

Brukerfinansiert klimaberedskap? En beregningsmodell for overvannsgebyr i Oslo

Av David N. Barton, Zander S. Venter, Nils Roar Sælthun,
Ingvild Skumlien Furuseth og Isabel Seifert-Dähnn

David N. Barton (Ph.D) er seniorforsker ved Norsk institutt for naturforskning (NINA).

Zander S. Venter (Ph.D) er forsker ved Norsk institutt for naturforskning (NINA).

Nils Roar Sælthun er professor i geofag ved Universitetet i Oslo (UiO).

Ingvild Skumlien Furuseth (M.Sc) er forskningsassistent ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Isabel Seifert-Dähnn (Ph.D) er seniorforsker ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Summary

A stormwater fee for Oslo? A computational approach to user financed climate readiness. Stormwater fee systems constitute a potential policy instrument for user financed climate readiness in Norwegian cities. Stormwater fees can contribute to operation and future maintenance requirements of stormwater networks and wastewater treatment required with climate change. However, stormwater fees calibrated to a property's stormwater runoff has been criticized for being too complex and expensive to compute. In this paper we show how stormwater fees can be computed for a whole city's built area adjusted to local property run-off conditions. We demonstrate how a property specific fee can be calculated for all properties in Oslo through the combination of detailed landuse maps, a simple but bespoke hydrological model, estimates of current and expected costs of stormwater networks and treatment due to climate change towards 2040. Calculations are carried out in an online web application in Google Earth Engine. The application makes it possible for the property owner to test the effect of different LID measures on run-off and stormwater fees,

providing support for the choice of optimal measures and cost savings. We compare the characteristics of the stormwater fee for Oslo with international experiences from other cities and discuss further technical and practical improvements needed to achieve good stormwater management in a future climate. Our work shows that computation costs are not an important argument against introduction of a user differentiated stormwater fee.

Sammendrag

Overvannsgebyr er et mulig virkemiddel for brukerfinansiert klimaberedskap i norske byer. Et slikt gebyr kan bidra økonomisk til drift og fremtidige investerings- og vedlikeholdsbehov av overvannsnettverk og -renseanlegg. Det kan også være et insentiv til lokale overvannstiltak. Imidlertid blir overvannsgebyr som blir beregnet etter tomtens overvannsproduksjon kritisert for å være for komplisert og ha for høye beregningskostnader. I denne artikkelen viser vi hvordan overvannsgebyr kan beregnes for byggesonen som helhet og justeres etter lokale tomteforhold. Vi viser hvordan overvannsgebyr kan beregnes

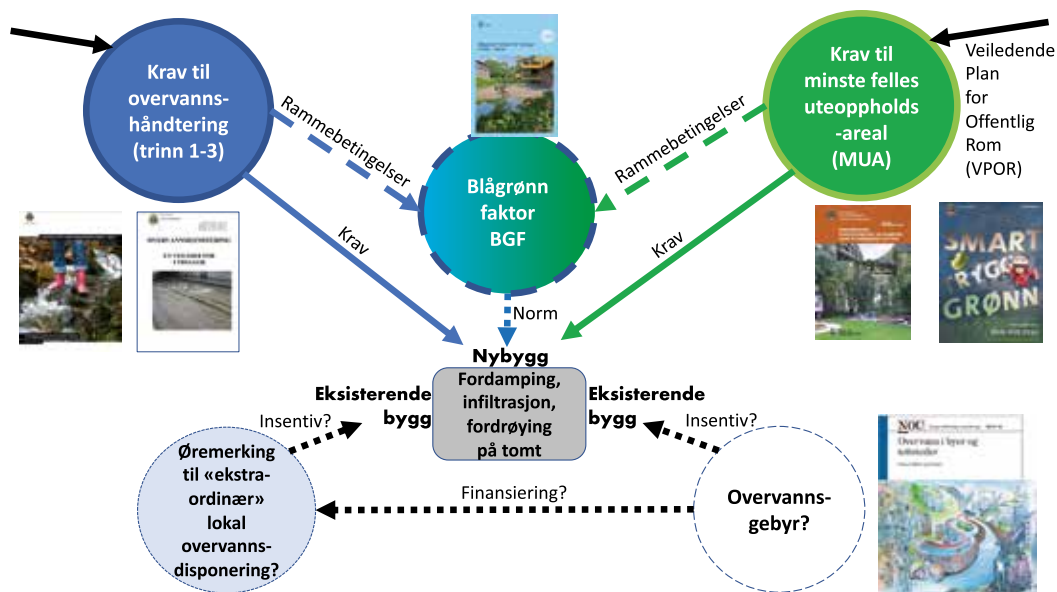
for alle tomter i Oslo ved å sammenstille detaljerte arealkart for byggesonen med en enkel hydrologisk modell og beregning av rensekostnader for overvann. Rensekostnadene inkluderer oppgradering av overvannsnettverket og tar høyde for forventet klima i 2040. Beregningsresultatene vises i en online web-applikasjon på plattformen [Google Earth Engine](#). Applikasjonen gjør det mulig for tomteeier å teste effekten av LOD-tiltak på avrenning og overvannsgebyr. Dette vil lette valg av optimale tiltak og vurdering av innsparinger på overvannsgebyret ved egne tiltak på tomten. Vi sammenligner egenskapene ved overvannsgebyret beregnet for Oslo med internasjonale erfaringer fra andre byer, og diskuterer tekniske forbedringer og praktisk gjennomførbarhet for å oppnå god overvannshåndtering og klimaberedskap. Vi viser at beregningskostnader ikke er et viktig argument mot innføring av et brukerdifferensiert overvannsgebyr.

Innledning

Norsk Vann har beregnet et betydelig finansieringsbehov for oppgradering av avløpsnettverket og overvannsbehandling i Oslo for å kunne

håndtere nedbørmengder som forventes frem til 2040 (Rostad, 2017). I beregningsperioden 2016-2040 er kostnadsbehovet til avløpsnettverket beregnet til 4,63 milliarder kroner (245 millioner kroner/år, 2 % rente), mens økt rensekapasitet er beregnet til 994 millioner kroner, eller 53 millioner kroner/år over den samme perioden. Hvis et slikt investeringsbehov for klimaberedskap skal finansieres etter selvkostprinsippet gjennom brukerbetaling, må kostnadene fordeles på en transparent og troverdig måte mellom tomteeiere med arealer som produserer overvann. Selv om kommuner har fått større juridiske muligheter til å forebygge vannskader, var Solberg-regjeringen skeptisk til overvannsgebyrer fordi det ble oppfattet som et nytt skatte- og avgiftsnivå, snarere enn at man skiller ut overvannshåndtering fra VA-avgiften av prinsipielle og praktiske årsaker (Danbolt 2018).

I denne artikkelen tester vi en beregningsmetode for overvannsgebyr som kan være billig, rettferdig og effektivt ift. internasjonale erfaringer. Et overvannsgebyr kan ha to gjensidig forsterkende og positive roller i kommunens virkemiddelmiks for klimaberedskap (Figur 1). Vi kan bruke Oslo som eksempel. *Veiledende*



Figur 1. Kommunens krav til overvannshåndtering og uteoppholdsareal i nybygg kan møtes i BGF. Et overvannsgebyr kan fremme bruken av blågrønne løsninger i eksisterende bebyggelse.

Planer for Offentlig Rom (VPOR) og krav til minimums-areal for felles uteopphold bidrar til å sikre fordøynings- og infiltrasjonsarealer på tomten og i nabolaget. Oslos *Strategi for Overvannshåndtering* og *Overvannshåndtering Veileder for Utbygger* stiller krav til tomtens samlede evne til fordamping infiltrasjon og fordøynings. *Blågrønn faktor* (BGF) normen gir ytterligere insentiver til å håndtere overvann med blågrønne overflater og strukturer (f.eks. grønne tak og trær) på nye boligtomter, og sikrer også andre økosystemtjenester (Stange m.fl. 2021). Et fast overvannsgebyr kan bidra til finansiering av ekstraordinære tiltak for lokal overvannsdisponering (LOD) på både nye og eksisterende tomter. Dette vil bidra til økt klimaberedskap og redusert behov for oppgradering av kommunal overvanninfrastruktur. Avhengig av utforming kan en variabel del i et overvannsgebyr også gi et insentiv til tomteeier til økt bruk av blågrønne LOD tiltak.

NoU 2015:16 vurderer fordeler og ulemper ved overvannsgebyr (NOU, 2015). Blant fordelene trekkes frem bidrag til (i) brukerbetaling, at det (ii) ikke konkurrerer med andre interesser, (iii) er egnet som bidrag til drift og vedlikehold etter selvkostprinsippet, og (iv) er et insentiv for tomteeiere til å etablere lokale overvannstiltak. Ulempene ved overvannsgebyr er vurdert som (i) høye administrative kostnader for variabel del; (ii) stort informasjons- og databehandlingsbehov; (iii) fare for klager på pris og tjenestekvalitet; og (iv) liten kunnskap om befolkningens betalingsvillighet, jf. insentiv for lokale overvannstiltak.

I denne artikkelen viser vi at informasjons- og databehandlingsbehovet kan løses ved å bruke kommunal beregning ved hjelp av fjernmålingsdata og GIS, med en påfølgende distribuert oppdatering og selvrapportering av tomteeiere. Videre sannsynliggjør vi at høye administrasjonskostnader for variabel del kan reduseres ved at den beregnes sentralt basert på fjernmålt arealdekk (arealbruk; tette og permeable flater), som kan korrigeres gjennom selvrapportering. I den forstand ligner prosessen på en selvangivelse for skattegrunnlag, der myndighetene anslår inntekt og kapital for skatteyteren

basert på innrapportert inntekt. I overvannsgebyret vi drøfter i denne artikkelen anslår kommunen overvannsproduksjonen og infrastrukturen på tomten basert på fjernmålt arealdekk. Tomteeier har så anledning til å korrigere dersom de faktiske forhold avviker fra kommunens beregninger. Det påligger tomteeier å etterkontrollere den generelle beregningen. Dermed reduseres administrasjonskostnadene for variabel del. Vi presenterer en løsning for den kommunale beregningen av overvannsproduksjon og overvannsgebyr per tomt, noe som hittil har manglet.

Artikkelen er strukturert ved at vi først legger frem internasjonale erfaringer med overvannsgebyrer basert på tre sentrale vurderingskriterier (informasjonskostnad, rettferdighet og insentiv-effekt). Videre diskuterer vi metoden for beregningene (med teknisk beskrivelse i vedlegg), og viser deretter resultatene fra beregning av Google Earth Engine-modellen.

Til slutt foretas en sammenligning av modellen med internasjonale erfaringer og skisserer videre utredningsbehov.

Internasjonale erfaringer med overvannsgebyrer

USA har lengst erfaring med overvannsgebyrer ettersom de ble tatt i bruk av kommuner så tidlig som på midten av 1960-tallet (Chalfant, 2018). I Tyskland førte bestemmelser på føderalt og delstatsnivå om mer gjennomsliktig og rettferdige metoder for finansiering av overvannstjenester til innføring av overvannsgebyrer på 1970-tallet. I litteraturen rapporteres det om erfaringer også fra Australia, Canada, Ecuador, Frankrike, Polen, Latvia, Russland, Danmark, England, Wales, Sverige og Sveits (Keeley, 2007; Kondratenko et al., 2021.; Tasca et al., 2018). I Frankrike er overvannsgebyrer blitt utviklet igjen på grunn av politiske utfordringer (Tasca et al., 2019). I Tyskland er overvannsgebyrer trukket for retten på grunn av anklager om manglende etterprøvningsbarhet og rettferdighet i beregningsmetoden (Keeley, 2007).

Brukeravgifter kan generelt deles inn i tre kategorier; (i) flat, (ii) trinnvis eller (iii) variabel.

Flate avgiftssystemer har et fast beløp for bruk av kommunalt overvannssystem. Hovedfordelen er lavere administrasjonskostnader sammenlignet med trinnvise og variable systemer. Ulempen er at avgiften ikke er knyttet til mengden overvann fra den individuelle eiendommen (Aladesote, 2019; Fedorchak et al., 2017). I flere rettsaker i USA er kommunale tjenesteleverandørers muligheter til å bruke flate overvannsgebyrer blitt utfordret fordi de fungerer på samme måte som en skatt (Black&Veatch, n.d.; Campbell, 2019; NACWA, 2016; Tasca et al., 2018b). Formålet og nytten ved overvannsgebyr, samt forholdsmessigheten mellom kostnader og inntekter, ble ofte brukt som kriterier i disse sakene for å avgjøre om det er avgift eller skatt. I flere tilfeller avgjorde retten at det var å betrakte som en brukeravgift (NACWA, 2016).

I trinnvise avgiftssystemer betales avgiften i forhold til kategorier som reflekterer bruksomfang indirekte, for eksempel indikert med eiendomsstørrelse (Zhao et al., 2019). I et helt variabelt system betaler bruker direkte i forhold til volum overvann som sendes til det kommunale nettverket. I praksis bruker de fleste systemene ett trinnvis system basert på indikatorer på avrenning av overvann, fremfor faktiske overvannsberegninger, eller -målinger. I Tyskland er beregninger av overvannsvolum basert på hvor hyppig kommunale system går i overløp, eller andel tette flater på en eiendom (Zhang, 1998). Riga (Latvia) og St. Petersburg (Russland) har også innført avgifter basert på tilført volum til kommunale overvannsnettverk (Kondratenko et al., 2021). I Stockholm (Sverige) betaler tomteeiere overvannsgebyr i forhold til antall m² med tette flater, i tillegg til avslag for implementering av lokale overvannstiltak. I Finland har flere varianter blitt tatt i bruk. I Tampere betales overvannsgebyr i forhold til arealbrukskategorier og størrelse (Tampere City 2021). I Helsinki gjøres det i henhold til type leverte tjenester, arealbrukskategori og størrelse (HSY 2021a,b). I USA er det vanligste systemet Equivalent Residential Unit (ERU). ERU er beregnet på gjennomsnittlig avrenning fra tette flater for hver boligtype i et nabolag, og så skalert

til arealet med tetteflater på hver enkelt tomt. For tomter som ikke er til boligformål, vurderes tetteflater individuelt (Tasca et al., 2019).

Det finnes en rekke forslag til trinnvise og variable overvannsgebyrer med større eller mindre grad av kompleksitet, som kombinerer elementer av ulike tilnærminger (Zhao et al., 2019; Tasca et al., 2018). I Tabell 1 sammenligner vi systemer basert på litteraturen i forhold til:

- K: Beregningskompleksitet og informasjonskostnad
- R: Rettferdighet definert som hvor nær sammenheng det er mellom avgift og overvannsansvar;
- I: Insentiveffekt til tomteeier for å implementere lokale overvannstiltak

Den kvalitative sammenligningen er basert på vår egen vurdering av funn i litteraturen.

Overvannsgebyrer basert på drikkevannsforbruk (WU-metoden) antar at dette er korrelert med impermeabelt areal på tomten. En lignende tilnærming er anvendt for drikkevannsforbruk når målepunkt ikke er tilgjengelig. WU-metoden er svært forenklet og kan feilberegne i situasjoner med tettbyggdhet (små avrenningsarealer, men høyt vannforbruk). TPA-metoden korrigerer for dette ved å basere avgiftsberegningene på tomteareal. Imidlertid kan dette også oppleves som urettferdig, ettersom avgiften ikke har sammenheng med tomtens arealegenskaper som genererer overvann. Hverken WU eller TPA henger sammen med overvannsproduksjon på tomten, og de har derfor ingen insentiveffekter i forhold til innføring av lokale LOD-tiltak.

REF-metoden er også enkel å beregne, men noe mer avansert enn de foregående ettersom den skiller på arealbruk og anvendelse. I politiske debatter om overvannsgebyr vil prinsippet om at «forurenser betaler» muligens ikke legges til grunn som rettferdighetskriterium. En enklere rettferdighetsvurdering vil være likhet i gebyrfordeling på tvers av husstanders sosioøkonomiske status, spesielt om overvannsgebyret er høyt sammenlignet med andre sammenlignings-

Tabell 1. Ulike tilnærminger til variable overvannsgebyrer vurdert ift. beregningskompleksitet og kostnader ved beregningskompleksitet (K), Rettferdighet (R), og insentiveffekt (I)

Type (engelsk)	Avgiftsgrunnlag	Vurderingskriterie		
		K	R	I
Water usage (WU)	Drikkevannsforbruk	lav	ingen	ingen
Total property area (TPA)	Totalt tomteareal	lav	ingen	ingen
Residential equivalent factor (REF)	Faktor ift. forventet avrenning fra enebolig med standard tomt for en spesifikk nedbørhendelse.	lav	lav	ingen
Development intensity (DI)	Tomtearealet andel tette flater og tettbygdhet i nabolaget (ubebygget, lav, middels, høy, svært høy tetthet)	middels	middels	lav
Equivalent residential unit (ERU) / Equivalent stormwater unit (ESU).	Gjennomsnittelig andel tette flater for boligområder i et nabolag / en by, skalert til andel tett flate på tomten	middels	middels	lav
Equivalent hydraulic area (EHA)	Proporsjonal med avrenning beregnet fra andel tette og permeable flater på tomten	høy	høy	middels
Hydrological Alternative (HA)	Proporsjonal med avrenning beregnet tomtens hydrologiske egenskaper (jordtype, topografi, tette flater, permeable flater, vegetasjonsdekke og type, trekroner)	svært høy	svært høy	høy

Kilde: Tilpasset fra Tasca et al. (2018a), Kea et al. (2016) and Zhao et al. (2019).

grunnlag (f.eks. kommunale renovasjonsgebyrer, miljøavgifter).

Ettersom tomteeiere ikke kan endre på arealbruksklassifiseringen gir ikke REF noen videre insentiver til lokale LOD-tiltak. Derimot identifiserer DI-, ERU- and ESU-metodene andel tette flater, noe som kan endres av tomteeier for å redusere avrenning. Kea et al., (2016) observerte at et overvannsgebyr differensiert etter andel tette flater (ERU) var vanligere i byer med større befolkningstetthet i USA, mens flate gebyr per tomt var vanlig i mindre byer. Overvannsavgifter differensiert etter overvannsproduksjon var vanligere i kommuner med høye eiendomsverdier, mens flate gebyrer var vanlig i områder med lavere eiendomsverdier.

Insentiveffekten er likevel relativt liten fordi den ikke vurderer ulike kvaliteter på LOD-tiltak. Disse metodene har vi vurdert som middels krevende å beregne. De er også vurdert til middels rettferdige fordi de gjør en viss justering i forhold til tomtens beskaffenhet. EHA-metoden ligner på de foregående, men tar også i betraktning gjennomsnittlig avrenning fra permeable flater, med noe høyere rettferdighet og insentiveffekt. EHA-metoden kan beregnes utelukkende ved hjelp av fjernmålingsdata.

HA-metoden går lengst i å beskrive avrenningsegenskapene til ulike LOD-tiltak på en tomt. Den vurderes derfor til å ha høyest kompleksitet, men også høyest rettferdighet og insentiveffekt fordi den nettopp tar høyde for detaljerte tomteegenskaper og lokal innsats. Detaljeringsnivået i HA kan til en viss grad observeres med fjernmålingsdata, men små LOD-tiltak på f.eks. <10 m² kan ikke detekteres, og data må tilføres av tomteeier eller ved inspeksjon.

Beregningsmåten fra Oslo som diskuteres i denne artikkelen er et eksempel på Hydrological Approach (HA). Vi viser hvordan beregningskompleksiteten kan reduseres og dermed redusere avveiningen mellom rettferdighet, insentiveffekt og informasjonskostnader som er tydelige på tvers av systemene i Tabell 1.

Hvilke muligheter har disse systemene til å dekke inn selvkost til kommunal infrastruktur og behandling knyttet til overvann? Hva dekkes av selvkostprinsippet? Det er lite informasjon i den internasjonale litteraturen om hvilke kostnader som inngår i overvannsgebyrer i de ulike byene. I mange byer i USA rapporteres det om at inntektene fra overvannsgebyrer ikke er tilstrekkelig til å dekke investering, vedlikehold og

administrasjonskostnader (Zhao et al., 2019). Black & Veatch (2021) fant at i 95 % av de amerikanske VA-selskapene som deltok i undersøkelsen, stod overvannsgebyrer for over 75 % av inntektene. Bare 23 % rapporterte om tilstrekkelige inntekter for å dekke alle drifts- og vedlikeholdskostnadene knyttet til overvann. Anvendelse av inntektene fra overvannsgebyrer varierte mellom byer (Chalfant, 2018, Black & Veatch 2021). Mer enn 90 % av VA-selskapene budsjetterte for identifisering og eliminering av ulovlig avløp, samt inspeksjoner, offentlig opplæring og informasjon, habitatrestaurering, erosjon- og sedimentkontroll, og vedlikehold av separerte overvannsledninger. Mer enn 80 % budsjetterte for vannkvalitetsovervåkning, vedlikehold av innløp/utløp, overvåkning, planlegging og prosjektering før, under og etter anleggsprosjekter, mens mer enn 66 % budsjetterte med gatefeiling og vedlikehold av felles avløp (spillvann og overvann i samme rør). Hvis selskapene hadde tilstrekkelige inntekter, ble midler fra overvannsgebyrer også anvendt på vannkvalitetsforbedring og flomsikring i 20 % av VA-selskapene (Black & Veatch 2021). Litteraturen viser at det i praksis er vanskelig å skille kostnadene for overvannstjenester fra kostnader til avløpsbehandling, forurensningskontroll, flomhåndtering og arealforvaltning (Tasca et al., 2018). Dette er tilfelle spesielt i områder med felles overvann- og avløpsrør. Det har vist seg vanskelig å beregne overvannsgebyrer som er proporsjonale til forurensningsansvaret til individuelle tomteiere (Sahib, 2020; Tasca et al., 2018b). Selv om kostnader til forurensningskontroll og nedstrøms habitatrehabilitering og flomkontroll ble dekket av noen VA-selskap, fant vi ikke konkrete eksempler fra litteraturen som viste at slike kostnader ble dekket av overvannsgebyr i henhold til «forurenser betaler»-prinsippet, uten at vi skal utelukke at de gjør det. Vi fant heller ingen eksempler på eksplisitt beregning av kostnader forbundet med fremtidig klimatilpasning av systemet (selv om det nok medregnes til en viss grad i dimensjonering av investeringer).

I denne artikkelen viser vi hvordan dagens merkostnader for overvann i avløpsrenseverk

og fremtidige investeringskostnader til klimatilpasning i rense- og ledningskapasitet kan beregnes, samt beregning av miljøkostnader for restnæringssalter som slippes til vannmiljø uten rensing.

Materiale og metode

Beregningene av overvannsgebyr er implementert i en online web-applikasjon: <https://nina.earthengine.app/view/new-waterways>. I dette avsnittet dokumenterer vi modellapplikasjoner og data som er brukt.

Modellering av overvannsproduksjon

Litteraturen manglet en hydrologisk beregningsmetode som tar for seg hele arealet i en byggesone, og som kan differensiere relativt overvannsansvar på eiendomsnivå, samtidig som den ikke krever kalibrering med lange hydrologiske tidsserier. Vi utviklet derfor en hydrologisk modell (REO) for beregning av overvannsavrenning på årsbasis på eiendomsnivå, som beregningsgrunnlag for variabel del av kommunale overvannsgebyr. Modellen er også enkel nok til at den kan implementeres i en online GIS-kartløsning basert på lett tilgjengelige kartlag over arealbruk og detaljert nok til å identifisere ansvaret på eiendomsnivå for 'overvannsproduksjon'. R i REO indikerer at modellen er bygd rundt den rasjonale formel (se for eksempel Paus, 2020). Arealbrukstypene som ble modellert er kompatible med tiltak i Oslo kommunes metode for BlåGrønn Faktor (Tabell 2). Modellen estimerer overflateavrenning fra urbane felt, både under flomtopp og totalavrenning. Estimert totalavrenning per år per tomt, som andel av totalavrenning i nedbørfeltet, brukes som nøkkel for å fordele overvannskostnadene på hver enkelt tomt. Beregning av flomtopp fra eiendommen kan brukes for å validere modellparameterne med feltforsøk.

For å anvende modellen som fordelingsnøkkel for overvannskostnader, må beregningene av årlig relativ avrenning per tomt være troverdig. Det er av mindre betydning at avrenning i absolutte tall er nøyaktig (selv om det vil øke påliteligheten av REO som helhet). I oppsettet for

Tabell 2. Arealtyper og avrenningskoeffisienter i REO hydrologisk modell

Arealtype	Avrenningskoeffisient c		Avrenningskoeffisient φ		Manningtall	
	Typisk	Intervall	Typisk	Intervall	Typisk	Intervall
Tak	0.95	0.8–1.0	0.8	0.5–0.9	90	70–100
Tette flater	0.85	0.7–1.0	0.6	0.5–0.8	90	70–100
Tette flater, trekroner	0.7	0.6–0.8	0.5	0.4–0.6	90	70–100
Delvis åpne flater	0.6	0.3–0.8	0.4	0.2–0.6	50	35–85
Permeable flater	0.1	0.01–0.5	0.02	0.0–0.1	10	1.2–15
Skog	0.1	0.01–0.5	0.01	0.0–0.1	5	1.2–15
Grønne tak 2-39 cm	0.4	0.3–0.8	0.3	0.2–0.6	10	7–30
Grønne tak 40-79 cm	0.3	0.2–0.6	0.2	0.1–0.4	10	7–30
Grønne tak >80 cm	0.2	0.1–0.4	0.05	0.01–0.1	10	7–30
Regnbed	0.05	0.01–0.2	0.01	0.01–0.1		
Terrengforsenkning	0.1	0.01–0.3	0.02	0.02–0.2		
Vadi	0.6	0.4–0.8	0.4	0.2–0.6	37	25–50

REO er det årlige overflateavrenningsvolumet (mm/år) bare estimert som årsnedbør multiplisert med volumavrenningskoeffisienten φ (Tabell 2). Det innebærer at overflateavrenningen bare blir en funksjon av årsnedbør, φ , arealtypefordeling og koblingen mellom arealer. Topografiske parametre som tilrenningslengde og skråning er ikke egne parametre, selv om de utvilsomt har betydning. Helning påvirker hvor lang tid vann på overflaten har til rådighet for å infiltrere før det når sluk eller bekk. Vi har innført en korreksjon på volumavrenningskoeffisienten på grunnlag av skråning og terrenglengde for å kompensere for dette. Korreksjonen er basert på ren vurdering, og det er lite faglitteratur på dette. Beregninger må eventuelt basere seg på kontinuerlig simulering gjennom året på forskjellige type terreng, noe som ligger utenfor prosjektets rammer. Beregningene trenger kun å være pålitelige nok. Modellforutsetningene drøftes i detalj i Sælthun og Barton (2020).

REO-modellen er tilpasset blågrønne strukturer og arealtyper som anvendes av Oslo kommunes norm for BlåGrønn Faktor (BGF) (Oslo Kommune, 2019) (Tabell 2).

Modellering av overvannskostnader

Beregningene tar høyde for kostnader til klimaberedskap i overvannssystemet i Oslo i et forven-

tet klima i 2040. Modellen har to tilnærminger til beregning av overvannskostnader som vi har kalt (1) «volumetrisk selvkost» basert på merkostnadene for avløpsrenseverkene i Oslo, og (2) «differensiert fullkost», som også inkluderer merkostnader for klimaoppgradering av ledningskapasitet og rensekapasitet med forventede større nedbørsmengder, samt et ledd for miljøkostnader av forurensning som går til vannveier og Oslofjorden ved overløp eller rest etter rensing. Kostnadsdata er beregnet med grunnlag i tall fra årsrapport 2017 for Vestfjordens avløpsselskap (VEAS, 2017). For Bekkelaget renseanlegg er grunnlaget hentet fra årsberetning for vann og avløpsetaten (VAV, 2018), finansieringbehov i vannbransjen 2016-2040, Norsk Vann (Rostad, 2017) og for marginale rensekostnader og miljøkostnader fra Kristensen (2015) og Garaas (2018). Alle kostnadene i web-applikasjonen er i 2017-kroner. Modellparametre for Oslo er dokumentert i vedlegg S1. Alle kostnadstall og parametre kan endres/oppdateres av brukeren i online-applikasjonen. Summen av overvannskostnader fordeles på hver tomt etter tomtens beregnede andel av totalavrenning i byggesonen etter formlene (1) og (2).

Overvannsgebyr beregnet med «volumetrisk selvkost» (1) er basert på merkostnadene for avløpsrenseverkene:

$$p_j = K_r \cdot s \cdot \frac{Q_j}{\sum_1^N Q_j} \quad (1)$$

j : enkelteiendom;

p_j : overvannsgebyr for eiendom j (kr./år)

Q_j : overvannsavrenning fra eiendom j (m³/år)

K_r : total kostnad for avløpsrensing (kr./år)

s : andel overvann av total rensset volum (%)

Formelen for «Differensiert fullkost» (2) inkluderer merkostnader for klimaoppgradering av ledningskapasitet og rensekapasitet med forventede større nedbørmengder, og en forurensningskostnad:

$$p_j = K_{li} \cdot \frac{l_j \cdot Q_j}{\sum_1^N (l_j \cdot Q_j)} + K_{ri} \cdot \frac{Q_j}{\sum_1^N Q_j} + k_{rd} \cdot Q_j + k_m \cdot f \cdot Q_j \quad (2)$$

j : enkelteiendom; N : totalt antall eiendommer

p_j : overvannsgebyr for eiendom j (kr./år)

l_j : avstand fra eiendom j til renseverk (meter)

Q_j : overvannsavrenning eiendom j (m³/år)

K_{li} : årskostnad for investering i økt ledningskapasitet 2016-2040 (kr./år)

K_{ri} : årskostnad for investering i økt rensekapasitet 2016-2040 (kr./år)

k_{rd} : marginalkostnad for rensing av overvann (kr/m³)

k_m : marginal miljøkostnad (kr/m³)

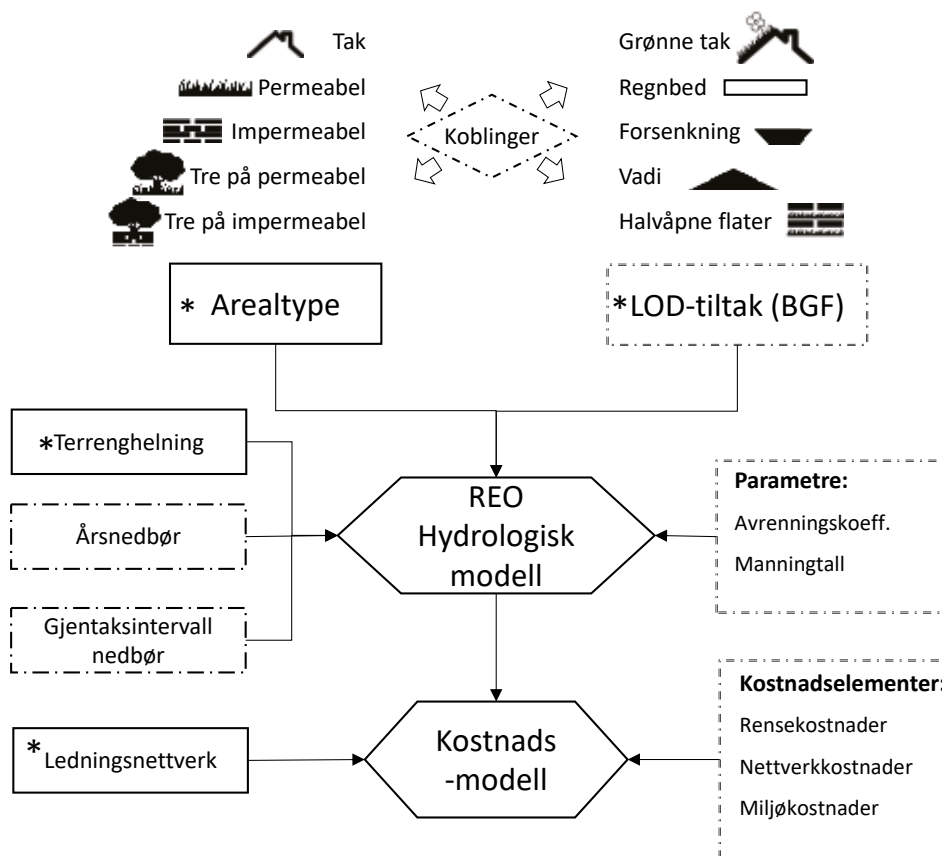
f : andel overvann som medfører overløp (%)

I begge beregningene er kostnadene fordelt basert på tomtens andel av total årlig overvannsavrenning fra alle tomter i byggesonen. Beregningene av fullkost er slik at summen av inntekter fra overvannsgebyrer for alle tomter i byggesonen ville dekket dagens variable rensekostnader, investeringskostnader frem til 2040 og et tilleggsbeløp for urensset næringsalt-forurensning til Oslofjorden. For å inkludere sistnevnte i selvkost-begrepet kunne det øremerkes støtteordninger for LOD-tiltak spesielt rettet mot forurensning. I beregningene av Q_j og SQ_j er avrenning fra offentlige veiflatter som ligger inntil hver tomt ikke tatt med. Fordeling av kostnader skjer utelukkende basert på tomtens avrenningsegenskaper. Merkostnadene som skyldes avrenning fra offentlige veiflatter fordeles dermed proporsjonalt over alle tomteeiere i forhold til tomtens størrelse og avrenningsegenskaper.

Integrert overvannsgebyr-applikasjon i Google Earth Engine

Vi integrerte avrenningsberegningene fra REO modellen (Sælthun et al. 2021) og kostnadsberegningen på tomtnivå i en online web-applikasjon (<https://nina.earthengine.app/view/new-waterways>) i plattformen Google Earth Engine (GEE) (Gorelick et al., 2017). GEE er en plattform utviklet av Google for effektive beregninger med romlige data fra åpne kilder. Den drar nytte av Googles infrastruktur for beregninger i «skyen» og har raskt blitt adoptert av GIS- og fjernmålingsmiljøer (Kumar and Mutanga, 2018). Vi brukte GEE til å presentere de integrerte hydrologiske-økonomiske modellene for overvannsgebyr gjennom et interaktivt kart for hele Oslos byggesone. Modellene bruker en rekke datasett som er definert på tomte- eller bynivå. Data på bynivå inkluderer årsnedbør, gientaksintervall for nedbørshendelser, og avrenningskoeffisienter i REO-modellen. Data på eiendomsnivå inkluderer arealbruk, tiltak for lokal overvannsdistribusjon (som i BGF), helning og lineær avstand til nærmeste avløpsanlegg (VEAS eller Bekkelaget). Vi brukte en fusjon av fjernmålingsdata og GIS-data for å klassifisere arealdekke (trær, gress, tak, tette flater og vannspeil) til 2 meters oppløsning. En LiDAR-basert digital terrengmodell fra Statens Kartverk (www.hoydedata.no) ble brukt for å beregne helninger over lengden av hver eiendom.

Hovedhensikten med web-applikasjonen er å formidle geografisk informasjon om overvannsgebyret per tomt på tvers av hele byggesonen. Applikasjonen gir også tilgang til inputkartene som hjelper med å forstå og tolke beregningene. Brukere kan *zoome* inn til nabolag eller eiendommer av spesiell interesse, og slå av og på kartlag for inngangsdata og beregninger (maksimal avrenning, årsavrenning, overvannsgebyrer). Et brukergrensesnitt gjør det mulig å endre modellkoeffisientene (avrenningskoeffisienter og kostnadsparametere) og undersøke effekten av dette på beregningene. Justering av modellkoeffisientene vil være en normal prosedyre mellom gebyrberegningsperiodene etter hvert som kunnskapen oppdateres.



Figur 2. Modelleringsrammeverk for web-applikasjonen for overvannsgebyr. Input data for avrennings- og kostnadsmodellene vises som data som tomteier kan (stiplet) og ikke kan (heltrukken boks) endre i applikasjonen. Modellinput merket med * er data på eiendomsnivå, mens andre data er på bynivå. LOD-tiltak i applikasjonen korresponderer med tiltak i Oslos norm for Blågrønn Faktor (BGF).

Det er også et brukergrensesnitt, der en tomteier kan justere på arealdekkeberegningene. Denne funksjonaliteten viser hvordan tomteier kan melde inn rettelser til feiltolkninger og utdateringer i fjernmålingsdata, samt melde inn tiltak som er gjennomført siden siste gebyrberegning. Som med digital selvangivelse, gjør teknologien i GEE (eller lignende systemer) det mulig å kombinere sentraliserte stordataberegninger med lokalkunnskap hos tomteier. Muligheten for tomteier til å teste effekten av LOD-tiltak på avrenning og overvannsgebyret gjør det lettere for brukeren å velge optimale tiltak, og vurdere størrelsesorden av innsparinger på overvannsgebyret ved egne tiltak på tomten.

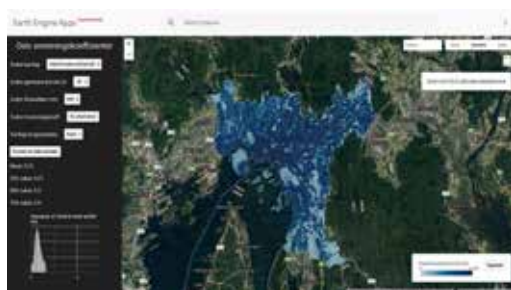
Resultater

Beregningskompleksitet og -kostnader (K)

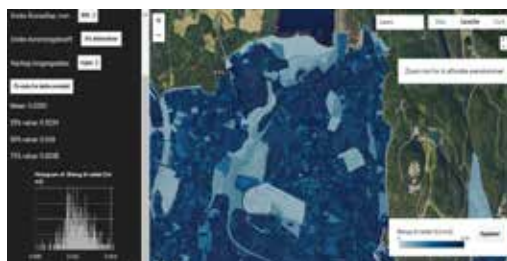
Web-applikasjonen viser fordeling av avrenning og overvannsgebyr på tomtenivå basert på egenskaper til 68 341 individuelle tomter i Oslo. Ved hjelp av GEE-plattformen gjøres en romlig fordelt beregning i løpet av få sekunder for hele byggesonen (Figur 3). Når investeringen i den hydrologiske modellen, kostnadsdata og arealdata først er gjort, er marginalkostnaden for nye beregninger svært lav, på tross av den store kompleksiteten.

Rettferdighet (R)

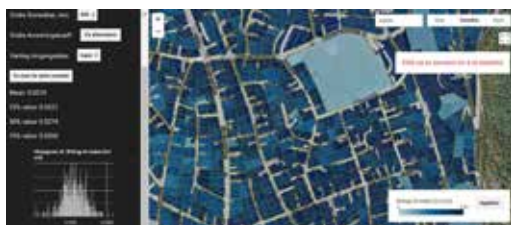
Rettferdighet i forhold til prinsippene om at «forurensere betaler» og selvkost for kommunale



Hele byggesonen



Bydel (eks. Grefsen-Kjelsås)

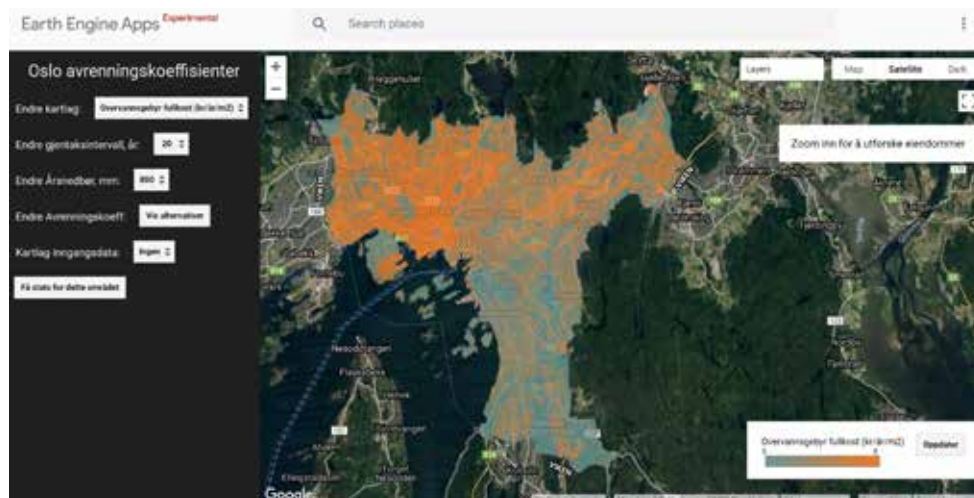


Nabolag



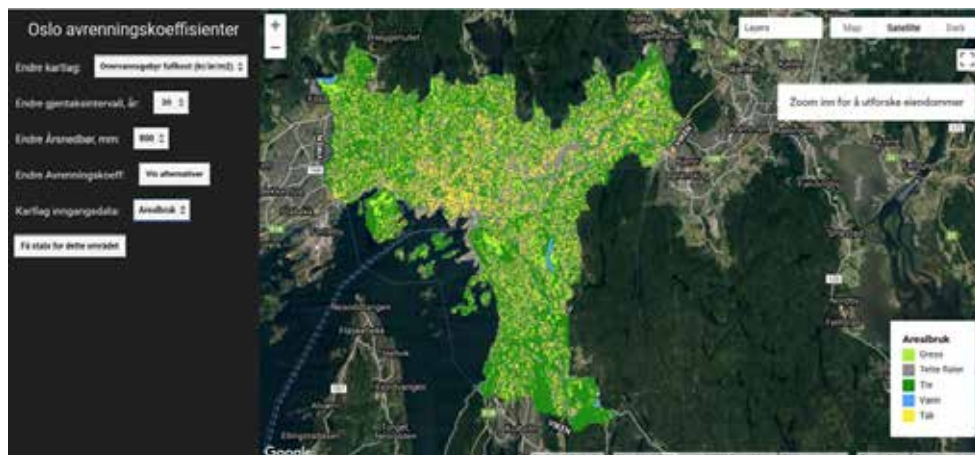
Tomt

Figur 3. Beregninger for et stort antall eiendommer med ulike egenskaper på få sekunder for et brukervalgt analyseområde. Merknad: Grensesnittet viser fordelingsstatistikk for område som er valgt av bruker. For analysenivåer innenfor studieområdet vises også et utsnitt (i rødt-svart) med analyseskala og koordinater (dersom en bestemt tomt velges).

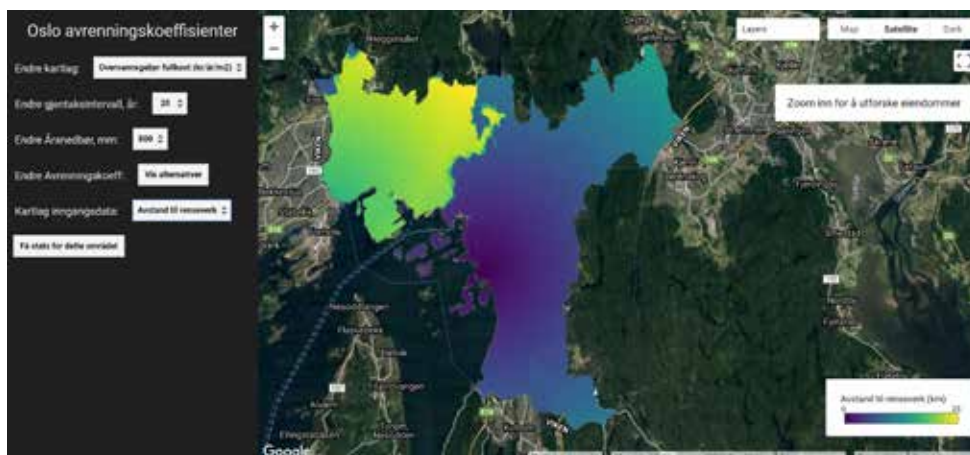
Figur 4.1. Overvannsgebyr per arealenhet ($\text{kr}/\text{år}/\text{m}^2$)

tjenester, oppnås per definisjon gjennom fullkost-fordelingsfunksjonen (formel 2). Ser vi bort ifra disse prinsippene og vurderer rettferdighet utelukkende som relative gebyrstørrelser på tvers av husstander i Oslo, ser vi at den romlige fordelingen er ujevn (Figur 4). Overvannsgebyr i kr per m^2 tomt basert på fullkost

(2) er høyere i Oslo vest enn til dels Oslo sentrum og nord, og lavest i Oslo øst. Foruten forskjeller mellom tomtenes arealegenskaper, forklares forskjellen hovedsakelig med at avstanden til renseanlegg er lavere for overvann som renses i Bekkelaget renseverk (Oslo sentrum og øst) enn overvann fra Oslo vest, som



Figur 4.2 Arealbruk



Figur 4.3. Avstand til renseanlegg Bekkelaget (i lilla, Oslo sentrum Øst) og VEAS (i gult, lokalisert i Asker vises ikke i kartet)



Figur 4.4. Terrenghelning Oslo Vest er høyere enn Oslo Øst

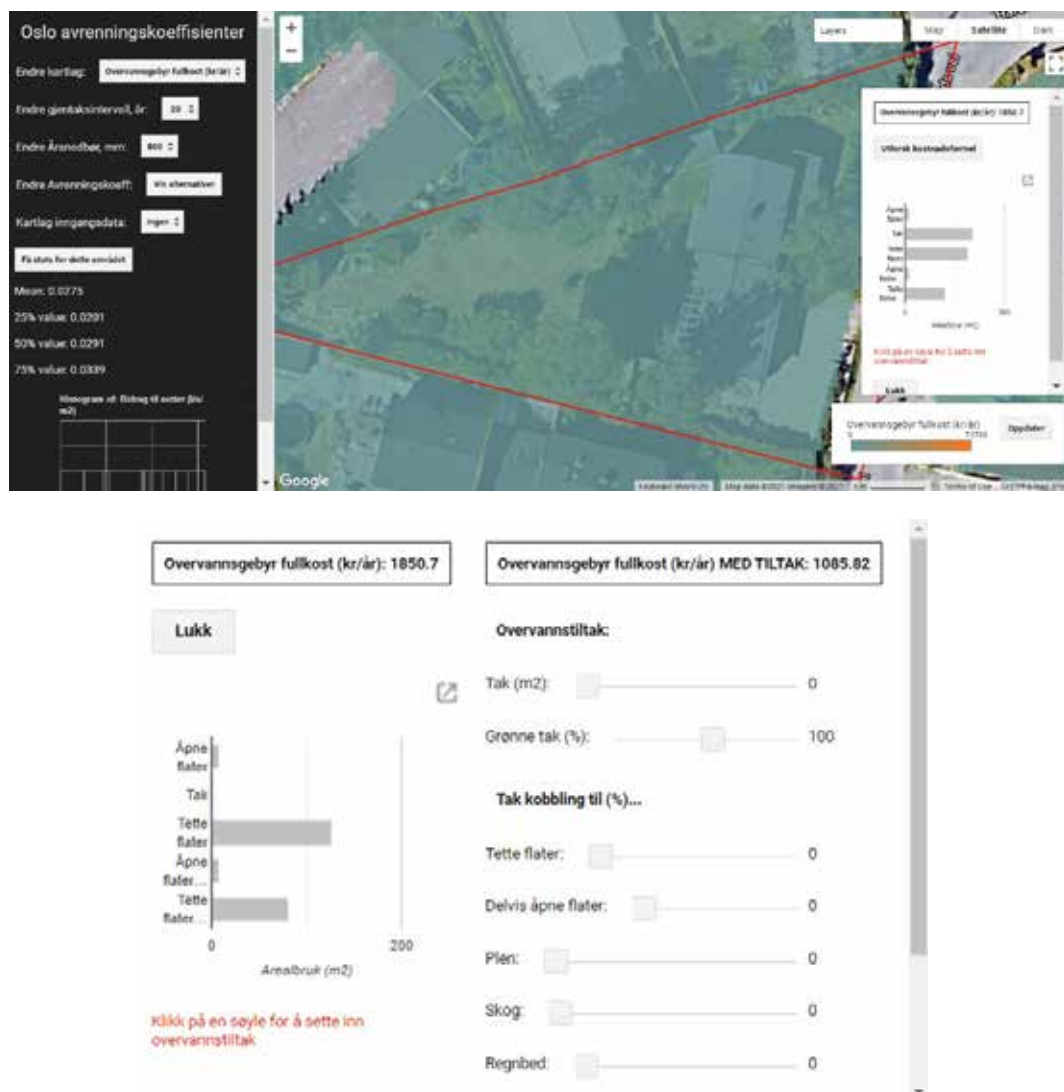
Figur 4. Overvannsgebyr per arealenhet (4.1) på tvers av byggesonen beregnet basert på arealbruk (4.2), avstand til renseanlegg (4.3) og terrenghelning (4.4.)

renses i VEAS i Asker. Avstand til renseverk i Oslo sentrum har større effekt på gebyrstørrelsen enn effekt av andel impermeable flater og selve terrenget.

Insentiveffekt

Web-applikasjonen tilrettelegger for en insentiv-effekt gjennom et brukergrensesnitt der tomteeier kan gjøre scenarioanalyser for å se hvor mye overvannsgebyret kan reduseres med ulike LOD-tiltak. Den faktiske insentiveffekten vil avhenge av hvor stort sparepotensialet er,

sammenlignet med investerings- og vedlikeholds-kostnadene knyttet til LOD-tiltak (Figur 5). I tomteeksemplet (Figur 5) har en enebolig et beregnet fullkost overvannsgebyr på 1850 kr/år basert på et areal fordelt på 136 m² tak, 127 m² tette flater, 82 m² trekrone, og 16 m² åpne flater med og uten trær beregnet av modellen. Uten videre vurdering av teknisk gjennomførbarhet, vil et hypotetisk grønt tak på 136 m² redusere overvannsgebyret på denne eiendommen til 1085 kr/år (Figur 5, høyre panel). En besparelse på om lag 800 kr/år er relativt lite sammenlignet



Figur 5. Beregning av overvannsgebyr på tomtenivå med grensesnitt for vurdering av LOD-tiltaksalternativer

med etablerings- og vedlikeholdskostnadene for en etablering av grønt tak som er estimert til å være mellom 350 og 800 kr/m² (Hernes, 2018).

Diskusjon

Denne artikkelen har utredet og vurdert teknisk gjennomførbarhet av beregningsgrunnlaget for et differensiert overvannsgebyr. I forhold til vurderingskriteriene i Tabell 2 har vi flere funn fra modelleringsarbeidet og -resultatene. Til tross for høy kompleksitet i beregningene, er informasjonskostnadene (K) 'lave' ved denne tilnærmingen, fordi datamaterialet er lett tilgjengelig og eventuelle tilpasninger kan enkelt rettes av tomteeier i rapporteringsverktøyet. Kostnadsfordelingsmodellen er «rettferdig» i den grad beregningen er transparent og kostnadene proporsjonale med overvannsproduksjon. Etter som bruker/tomteeier ikke kan endre avstand fra renseanlegg, bør disse kostnadene fordeles solidarisk heller enn proporsjonalt med avstand/andel ledningsinfrastruktur som brukes for å frakte overvannet fra den enkelte eiendom. Hvilke kostnadselementer som inngår i et overvannsgebyr, er en juridisk og politisk beslutning. Vårt anliggende her har vært å vise at beregningene er teknisk mulige.

Når det gjelder insentiveffekten, kan den vurderes på ulike måter. Som vi så i eksemplet med grønne tak, utgjør gebyrstørrelsen et marginalt insentiv sammenlignet med alternativkostnadene for LOD-tiltak. Vi konkluderer med at insentiveffekten for HA-typen overvannsgebyr er relativt sett høy sammenlignet med andre gebyrutforminger, men ikke dersom det ses i forhold til alternativkostnader for tiltak.

Insentiveffekten avhenger av sammenligningsgrunnlaget til tomteeier, som i noen grad kan påvirkes av kommunens kommunikasjonsstrategi som del av en tiltakspakke forbundet med overvannsgebyrer. Overvannsgebyret og LOD-tiltak er klimatilpasningstiltak. Dersom et individuelt økonomisk ansvar for klimatilpasning settes i sammenheng med ansvar for klimaendringer, kobles prinsippet om at «*forurenser betaler*» inn i en mer overordnet referanseramme som knyttes til rettferdig global

fordeling. Dette rettferdighetsprinsippet kan ha en insentiveffekt. Eksempelvis slipper hver nordmann ut om lag 10,5 tonn CO₂/år mer enn en globalt rettferdig andel på 1,2 tonn CO₂/år (www.theprogressmotive.org/). Med en kvotepris på 250 kr/tonn, vil hver nordmann ha et økonomisk kvoteansvar for et globalt rettferdig utslippsnivå tilsvarende 2 625 kr/år. Med planlagt CO₂-avgift i 2030 på 2000 kr (Meld.St. 13 2020-2021), vil et slikt ansvar tilsvare 21 000 kr/år. I et slikt lys virker ikke overvannsgebyret i Oslo-eksemplet vårt urettferdig høyt. Vi kan se for oss at en kobling av klimaansvar med overvannsansvar, gjennom et overvannsgebyr, også kan øke insentiveffekten til å gjennomføre LOD-tiltak. Kanskje ikke på grunn av overvannsgebyrets størrelse i seg selv, men gjennom overvannsgebyrets prinsipp om at tomteeiere er økonomisk ansvarlige.

Modelleringsarbeidet vårt har begrensninger som kunne være gjenstand for videre forskning. Vi tror REO-modellen 'gjør jobben' i forhold til formålet om å beregne relativt overvannsansvar på tomteneivå. Videre arbeid kunne for eksempel vært å sammenligne avrenningsberegningene i REO på delnedbørfeltsnivå med Oslo kommunes egne modeller, supplert med detaljert beskrivelse av ledningsnett og kanskje også mer avanserte urbanhydrologiske modeller (f.eks. Skaugen et al., 2020).

Videre juridisk og samfunnsvitenskapelig forskning kunne sett nærmere på designegenskaper av gebyret. Det er behov for videre vurdering av faktisk og opplevd rettferdighet ved ulike utforminger. For eksempel foreslår Sahib (2020) at flate avgifter kan virke proporsjonalt større for husholdninger med lavere inntekt. Vårt differensierte overvannsgebyr beregnet for hver tomt vil være proporsjonalt med boenheter/tomteareal og dermed progressiv. Overvannsgebyrer for leiligheter i tett by vil være mye lavere enn eksemplene som er vist i denne artikkelen. Forutsatt at den befolkningen med lavere inntekt også eier mindre tomter og boliger enn resten av befolkningen, vil trolig et variabelt overvannsgebyr, slik som gebyret beregnet her, slå positivt ut for den fattige delen av befolk-

ningen. Slike fordelings effekter kan vurderes i større detalj. Dersom det likevel har inntektsregressive egenskaper, kan gebyrtak som står i forhold til inntektsnivå vurderes.

Vass- og avløpsanleggslova regulerer kommunale VA-gebyrer (Miljødirektoratet 2021). Det er behov for juridisk utredning av i hvilken grad «selvkost» begrepet kan utvides til fremtidige kostnader for klimatilpasning. Det er også relevant å utrede i hvilken grad overvannsgebyrer kan begrunnes delvis, og i kombinasjon med selvkostprinsippet, med prinsippet om at «forurenser betaler».

Konklusjoner

Overvannsgebyr er et virkemiddel for brukerfinansiert klimaberedskap i norske byer. Det kan bidra økonomisk til drift og fremtidige investerings- og vedlikeholdsbehov av overvannsnettverk og renseanlegg. Avhengig av størrelse og alternativkostnader, kan det også være et insentiv til lokale overvannstiltak. Likevel er overvannsgebyr som beregnes i forhold til overvannsproduksjon blitt kritisert for å være for komplisert og ha for høye gjennomføringskostnader. I denne artikkelen viser vi en metode for dimensjonering av overvannsgebyr i Oslo. Beregningene kan gjøres for byggesonen som helhet og samtidig justeres etter lokale tomteforhold. Overvannsgebyret vi foreslår kan beregnes for alle tomter i Oslo ved å sammenstille detaljerte arealkart for byggesonen med en enkel hydrologisk modell som beregner rensekostnader for overvann og oppgradering av overvannsnettverket. Beregningene tar høyde for kostnader til klimaberedskap i overvannssystemet i Oslo i et forventet klima i perioden 2016-2040. Det er basert på prinsippet om at «forurenser betaler» for rensing, samt utslipp av urensede næringssalter som går til vannveier og Oslofjorden ved overløp.

Beregningsresultatene gjøres tilgjengelige i GIS-kart i en online web-applikasjon i plattformen [Google Earth Engine](#). Applikasjonen gjør det mulig for tomteeiere å teste effekten av lokale tiltak på avrenning og overvannsgebyret fra tomten. Det bidrar til lokalkunnskap om

optimale tiltak og vurdering av innsparinger på overvannsgebyret ved egne tiltak på tomten. Vi diskuterer hvordan dette også kan bidra til en kostnadseffektiv administrasjon av en gebyrordning, der kommunen gjør beregninger for alle ved hjelp av fjernmålingsdata, som siden kan korrigeres lokalt av tomteeier som har detaljert kunnskap om arealbruk og eventuelle tiltak på egen tomt som ikke sees med satellitt-data. Vi sammenligner egenskapene ved overvannsgebyret beregnet for Oslo med internasjonale erfaringer fra andre byer. Overvannsgebyr er vanlig i mange land, men i alle land vi har studert, står byer overfor utfordringer med beregning av variabel del. Gebyrer som ikke varierer etter overvannsproduksjon, kan gi en relativt større økonomisk belastning for husstander med lav inntekt. Overvannsgebyret vi beregner for Oslo øker med tomtestørrelse og har dermed en viss fordelingsmessig rettferdighet. Vi viser at beregningskostnader heller ikke er et viktig argument mot innføring av et brukerdifferensiert overvannsgebyr.

Takksigelser

Takk til Kim H. Paus (NMBU) for nyttige samtaler om avrenningsberegninger på tomtenivå i oppstartsfasen av arbeidet. Takk til Bent C. Braskerud (Oslo kommune) for nyttige kommentarer til manuskriptet. Arbeidet er finansiert av Forskningsrådets (#270742) støtte til New Water ways prosjektet.

Referanser

Aladesote, O. (2019) , Stormwater Management Utility Fees: A review ,International Journal of Research Publication (Volume: 40, Issue: 1), <http://ijrp.org/paper-detail/794>

Black&Veatch, 2021 Stormwater Utility Survey Report. Black&Veatch Management Consulting.

Campbell, C.W., 2019. Western Kentucky University Stormwater Utility Survey 2019 80.

Chalfant, Brian Alexander, 2018. Paying for rain: the emergence, diffusion, and form of stormwater fees in the United States, 1964-2017 [WWW Document]. URL <http://d-scholarship.pitt.edu/35183/> (accessed 8.9.21).

- Fedorchak, A., Dymond, R., Campbell, W., 2017. The Financial Impact of Different Stormwater Fee Types: A Case Study of Two Municipalities in Virginia. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 53, 1483–1494. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12590>
- Garaas, O.S., 2018. Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet til Asker kommune. Masteroppgave NMBU.
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., 2017. Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment* 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hernes, R.R., 2018. Kostnader ved lokale overvannstiltak. TVM4510 Vannforsynings- og avløpsteknikk, fordypningsprosjekt. Bygg- og Miljøteknikk. NTNU.
- HSY(2021a), Runoff Water, website, last accessed 9.11.2021; <https://www.hsy.fi/vesi-ja-viemarit/hulevesi/>
- HSY (2021b) The pricelist and service fee price list for HSY Water Services 2021, website, last accessed 9.11.2021; <https://julkaisu.hsy.fi/the-pricelist-and-service-fee-price-list-for-hsy-water-services-2021.html>
- Karstensen, H., 2015. Økonomiske konsekvenser av fremmedvann i avløpssystemet En casestudie av Bekkelaget rensedistrikt. Masteroppgave NMBU.
- Kea, K., Dymond, R., Campbell, W., 2016. An Analysis of Patterns and Trends in United States Stormwater Utility Systems. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association* 52, 1433–1449. <https://doi.org/10.1111/1752-1688.12462>
- Keeley, M., 2007. Using Individual Parcel Assessments to Improve Stormwater Management. *Journal of the American Planning Association* 73, 149–160. <https://doi.org/10.1080/01944360708976149>
- Kondratenko, J., Kotoviča, N., Reča, M., 2021. Regional and national policy recommendations for implementing the integrated stormwater management in the Baltic Sea Region. Deliverable 4.4 of the BSR WATER project, co-funded by the European Development Fund. Riga City Council.
- Kumar, L., Mutanga, O., 2018. Google Earth Engine Applications Since Inception: Usage, Trends, and Potential. *Remote Sensing* 10, 1509. <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Marte Danbolt (2018) Mæland vil forebygge vannskader med lovendring; Kommunal Rapport; publisert 30.11.2018; <https://www.kommunal-rapport.no/miljoe/maeland-vil-forebygge-vannskader-med-lovendring/22328/>
- Meld.St, 2020. Klimaplan for 2021-2030 (Meld. St. 13, 2020-2021). Det Kongelige Klima- og Miljødepartement.
- Miljødirektoratet, Vanngebyr og avløpsgebyr-kommentarer, website, last accessed 9.11.2021. <https://www.miljodirektoratet.no/regelverk/forskrifter/forurensningsforskriften/avløpsgebyr-kommentarer/>
- NACWA, 2016. Navigating Litigation Floodwaters: Legal Considerations for Funding Municipal Stormwater Programs. National Association of Clean Water Agencies (NACWA).
- NOU, 2015. Overvann i byer og tettsteder — Som problem og ressurs. NOU 2015: 16.
- Oslo Kommune, 2019. Blågrønn faktor for boliger i Oslo - norm. 11.12.2019.
- Paus, K. H. 2020. Forslag til formelverk og sjablong-verdier for å anslå areal til naturbaserte overvannstiltak. Vann 03/20.
- Rostad, M., 2017. Investeringsbehov i vann- og avløpssektoren» «Finansieringsbehov i vannbransjen 2016 – 2040. *Norsk Vann* 223/2017.
- Sælthun, N.R., Barton, D.N., Venter, Z.S., 2021. REO: Estimering av overflate-avrenning fra urbane felt. Beregningsgrunnlag for et arealdifferensi-ert overvannsgebyr (revidert utgave). NINA Rapport 1851b, 33. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Sahib, K., 2020. Supporting Urban Stormwater Management Programs with a User-Fee: The Evaluation of Experiences from New South Wales/Blacktown City Council, Philadelphia and Mississauga 136.
- Sahib, K., 2020. Supporting Urban Stormwater Management Programs with a User-Fee: The Evaluation of Experiences from New South Wales/Blacktown City Council, Philadelphia and Mississauga. Master Thesis. University of Toronto.
- Skaugen, T., Lawrence, D., Ortega, R.Z., 2020. A parameter parsimonious approach for catchment scale urban hydrology – Which processes are important? *Journal of Hydrology* X 8, 100060. <https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100060>
- Stange, E., D.N.Barton, E. Andersson, D.Hasse Nature-based solutions' implicit valuation of ecosystem services - comparing performance-based green area indices in three European cities. *Landscape and Urban Planning* (i trykk)
- Tampere city (2021), About stormwater (in Finnish); website; last accessed 9.11.2021; <https://www.tampere.fi/asuminen-ja-ymparisto/asuminen/vesihuolto-ja-hulevedet.html>

Tasca, F.A., Assunção, L.B., Finotti, A.R., 2018a. International experiences in stormwater fee. *Water Science and Technology* 2017, 287–299. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.112>

Tasca, F.A., Assunção, L.B., Finotti, A.R., 2018b. International experiences in stormwater fee. *Water Science and Technology* 2017, 287–299. <https://doi.org/10.2166/wst.2018.112>

Tasca, F.A., Finotti, A.R., Goerl, R.F., 2019. A stormwater user fee model for operations and maintenance in small cities. *Water Science and Technology* 79, 278–290. <https://doi.org/10.2166/wst.2019.043>

VAV, 2018. Årsberetning 2018. Vann- og avløpsetaten. Oslo Kommune.

VEAS, 2017. Årsrapport 2017. En Renere Oslofjord.

Zhao, J.Z., Fonseca, C., Zeerak, R., 2019. Stormwater Utility Fees and Credits: A Funding Strategy for Sustainability. *Sustainability* 11, 1913. <https://doi.org/10.3390/su11071913>

Vedlegg S1 Kostnadsmodell – antagelser

Følgende detaljerer antagelsene i kostnadsmodellen i overvannsgebyr appen. Forutsetningene kan endres i overvannsgebyr-appen basert på nye kunnskap, eller behov for følsomhetsanalyser. Alle priser er i 2017-kroner.

Overvannsgebyr beregnet med volumetrisk selvkost:

$$p_j = K_r \cdot s \cdot \frac{Q_j}{\sum_1^N Q_j} \quad (1)$$

j : enkelteiendom; N : totalt antall eiendommer (kilde: eiendomsgrenser; Kartverket.no)

p_j : overvannsgebyr for eiendom j (kr./år) (beregnet)

Q_j : overvannsavrenning fra eiendom j (m³/år) (beregnet)

K_r : total kostnad for avløpsrensing (kr./år) (kilde: VEAS 2017, VAV 2018)

s : andel overvann av total renset volum (%) (kilde: VEAS 2017)

Modellen bruker følgende basisverdier i (1) som kan endres i applikasjonen:

$K_r = 296\,714\,000$ kr./år. Artsgruppe 300-399: Artsgruppen dekker kostnader VAV har til driftsavtalen for Bekkelaget renseanlegg (Bevas) og kostnader til VEAS. (VAV 2018)

$s = 36$ %, Andelen av avløpsbehandling som er overvann (VEAS 2017)

Overvannsgebyr beregnet med differensiert fullkost:

$$p_j = K_{li} \cdot \frac{l_j \cdot Q_j}{\sum_1^N (l_j \cdot Q_j)} + K_{ri} \cdot \frac{Q_j}{\sum_1^N Q_j} + k_{rd} \cdot Q_j + k_m \cdot f \cdot Q_j \quad (2)$$

j : enkelteiendom; N : totalt antall eiendommer (kilde: eiendomsgrenser; Kartverket.no)

p_j : overvannsgebyr for eiendom j (kr./år) (beregnet)

l_j : avstand fra eiendom j til renseverk (meter) (beregnet i GIS)

Q_j : overvannsavrenning eiendom j (m³/år)

K_{li} : årskostnad for investering i økt ledningskapasitet 2016-2040 (kr./år) (kilde: basert på Rostad 2017)

K_{ri} : årskostnad for investering i økt rensekapasitet 2016-2040 (kr./år) (kilde: basert på Rostad 2017)

k_{rd} : marginalkostnad for rensing av overvann (kr./ m³) (kilde: basert på Garaas (2018) og Karstensen (2015))

k_m : marginal miljøkostnad (kr./ m³) (kilde: basert på Garaas (2018) og (Karstensen, 2015))

f : andel overvann som medfører overløp (%) (kilde: VEAS 2017)

Modellen bruker følgende basisverdier i (2) som kan endres i applikasjonen:

$K_{ri} = 53$ millioner kroner/år for investering i økt rensekapasitet 2016-2040. Norsk Vann beregnet investeringsbehov i økt rensekapasitet for å håndtere overvann 2016-2040 til kr 994 millioner kroner totalt (Rostad 2017). Beløpet er beregnet om til en annuitet med 2 % rente. Økte kostnader som skyldes en forventet 30 % økning i befolkning i Oslo i perioden er trukket fra beregning av årets gebyr – dagens befolkning betaler ikke for fremtidig befolkningsvekt. Gebyrberegningen må derfor oppdateres jevnlig for å ta høyde for ny befolkning, boligutvikling av arealer, og utvidelser av byggesonen. Vi antar at $s = 36$ % av avløpsrensing skyldes overvann.

$K_{li} = 245\,000\,000$ kr/ år for investering i økt ledningskapasitet 2016-2040. Norsk Vann beregnet investeringsbehov i økt rensekapasitet for å håndtere overvann 2016-2040 til kr. 4 628 millioner totalt

(Rostad 2017). Beløpet er beregnet om til en annuitet med 2 % rente. Økte kostnader som skyldes en forventet 30 % økning i befolkning i Oslo i perioden er trukket fra beregning av årets gebyr – dagens befolkning betaler ikke for fremtidig befolkningsvekt. Gebyrberegningen må derfor oppdateres jevnlig for å ta høyde for ny befolkning, boligutvikling av arealer, og utvidelser av byggesonen.

$k_{rd} = 2,5 \text{ kr/m}^3$ variable rensekostnader. Basert på totale driftskostnader for Oslo kommune til rensing av 36 % av avløp inn som skyldes overvann (VEAS 2017). Karstensen (2015) oppgir variable driftskostnader for avløpsrensing på $0,84 - 2,84 \text{ kr/m}^3$ in i Bekkelaget renseverk. Garaas (2018) anslår variable kostnader til $2,54 \text{ kr/m}^3$ for VEAS. I overvannsgebyr-appen setter vi 'default' verdien til $= 2,5 \text{ kr/m}^3$ for alt overvann fra Oslo's byggesone (begge renseverk).

$k_m = 13 \text{ kr/m}^3$ i forurensningskostnad for urensset utslipp av næringssalter til vannveier og Oslofjorden. Karstensen (2015) rapporterer om fosforkonsentrasjon på $3,278 \text{ mg Tot-P/l}$ i ubehandlet kloakk inn i Bekkelaget renseanlegg. Vi antar samme konsentrasjon på overløp som ikke renses. Karstensen (2015) beregner behandlingskostnader på $1\,241 \text{ kr/kg tot-P}$ i Bekkelaget renseanlegg. Garaas (2018) beregner VEAS kostander 2016-2016 på $3\,500\text{--}4\,000 \text{ kr/kg tot-P}$, basert på rensing av 90 % av fosfor inn. Vi bruker det øvre estimatet for VEAS i modellen som beregnes til 13 kr/m^3 . Tidligere har Lindholm (2015) i Karstensen beregnet en øvre kostnad på $3\,000 \text{ kr/kg Tot-P}$ (1975 kroner) tilsvarende $16\,720 \text{ kroner/kg tot-P}$ (2017 kroner). Dette tilsvarer $53 \text{ kr/m}^3 \text{ tot-P}$. Det knyttes m.a.o. stor usikkerhet til miljøkostnadene ved ubehandlet næringssaltutslipp. Nitrat-konsentrasjon er ikke vurdert i modellen. I stedet for lineære anslag for rensekostnader for rest-overløp, bør miljøkostnader ideelt sett beregnes basert på skadekostnader fra eutrofiering, spesielt i Oslofjorden. Dette kan vurderes i videre arbeid.

Overløp avhenger av årlig variasjon i nedbørshendelser. For 2013-2017 var gjennomsnittlig overløp tilsvarende $f=2 \%$ av totalt renset volum (VEAS 2018).