

Metode for valg av kostnadseffektive overvannstiltak i et endret klima

Av Phan Åge Samyo Haugård, Oddvar Georg Lindholm, Vegard Nilsen og Julia Kvitsjøen

Phan Åge Samyo Haugård (M.Sc. - sivilingeniør) er seksjonsleder for VA i COWI AS.

Oddvar G. Lindholm (Dr. ing.) er professor emeritus ved NMBU.

Vegard Nilsen (Ph.D.) er post. doc. ved NMBU.

Julia Kvitsjøen (M.Sc. – siviløkonom og sivilingeniør) er Ph.D. kandidat ved NMBU og overingeniør i Vann- og avløpsetaten, Oslo kommune.

Summary

Methodology for choosing cost efficient stormwater systems in a changing climate. An increased frequency of heavy rainfall events challenges the capacity of the sewer system in Oslo, which in many places is of the combined type. There are both direct and indirect consequences of an overloaded sewer system, such as basement flooding, damage to buildings and infrastructure, combined sewer overflows, traffic delays and potential adverse effects on human health. These consequences may, in principle, be measured and compared in monetary terms. Conventional stormwater systems are currently sized using design rainfall events with a designated return period and future climate change effects are accounted for by a climate factor. Including climate factors in the design process leads to larger sizes of stormwater measures and associated investment costs. The purpose of the present article is to present methodology for analyzing the cost efficiency of designing stormwater management systems for expected climate change effects, as compared to designing for the present climate. The analysis in this article is based on a case study from a MSc thesis project conducted in 2017, and addresses damages

related to basement flooding in a catchment at Grefsen in Oslo. To assess the costs and benefits of the studied stormwater management options, expected annual damage costs from heavy rainfall were calculated and used in a net present value analysis to compare the costs (investment and operation) and benefits (cost of avoided damages) in absolute terms. Each management option was further assessed in terms of its return on investment, i.e. (benefits – costs)/costs. Although there are many uncertainties, the presented methodology represents a step towards a more rational design basis for stormwater management options. The method indicates that it may not necessarily be cost efficient to design for a future climate as compared to designing for the present climate.

Sammendrag

Økt hyppighet av kraftige nedbørshendelser utfordrer kapasiteten til avløpsnett i Oslo, som mange steder består av felles avløpssystem. Dette kan føre til direkte og indirekte skadekonsekvenser, for eksempel kjelleroversvømmelser, skader på bygninger og infrastruktur, overløpsdrift, trafikkforsinkelser og potensielle skader

på menneskers helse. Disse konsekvensene kan måles som prissatte kostnader. Konvensjonelle avløpssystemer dimensjoneres ved bruk av konstruerte nedbørshendelser med en angitt returperiode, der det ofte benyttes klimafaktor for å ta hensyn til fremtidige klimaendringer. Inkludering av klimafaktor i dimensjoneringsgrunnlaget fører til større dimensjoner på overvannstiltak, og øker investeringskostnader. Hensikten med denne artikkelen er å presentere en metode for å analysere kostnadseffektiviteten ved dimensjonering av overvannstiltak for forventede klimaendringer, versus dimensjonering for dagens klima. Analysen i denne artikkelen er basert på en casestudie fra en masteroppgave utført i 2017, og tar for seg skader relatert til kjelleroversvømmelser i et nedbørsfelt ved Grefsen i Oslo. For å vurdere kostnader og nytter for de studerte overvannstiltakene, ble forventede årlige skadekostnader fra kraftige nedbørshendelser beregnet. Disse ble brukt i en netto-nåverdianalyse for å sammenligne kostnadene (investering og drift) og nytten (reduksjon i skadekostnader fra kjelleroversvømmelser) i absolutte verdier. Videre ble tiltakene vurdert etter avkastningen på investeringen, dvs. (nytte – kostnader) / kostnader. Selv om det er mange usikkerheter i analysen, kan den presenterte metodikken være grunnlag for en mer rasjonell måte å dimensjonere overvannssystemer på. Metoden viser at det ikke nødvendigvis er kostnadseffektivt å dimensjonere for fremtidens klima sammenlignet med å dimensjonere for dagens klima.

Introduksjon

Det er store kostnader forbundet med overvannsskader i Norge hvert år. Vannskadestatistikk fra Finans Norge [6] har registrert at det er betalt ut 240 millioner kroner fra norske forsikringsselskaper til privatpersoner som følge av for dårlig håndtering av overvann i 2016. De reelle skadekostnadene er forventet å være større, da overvannsskader også omfatter skader på infrastruktur, bygninger, trafikkforsinkelser, natur og miljø. Negative helsevirkninger som følge av sykdom, angst og utrygghet kan også være en konsekvens av dårlig overvannshåndtering [25]. I Tabell 1 er det listet opp noen økonomiske konsekvenser ved overbelastning på fellesavløpsnett.

Avløpssystemet dimensjoneres ut ifra gitte kriterier for gjentakintervall på regn, satt av eksempelvis byggherre, normer og håndbøker. For å hensynta fremtidens klima, legges det også til klimafaktor i dimensjoneringen. Ved å dimensjonere overvannssystemet med klimafaktor, vil tiltakene bli større og ha en større kapasitet. På grunn av større kapasitet på overvannssystemet vil dette føre til mindre skader og tilhørende skadekostnader. Til gjengjeld vil kostnader forbundet med overvannsanlegget bli høyere. Teori viser at nedbøren med lavere gjentakintervall står for størsteparten av skadene over tid og ikke de ekstreme nedbørshendelsene [13]. Kraftigere regn med høye gjentakintervall vil forårsake store skader, men samtidig forekomme mye sjeldnere enn regn med lavere gjentakintervall. Samfunnet kan redusere høye kostnader knyttet til overvannsskader, men det er nødvendig å

Tabell 1. Mulige konsekvenser av utilstrekkelig overvannshåndtering.

Komponent	Konsekvens
Oversvømmelse ved tilbakeslag	Kjellerskader Inventarskader Bygningskader Trafikkforsinkelser Skader på infrastruktur Helse
Overløp	Natur og miljø Helse

iverksette lønnsomme overvannstiltak i de mest utsatte områdene. Tidligere studier [3,8,15,16,27] viser at det er lønnsomt å investere i overvannstiltak.

Formålet med denne studien er å utvikle en metode for nytte-kostnadsanalyse av det å benytte klimafaktor ved utforming av overvannstiltak, under forutsetning av at klimaet faktisk utvikler seg slik den valgte klimafaktoren tilsier. Bruk av klimafaktor fører til økte investerings- og driftskostnader og spørsmålet er om investeringen kaster tilstrekkelig av seg i form av reduserte skadekostnader. Metoden må derfor baseres på en sammenlikning av:

- Investeringskostnader, driftskostnader og statistisk forventede skadekostnader når man **inkluderer** klimafaktor i dimensjoneringen
- Investeringskostnader, driftskostnader og statistisk forventede skadekostnader når man **ekskluderer** klimafaktor i dimensjoneringen

Metoden vil testes og eksemplifiseres med data fra et avløpsfelt i Oslo som har hatt problemer med kjelleroversvømmelser.

Materialer og metoder

Studieområdet

Denne studien baserer seg på resultater fra en masteroppgave ved NMBU i 2017 med tittelen ”Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak – En casestudie av avløpsnettets ved Grefsen, Oslo kommune.” [7]. Feltet som ble studert er i dag preget av kjelleroversvømmelser. Feltet har et totalareal på 34,5 ha og huser 1 014 innbyggere i totalt 196 bygg. Topografien gir en høydeforskjell i feltet på ca. 40 m. Andelen tak og vei, som utgjør tette flater, er 18% av hele feltet, noe som skulle tilsi at området består av en god andel permeable flater. Takarealet utgjør 12% av totalt areal med 40 485 m², og veiarealet utgjør 6% med areal på 21 029 m². Området består hovedsakelig av hus omringet av hage. Nordvest i feltet ligger Grefsen kirkegård som utgjør en stor andel av de permeable flatene i feltet. Avløpssystemet i området består av 94% avløpfelles-ledninger med 5 176 m i total lengde [2]. Studieområdet er omringet av rød linje som vist i Figur 1.



Figur 1. Kart over nedbørsfeltet studert i Oslo

Dimensjoneringsforutsetninger

Å dimensjonere for det samfunnsøkonomisk optimale gjentakintervall er å minimere totale investeringskostnader og skadekostnader [11]. Dette vil dog avhenge av områdekarakteristikken, avløpssystemet og hydrologiske forhold. For å teste lønnsomheten ved å ekskludere/inkludere klimafaktor i dimensjoneringsforutsetningene, ble overvannssystemet i denne analysen dimensjonert for to tilfeller; håndtere dagens 30-årsregn og takle fremtidens 30-årsregn. Omfanget av tiltakene ble bestemt med utgangspunkt i delmål 07 og delmål 20 fra Hovedplan avløp og vannmiljø fra Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten (VAV) [26]:

- DM07: VAV skal ta høyde for klimaendringer i sine dimensjoneringsretningslinjer og valg av løsninger.
- DM20: Ingen skal ha kjelleroversvømmelser på grunn av avløpsnettets kapasitet med gjentakintervall opp til 30-årsregn.

Beregning av skadekostnader

Beregningen av skadekostnader må ta hensyn til at nedbørhendelser av en viss størrelse opptrer med tilfeldige tidsintervall, men med en gitt overskridelssannsynlighet. Dette gjøres ved å beregne såkalt årlig forventet skadeomfang (EAD; expected annual damage) [18]. Man summerer (integrerer), over alle hendelser, produktet av hendelsens skadeomfang med hendels

sens sannsynlighet for å opptre i løpet av et gitt år. Uttrykket for årlig forventet skadeomfang kan formuleres ved bruk av overskridelssannsynligheter eller ved bruk av gjentakintervall. Ved bruk av gjentakintervall blir uttrykket som i formel (1).

$$EAD = \int_0^{\infty} \frac{D(T)}{T^2} dT \quad (1)$$

- der EAD = Forventet årlig skadeomfang
 D(T) = Skadefunksjon som gir skadeomfang for en hendelse med gjentakintervall T
 T = Gjentakintervall for regn

Skadefunksjonen kan bestemmes f.eks. ved kjøring av hydrauliske modeller i kombinasjon med kostnadstall for ulike skader. Ideelt sett burde formelen ha blitt benyttet ved å teste mot uendelig mange gjentakintervall mellom T = 0 og T → ∞, men for å begrense antall simuleringer ble gjentakintervallene 2, 5, 10, 20, 30, 50 og 100 år brukt i beregningene med regndata fra Oslo – Blindern [14].

For å finne potensielt antall kjelleroversvømmelser for gitte scenarier ble det kjørt en hydraulisk modell i simuleringsprogrammet ROSIE [2]. Modellen i studiet var ikke kalibrert i dette tilfellet. Kjelleroversvømmelser ble talt opp basert på om stikkledning fra bygg var koblet til

Tabell 2. Metoder for implementering av tiltak i modellen.

Tiltak	Implementering i modell	Kostnadsdriver
Fordrøyningsbasseng	Konsentrasjonstid i flere delfelt oppstrøms "flaskehals" økes fra 7min til 45min, til det ikke lenger er risiko for kjelleroversvømmelser, gitt dimensjoneringskriteriet.	Nødvendig bassengvolum er funnet ved å beregne arealet mellom hydrogrammet før og etter tiltak, i tidsperioden der vannføringen før tiltak er høyere enn vannføring etter tiltak.
Frakobling av taknedløp til regnbed	Avrenningsfaktor på tak i delfelt oppstrøms "flaskehals" settes lik null, til det ikke lenger er risiko for kjelleroversvømmelser, gitt dimensjoneringskriteriet.	Arealstørrelsen på regnbed er satt til 6 % av takarealene som kobles ifra i delfeltet [19,21].
Oppdimensjonering av rør	Øke rørdimensjon på "flaskehals", til det ikke lenger er risiko for kjelleroversvømmelser, gitt dimensjoneringskriteriet.	Totalengde på rør som må oppdimensjoneres.
Tilbakeslagsventil	Installasjon av tilbakeslagsventil for husstander som er utsatt for kjelleroversvømmelse, gitt dimensjoneringskriteriet.	Antall installerte tilbakeslagsventiler.

hovedledning med trykk over 90 cm over topp innvendig rør [10]. Regn av flere gjentakintervall ble kjørt i simuleringene. Simuleringene ble gjort for fire ulike overvannstiltak på avløpsnett. Tiltakene ble studert som ett tiltak alene, og ikke i kombinasjon med hverandre. Hvordan disse ble implementert i modellen vises i Tabell 2.

Tiltakene skulle være av såpass omfang, slik at avløpsnett skulle håndtere dagens 30-årsregn i det ene scenariet. I det andre scenariet skulle tilsvarende fire tiltak være av enda større omfang, slik at avløpsnett ville håndtert fremtidens 30-årsregn. For å simulere fremtidens klima ble gjentakintervall på regn tillagt klimafaktor på 1,5, som VAV bruker når nye ledninger skal legges, fordi investeringen skal ha 100 års varighet.

Investeringsalternativene som er analysert er antatt å vare i 100 år. I løpet av den tid kan vi forvente endring i klimaet. At regnhendelser opptrer tilfeldig kan gi store utslag i beregninger av nettonåverdi (NNV). Det antas at klimaet endrer seg fra dagens situasjon (uten klimafaktor) til fremtidens situasjon (med klimafaktor). Som følge av det beregnes EAD for dagens klima, og det forutsettes for enkelhets skyld at EAD stiger lineært frem til fremtidens EAD-nivå om 100 år [27].

Beregning av absolutt lønnsomhet og relativ lønnsomhet

Med grunnlag i skadeomfanget funnet med EAD, vet vi hvor mye skadekostnadene kan komme på hvert år i årene fremover. Når kostnadene for hvert år er beregnet, må disse diskonteres ned til dagens pengeverdi ved nåverdimetoden. Netto nåverdi (NNV) er en metode for å beregne lønnsomheten for investeringen av et tiltak til dagens pengeverdi [20]. Beregning av NNV fremkommer av formel (2), og fremtidige kontantstrømmer diskonteres med en anbefalt rente på 4 %. Diskonteringsrenten representerer vanligvis risiko eller avkastningskravet som er satt i et prosjekt. Hvis diskonteringsrenten er høy, vil avkastningskravet eller risikoen på prosjektet være høy. Dermed vil prosjekter kunne være mindre lønnsomt eller ulønnsomt, da NNV blir mindre. Motsatt vil

tilfellet være om diskonteringsrenten er lav; da vil prosjektet kunne bli mer lønnsomt [5]. Antall år som er lagt til grunn i analysen er 100 år, og for de tiltakene med lavere levetid, gjøres det reinvesteringer av tiltakene frem til år 100. Restverdi etter 100 år er ikke tatt hensyn til i analysen.

$$NNV = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+r)^t} \quad (2)$$

der NNV = Netto nåverdi

I_0 = Investeringskostnad ved år null

U_t = Nytte ved år t

t = Antall år

r = Diskonteringsrente

For å bestemme lønnsomheten for hvert scenario, er det tre verdier som er av interesse:

1. Nullalternativet: Nåverdien av skadekostnadene forbundet med ikke å gjøre tiltak i feltet, i en 100 års periode, med hensyn til stigende klimafaktor.
2. Nåverdi av skadekostnadene som oppstår over 100 år, selv om tiltakene blir gjennomført.
3. Nåverdien av investeringskostnadene og driftskostnadene som vil påløpe i løpet av en 100 års periode.

Etter at nåverdien for alle kostnadene i de tre postene ovenfor er funnet, kan vi finne den absolutte lønnsomheten, bestemt ved formel (3). Lønnsomheten angir kostnadsbesparelse av skader med tiltak trukket i fra kostnader forbundet med investering i tiltaket.

$$NNV = \text{Lønnsomhet}_{\text{ABS}} = \text{punkt 1.} - \text{punkt 2.} - \text{punkt 3.} \quad (3)$$

Videre vurderes lønnsomheten i forhold til ressursene som er benyttet, netto nytte per budsjettkrone (NNB). Den relative lønnsomheten, NNB, er bestemt ved formel (4).

$$NNB = \text{Lønnsomhet}_{\text{REL}} = \frac{\text{punkt 1.} - \text{punkt 2.} - \text{punkt 3.}}{\text{punkt 3.}} * 100\% \quad (4)$$

Enhetskostnadene, oppgitt i Tabell 3, er kostnadstallene benyttet i denne analysen. Prisene er justert i henhold til KPI til 2017-verdier og baserer seg på kilder og erfaringstall.

Tabell 3. Enhetskostnadene på skader og tiltak, justert for KPI til 2017-verdier.

Enhetskostnader			
Kjellerskadekostnad [17,23]		kr/kjeller	183 640
Fordrøyningbasseng [12,23]	Invest.	kr/m ³	6 825
	Drift	kr/m ³ /år	184
Takfrakobling m. regnbed [12,23]	Invest.	kr/m ²	7 350
	Drift	kr/m ² /år	79
Oppdim. Rør [12,23]	Invest.	kr/m	60 375
	Drift	kr/m/år	446
Tilbakeslagsventil [1,23]	Invest.	kr/ventil	49 500
	Drift	kr/ventil/år	1 330

Resultater og diskusjoner

Forventet årlig skadeomfang

EAD for dagens klima

I Tabell 4 er resultatene fra den hydrauliske analysen oppsummert for tiltakene dimensjonert for dagens 30-årsregn og 30-årsregn med klimafaktor. Oppgitte verdier er forventet antall kjelleroversvømmelser gitt gjentakintervall for regn vi har med dagens klima.

Basert på data i Tabell 4 og formel (1) er EAD for tiltakene beregnet. Kurvene viser resultater opp til 100-årsregn, men skulle ideelt sett blitt regnet ut også for høyere gjentakintervall. EAD er dermed underestimert noe i dette tilfellet. Figur 2 illustrerer EAD for dagens klima, gitt ved arealet under kurvene for hvert tiltaksscenario.

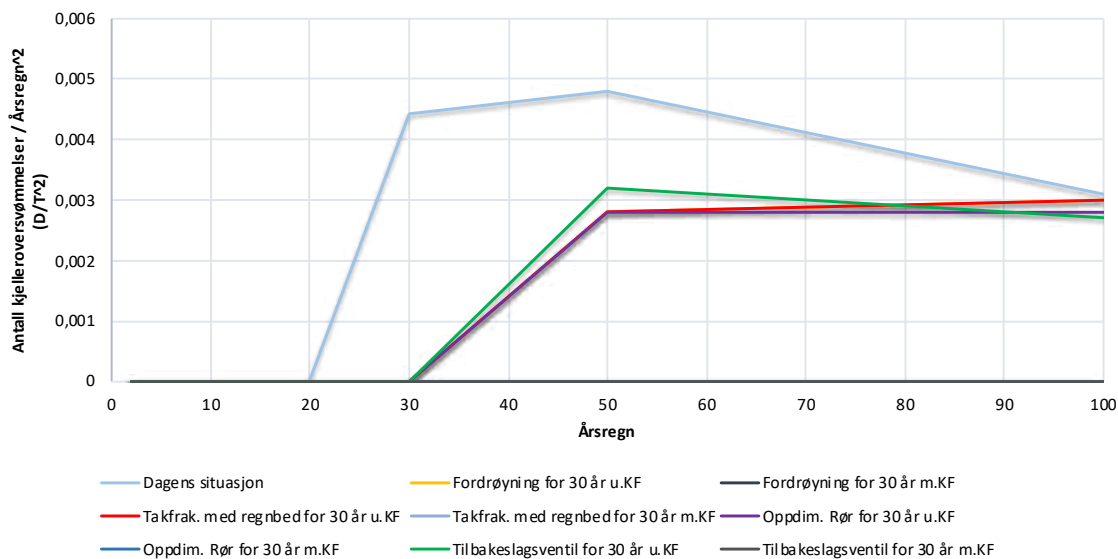
Tilhørende EAD-verdier er oppgitt i Tabell 5 og angir gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser vi kan forvente per år.

Av resultatene, ser vi at dagens situasjon av avløpsnett håndterer dagens klima godt. Med dagens situasjon, kan vi i snitt forvente ca. 0,3 kjelleroversvømmelser hvert år over en lengre periode. Dimensjonerer vi avløpsnett til å håndtere et 30-årsregn med dagens klima, blir forventet antall årlige kjelleroversvømmelser redusert til ca. 0,17 kjelleroversvømmelser. Dimensjonerer vi derimot for et 30-årsregn vi kan forvente med fremtidens klima, ser vi at antall skader tilsvarer null. I realiteten kan vi forvente en risiko for kjelleroversvømmelser også

Tabell 4. Antall kjelleroversvømmelser gitt regn for dagens klima for ulike tiltak dimensjonert for 30-årsregn uten klimafaktor og med klimafaktor.

Antall kjelleroversvømmelser gitt dagens klima									
Årsregn	Dagens situasjon	For-drøyning for 30 år u.KF	For-drøyning for 30 år m.KF	Takfrak. med regnbed for 30 år u.KF	Takfrak. med regnbed for 30 år m.KF	Oppdim. Rør for 30 år u.KF	Oppdim. Rør for 30 år m.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år u.KF	Tilbakeslags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	4	0	0	0	0	0	0	0	0
50	12	7	0	7	0	7	0	8	0
100	31	30	0	30	0	28	0	27	0

Expected Annual Damage (EAD) gitt dagens klima



Figur 2. EAD gitt dagens klima for ulike tiltak dimensjonert for dagens 30-årsregn og fremtidens 30-årsregn. EAD måles som forventet antall kjelleroversvømmelser per år.

Tabell 5. EAD-verdier for hvert tiltaksscenario beregnet med utgangspunkt i verdier fra Tabell 4. og formel (1). EAD måles som forventet antall kjelleroversvømmelser per år.

	Dagens situasjon	For-drøyning for 30 år u.KF	For-drøyning for 30 år m.KF	Takfrak. med regnbed for 30 år u.KF	Takfrak. med regnbed for 30 år m.KF	Oppdim. Rør for 30 år u.KF	Oppdim. Rør for 30 år m.KF	Tilbakeslagsventil for 30 år u.KF	Tilbakeslagsventil for 30 år m.KF
EAD	0,312	0,173	0,000	0,173	0,000	0,168	0,000	0,180	0,000

for disse tilfellene. Da det er testet for største gjentakintervall på 100 år med dagens klima, er ikke dette kraftig nok i forhold til fremtidens 30-årsregn til at kjellere blir oversvømt.

EAD for fremtidens klima

I Tabell 6 er resultatene fra den hydrauliske analysen oppsummert for tiltakene dimensjonert for dagens 30-årsregn og 30-årsregn med klimafaktor. Oppgitte verdier er forventet antall kjelleroversvømmelser gitt gjentakintervall for regn vi har med fremtidens klima.

Basert på data i Tabell 6 og formel (1) er EAD for tiltakene beregnet. Kurvene viser resultater opp til 100-årsregn, men skulle ideelt sett blitt regnet ut også for høyere gjentakintervall. Bidragene fra regn med gjentakintervall større enn 100 år vil være minimale, da vi ser at kurvene

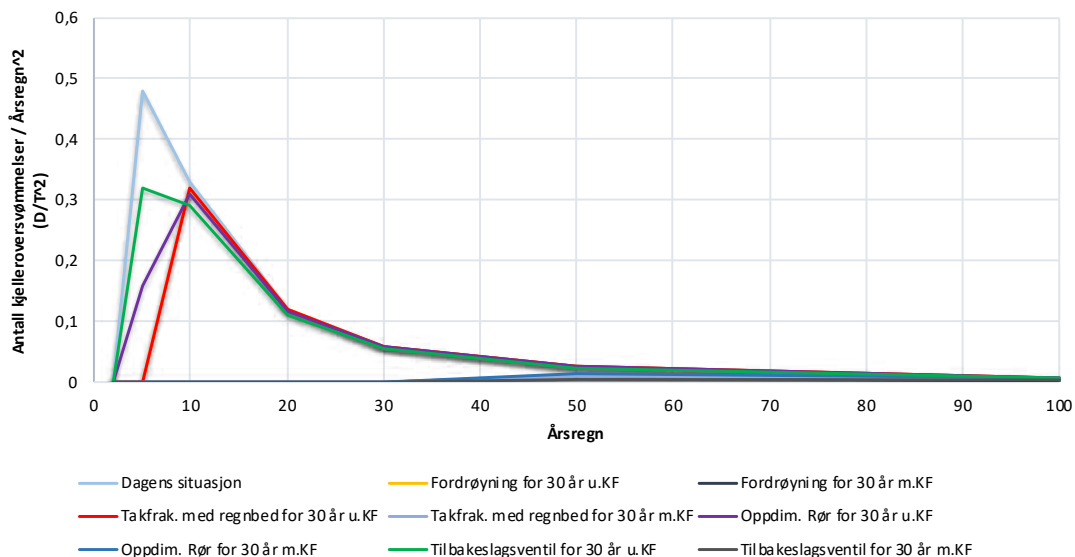
nærmer seg null ved høyere gjentakintervall. Figur 3 illustrerer EAD for fremtidens klima, gitt ved areal under kurver for hvert tiltaksscenario. Tilhørende EAD-verdiene er oppgitt i Tabell 7 og angir gjennomsnittlig antall kjelleroversvømmelser vi kan forvente per år.

Resultatene ovenfor presenterer situasjonen for fremtidens klima. Dersom det ikke implementeres overvannstiltak i avløpsnett, kan vi forvente ca. 7,6 kjelleroversvømmelser i snitt per år over en lengre periode. Dimensjoneres avløpsnett for 30-årsregn i dagens klima, ser vi en reduksjon i forventet antall årlige kjelleroversvømmelser, og det vil ligge i størrelsesordenen 5,5 - 6,4 kjelleroversvømmelser. Vi vil derimot få en betydelig større reduksjon dersom vi dimensjonerer for å imøtekomme et 30-årsregn i fremtidens klima med mellom 0,2 - 0,6 kjeller-

Tabell 6. Antall kjelleroversvømmelser gitt regn for fremtidens klima for ulike tiltak dimensjonert for 30-årsregn uten klimafaktor og med klimafaktor.

Antall kjelleroversvømmelser gitt fremtidens klima									
Årsregn	Dagens situasjon	For-drøyning for 30 år u.KF	For-drøyning for 30 år m.KF	Takfrak. med regn-bed for 30 år u.KF	Takfrak. med regn-bed for 30 år m.KF	Oppdim. Rør for 30 år u.KF	Oppdim. Rør for 30 år m.KF	Tilbake-slags ventil for 30 år u.KF	Tilbake-slags ventil for 30 år m.KF
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	12	0	0	0	0	4	0	8	0
10	33	32	0	32	0	31	0	29	0
20	48	48	0	48	0	47	0	44	0
30	54	54	0	54	0	54	0	50	0
50	65	64	28	65	25	65	35	61	11
100	80	80	46	80	55	80	62	76	26

Expected Annual Damage (EAD) gitt fremtidens klima



Figur 3. EAD gitt fremtidens klima for ulike tiltak dimensjonert for dagens 30-årsregn og fremtidens 30-årsregn. EAD måles som forventet antall kjelleroversvømmelser per år.

Tabell 7. EAD-verdier for hvert tiltaksscenario beregnet med utgangspunkt i verdier fra Tabell 6 og formel (1). EAD måles som forventet antall kjelleroversvømmelser per år.

	Dagens situasjon	For-drøyning for 30 år u.KF	For-drøyning for 30 år m.KF	Takfrak. med regn-bed for 30 år u.KF	Takfrak. med regn-bed for 30 år m.KF	Oppdim. Rør for 30 år u.KF	Oppdim. Rør for 30 år m.KF	Tilbake-slags ventil for 30 år u.KF	Tilbake-slags ventil for 30 år m.KF
EAD	7,605	5,596	0,507	5,610	0,488	6,150	0,645	6,432	0,219

oversvømmelser. I forhold til resultatene for dagens klima ser vi at skadepotensialet er mye større med fremtidens klima. Det kan også forventes skader for de scenariene der det er dimensjonert for fremtidens 30-årsregn. Dette fordi 50-årsregnet og 100-årsregnet er blitt kraftigere i løpet av perioden klimaet har endret seg.

Lønnsomhet

Netto nåverdi

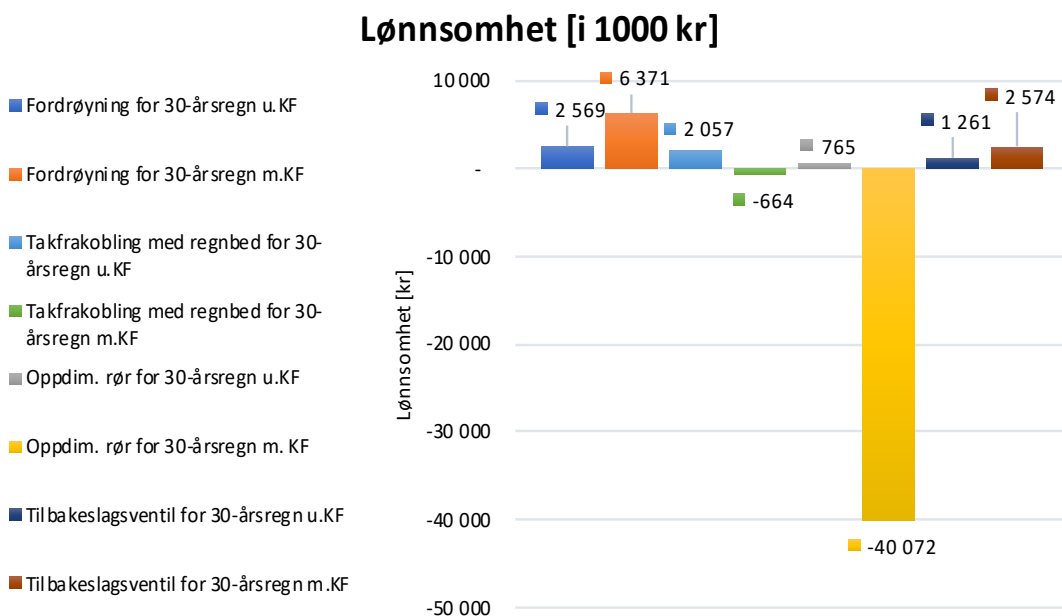
EAD for klimaet i dag og klimaet i fremtiden, danner grunnlaget for den økonomiske analysen, gitt en lineær skadeøkning som følge av klimaendringer. Resultatet av nåverdiregningene er presentert i Figur 4 i absolutt kroneverdi. I figuren fremkommer det ikke tydelig hvorvidt det lønner seg å dimensjonere for dagens skadesituasjon (uten klimafaktor), eller for å imøtekomme fremtidens klima (med klimafaktor). For "Fordrøyningsbasseng" og "Tilbakeslagsventil" viser Figur 4 at det kan være mer lønnsomt å dimensjonere med klimafaktor, mens det for "Takfrakobling med regnbed" og "Oppdimensjonering av rør", kan se ut som er mer lønnsomt å dimensjonere uten klimafaktor.

Netto nytte per budsjettkrone

Figur 5 viser et annet lønnsomhetsbilde enn Figur 4. Ser man på NNB, er det mindre lønnsomt å investere i klimatilpasningstiltak, enn å dimensjonere for potensielle skader som kan oppstå gitt dagens klima. Altså lønner det seg ikke å inkludere klimafaktor i dimensjoneringen, dersom NNB benyttes som beslutningskriterium fremfor NNV. Av figuren ser vi at dette gjelder alle tiltakene. Tallene for hver søyle kan leses som avkastningen vi får for hver krone vi investerer i tiltaket.

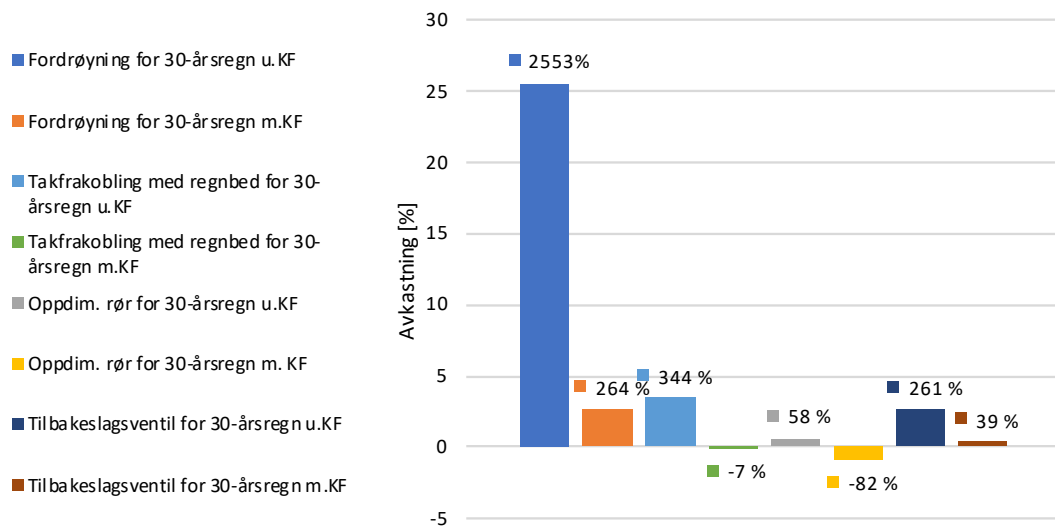
NNV vs. NNB

En studie gjort av Zhou et al. [28] konkluderte med at det burde argumenteres for å investere i tiltak dersom NNV er positiv. Positiv NNV gir kun en indikasjon på hvor mye man sitter igjen med av absolutt kroneverdi etter at tiltakets levetid er over. Lønnsomhet bør også ses i sammenheng med hvor mye ressurser som er brukt i tiltaket (NNB), noe som ikke fremkommer med NNV. Dersom NNV benyttes som beslutningsgrunnlag, vil store prosjekter være foretrukket fremfor mindre prosjekter. NNB vil



Figur 4. Lønnsomhet av tiltak presentert som absolutt kroneverdi - NNV.

Avkastning per krone i tiltaket [%]



Figur 5. Lønnsomhet av tiltak presentert som avkastning per krone (%) - NNB.

kunne eliminere størrelsen på prosjektene. Det finnes også ulemper ved bruk av NNB som beslutningsgrunnlag. NNB vil ikke ta hensyn til den totale nytten i prosjektet i absolutte termer, så selv om NNB er høy, betyr ikke det at nytten vil være tilsvarende høy som NNV [22].

NNV er nyttig for det formålet å finne ut om prosjektet er lønnsomt eller ikke. Dersom beslutningstaker har uendelig med midler til å investere, ville man investert i alle prosjekter med positiv NNV. Virkeligheten er at midler er begrenset, og bør derfor benyttes til de investeringsalternativer som vil gi mest igjen for pengene man har til rådighet [24]. På bakgrunn av det vil NNB derfor kunne være et bedre beslutningsgrunnlag enn NNV. NNV vil binde opp mer kapital til store prosjekter, heller enn å fordele tilsvarende kapital til mindre prosjekter med høyere NNB.

Fikse dagens problemer vs. forebygge for klimaendringer

Mange beslutningstakere baserer ofte i stor grad sine valg på konsekvenser av ekstreme hendelser, uten å vurdere sannsynligheten for at hendelsen inntreffer [4]. På den annen side er det å ta valg basert på risiko lettere sagt enn gjort.

Mange ønsker en sikkerhet mot skader, da skader som inntreffer vil få mer oppmerksomhet, enn skader som er forebygget. Til tross for at tiltak dimensjonert for å håndtere dagens skadesituasjon, vil gi en større avkastning, så må man godta at sannsynligheten for å få kjelleroversvømmelse er høyere.

Årsakene til at det er mer lønnsomt å fikse dagens problemer enn å forebygge konsekvenser av klimaendringer, er at mernytten av å oppdimensjonere avløpssystemet ytterligere er mindre enn merkostnaden. Dette stemmer godt med det som vises med EAD i Figur 3. Det er de små nedbørhendelsene som bidrar mest til de totale skadekostnadene over en lengre periode. Et regn med gjentaksintervall på 30 år med klimafaktor er veldig stort i.f.t 30 år uten klimafaktor. Figur 6 viser det akkumulerte skadepotensialet (EAD) i prosent ved økende gjentaksintervall, basert på data fra avløpssystemet uten at tiltak er gjennomført. Skadekurven er vist i forhold til fremtidens klima, og ikke dagens klima, for å få frem en tydelig logaritmisk form. Da det kun er gjort analyser for gjentaksintervall opp til 100 år, viser figuren at det akkumulerte skadepotensialet er 100 % ved dette gjentaksintervallet. I virkeligheten vil kurven

nærme seg 100 % når gjentakintervallet på regnet går mot uendelig. Skadedata med dagens klima ville fått den samme logaritmiske formen, men fremkommer ikke da gjentakintervallene brukt i denne analysen ikke er store nok til å forhindre at 20-årsregn gjør skade, kan vi forebygge ca. 65 % av skadene. Tilsvarende er det ca. 78 % for 30-årsregn og ca. 90 % for 50-årsregn.

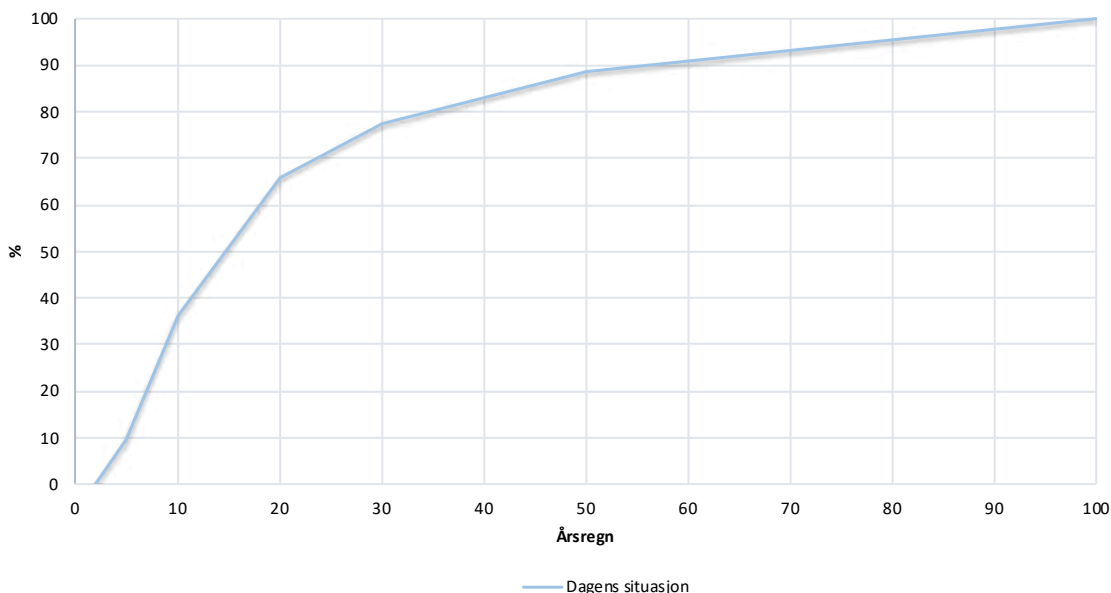
Ved å bruke NNV-metode for beregning av lønnsomhet igjennom tiltakets levetid, vil nåverdien for nytten og kostnader minke med tiden. Klimafaktoren på 1,5 vil ikke inntreffe med sin fulle størrelse før om 100 år, og bidraget til NNV fra det som skjer i siste halvdel av 100-årsperioden vil være relativt lite sammenliknet med det som skjer i første halvdel, litt avhengig av hvilken diskonteringsrente som benyttes. Det kan derfor fremstå som et paradoks at man skal hensynta klimafaktoren ved dimensjonering når den får såpass lite å si i en økonomisk analyse. Istedenfor å anlegge ledningsanlegg som skal ligge i bakken og vil være

dimensjonert for et 100 års perspektiv, vil det da kunne være fordelaktig å heller anlegge åpne LOD-tiltak på overflaten, som kan dimensjoneres for nærmeste framtid, men samtidig enkelt kan oppdimensjoneres med tiden dersom behovet oppstår. Hvordan man best tar hensyn til klimaendringer i nytte-kostnadsanalyser er et sentralt tema innen økonomi og noen argumenter for at det er samfunnsøkonomisk riktig å benytte en diskonteringsrente som synker med tiden, noe som vil øke bidraget til NNV fra den fjerne fremtiden [9].

Forutsetninger og usikkerheter

Forutsetningene for resultatene som ble funnet i denne oppgaven baserer seg på skadekostnadene forbundet med kjelleroversvømmelser alene. I tillegg til reduksjon i antall kjelleroversvømmelser, kan implementering av overvannstiltakene bidra til andre type nytter. Dette i form av mindre erosjonsskader, færre trafikkforsinkelser, mindre negativ påvirkning på helse og natur, rekreasjonsverdi i tiltakene, i tillegg til positive

Akkumulert skadepotensial ved økende gjentakintervall



Figur 6. Akkumulert skadepotensial ved økende gjentakintervall for dagens avløpssystem testet mot fremtidens klima. Kurven viser summen av EAD for hvert gjentakintervall opp til et gitt årsregn dividert med summen av EAD for alle gjentakintervall opp t.o.m. 100 år.

bieffekter som endring i økosystemtjenester. Ved å kun vurdere skadekostnadene fra kjelleroversvømmelsene, tar man ikke hensyn til at andre kostnadselementer, med betydelig større verdi, kan inntreffe ved høyere gjentakintervall. Dette kan være avgjørende i forhold til om det lønner seg å dimensjonere for høyere gjentakintervall enn utgangspunktet. Lønnsomhetsbildet kan altså endre seg ved også å ta hensyn til andre kostnadselementer.

Det skal bemerkes at det finnes usikkerheter knyttet til både data brukt i analysen og resultatene som har fremkommet. Modellen som ble brukt i den hydrauliske analysen var ikke kalibrert ved hjelp av målte og registrerte data. I studiet utført av Haugård [7] er det gjort følsomhetsanalyse som viser hvordan vannføringen påvirkes ved usikkerhet i parametere som ruhet, andel tette flater, gropmagasiner og delfeltenes konsentrasjonstid. Usikkerheten i disse parametrene kan være utslagsgivende for om det vil oppstå kjelleroversvømmelse eller ikke. En annen usikkerhet ligger i hvorvidt de modellerte tiltakene representerer de virkelige tiltakene. Tiltakene er modellert til dels grovt, noe som har vært nødvendig for enkelhets skyld. Utløps-hydrogrammene fra de modellerte tiltakene vil da kunne avvike noe fra reelle tiltak.

I tillegg er det også knyttet usikkerhet hva gjelder kostnadsanalysen. Det settes spørsmåltegn ved hvorvidt enhetskostnadene som ble brukt var reelle verdier, da disse kan variere stort avhengig av ulike forhold. Innen økonomi er også en 100 års periode et langt perspektiv å vurdere alternativer på. I løpet av en så lang periode kan mye skje med økonomien, noe som gjør at prosjekter som tidligere var lønnsomme ikke nødvendigvis er det lenger, eller motsatt. Ny teknologi og nye effektive løsninger kan ha kommet i løpet av denne tiden som løser de samme problemene og utfordringene. Dette taler også for at det ikke burde anlegges løsninger med lang levetid.

Konklusjon

Denne artikkelen har presentert et forslag til metode som kan benyttes for å vurdere kost-

nadseffektiviteten til overvannstiltak ved et klima i endring. Metoden er basert på nytte-kostnadsanalyse der man tar hensyn til nåverdien av investeringskostnader, driftskostnader og statistisk forventede skadekostnader. Analysen er omfattende og de fleste inndataene har usikkerhet knyttet til seg, men metoden har potensiale til å gi et bedre beslutningsgrunnlag enn man vanligvis har ved valg av overvannstiltak. Resultatene fra å benytte metoden i case-studien antyder at det finnes situasjoner der det kan være mest lønnsomt å utelate klimafaktor i dimensjoneringen. Dette forutsetter at man også bruker netto nytte per budsjettkrone som beslutningsgrunnlag, slik det er argumentert for i denne artikkelen. Dette vil gi mest igjen for de midler man har til rådighet. Ved å ikke binde opp alle midlene i et stort prosjekt, har man også mulighet til å fordele midlene til mindre prosjekter, der prioriterte prosjekter blir rangert fra høy avkastning til lav avkastning. En slik metode vil kunne gi høyere nytte-kostnadsforhold på prosjektporteføljen med begrensede midler.

Forslag til videre arbeid

Konklusjonen fra denne artikkelen gir ikke anbefalinger om at man ikke skal ta med klimafaktor i dimensjoneringskriteriene, da flere faktorer enn lønnsomhet må vurderes. Konklusjonen belyser derimot at "mikro"-tiltak flere steder som håndterer mindre mengde regn, kan være mer lønnsomt enn store tiltak færre steder som håndterer kraftigere regn, dersom man har avsatt midler som kan benyttes til det formålet å håndtere overvann.

For senere arbeid ville det være interessant å studere om metoden gjelder for andre typer felt og ved å inkludere andre samfunnsøkonomiske kostnadselementer. Feltet som ble studert i denne analysen var et tettbebyggt strøk, preget av hovedsaklig eneboliger med mye grønne flater, og lå oppstrøms i nedbørsfeltet. Hvordan ville resultatene artet seg i eksempelvis sentrumslignende områder, som vi kan finne i byer der tettheten på verdi er større, og der området ligger nedstrøms i et felt? Senere studier bør også tar mer hensyn til usikkerheten i inndataene, og få

redusert disse til en viss grad ved eksempelvis kalibrering av modell. Det ville også vært interessant å se effekten av økonomenes anbefaling når det gjelder valg av (ev. synkende) diskonteringsrente.

Forfatterbidrag: Konseptualisering, P.Å.S.H.; Forskning, P.Å.S.H.; Prosjektadministrasjon, P.Å.S.H.; Veiledning og metodikk, O.G.L., V.N. og J.K.; Skrivning, gjennomgang og redigering, P.Å.S.H., O.G.L. V.N., og J.K.

Takk: Forfatteren ønsker å rette en takk til Vann- og avløpsetaten ved Samatar Abdi og Bent Braskerud, med bidrag innen hydraulisk analyse, tilgjengelige data, kunnskap om overvannshåndtering, samt gjennomsyn og tilbakemeldinger til artikkelen. Det rettes også en stor takk til Jarle Bjerkholt fra USN for sine kommentarer, gjennomsyn og oppbygging av artikkelen. Det rettes også en takk til en anonym fagfelle som har bidratt til å forbedre artikkelen.

Referanser

- Aaby, N. (2017). MFT, Daglig Leder. Tilbakeslagsvenntil i bygninger. Personlig meddelelse (Mail: 04.04.17).
- Aqua ROSIM AS (2017). Kartdatabase fra Gemini VA i ROSIE-software.
- Bekkum, I. (2012). Analyse av klimatilpasningstiltak – En casestudie av overvannsnettet på Bogafjell i Sandnes kommune. Masteroppgave. Ås: Universitet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Bohnenblust, H.; Slovic, P. (1998). Intergrating technical analysis and public values in risk-based decision making. *Relia. Eng. Syst. Saf.* 59 (1), 151-159.
- Direktoratet for økonomistyring. (2018). Veileder i samfunnsøkonomiske analyser. s.127.
- FNO. (2019). VASK - Vannskadestatistikk. Tilgjengelig fra: <https://www.finansnorge.no/statistikk/skadeforsikring/vask/> (lest 21.01.2019).
- Haugård, P.Å. (2017). Analyse av lønnsomhet for overvannstiltak – En casestudie av avløpsnettet ved Grefsen, Oslo kommune. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Hoven, L.E., Bramslev, J.P., Sælthun, N.R., Valla, T., Flatlandsmo, I. (2018). Klimatilpassing: Kost/Nytte-analyse for overvannstiltak langs vei. Tekn. rapp. Oslo: Multiconsult.
- Kenneth J. Arrow, Maureen L. Cropper, Christian Gollier, Ben Groom, Geoffrey M. Heal, Richard G. Newell, William D. Nordhaus, Robert S. Pindyck, William A. Pizer, Paul R. Portney, Thomas Sterner, Richard S. J. Tol, Martin L. Weitzman, Should Governments Use a Declining Discount Rate in Project Analysis?, *Review of Environmental Economics and Policy*, Volume 8, Issue 2, Summer 2014, Pages 145–163, <https://doi.org/10.1093/reep/reu008>
- Lindholm, O. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann rapport, b. 162, 2008. Hamar: Norsk Vann BA, s.79.
- Lindholm, O. og Bjerkholt, J.T. (2007). Dimensioning of Sewerage and Drainage Systems in the Nordic Countries. Vann-2-2007. Hamar: Norsk Vann.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. and Reinvang, R. (2015). Kostnader og nytte ved overvannstiltak. COWI. Rapport 2015/02. s.12, 37-38, 63.
- Merz, B.; Elmer, F.; Thieken, A.H. (2009). Significance of “high probability/low damage” versus “low probability/high damage” flood events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*. 9. s.1033-1046.
- Meteorologisk institutt MET. Nedbørsdata for Oslo – Blindern. Tilgjengelig på nett: www.eKlima.no (besøkt: 15. Februar 2017).
- Mosbæk, L. (2016). Virkningen av etterinstallering av LOD-tiltak i Mysen, Eidsberg kommune. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Myking, J.S.E. (2012). Analyse av klimatilpasningstiltak – En casestudie av avløpsnettet i Veumdalen, Fredrikstad kommune. Masteroppgave. Ås: Universitetet for miljø- og biovitenskap, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- NORVAR. (2004). Kurskompendium etterutdanningskurs. «Reduksjon av oversvømmelser – Planlegging, dimensjonering, drift og vedlikehold av overvanns- og avløpsnettet».
- Olsen, A.S., Zhou, Q., Linde, J.J. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2015). Comparing methods of calculating expected annual damage in urban pluvial flood risk assessments. *Water (Switzerland)*.

19. Paus, K.H., Braskerud, B.C. (2013). Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. Dimensjonering av regnbed.
20. Ross, S.A., Westerfield, R.W., Jordan, B.D. (2014). Essentials of corporate finance, eighth edition. McGraw-Hill/Irwin. s.132, 240.
21. Saksæther, V. og Kihlgren, K.S. (2012). Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse. s.61.
22. Sartori, D., Catalano, G., Genco, M., Pancotti, C., Sirtori, E., Vignetti, S. and Bo, C.D. (2014). Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects. Economic appraisal tool for Cohesion Policy 2014-2020. *European Commission*. s.333-335
23. SSB. (2017). Konsumprisindeksen, mars 2017. Tilgjengelig: <https://www.ssb.no/kpi?fokus=true> (Besøkt: 20.04.17).
24. Statens vegvesen. (2018). Konsekvensanalyser. Håndbok V712. Vegdirektoratet 2018. s.50-51.
25. Torgersen, G. og Navrud, S. (2018). Singing in the rain: Valuing the economic benefits of avoiding insecurity from urban flooding. *J Flood Risk Management*. 2018;11:e12338. <https://doi.org/10.1111/jfr3.12338>
26. Vann- og avløpsetaten, VAV. (2013). Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Delmål og tiltak. s.15, 22-23, 28, 39.
27. Zhou, Q.; Mikkelsen, P.S.; Halsnæs, K.; Arnbjerg-Nielsen. (2012). Framework for economic pluvial flood risk assessment considering climate change effect and adaptation benefits. *Journal of Hydrology*. 414-415. s.539-549.
28. Zhou, Q., Panduro, T.E., Thorsen, B.J. og Arnbjerg-Nielsen, K. (2013). Adaption to extreme rainfall with open urban drainage system: An integrated hydrological cost-benefit analysis. *Environmental Management*.