

Hva blir konsekvensene av klimaendringene for dagens avløpssystem?

Av Jarle Bjerkholt og Oddvar Lindholm

Jarle Bjerkholt og Oddvar Lindholm er begge ansatt ved Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitetet for miljø- og biovitenskap UMB.

Innlegg på møte i Norsk vannforening 17. mars 2010.

Sammendrag

Klimaendringene vil påvirke infrastrukturen i byene generelt og avløpssystemene spesielt. Sårbarheten øker også etter hvert som befolkningen vokser og urbaniseringen (fortettingen) øker. Flomska-dene og ulemper i urbane områder har økt dramatisk i Norge de siste årene, som følge av en økt frekvens av sterke regn. Byenes avløpsnett ble dimensjonert og bygget for mange år siden, og man forutså ikke den fortettingen av flater som mange byer har opplevd. Økningen i regnintensiteten som klimaforandringene allerede har medført, har også gitt store problemer for avløps situasjonen i byer. Forskere over hele verden har i flere år gjort beregninger og undersøkelser av hvordan klimaforandringer vil virke på urbane dreneringssystemer. Forskningen har vist at man kan forvente en økning i de maksimale nedbørsintensitetene med

30 til 50 % innen utgangen av dette århundre. Forskning ved Universitetet for miljø- og biovitenskap (UMB) har vist at ved slike økninger i nedbøren vil antall kjelleroversvømmelser og overløpsmengder kunne øke med 50 - 100 % i forhold til i dag, i mange byers avløpsnett som allerede i dag er utsatt.

Innledning

Klimaendringene vil påvirke infrastrukturen i byene generelt og avløpssystemene spesielt da disse er direkte knyttet opp til nedbøren. Sårbarheten øker også etter hvert som befolkningen vokser og urbaniseringen (fortettingen) øker. Risikoen for problemer i avløpssystemet som følge av disse endringene blir dermed større. Selv om det i mange år har vært anbefalt å bygge separate systemer for spillvann og overvann er fellessystemer det dominerende i de fleste norske byer og også i Europa forøvrig. Dette er et forhold vi må ta i betraktning når vi skal se på konsekvensene av klimaendringene.

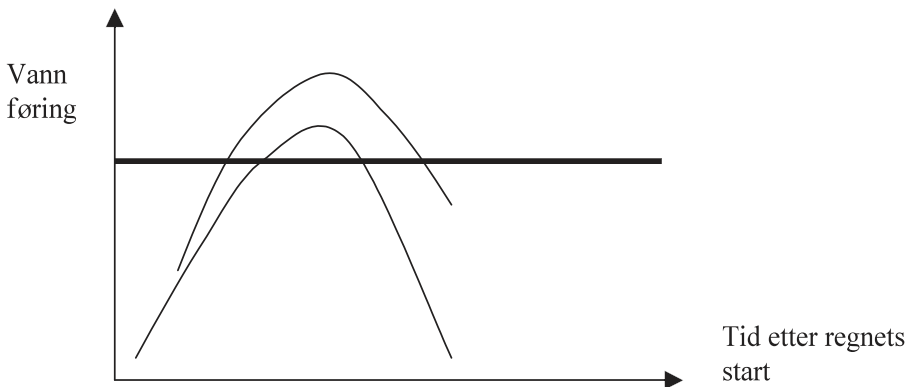
Flomskadene og ulemper i urbane områder har økt dramatisk i Norge de siste årene, som følge av en økt frekvens av sterke regn. Når det kommer intense regnepisoder genereres det svært mye overvann per flateenhet i en by, som må håndteres lokalt eller fraktes bort på en trygg måte.

Byenes avløpsnett ble dimensjonert og bygget for mange år siden, og man forutså ikke den fortettingen av flater som mange byer har opplevd. Økningen i regnintensiteten som klimaforandringene allerede har medført, har også gitt store problemer for avløpssituasjonen i byer. Avløpsnettene er ofte ikke tilstrekkelige dimensjonert for disse økte belastningene. Klimamodellene viser at klimaendringene som ligger foran oss sannsynligvis er sterkere enn de som ligger bak oss (Drange et al. 2007). I tillegg til den økte forekomsten av sterk nedbør vil havnivået stige. Langs norskekysten vil man kunne oppleve en økning i midlere vannstand på mer enn 70 cm mange plasser fram mot år 2100 (Drange et al. 2007). På toppen av en generell økning

av vannstanden vil også høyden på stormfloen øke (La Casce & Debernard 2007). Økningen i vannstanden reduserer avløpsanlegggenes hydrauliske kapasitet og dermed vil mer vann kunne stuves opp nettet og gi økt overløpsmengde.

I avløpssystemer hvor kapasiteten er utnyttet vil en økt regnvarighet og økt regnintensitet ofte begge hver for seg gi en progressiv økning i overløpsutslippet. Det betyr at vi har en ikke-lineær sammenheng mellom økningen i belastning og økningen i overløpsmengden. I figur 1 er det illustrert hvordan vannføring over en viss konstant kapasitet i avløpsnettet (horisontal linje i figuren) er det som utgjør flomskadeproblemet eller et forurensingsutslipp via regnvannsoverløp. Selv om en økning i vannføringene ikke er mer enn for eksempel ca 25 %, som vist i prinsipp-skissen i figur 1, vil andelen som overstiger systemets kapasitet og som utgjør problemomfanget, øke dramatisk.

Forsikringsselskapene er blant de aktørene som merker forandringene i klima raskt. I Aftenposten 2. oktober



Figur 1. Prinsippskisse for overbelastning av kapasiteten i et avløpssystem.

2008, kunne man lese om Gjensidiges erfaringer, utredninger og tanker om dette. Gjensidige uttaler at kommunenes avløpsnett må bygges kraftig ut for å kunne ta imot mer nedbør. Utbetalingene som skyldes dårlig avløpsnett har økt kraftig de siste årene. Gjensidige sier til Aftenposten at vannskadene kan øke med minst 40 % de neste tiårene. Gjensidige sier videre at de kan komme til å si nei til å forsikre hus i kommuner og områder hvor det ikke tas gode nok forholdsregler. Videre at det er tvilsomt om større nedbørskader i fremtiden kan kalles ”plutselig og uforutsette skader”, noe som er selve basisen for alle utbetalinger fra forsikringsselskaper.

Fra 1992 til 2007 utbetalte norske forsikringsselskaper 22 milliarder kroner i erstatning for vannskader. Utbetalingene steg hvert år i perioden, og Gjensidige er av den oppfatning at dette høyst sannsynlig skyldes hyppigere styrtregn og mer nedbør generelt. Gjensidige anslår at ca. 25 % av disse utbetalingene (dvs. drøyt 5 milliarder kr) skyldes inntrengning av vann i boliger. Det er denne andelen Gjensidige mener kan øke med 40 % eller mer de neste tiårene. Disse summene omfatter ikke det som defineres som naturskade. Forsikringsselskapene arbeider derfor med en strategi for å takle forventede, og fortsatt økende utbetalinger p.g.a. klimaendringene.

Virkningene av klimaendringene på avløpssystemene

Forskere over hele verden har i flere år gjort beregninger og undersøkelser av

hvordan klimaforandringer vil virke på urbane dreneringssystemer. Ashley et al. fastslo i 2005 at en mulig virkning av klimaendringene er en økt sannsynlighet for oversvømmelse av bygninger og eiendom i byer. Innlekkasje av fremmedvann i avløpsnettet vil øke som følge av økt nedbørsmengde og nedbørsintensitet (Niemczynowicz, 1989; Semadeni-Davies, 2004; Semadeni-Davies et al., 2006), noe som vil føre til større tilrenning til renseanleggene. En økt innlekkasje vil også redusere anleggenes kapasitet for ”nyttetransport” og dermed øke sannsynligheten for oversvømmelse og overløpsutslipp ved sterk nedbør. Farrer (2005) viste ved beregninger av fem byer i Storbritannia at intensiteten for ekstremregn vil øke med 1,3 til 1,4 ganger dagens regn. En slik økning i nedbøren ville medføre at avrenningsvolumet og flomfrekvensen ble doblet ifølge beregningene.

Miljøstyrelsen (2007) i Danmark sier i sitt miljøprosjekt, med case-studier fra Roskilde og Aalborg, at de bruker som prognose at et 10-årsregn om 100 år vil være 40 % kraftigere enn dagens IVF-kurver.

Olsson et al., (2007) brukte en klimamodell for å lage nedbørs-scenarier for 30 minutters regn og med arealutbredelse tilsvarende Kalmar by. I beregningene brukte de den såkalte ”Delta Change Method”. Nedbørintensitetene ble beregnet for Kalmar for år 2071 – 2100. Resultatet ble at de høye regnintensitetene, som er av interesse for flomberegninger, økte 20 – 30 % for sommerregn og 50 – 60 % for høstregn. Videre ble det

beregnet at antall ekstremregn og varigheten på oversvømmelsene ville dobles. Med disse regn-scenariene ble avløpsnettet i et boligfelt i Kalmar beregnet med hensyn til oversvømmelser. Man fant at antallet kummer som ble oversvømmet i det analyserte avløpsfeltet i Kalmar økte med 45 % i forhold til dagens klima.

I 2006 tildelte Forskningsrådet Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) ved UMB, midler til et 3-årig forskningsprosjekt (ISP) for å studere flomvirkninger i byer som følge av klimaendringer.

Prosjektets hovedmål var å sammenfatte resultater fra internasjonale forskningsprosjekter hvor man har analysert endringene i og omfanget av flomskader og forurensningsutslipp i urbane områder som følge av klimaendringer. Videre var målet å beregne flomskader og overløpsutslipp i flere norske byer med dagens nedbør og klimaregime, og tilsvarende for et fremtidig endret klima. I prosjektet er også virkningene av ulike typer tiltak for å redusere økningene i flomskadene og forurensningsutslippene som følger av klimaendringene analysert. Flere mastergrads-oppgaver er utført som en del av prosjektet. Noen av prosjektets resultater er vist i denne artikkelen.

Resultater fra arbeider utført ved UMB i ISP-prosjektet

Iversen (2008) analyserte et avløpsfelt i en bydel i Trondheim, kalt Møllenberg, med 6100 meter avløpsrør. Det er ca. 12 000 personenheter i nedslagsfeltet på

243,3 ha. Han beregnet bl.a. økning, som følge av klimaendringer i perioden 2071 - 2100, på antall meter gateledning som ble oppstuvet mer enn 90 cm over topp av avløpsrør (f.eks. vil 100 meter mer gateledning med oppstuvning av ledning bety at to rekker med hus på hver sin side av gaten får oversvømmelser i kjeller, d.v.s. til sammen en husrekke på 200 meter). Det regnes med at kjellerne i husene vil bli oversvømmet med avløpsvann, hvis oppstuvningen går høyere enn 90 cm over toppen av rørene. Han beregnet også økning i antall bygninger som vil flomskades ved en økning på 30 % i regnintensitetene fra år 2008 til år 2071.

Som klimaendring forutsatte Iversen at regnintensitetene til alle de sterke regnene ville øke med 30 %. Havnivåøkningenes betydning er det ikke tatt hensyn til i disse beregningene i Møllenberg.

For et 10 års regn fant han at en økning i regnintensiteten på 30 % vil øke antall bygninger som flomskades i Møllenberg med 31 %. Han beregnet at for 2, 5 og 50 års regn ble de prosentvise skadene betydelig mindre enn dette. Resultatene viser dermed at avløpssystemet i Møllenberg i Trondheim fremdeles har en god reservekapasitet i mesteparten av avløpsnettet, slik at klimaeffektene der ikke vil få så store konsekvenser som i mange andre byers avløpssystemer.

Iversen beregnet også kostnader for ulike tiltak for å motvirke skadene fra klimaeffektene. Tiltakene som ble vurdert var økning av rørdiameter og bygging av fordrøyningsbasseng. For å kompensere for 30 % økning i regnintensite-

tene ved klimaendring, beregnet han at billigste fordryningsalternativ kostet 2,47 mill. kr. Hvis man satset på oppdimensjonering av ledningene, ville dette koste 3,64 mill. kroner. Han fant dermed at bygging av fordryningsbasseng var mest kostnadseffektivt for å motvirke skadene som følge av klimaendringer.

I 2008 utviklet Nilsen (2008), som den første i Norge en regntidsserie med høy tidsoppløsning for et fremtidig klima, som er en prognose på nedbøren på Blindern i årene 2071 – 2100. Dette er kontinuerlige regndata med minutt oppløsning over disse 30 årene. Utgangspunktet var en måleserie på Blindern fra 1968 til 2007, som Meteorologisk institutt (DNMI) har fremskrevet til en tidsserie for 2071 - 2100. DNMI's tidsserie hadde imidlertid en tidsoppløsning på en time, som er for grov for urbane beregninger om det skal gi brukbare oppstuvningsberegninger.

Nilsen beregnet også en tilsvarende tidsserie som Blinderns for en nedbørmåler på Lambertseter i Oslo. Nilsen utviklet nye IVF-kurver (intensitet – varighet – frekvens) for perioden 2071 – 2100 på basis av dagens IVF-kurver. IVF-kurver er et viktig redskap for å utføre dimensjoneringen og flomberegninger.

Nilsen brukte den såkalte "Delta Change Factor"-metoden (DCF) for å utvikle regnserien. Han fant at klimaendringene vil medføre at de ekstreme regnene om sommeren vil øke med ca. 20 % i intensitet (DCF = 1,2), mens de mest intense høstregnene vil øke med ca. 40 % (DCF = 1,4). Metodikken til DCF passer imidlertid dårlig til å forutsi øk-

ninger i ekstreme enkeltregn, men for tidsserieanalyser er den passende.

Nilsen fordelte alle regnene på de fire årstidene og det gir fire fordelingskurver for regnintensitetsendringer. En DCF-verdi på 1,0 betyr at det ikke blir noen økning i regnintensiteten som følge av klimaendringen. Regnene er sortert etter stigende regnintensitet. De regnene som i dagens klima har lavest regnintensitet vil få ennå lavere intensitet i fremtiden. De mest intense regnene vil imidlertid bli ennå mer intense i fremtiden. Nilsen (2008) har med utgangspunkt i den framskrevne nedbørserien beregnet økningen i oppstuvningene i et avløpsfelt i Oslo, kalt Abildsø, som følge av klimaendringene. Feltet har ca. 900 innbyggere, er på ca. 26 ha og modellen har 72 ledningsstrekninger. Avløpsmodellen MOUSE ble brukt i beregningene. I figur 2 vises feltet og ledningsnett i dette området. Nilsen gjorde i sitt arbeid en tidsserieanalyse med all nedbør i perioden 1985 til 2007 målt på Lambertseter, og beregnet alle kjelleroversvømmelser i Abildsøfeltet som kunne ha skjedd i løpet av disse årene og hvor mange knutepunkter som fikk høyere oppstuvning enn 70 cm over topp av rørene. Dette ble gjort for ulike gjentakintervall på regnintensitetene. De samme beregningene ble så gjentatt med den beregnede regntidsserie etter klimaendringene. Antall knutepunkter som tilsier kjelleroversvømmelser i løpet av tidsserien ble så registrert. Det ble en økning i oversvømmelsene på ca 40 % for et 5-års regn.

Gulbrandsen (2008) analyserte klimaendringenes betydning på økede



Figur 2. Skisse over feltet på Abildsø som er bruk i beregningene (Nilsen 2008).

overløpsutslipp fra et boligfelt i nordvestre del av Bærum kommune. Området er på 30 ha og antall knutepunkter i MOUSE-modellens representasjon av området er på 46 stykker. Det er et overløp nederst i feltet som skaper forurensningsproblemer ved at det trer i kraft og sender ubehandlet råkloakk ut i nærresipienten ved sterke regn. Konsulentfirmaet AquaRosim, har bygget datamodellen for boligfeltet, kalt Skuifeltet. Dette arbeidet ble utført i 2003 og våren 2004. Ut fra denne større modellen over Skuifeltet er det valgt ut et mindre område Angerstveien (se fig 3).

Gulbrandsen analyserte bl.a. virkningene av et 10-års regn på overløpsutslippet. Han forutsatte at klimaendringene i løpet av 2071 vil medføre en økning på 30 % i regnintensiteten. Denne klimaendringen medførte at overløpsutslippet økte med 108 %, dvs. en dobling av dagen utslipp. Han analyserte også virkningene av tekniske mottiltak, som det å heve overløpskanten, bruke LOD-tiltak som infiltrasjon av overvann til grunnen, bygge fordryningsbasseng og det å utvide rørkapasiteten i ledningsnettet.

Gulbrandsen fant at det var en kort flaskehals nedstrøms overløpet som burde få en større rørdiameter. Dette var det gunstigste tiltaket med tanke på kost/



Figur 3. Avløpsfeltet i Bærum som ble brukt av Gulbrandsen (2008).

nytte. Deretter var det gunstigst å frakoble overvann fra takflater og infiltrere overvannet til grunnen. Av fordrøyningsiltakene var det gunstigst i forhold til kost/nytte å bygge et pukkmagasin i undergrunnen.

Lier (2008) analyserte økninger i antall oversvømmelser som følge av klimaendringer og optimal mottiltak for feltet Kjelsås i Oslo ved hjelp av modellverktøyet MOUSE (se figur 4).

Oslo kommune har i lenger tid prioritert den øvre delen av Akerselva med hensyn til å opprettholde god badevannskvalitet ovenfor Nydalsdammen.

En av de store utfordringene i denne sammenheng har vært å unngå store utslipp av kloakk gjennom overløp fra fellesavløpssystemet ved sterkt regn.

Lier har i sitt arbeid simulert nåværende situasjon og den framtidige situasjonen i avløpsnettet i dette feltet gitt klimaendringer ved å bruke nedbørsriksen utviklet av Nilsen (2008). Beregningene viser at det i normalår ikke vil forekomme overløpsutslipp, mens avrenningen i ekstremår med hensyn til avrenning (sammenligning av årene 1980 og 2080) vil øke med 33 %. Lier fant også at i år med ekstrem nedbør (1988 og



Figur 4. Plassering av kumlokk, som er sårbare for oversvømmelse (rosa sirkler), og nødoverløp (blå sirkler) (Lier 2008).

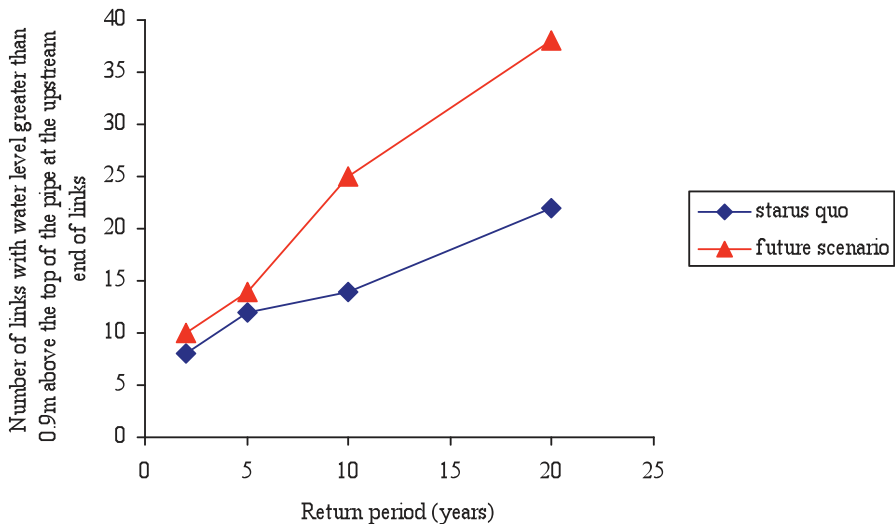
2088) så ville økningen i overløpsvolum øke med 83 %. I tillegg til økte overløpsutslipp vil det også bli en økning i oppstuvning i ledningsnett og oversvømmelser.

I figur 5 er det vist at når vi legger de forventede klimaendringene til grunn vil det for et 10-års regn bli en doubling i antall i antall rørstrekninger som oversvømmes dersom vi ikke setter inn mottiltak. En simulering for sommer-sesongen for regn med gjentaksintervall på 2, 5, 10 og 20 år viser den samme responsen.

Lier (2008) har også kjørt simuleringer med ulike tiltak for å redusere eller helt fjerne overløpsutslipp i feltet. Det ble vist at en kombinasjon av fordrøyningsvolumer i ledningsnett og frakobling av halvparten av taknedløpene var det som gav det beste resultatet, nær 100 % reduksjon av overløpsutslipp i dagens

situasjon og 80-100 % i en framtidig situasjon hvor klimaet har endret seg. Størrelsen på reduksjonen er avhengig av gjenntaksintervallet for nedbøren. Det påpekes imidlertid at slike lokale tiltak alene ikke er nok, men at det er nødvendig å se på flere typer tiltak i nedslagsfeltet. I en integrert strategi bør det i tillegg inngå tiltak som sedimentasjonsbasseng, separering av overvann og spillvann, dimensjonsøkning, hevet overløpskant, økte infiltrasjonsarealer, sikre åpne flomveier og åpning av gamle bekkelukkinger.

Simuleringene viser at det er om sommeren de fleste episodene med overløp forekommer. Dette faller sammen med badesesongen og er også den tiden av året hvor den biologiske aktiviteten er høyest. Det er derfor viktig å sette i verk tiltak som kan reduserer og aller helst fjerne overløpsdrift ved sterke regn.



Figur 5. Antall rørledninger hvor oppstuvningen overstiger 90 cm over toppen av røret (Lier 2008).

Overløpsdrift og reaksjoner i nedslagsfeltet ved enkeltepisoder

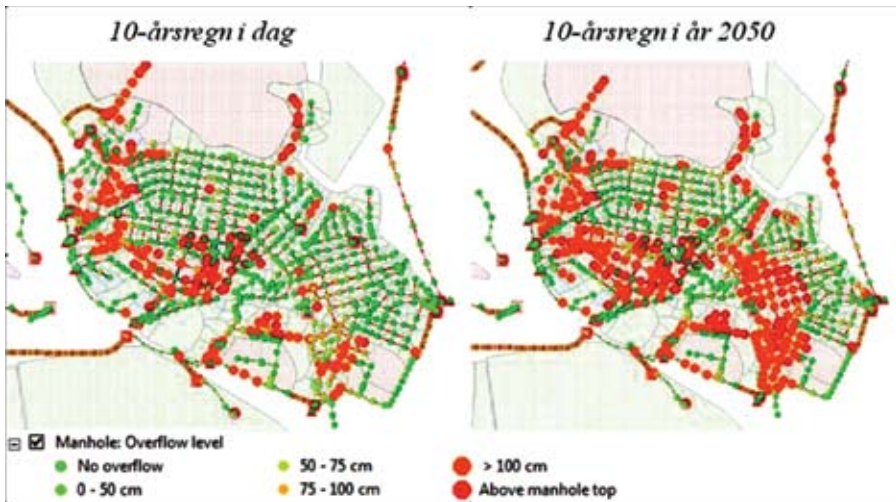
Siden nedbørsepisoder som fører til overløp i hovedsak forekommer i sommermånedene ble det gjennomført simuleringer med sommertilstand i nedslagsfeltet, dvs. høy infiltrasjonskapasitet og lagringskapasitet i jorda. Enkeltepisoder med 2, 5, 10, og 20 års gjenntaksintervall ble hentet fra IVF-kurvene utviklet av Nilsen (2008) både for nåværende klima og for et framtidig endret klima.

Resultatet av disse simuleringene viser at nettet kun har kapasitet til å takle 2-årsregn uten overløp i dag, mens det framtidige 2-årsregnet vil generere overløp. Framtidens 5-årsregn genererer 77 % økning i overløpsutslippet sammenlignet med dagens situasjon. Kommunen har en målsetning om avløpet ikke skal gå oftere i overløp enn hvert 5. år noe

som ikke kan oppnås uten å gjennomføre tiltak i feltet og nettet.

Kringstad (2009) gjorde i 2009 beregninger med avløpsmodellen MOUSE for Lillestrøm, hvor det stort sett er fellesavløpssystem. Resultater fra kapasitetsberegninger i modellen med 10-årsregnet i Lillestrøm i dag og etter forventede klimaeffekter i 2050 er vist i figur 6. Regnintensitetene er økt med 30 % for det framtidige klimaet. Røde sirkler viser oppstuvning over bakkenivå og oransje sirkler viser oppstuvning over 1 meter over topp av rør.

Det er stor økning i antall oppstuvninger som kan medføre kjelleroversvømmelser, etter forventede klimaeffekter i 2050. I figur 6 kan man se at det er i områdene rundt sonen Sjøgata, hvor problemene er størst, både i dag og i 2050. Dette er som forventet da en pumpe-



Figur 6. Forventet oppstuvning i kum i Lillestrøm i dag og i 2050. Røde sirkler viser oppstuvning over bakkenivå og oransje sirkler viser oppstuvning over 1 meter over topp av rør. (Kringstad 2009).

stasjon, som lenser ledningsnettet i Sjøgata for avløpsvann, allerede går full i dagens 10-årsregn.

Det er også gjort simuleringer med et 3-årsregn i dagens klima, og sammenlig-

net med et 3-årsregn i et fremtidig klima i 2050, se tabell 1. Igjen er regnintensitetene økt med 30 % i forhold til dagens regn.

| Oppstuvning i kum | Dagens 3-årsregn, antall kummer | 3-årsregn i 2050, antall kummer |
|-------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| 75 - 100 cm | 37 | 78 |
| >100 cm | 116 | 203 |
| Over bakkenivå | 37 | 59 |
| Sum kummer | 190 | 340 |

Tabell 1. Sammenligning av oppstuvning i kum i dagens 3-årsregn og 3-årsregnet i 2050.

Det er en økning på 80 % i summen av antall kummer som får oppstuvning over 0,75 meter over topp av rør i dag og i 2050. Økningen er størst for kummer med oppstuvning over 1 meter over topp av rør. Dette kan medføre en sterk økning i antall kjellere som vil være i faresonen for oversvømmelser. Det skal legges til at kjellervolumer ikke inngår i modellen og det medfører at et stort antall "fordrøyningsbassenger" er utelatt av modellen. Det er slik at i de kjellere som får oppstuvning vil kjellervolumet fungere som et fordrøyningsbasseng. Det vil si at de oppstuvningsnivåene som oppstår i modellen er høyere enn i virkeligheten. Man ser at ledningsnettet i Lillestrøm modellen allerede i dagens 3-årsregn er under press, og en økning på 30 % i nedbørintensiteten, som følge av klimaeffektene, gir en økning på 80 % i an-

tall berørte kummer med oppstuvning over 0,75 meter over topp av rør.

Samfunnsøkonomisk analyse av optimale tiltak

Ved vurdering av tiltak bør man gjøre en samfunnsøkonomisk analyse for å se hvilke tiltak som det er samfunnsmessig riktig å gjennomføre. I forbindelse med analysene må det vurderes om man vil opprettholde dagens servicenivå, eller med andre ord dagens risiko for flomskader og gjentakintervall for flommen. Et alternativ er at man velger å senke servicenivået, eller med andre ord øke risikoen for flomskader, ved ikke å kompensere for klimaendringene. Det siste alternativet bør ikke velges før etter meget grundige hydrologiske, hydrauliske og økonomiske analyser, samt en for-

svarlig politisk behandling i kommunene.

Oppsummert kan man sette opp følgende punkter for en analyse:

- Hvor vil skader oppstå som følge av klimaendringenes ekstreme regnhendelser og havnivåstigning?
- Hva slags skader vil oppstå og hvor store blir de?
- Hvilke tiltak kan settes inn for å motvirke skadene?
- Hva koster det å gjennomføre tiltakene og hvilke samfunnsøkonomiske fordeler kan oppnås ved disse tiltakene?
- Tiltakene gjennomføres hvis tiltakskostnadene veier mindre enn de samfunnsøkonomiske skadekostnader og samfunnsmessige fordeler ved tiltakene.

Eksempler på ulemper og kostnader som påføres et samfunn ved oversvømmelser er:

- Trafikkforstyrrelser som påfører forsinkelsestid for nyttetraffic, tog, busser og private bilister.
- Skader på veier og gangveier. Erosjonsskader på andre trafikkarealer og fritids- og rekreasjonsområder.
- Eiendommer med vannskader i kjellere eller første etasje.
- Sykedager som følge av smitte eller infeksjoner ved kontakt med flomvann eller infisert vannforsyning.
- Næringsliv som mister omsetning som følge av vannskader på lokaler eller lagre, eller produksjonstap.
- Skader på vann- og avløpssystemets kummer, ledninger, pumpestasjoner og renseanlegg.

- Drikkevannsbrønner som infiseres av skadelige organismer.
- Skader på strømkabler, transformatorstasjoner, telefon- og datakabler o.l.
- Tap, ulemper og skader ved at elektrisiteten kortsluttes eller må stenges av.
- Store forurensningsutslipp fra avløpsanlegg som ikke virker, skadede kjemikaliertanker og oljetanker, samt fra industriområder.
- Grunnvannsnivået som oftere vil stå på et høyere nivå enn i dagens klima. Dette fører til at infiltrasjonsvannmengdene i rørene øker og reduserer kapasiteten i systemet. Noe som gir økte overløpsutslipp og økte flomskader. Økt vannføring til renseanleggene gir økte utgifter til kjemikalier og pumping, samt økte utslipp p.g.a. økte totalvolumer av avløpstilførsler og økt tid med høy hydraulisk belastning.
- Arbeidstid som må nedlegges av kommunalt ansatte og private i praktisk arbeid og administrasjon.

Alle disse postene representerer kostnader og ulemper som ingen holder en samlet oversikt over eller sammenstiller til en helhet. Når en kommune i dag analyserer hvilke tiltak som det er riktig å gjennomføre, tar man kun hensyn til et fåtall av de ulemper og kostnader som et samfunn som helhet har. Dersom man hadde tatt hensyn til alle samfunnets ulemper, ville et betydelig kraftigere sett med mottiltak vise seg lønnsomt å gjennomføre. Man kan derfor si at man i dag ikke har erfaringer med å ta hensyn til så ulike typer ulemper og skader som over-

svømmelser medfører. Det er imidlertid mulig å utvikle metoder for å kostnadssette ulempene og skadene med et visst antall kroner pr. enhet av skadetyperne.

Det er ikke bare størrelsen på enkeltflommene som er av interesse for et samfunn, men også antallet flommer over en viss størrelse. For å vurdere om et tiltak er samfunnsøkonomisk lønnsomt, må man beregne *alle* flommer som gir skader i det aktuelle feltet over for eksempel 40 år. En slik beregning krever en tidsserieanalyse med nedbørdata (eller eventuelt klimadata med både nedbør og temperatur) over denne perioden. I praksis må dette gjøres ved hjelp av avløpsmodeller med kontinuerlige tidssimuleringer.

Det er mange usikkerheter involvert i flomberegninger som følge av klimaendringer. Det er derfor viktig å gjøre følsomhetsanalyser på sentrale usikre inngangsparametere. Dette kan for eksempel være fremtidige antatte regnintensiteter, avrenningsforhold eller havnivåstigning. Beslutningen om tiltak må påvirkes av usikkerheten i inngangsdataene.

Tiltaksanalysene som gjøres i dag er suboptimaliseringer, da ingen ser helhetlig på samfunnets samlede ulemper. Dette gir manglende helhetlige tiltaksanalyser og medfører unødvendige tap for samfunnet.

Referanser

Ashley R.M., Balmforth D.J., Saul A.J. and Blanksby J.D. (2005). Flooding in the future – predicting climate change, risks and responses in urban areas, *Water Science and Technology*, 55(5), pp 265-273, IWA publishing.

Drange, H., Marzeion, B., Nesje, A. og Sorteberg, A. (2007). Opptil én meter havstigning langs Norskekysten innen år 2100. Cicerone mars 2007. Oslo.

Farrer, K. (2005). "Climate change project produces tools to cope with flooding in urban areas". *Water & Wastewater International*, september 2005.

Gulbrandsen, Ole Martin. (2008). "Tiltak på avløpsnettettet rettet mot forventede klimaendringer og kost/nytte-beregninger av tiltakene". Mastergradsprosjekt Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB. Ås.

Iversen, T-E. (2008). "Tiltak for motvirkning av klimaeffekter i urbane avløpssystemer". Mastergradsprosjekt Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB. Ås.

Kringstad, H. (2009) "Flomproblemer i Lillestrøms avløpsnett og klimapåvirkninger". Mastergradsprosjekt Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB. Ås.

La Casce, J. og Debernard, J. (2007). "Vil det bli økt hyppighet av springflo kombinert med sterk vind, s.k. stormflo?". Cicerorapport 2007:03 "Utviklingen av naturulykker som følge av klimaendringer". Oslo.

Lier Janet Alupu. (2008). Effects of long term changes in local climate on combined sewer overflows and flooding in upper Akerselva, Oslo. Mastergradsprosjekt

Institutt for matematiske realfag og teknologi UMB. Ås. 2008.

Miljøstyrelsen. (2007). ”Klimatilpasning af afløbssystemer og metodeafprøving. Økonomisk analyse”. Miljøprojekt nr. 1187, 2007. København.

Niemczynowicz, J. (1989). Impact of the greenhouse effect on sewerage systems – Lund case study, Hydrological Sciences – Journal – des Sciences Hydrologiques, 34(6), pp. 651-666.

Nilsen, V. (2008). “Urban drainage in the face of climate change – Adaption of regional climate model output for rainfall-runoff simulations in Oslo, Norway”. Master thesis at Department of Mathematical Sciences and Technology. University of Life Sciences. Ås.

Olsson, J., Berggren, K., Olofsson, M. og Viklander, M. (2007). Applying climate model precipitation scenarios for urban hydrological assessment: A case study in Kalmar City, Sweden. Licentiate thesis. Luleå University of Technology.

Semadeni-Davies A. (2004). Urban water management vs. climate change: impacts on cold region wastewater inflows, Climatic Change, 64, pp. 103-126.

Semadeni-Davies, A., Hernebring, C., Svensson, G and Gustafsson, L.-G., (2008). The impacts of climate change and urbanisation on urban drainage in Helsingborg, Sweden: Suburban stormwater and Combined sewer system, Journal of Hydrology, 350, pp. 114-125 and pp. 100-113.