enkel metodikk for å utføre kostnadsanalyse av konsekvensene av fremtidig havnivåstigning ved hjelp av GIS-analyse. Metodikken illustreres med en analyse av Trondheim sentrum og betydningen av et slikt verktøy i planleggingsprosessen diskuteres.

Bakgrunn og problemstilling

Forventet havnivåstigning

Havnivåstigning er en av konsekvensene av den globale oppvarmingen, hvor temperaturstigningen gjør at vannmassen utvider seg og at tilførselen av smeltevann fra isbreer øker (IPCC, 2013, s. 1139). Havnivået er generelt definert som den gjennomsnittlige vannstanden, i forhold til land, for ett gitt sted og tidsspenn (IPCC, 2013, s. 1142). Globalt forventes en havnivåstigning på 0,26–0,98 meter innen år 2100. Framskrivningene lenger frem i tid har høy usikkerhet og varierer kraftig avhengig av de ulike utslippsscenarioene, men beregnes til å kunne stige med så mye som 3 meter i de mest ekstreme scenarioene (IPCC, 2013, s. 1140). Den relative havnivåstigningen har også store regionale variasjoner som påvirkes av de geologiske forholdene, og ulike geografiske lokaliteter vil derfor erfare forskjellig grad av havnivåstigning. I Norge vil havnivåstigningen bli mindre enn i mange andre land på grunn av den pågående landhevingen og er beregnet til å kunne bli opp til en halv meter over dagens normalvannstand (Simpson mfl., 2015, s. 8). Men selv om havnivåstigningen er lavere i Norge sammenlignet med mange andre land, så vil den høyere vannstanden kunne gi økt flomrisiko, særlig ved stormflo. I dag er nivået for stormflo med 200-års returintervall beregnet til 1,2–2,2 meter over normalvannstand og dette vil kunne øke med opptil en meter mot slutten av sekelet (Simpson mfl., 2015, s. 110).

Havnivåstigningen vil få konsekvenser for både naturen og samfunnet. Direkte effekter

vil bli økt risiko for flom, tap av våtmarker, erosjon, inntrengning av saltvann i ferskvannskilder og grunnvann, som også leder til høyere grunnvannsspeil og redusert drenering (Field, Barros, Mach & Mastrandrea, 2014, s. 375). Dette vil i sin tur kunne få negative konsekvenser for samfunnet i form av skader på bygninger og infrastruktur, tap av naturressurser og landområder, redusert rekreasjons- og kulturell verdi, redusert kvalitet på vann og jordsmonn (Nicholls & Klein, 2005, s. 208–209). Den globale verdien av ressursene i urbane områder og som befinner seg i flomrisikozonene ble estimert til 5 prosent av det globale bruttonasjonalproduktet (BNP) allerede i år 2005 og er beregnet å øke til 9 prosent av det globale BNP i år 2070 (Field et al., 2014, s. 383). Også i Norge vil havnivåstigning kunne få store konsekvenser. En kostnytteanalyse av Stavanger kommune estimerer at kostnaden for skader fra havnivåstigning vil kunne bli opptil 11 milliarder NOK innen år 2100 (COWI, 2017, s. 66) Det vil derfor være stor økonomisk interesse i å redusere skadekostnadene gjennom klimatilpasning i forbindelse med havnivåstigning.

Risiko og sårbarhet

Klimatilpasning defineres i den femte IPCC rapporten som «justeringsprosessen til det reelle eller forventede klimaet og dets effekter» med mål om å «begrense eller unngå skade eller å utnytte fordelaktige forhold» (Field et al., 2014, s. 1758). Når det gjelder havnivåstigning, som først og fremst har negative effekter på samfunnet, så vil tilpasning altså bety å redusere eller unngå de negative konsekvensene som kan ventes å følge av det stigende havnivået. Klimarisiko er et produkt av tre hovedfaktorer, hvor *klimahendelser* slik som havnivåstigning utgjør den mest åpenbare. I tillegg avgjøres risikonivået av *sårbarhet*, det vil si tilbøyeligheten for negative konsekvenser ved en spesifikk klimahendelse, og *eksponering*, som beskriver nærvær av verdier og resurser innenfor området hvor klimahendelsen vil ha effekt (Field et al., 2014).

På kortere sikt vil det derfor være behov for tiltak som reduserer sårbarheten og eksponeringen for klimahendelser. I denne konteksten vil kostnadsanalyseverktøyet som utvikles i denne studien kunne bidra til

risikoreduksjon ved å gi et bedre kunnskapsgrunnlag om de finansielle konsekvensene som i sin tur legger grunnen for bedre tilpassningskapasitet ved å muliggjøre forebygging og prioritere blant tiltak. Bedre planlegging av samfunnet og mer robust infrastruktur resulterer på lang sikt i lavere eksponering og sårbarhet ved klimahendelser, noe som gjør at risikoen reduseres ytterligere.

Tilpasning til havnivåstigning i norske kommuner

I Norge motvirkes havnivåstigningen av den pågående landhevingen og derfor er risikoen for økt havnivå i fremtiden forholdsvis lav (Simpson et al., 2015, s. 15). Forandringen av havnivået fram til neste århundre er beregnet til mellom -10 og 55 cm, basert på middelvannstanden i periodene 1986–2005 og 2081–2100, men det vil forekomme lokale variasjoner (Simpson et al., 2015, s. 8). Selv om økningen i havnivået ikke er særlig stor i Norge, og i mange tilfeller ikke forårsaker direkte skade på infrastruktur, så resulterer havnivåstigningen også økt risiko for flom ved stormflohendelser der havnivået kan oppnå ekstreme høyder. I dag beregnes returnivået for stormflo med et 200 års intervall til 1,2–2,2 meter over middelvannstand, avhengig av hvor i landet en befinner seg. I og med den forventede havnivåstigningen, øker sannsynligheten for å overstige dagens returnivåer ved stormflo (Simpson et al., 2015, s. 9). Eksempelvis estimeres klimapåslaget, dvs. høyden et byggverk må løftes for å bevare dagens oversvømmelsesintervall, til å variere mellom 0–104 cm, alt etter regionale variasjoner og ulike klimascenarier (Simpson et al., 2015, s. 110).

Mens sannsynligheten for flomhendelser ved stormflo vil øke signifikant ved framskrivningsscenarioene for havnivåstigning, så er ideen om at Norge generelt har en lav ut-satthet for havnivåstigning gjennomgående. Selv om kommunene tilskrives hovedansvaret for klimatilpasning i Norge, i og med St. meld. 33 (2012–2013, s. 63), så har mange kommuner fortsatt en passiv holdning til klimatilpasning. De negative konsekvensene av havnivåstigningen blir derfor ofte undervurdert i norsk sammenheng og tilpassningsprosessen forventes skje av seg selv (O'Brien,

Eriksen, Sygna & Naess, 2006, s. 50; Tol et al., 2008, s. 436). Risikovurdering av havnivåstigningen og eventuelle tilpassningstiltak ligger i mange tilfeller ikke på agendaen til kommunepanleggere i Norge (Dannevig, Rauken & Hovelsrud, 2012, s. 598; Stokke, 2014, s. 72).

Graden av klimatilpasning varierer også mellom ulike sektorer, hvor eksempelvis transportsektoren ivaretar klimatrusselen til en større grad enn byggesektoren, selv om konsekvensene for bygningsmassen vil være signifikante (Aall et al., 2015, s. 122). Mer enn 40 prosent av Norges befolkning er bosatt langs kysten og viktige samfunnsstrukturer befinner seg i risikoområdet for havnivåstigningen (O'Brien et al., 2006, s. 51). En rapport fra SINTEF viser at 110 000 bygninger i Norge står i sonen <1 moh. og vil dermed potensielt kunne være eksponert for en kommende havnivåstigning (Kvande, Almås, McInnes, & Hygen, 2012). For å unngå disse negative konsekvensene kan det være behov for ulike mitigerings- og tilpassningstiltak. Eksempel på dette er fuktsikring, vanntetting, endret bruk, flytting eller rivning av bygg, forsterket grunn og beredskap på flomhendelser (Kvande, Almås, McInnes & Hygen, 2012, s. 12). For å få overblikk over det potensielle omfanget av klimarelaterte skader og kostnader, foreslår Aall et al. (2015, s. 122) bruk av skadedata i mer overordnede analyser. Skadedata fra flomhendelser finnes allerede i dag, men kommunene har ofte begrenset tilgang og dataene administreres av et flertall aktører, noe som vanskeliggjør helhetlige analyser.

Tidligere forskning identifiserer flere årsaker til den mangelfulle klimatilpasningen i kommunene. Noen av grunnene som løftes fram er lite overordnet styring og retningslinjer for klimatilpasning (Dannevig & Aall, 2015, s. 168; Hanssen, Hofstad & Hisdal, 2015, s. 65), et system for finansiell skadeserstatning som undergraver insentiver for å implementere tilpassningstiltak (Botzen, Aerts & van den Bergh, 2009, s. 2274; O'Brien et al., 2006, s. 51) og mangel på lokal relevant informasjon om effektene fra klimaforandringene (Aall et al., 2015; Dannevig & Aall, 2015; Hanger et al., 2013; Hanssen et al., 2015; Storbjörk, 2007; Tol et al., 2008).

Tidligere studier tyder på at det ikke er mangel på data og kunnskapsgrunnlag, men

at informasjonen sjelden oppleves som lokalt relevant (Aall et al., 2015; Dannevig & Aall, 2015; Hanger et al., 2013; Hanssen et al., 2015; Storbjörk, 2007; Tol et al., 2008). En tidligere undersøkelse blant norske kommuner viste at ni av ti kommuner etterspurte mer kunnskap om de lokale effektene av klimaendringene (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 2008, s. 32). Her er oversettelsesproblematikken sentral, dvs. at forskningsbaserte klimaframskrivninger ikke kommuniseres i et format som er brukbart for funksjonærer på lokalt nivå (Hanger et al., 2013, s. 4; Hanssen et al., 2015, s. 64). Men studier tyder på at kommunikasjonen er problematisk også i motsatt retning, hvor kommunene ikke klarer å definere hva slags informasjon og verktøy de har behov for (Hanger et al., 2013, s. 16).

Behov for kunnskap om klimaendringer i planprosesser

I kommunale planer som kommuneplanens arealdel og reguleringsplaner med «vesentlige virkninger for miljø og samfunn» (Miljøvernedepartementet, 2012, s. 6) er det obligatorisk å gjennomføre en konsekvensutredning (KU). I KU identifiseres miljø- og samfunnsverdier i områdene som omfattes av utbygging, og planens virkninger for disse verdiene vurderes og behov for avbøtende tiltak diskuteres (Miljøvernedepartementet, 2012, s. 8). Planer for utbygging omfattes dessuten av krav om ROS-analyse, med hensikt om å identifisere mulige risiko- og sårbarhetsfaktorer for utbyggingen. I ROS-analysen vurderes uønskede konsekvenser av utbygging i forhold til sannsynlighet for at hendelsen vil inntreffe og graden av negativ innvirkning hvis det ville skje (Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap, 2014, s. 28). Hvis planen har krav om både KU og ROS-analyse så integreres ofte ROS-analysen i KU (Miljøvernedepartementet, 2012, s. 11).

Vurdering av havnivåstigning og konsekvensene er i dag ikke tilstrekkelig integrert i planprosessene. De metoder som finnes f.eks. for kostnadsanalyser av klimakonsekvenser er eiet av private konsulentbedrifter (COWI, 2017) eller så er verktøyene kompli-

sert å bruke eller metodikken er ikke reproduserbar og dermed ikke integrerbar i kommunale planprosesser (Anthoff, Nicholls, Tol, & J (2010); Fankhauser (1995); Jonkman, Bočkarjova, Kok, & Bernardini, (2008).

Kommunale myndigheter har behov for verktøy for å estimere konsekvenser av klimaendringer på lokalt nivå. Disse verktøy og data må helst være åpen tilgjengelig og lett brukbar for forskjellige brukergrupper innenfor kommunen. Dessuten er visualisering av resultatene et viktig grep for å skaffe et grunnlag for diskusjon med de forskjellige aktører som er involvert i planprosesser.

Forskningsspørsmål

Med dette som bakgrunn vil denne studien undersøke hvordan mangelen på kunnskapsoverføring mellom forskning og de lokale planleggingsmyndighetene kan reduseres med hjelp av kunnskapsbaserte verktøy innenfor klimatilpasning til havnivåstigning. Følgende spørsmål vil besvares:

- Hvordan kan risiko fra havnivåstigning ivaretas i planleggingsprosessen?
- Hvordan kan framtidige skadekostnader for havnivåstigning estimeres med et GIS-verktøy?
- Hvilken betydning vil bruken av et slikt verktøy ha for klimatilpasning i planleggingsprosessen?

GIS-basert kostnadsanalyse

Overordnet metodikk

GIS-verktøyet som er utviklet i denne studien kobler informasjon om skadekostnader for bygninger² til informasjon om forventet havnivåstigning. Dette gjennomføres her som en case-studie over de flomutsatte sentrumsnære områdene Nyhavna og Brattøra i Trondheim, hvor en reguleringsplan nå er under utvikling.

Havnivåscenarioene som brukes i denne studien er det estimerte havnivået for år 2050, år 2100 samt avgrensningen for bestemmelsesområdet for havnivåstigning slik det er definert i Trondheim kommuneplan (Trondheim Kommune, 2012, 2016). Havni-

2. En bygning vil i denne studien defineres i tråd med SSB som «bygninger i Grunneiendoms- adresse- og bygningsregistret» og omfatter «byggverk som kan angis med bruksareal» (Statistisk sentralbyrå, 2017).

våprosjeksjonene er hentet fra rapporten *Sea level change for Norway* (Simpson et al., 2015) og er korrigert for landheving. Sistnevnte rapport anbefales av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap som referansepunkt i planlegging med hensyn til fremtidig havnivåstigning, og det spesifiseres at tallene for 95 persentilen til scenario RCP8.5, det vil si det mest ekstreme scenariot, bør legges til grunn for planleggingen (Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, 2016, s. 14). Derfor vil disse tallene brukes også i denne analysen.

For å estimere skadekostnader brukes en gjennomsnittlig kvadratmeterpris på 3400 NOK per skadehendelse, som er hentet fra en kost-nytteanalyse av havnivåstigning og overvannsproblematikk i København, men som også er blitt anvendt i en lignende studie for Tromsø og Stavanger (COWI, 2017). Kvadratmeterprisen er basert på skadedata fra den danske Naturstyrelsens samfunnsøkonomiske beregningsverktøy *PLASK* (COWI, 2016, s. 71). Denne kvadratmeterprisen er i ovenstående studie anvendt til bygninger innenfor kategorien «privat» og «diverse offentlige» bygninger, men i denne forenklete analysen brukes dette kostnadsestimatet for alle bygningsskategorier. Et mer differensiert kostnadsestimat vil videreutvikles på et senere tidspunkt. Denne studien inkluderer heller ikke sannsynlighetsfaktoren, for eksempelvis stormflo, i kostnadsberegningen.

Visualisere skadekostnader

Scenarioene for havnivåstigningen illustreres i form av polygon som dekker det estimerte havnivået. Det brukes en polygon for hvert scenario som skal inkluderes i modellen. Figur 1 viser et enkelt flytskjema av operasjoner og resulterende objekter. Analysen kan gjennomføres med de fleste GIS-verktøyer tilgjengelig, men beskrivelsen under henviser (i kursiv i parentes) til kommandoer og verktøy i ArcGIS. En *digital høydemodell* (DHM) brukes for å danne polygonen for havnivået. Det nye fremtidige havnivået defineres ved for eksempel fra laveste punkt i modellen til 1 moh (*Definer havnivå*), og visualiseres i et nytt rasterlag. For å danne en polygon for det nye havnivået selekte-

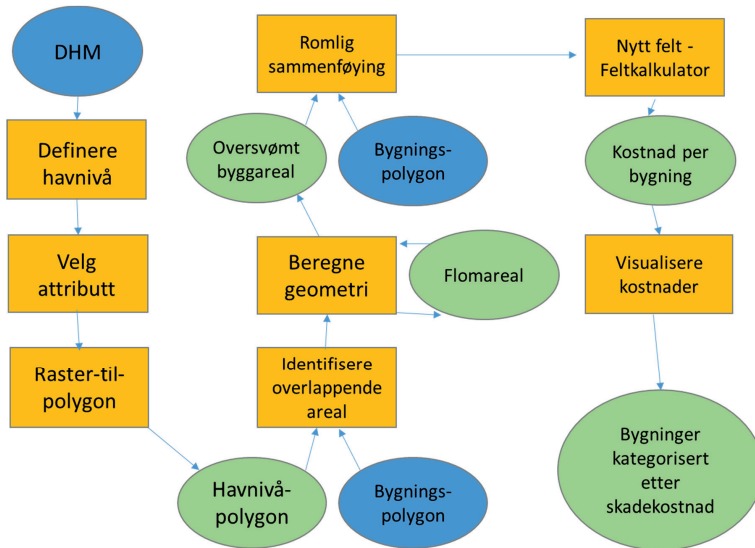
res (*Velg attributt*) det definerte havnivået i attributt Tabellen, hvor den nå finnes som et eget objekt (linje), og gjøres om (*Raster til polygon*) til en polygon (**Havnivåpolygon**).

For å si noe om hvilke bygninger som påvirkes av havnivåstigningen analyseres **Havnivåpolygonen** sammen med vektorlaget for bygninger (**Bygningspolygon**). For å få fram hvor stort areal av hver bygning som vil oversvømmes så brukes et verktøy (*Identifiser overlappende areal*) som identifiserer overlappende arealer på lagene **Bygningspolygon** og **Havnivåpolygon**. Dette resulterer i et nytt polygonlag for oversvømt areal i bygninger (**Oversvømt byggareal**). Arealet for hver bygning beregnes ved å danne et nytt felt for **Flomareal** i attributt Tabellen og deretter beregne det oversvømte arealet for hver bygning (*Beregne geometri*). For å koble **Oversvømt byggareal** til den totale bygningsmassen kobles lagene sammen (Romlig sammenføring) slik at dataene fra **Oversvømt byggareal** blir en del av attributt Tabellen til bygningslaget (**Bygningspolygon**). Et nytt felt for skadekostnader lages i **Bygningspolygons** attributt Tabell og disse beregnes ved å multiplisere **Flomareal** med den estimerte kvadratmeterprisen for flomskader forårsaket av havnivåstigning (*Feltkalkulator*). Nå kan kostnaden per bygning visualiseres (*Visualisere kostander*) i et kart med en fargeskala som representerer ulike kategorier av skadekostnader.

Resultat og diskusjon

Estimert havnivå ved ulike scenarier

GIS-metoden er her brukt til å analysere havnivåstigningen og dens potensielle skadekostnader i de to sentrumsnære områdene basert på havnivåscenarioer for år 2050 og 2100. Scenarioene for havnivåstigning år 2050 og 2100 viser at det er relativt begrensete områder av Brattøra og Nyhavna som vil påvirkes av havnivåstigningen. Det er først og fremst ubebygde områder langs med sjøkanten, i tillegg til de ytre delene av havneområdet, som ligger under de estimerte havnivåene på 1,01 respektive 1,36 meter over dagens havnivå (verdier korrigert for landheving) (NN2000) (Figur 2 og 3). Når



Figur 1: Skjemaet viser operasjonene som brukes for å visualisere skadekostnader fra havnivåstigning. De blå symbolene representerer inngangsdata; de gule symbolene viser operasjoner / verktøy; og de grønne symbolene representerer resultatet fra foregående operasjon.

kommuneplanens bestemmelsesområde for havnivåstigning tas med i betraktningen så inkluderes en mye større del av bygningsmassen, da området dekker hele Nyhavna, Brattøra og store deler av Solsiden og bebyg-

gelsen langsmed Nidelva (Figur 4). Det er altså langt større områder som kan påvirkes ved ekstreme flomhendelser (Figur 4) enn ved den permanente havnivåstigningen (Figur 2 og 3).



Figur 2: Kartet viser de deler av Brattøra og Nyhavna som ligger under det estimerte havnivået for år 2050. Havnivået beregnes å øke med 1,01 meter inntil år 2050 (NN2000).



Figur 3: Kartet viser de områder ved Brattøra og Nyhavna i Trondheim som ligger under det estimerte havnivået for år 2100. Havnivået for år 2100 er beregnet til 1,36 meter over dagens havnivå (NN2000).



Figur 4: Her vises bestemmelsesområdet for havnivåstigning fra kommuneplanen i Trondheim, som avgrenses til 4,87 meter over dagens havnivå (NN2000). Denne avgrensningen tar høyde for 1000-års flom inkludert bølgepåvirkning i år 2100.

Skadekostnader som følge av havnivåstigning

I denne studien er det benyttet én sjablongverdi som relateres til kvadratmeter bygningsareal som beskrevet i *Overordnet metodikk*. Skadekostnaden som er lagt til grunn for analysen er hentet fra COWI (2016; 2017) og sjablongverdien er lik for alle typer bygninger. For å få et mer representativt resultat kunne man med fordel differensiere mellom bygningenes ulike bruksformål og verdi og hvordan disse faktorene forandres over tid og mellom ulike geografiske lokaliteter. Differensiering og ytterligere raffinering av kostnadsestimatene har ikke vært fokus i denne studien, som heller har fokusert på å utvikle selve metodikken. Da kostnadsestimatet som brukes beskriver en gjennomsnittlig kostnad *per flomhendelse* så kan det antas at resultatet vil være en underestimert av de virkelige kostnadene for havnivåstigning som er en permanent tilstand. Analysen gir således en pekepinn på hvilke områder som berøres, i hvor stor grad de er berørt og hvordan skadekostnadsbildet endres, snarere enn faktiske kostnader.

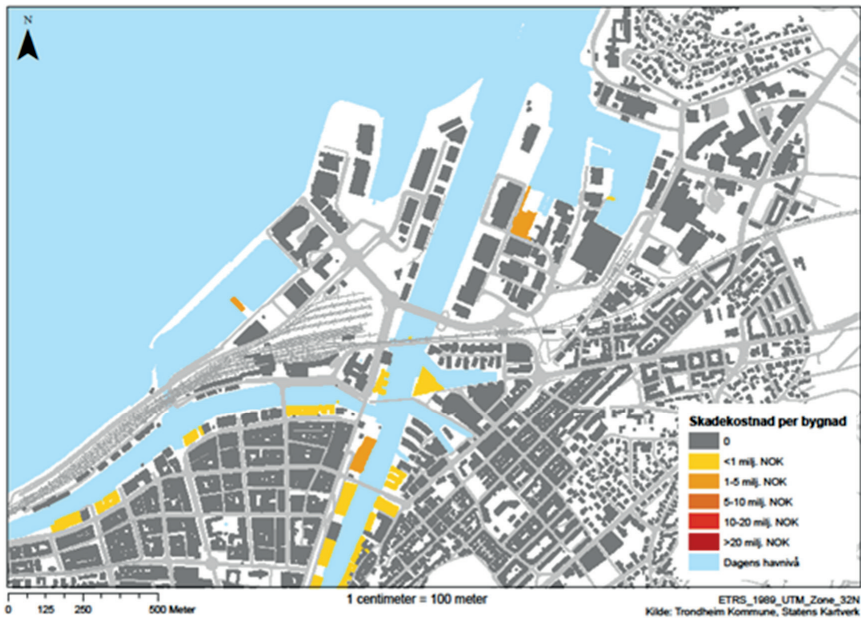
Kostnadsberegningene for Brattøra og Nyhavna viser at Dora II og Pirterminalen vil få en skadekostnad på rundt 1–5 millioner kroner hver ved en oversvømmelse som tilsvarende 2050 års havnivåstigning. Utover dette er det først og fremst bygningene langsmed Nidelva som vil vente skadekostnader allerede år 2050 (Figur 5). År 2100 er de estimerte kostnadene både høyere for hvert enkelt bygg og totalt sett er det flere bygninger som påvirkes, særlig på Brattøra. Her har skadekostnaden for Dora II økt til 5–10 millioner kroner per oversvømmelse. Dessuten estimeres kostnaden for to av bygningene ved Pir I til 10–20 millioner kroner (Figur 6). Mens antallet bygninger som påvirkes i Brattøra øker mellom scenarioene for år 2050 og 2100 så er kostnadsscenarioet uforandret for Nyhavna mellom de to scenariene. Skadekostnadene øker også for bygningene langsmed Nidelva. Når den samme

metodikken benyttes på kommuneplanens bestemmelseområde for havnivåstigning så er de finansielle konsekvensene betydelig større. Nesten alle bygningene i Nyhavna og Brattøra får skadekostnader som følge av oversvømmelse og flere av bygningene får gjennomsnittlige skadekostnader som overstiger 20 millioner kroner per flomhendelse (Figur 7).

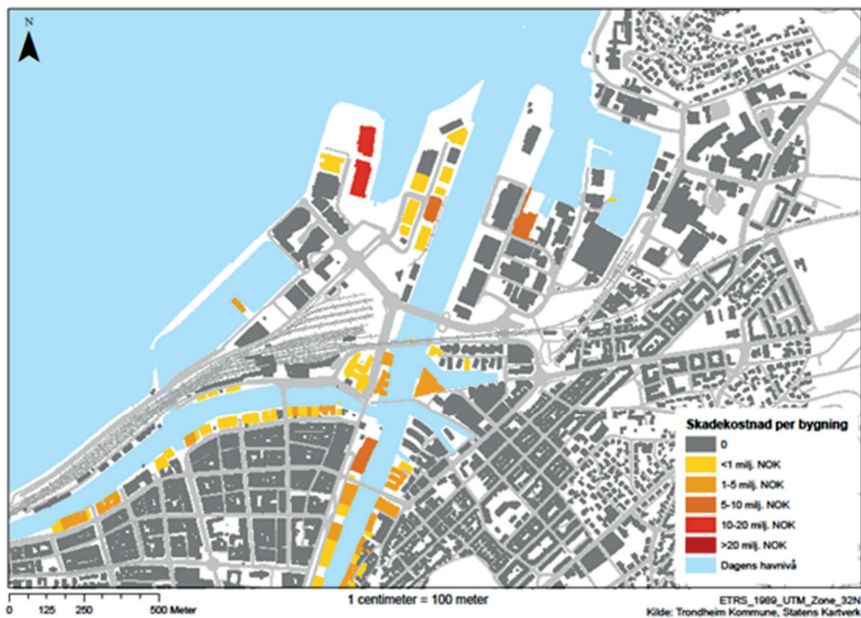
Resultatet fra analysen viser tre tydelige trender:

- Utbredelsen av flomskader, og dermed også skadekostnadene, øker parallelt med at havnivåstigningen øker. Det kan derfor ventes at antallet bygninger som vil påvirkes negativt av flomskader kommer til å stige med tiden.
- Skadekostnaden per bygning vil øke med tiden, ettersom havnivåstigningen gjør at flommen berører en større andel av bygningene. Derfor vil ikke bare antallet bygninger med flomskader øke, men også skadekostnaden for hvert bygg. Basert på dette er det relevant å undersøke i hvilken grad dagens forsikrings- og erstatningsordninger vil kunne dekke de økte skadekostnadene.
- Større bygninger vil generelt få større skadekostnader enn mindre bygninger.

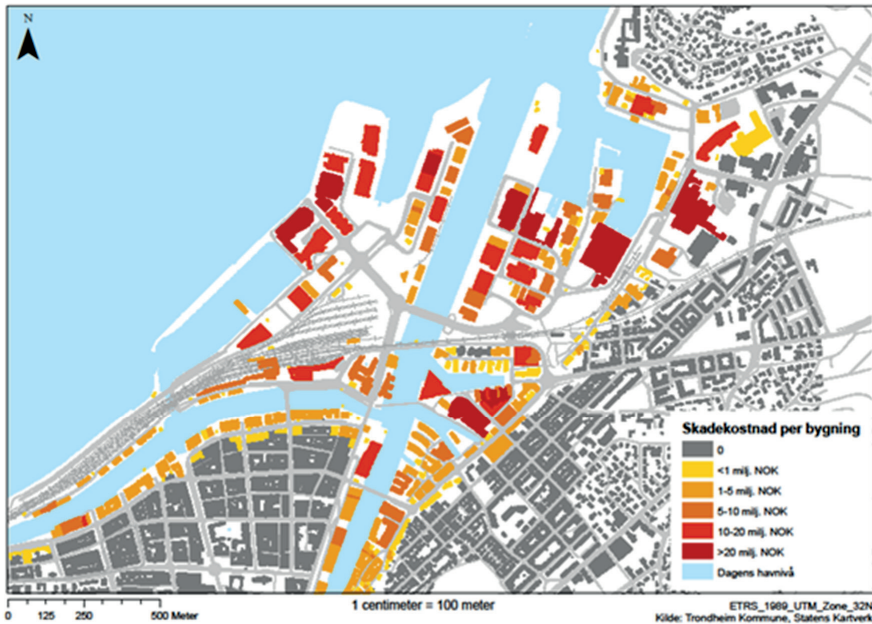
Ved å utvikle en enkel metodikk for å gjennomføre skadekostnadsanalyser av havnivåstigning muliggjør studien økt kapasitetsbygging og en mer resurseffektiv tilnærming til klimatilpasning i kommunene. Selv om kostnadsestimatene er grove og ikke lokalt tilpassede, så fyller resultatene fra kostnadsanalysen et kunnskapshull, da slike analyser i stor utstrekning er mangelfulle i kommunene. Analysen bidrar dermed til å øke kunnskapen om de lokale konsekvensene av klimaforandringene, og adresserer dermed den generelle mangelen på lokal relevant informasjon og resulterer i et bedre beslutningsgrunnlag for effektive klimatilpasningstiltak.



Figur 5: Kartet viser de bygninger ved Nyhavna og Brattøra som vil påvirkes av havnivåstigningen i år 2050 og fargekoden viser estimerte skadekostnader for hver bygning, basert på en sjablongkostnad for flomskade.



Figur 6: Kartet viser bygninger i Nyhavna og Brattøra som vil påvirkes av havnivåstigning år 2100 og estimerte skadekostnader for disse.



Figur 7: Kartet viser bygninger innenfor bestemmelsesområdet for havnivåstigning som defineres i kommuneplanen og estimerte skadekostnader ved havnivåstigning motsvarende dette området.

Bruk av verktøyet i planprosessen

Som kartene i Figur 5 til Figur 7 viser, kan GIS-verktøyet brukes både for å identifisere flomrisikoområder og bygninger som vil kunne rammes av fremtidig havnivåstigning, og for å estimere kostnader for eventuelle flomskader på bygninger som oversvømmes. Polygonlagene for flomrisikoområder og utsatte bygninger vil kunne brukes for å definere risikosoner og for å avgrense områder eller bygninger med særlige krav til avbøtende tiltak. Kostnadsanalysen gir et estimat for graden av kostnader som vil kunne påregnes spesifikke bygninger ved de ulike havnivåstigningsscenarioene. Kunnskap om fremtidige flomskadekostnader vil lette prioritering av tilpasningstiltak og vil kunne brukes som beslutningsgrunnlag for utbygging.

GIS er også et godt verktøy for visualisering og kan brukes som et effektivt kommunikasjonsmiddel. Visualisering som universelt språk muliggjør kommunikasjon både mellom ulike yrkesgrupper og mellom planleggere og offentligheten (Bjørslund Hansen,

2013, s. 16). GIS-verktøyet vil derfor kunne brukes for å kommunisere effekten av ulike klimascenarioer og bidrar dermed til å gi bedre forståelse for de lokale klimakonsekvensene.

Verktøyet retter seg primært til planleggere ved de lokale planmyndighetene, hvor behovet for detaljert og lokalt tilpasset data om klimaendringer er stort. Verktøyet kan god brukes i KU for å vurdere planens virkninger og for å sammenligne effekten av avbøtende tiltak. I ROS analyser vil verktøyet kunne brukes til å kvantifisere den negative konsekvensen av ulike utbyggingsscenarioer og dermed gjøre det mulig å sammenligne ulike alternativer.

Tilgang på relevant informasjon i planprosessen, ved bruk av GIS-verktøyet, kan bidra til å redusere den totale klimarisikoen for samfunnet. Ved å forbedre informasjonsgrunnlaget for KU og ROS-analyser, samt for beslutninger om tilpasningstiltak mer generelt, vil verktøyet kunne bidra til å redusere både sårbarhets- og eksponeringsaspektet

av flomrisikoen, og dermed resultere i en lavere total risiko. Informasjon om utsatt infrastruktur og forventede skadekostnader vil muliggjøre mer resurseffektiv tilpasning, som i sin tur resulterer i redusert sårbarhet. Økt bevissthet om risikoområder, samt muligheten for å sammenligne fremtidige skadekostnader for ulike utbygningsscenarioer, gjør det også mulig å velge utbygningstrategier som på lang sikt vil minske eksponeringen for havnivåstigningen.

Videreutvikling av GIS-verktøyet

Selv om denne studien viser at det er mulig å fremstille lokalt relevante beslutningsgrunnlag for klimatilpasning med relativt enkle midler, så er det behov for å videreutvikle og raffinere risiko- og kostnadsberegningene som brukes i GIS-analysen. For det første vil det være nødvendig å forfine kostnadsestimatene, hvor vi i dag bruker den samme kvadratmeterprisen for alle bygningene. Ved bruk av skadedata fra tidligere flomhendelse kan en eksempelvis differensiere kostnadsestimatene for ulike typer av bygninger og virksomheter. Her kunne det også være mulig å bygge videre på sårbarhetslitteraturen og inkludere sosio-økonomiske parametere som er med å avgjøre sårbarhetsgraden og kapasiteten til å takle skadekostnader. En annen mulighet er å utvikle kostnadsestimat for de ulike arealbruksformålene i kommuneplanens arealdel (KPA), slik at det ville være mulig å beregne en skadekostnad og eventuelt en tilpasningskostnad for ulike plantiltak ved å koble GIS-verktøyet direkte opp mot KPA.

Som tidligere nevnt inkluderer denne analysen ikke noe sannsynlighetsaspekt, som jo også er en av de tre faktorene i sårbarhetsfunksjonen. Havnivåstigningen resulterer også i at vannstanden ved stormflo og andre flomhendelser vil bli høyere enn i dag. For å kunne inkludere disse regelmessige hendelsene i sårbarhetsberegningen vil det være nødvendig å legge til en sannsynlighetsfaktor til kostnadsberegningen.

Presentasjonen av skadekostnaden bør også vurderes. I denne studien visualiseres skadekostnadene per bygning, og kan dermed bidra til at den totale skadekostnaden for et område undervurderes. For eksempel

antyder kostnadsscenarioet for år 2100 (Figur 6) at bygningene ved Pir II på Brattøra har mindre risiko enn de to større bygningene ved Pir I, i og med at kostnaden for hver enkel bygning er lavere, selv om analysen ikke sier noe om den totale kostnaden for de to områdene. Fokus på enkelte bygg kan altså gi en mangelfull helhetsforståelse for skadekostnadene og hvis en ikke er observant på dette vil det risikere å lede til tilpasningstiltak som ikke er optimale fra et samfunnsøkonomisk perspektiv. Det ville derfor være fordelaktig å undersøke hvordan metoden kan brukes på områdenivå i tillegg til enkelte bygninger.

Konklusjon

Hovedmålsettingen for denne studien har vært å undersøke hvordan risiko fra havnivåstigning kan ivaretas i planleggingsprosessen. Med den ambisjonen har vi utviklet et GIS-basert verktøy som kan brukes for å estimere fremtidige kostnader for flomskader på bygninger ved ulike scenarioer for havnivåstigning. Verktøyet har deretter blitt brukt for å analysere effekten av havnivåstigning i en case-studie av Trondheim. Resultatet av case-studien viser tre utviklingstendenser alt ettersom havnivået stiger: *i*) utbredelsen av flomskader, og dermed skadekostnader, vil øke; *ii*) skadekostnaden per bygning vil stige; og *iii*) større bygninger får en større skadekostnad enn mindre bygninger.

I planprosessen vil GIS-verktøyet kunne gi kunnskapsgrunnlag for KU og ROS-analyser og kan brukes mer generelt som beslutningsgrunnlag for tilpasningstiltak. Det kan dessuten brukes for visualisering og kommunikasjon av lokale klimaeffekter. Ved å utvikle en enkel metodikk basert på tilgjengelige data bidrar studien til å minske kunnskapshullet mellom klimaforskning og implementeringen av tilpasningstiltak, og bygger opp om økt kapasitetsbygging og resurseffektiv klimatilpasning i kommunene.

Takk til

Dette arbeidet er finansiert av senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) *Klima 2050* (www.klima2050.no). *Klima 2050* har

som hovedmålsetning å redusere samfunnsmessig risiko som følge av klimaendringer og økt nedbør.

Bibliografi

- Anthoff, D., Nicholls, R. J., & Tol, R. S. (2010). The Economic impact of substantial sea-level rise. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(4), 321–335.
- Aall, C., Baltruszewicz, M., Groven, K., Almås, A.-J. & Vagstad, F. (2015). Førre-var, etter-snar eller på-stedet-hvil? Hvordan vurdere kostnader ved forebygging opp mot gjenoppbygging av fysisk infrastruktur ved naturskade og klimaendringer? *Vestlandsforskningsrapport*, 2015(4).
- Bjørnsland Hansen (2013). *Bruk av visualiseringer i planprosesser. En studie om kommunikasjon og forståelse*: Universitetet for Miljø- og Biovitenskap. Hentet fra <http://www.umb.no/statisk/vrlab/Thomas%20B%20Hansen.pdf>
- Botzen, W. J. W., Aerts, J. C. J. H. & van den Bergh, J. C. J. M. (2009). Willingness of homeowners to mitigate climate risk through insurance. *Ecological Economics*, 68(8), 2265–2277. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolecon.2009.02.019>
- COWI. (2016). *Designgrundlag for beskyttelse mod oversvømmelse af København*. København. Hentet fra https://www.google.no/url?sa=t&rc=t&eq=&src=s&source=web&cd=1&cad=rja&uact=8&ved=0ahUKEwiRvvCvYnWA-hWmCpoKHXEAZIQFggrMAA&url=http%3A%2F%2Fkk.sites.itera.dk%2Fapps%2Fkk_pub%2Fpdf%2F1575_hp-DsfluaA2.pdf&usq=AFQjCNGTuFoud2-bF5JnXWB9qwkPT5kH66A
- COWI. (2017). *Konsekvenser av økt nedbør, havnivåstigning, stormflo, bølge og strømforhold. Kost/nytte-analyser for Stavanger og Tromsø kommuner*. Hentet fra <http://www.miljodirektoratet.no/Documents/publikasjoner/M705/M705.pdf>
- Dannevig, H. & Aall, C. (2015). The regional level as boundary organization? An analysis of climate change adaptation governance in Norway. *Environmental Science & Policy*, 54, 168–175.
- Dannevig, H., Rauken, T. & Hovelsrud, G. (2012). Implementing adaptation to climate change at the local level. *Local Environment*, 17(6–7), 597–611.
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2008). *Klimatilpasning 2007. Klimatilpasning i kommuner, fylkeskommuner og blandt fylkesmenn*. Hentet fra [dsbinfo.no/Global/Publikasjoner/2008/.../klimatilpasning2007.pdf](https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterielle/veiledere/veileder-til-helhetlig-risiko-og-sarbarhetsanalyse-i-kommunen.pdf)
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2014). *Veileder til helhetlig risiko- og sårbarhetsanalyse i kommunen*. Hentet fra <https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/veiledere-handboker-og-informasjonsmaterielle/veiledere/veileder-til-helhetlig-risiko-og-sarbarhetsanalyse-i-kommunen.pdf>
- Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap. (2016). *Havnivåstigning og stormflo*.
- Field, C. B., Barros, V. R., Mach, K. & Mastrandrea, M. (2014). *Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability* (Bind 1): Cambridge University Press Cambridge and New York.
- Fankhauser, S. (1995). Protection versus retreat: the economic costs of sea-level rise. *Environment and Planning A*, 27(2), 299–319.
- Hanger, S., Pfenninger, S., Dreyfus, M. & Patt, A. (2013). Knowledge and information needs of adaptation policy-makers: a European study. *Regional Environmental Change*, 13(1), 91–101.
- Hanssen, G. S., Hofstad, H. & Hisdal, H. (2015). Manglende lokal tilpasning til klimaendringer: kan flernivånettverk øke tilpasningskapasiteten. *Kart og Plan*, 1, 64–78.
- IPCC. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press.
- Jonkman, S. N., Bočkarjova, M., Kok, M., & Bernardini, P. (2008). Integrated hydrodynamic and economic modelling of flood damage in the Netherlands. *Ecological Economics*, 66(1), 77–90.
- Kvande, T., Almås, A.-J., McInnes, H. & Hygen, H. O. (2012). *Klima-og sårbarhetsanalyse for bygninger i Norge. Videreføring av rapport 3B0325. Versjon 02*.
- Miljøvernedepartementet. (2012). *Konsekvensutredninger – Kommuneplanens arealdel*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/620abe41d28a4c3eb3b08727d67c732e/t-1493.pdf>
- Nicholls, R. J. & Klein, R. J. T. (2005). Climate change and coastal management on Europe's coast. I J. Vermaat, W. Salomons, L. Bouwer & K. Turner (Red.), *Managing European Coasts: Past, Present and Future* (s. 199–226). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg.

- NTNU (Kartograf). (2016). dtm1 [Høgderaster].
- O'Brien, K., Eriksen, S., Sygna, L. & Naess, L. O. (2006). Questioning complacency: climate change impacts, vulnerability, and adaptation in Norway. *AMBIO: A Journal of the Human Environment*, 35(2), 50–56.
- Simpson, M. J., Nilsen, J. E. Ø., Ravndal, O. R., Breili, K., Sande, H., Kierulf, H. P., ... Vestøl, O. (2015). Sea Level Change for Norway: Past and Present Observations and Projections to 2100. *Norwegian Centre for Climate Services report, 1*, 2015.
- St. meld. 33. (2012–2013). *Klimatilpasning i Norge*. Oslo: Miljøverndepartementet. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/no/pdfs/stm201220130033000dddpdfs.pdf>
- Statistisk sentralbyrå. (2017). Definisjoner av statistiske enheter. Hentet 040817 fra http://www.ssb.no/a/metadata/definisjoner/statistiske_enheter.html
- Stokke, K. B. (2014). Adaptation to sea level rise in spatial planning – Experiences from coastal towns in Norway. *Ocean & Coastal Management*, 94, 66–73. doi: <http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2013.11.010>
- Storbjörk, S. (2007). Governing climate adaptation in the local arena: challenges of risk management and planning in Sweden. *Local environment*, 12(5), 457–469.
- Tol, R. S., Klein, R. J. & Nicholls, R. J. (2008). Towards successful adaptation to sea-level rise along Europe's coasts. *Journal of Coastal Research*, 432–442.
- Trondheim Kommune. (2012). *Retningslinjer og bestemmelser*. Trondheim. Hentet fra <https://www.trondheim.kommune.no/attachment.ap?id=59467>
- Trondheim Kommune. (2016). Aktsomhetskart flomfare og havnivåstigning. Hentet 051017 fra <https://www.trondheim.kommune.no/content/1117735713/Aktsomhetskart-flomfare-og-havstigning>
- Vitsø, M. (Kartograf). (2017). bygning_sentrum_grilstad_11082017 [Shape geospatial data].