



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2023 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Evaluering av Oslo kommunes krav til trinn 1 i tre-trinns strategien for håndtering av overvann

Evaluation of Oslo municipality's requirements for
step 1 in the three-step strategy for stormwater
management

Selma Måseidvåg

Vann- og Miljøteknikk

Forord

Denne masteroppgaven markerer avslutningen på det femårige masterstudiet Vann- og Miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Oppgaven har et omfang på 30 studiepoeng og er skrevet ved fakultetet for realfag og teknologi. Hensikten med oppgaven er å evaluere det nye kravet Oslo kommune setter til trinn 1 i tre-trinns strategien for overvann. En stor takk rettes til AFRY for tilgang på prosjektmateriale, skriveplass under arbeidet, og generelt god hjelp.

Tusen takk til min veileder Kim Aleksander Haukeland Paus for god veiledning og støtte gjennom hele arbeidet.

Til slutt vil jeg takke min nærmeste familie og venner for støtte og motivasjon gjennom hele studieløpet.

Oslo, mai 2023

Selma Måseidvåg

Sammendrag

Overvannshåndtering står overfor stadig større utfordringer som følge av klimaendringer og urbanisering. Tradisjonelle metoder for håndtering av overvann, som lukkede rørsystemer, er i dag ikke tilstrekkelig dimensjonert for å håndtere den økende nedbørfrekvensen, nedbørintensiteten og den påfølgende økte avrenningen. Det er derfor ønskelig i dagens overvannshåndtering å etterligne den naturlige hydrologien og ta i bruk bærekraftige løsninger. Eksempler på gode løsninger i urbane strøk har vist seg å være grønne tak, permeable belegg og regnbed (Paus, 2018).

Norsk Vann har foreslått tre-trinns strategien for å håndtere overvann. Strategiens formål er å håndtere overvann i tre trinn; infiltrasjon, fordrøyning og sikring av flomveier. En slik strategi kan bidra til å håndtere utfordringene knyttet til klimaendringer og fortetting, samt skape en mer effektiv og bærekraftig overvannshåndtering i urbane områder. Det har lenge vært retningslinjer for valg av dimensjonerende nedbørmengde og beregningsmetodikk for fordrøyning (trinn 2) og flomveier (trinn 3). Først nå har Oslo kommune presentert en ny veileder for overvann med tilsvarende anbefaling ved håndtering av nedbørmengder i trinn 1.

Hovedformålet med denne studien er å evaluere Oslo kommunes nye krav til trinn 1 i tre-trinns strategien for overvannshåndtering. Dette er oppnådd ved bygge modeller for to utbyggingsprosjekter i Oslo, henholdsvis lokalisert på Tøyen og Stovner, ved bruk av Storm Water Management Model (SWMM) som modelleringsprogram. Oslo kommunes nye manuelle beregningsmetode til trinn 1 er anvendt til å beregne avrenning og kapasitet for begge områdene og blir også evaluert. Inngangsdata for SWMM-modellene stammer fra AFRY som har vært ansvarlig for prosjektering av VA-anleggene i forprosjekt og detaljprosjektering på Tøyen og forprosjektering på Stovner.

Resultatene i studien viser at sammenhengen mellom de sjablonmessige kravene Oslo kommune setter til trinn 1 i tre-trinns strategien og påregnelig vannbalanse over lang tid er helt avhengig av infiltrasjonsraten for å være tilfredsstillende. Resultatene viser at kravene oppfylles ved en infiltrasjonsrate på 100 mm/t for både Stovner og Tøyen. De samme forutsetningene trengs for modellregne BREEAM og 2-års nedbør, her er det også behov for en infiltrasjonsrate på 100 mm/t for å tilfredsstillende kravet til trinn 1. Alle modellregne, Oslo kommune, BREEAM og 2-års nedbør, konkluderes med å kunne benyttes for å beregne vannbalanse over lang tid, så lenge infiltrasjonsraten er høy nok.

Resultatene i studien har betydning for beslutninger og tiltak knyttet til kommunale utbygging- og byplanleggingsprosjekter hvor hensikten er å imøtekomme tilfredsstillende overvannshåndtering og sikre bærekraftige løsninger i fremtiden. Resultatene bidrar til økt kunnskap om hvilke faktorer som påvirker overvannsproblematikken, samt hvilke hensyn en må ta i scenarioplanegging når ulike krav vurderes.

Summary

Stormwater management faces increasing challenges due to climate change and urbanization. Traditional methods for stormwater management, such as closed pipe systems, are no longer adequately sized to handle the increased frequency and intensity of rainfall events, leading to higher runoff. Consequently, there is a growing need to mimic natural hydrology and adopt sustainable solutions in modern stormwater management practices. Examples of practical solutions in urban areas include green roofs, permeable pavements, and rain gardens (Paus, 2018).

Norsk Vann has proposed a three-step strategy for managing stormwater. The purpose of the strategy is to address stormwater management in three steps; infiltration, retention, and flood control. Such a strategy can help address challenges related to climate change and urban densification while promoting more efficient and sustainable stormwater management in urban areas. Guidelines for selecting design rainfall and calculation methods have long existed for retention (step 2) and flood control (step 3). It is only recently that Oslo municipality has introduced a new stormwater guide with corresponding requirements for managing rainfall in step 1.

The main objective of this study is to evaluate Oslo municipality's new requirements for step 1 in the three-step strategy for stormwater management. This has been achieved by building models for two development projects in Oslo, located at Tøyen and Stovner, using the Storm Water Management Model (SWMM) as the modeling software. Oslo municipality's new manual calculation method for step 1 has been used to calculate the runoff and capacity for both areas and is also evaluated. The input data for the SWMM models were provided by AFRY, which was responsible for the design of the water and wastewater facilities in the preliminary and detailed planning phases for Tøyen and the preliminary planning phase for Stovner.

The results of this study show that the correlation between the standard requirements set by Oslo municipality for step 1 in the three-step strategy and sustainable water balance over the long term is entirely dependent on the infiltration rate to be satisfactory. The results indicate that the requirements are met with an infiltration rate of 100 mm/t for both Stovner and Tøyen. The same assumptions apply to the model rainfalls, BREEAM, and 2-year precipitation, which are concluded to be suitable for calculating long-term water balance as long as the infiltration rate is sufficiently high.

The results of the study are significant for decisions and measures related to municipal development and urban project planning aimed at achieving satisfactory stormwater management

and ensuring sustainable solutions for the future. The findings contribute to increased knowledge about the factors influencing stormwater issues and the considerations needed in scenario planning when evaluating different requirements.

Innhold

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
SUMMARY	IV
INNHold	VI
FIGURER	VII
TABELLER	VIII
1 INTRODUKSJON	1
1.1 PROBLEMSTILLING	2
1.2 FORSKNINGSSPØRSMÅL	2
1.3 STRUKTUR I OPPGAVEN	3
2 METODE	4
2.1 STUDIEOMRÅDER OG INNHENTING AV DATA	4
2.1.1 <i>Stovner</i>	4
2.1.2 <i>Tøyen</i>	5
2.1.3 <i>Prosjektdata og klimatologiske observasjoner</i>	5
2.2 MODELLERING I SWMM	6
2.2.1 <i>Feltegenskaper</i>	6
2.2.2 <i>Rør- og kumegenskaper</i>	7
2.2.3 <i>Modellregn</i>	7
2.3 GJENNOMFØRINGER AV SIMULERINGER	8
2.4 MANUELL BEREGNINGSMETODIKK FOR TRINN 1	9
2.5 CHATGPT	10
3 RESULTATER OG DISKUSJON	11
3.1.1 <i>Manuelle beregninger iht. Oslo kommunes krav</i>	11
3.1.2 <i>Simulering med historiske tidsserier for nedbør og temperatur</i>	13
3.1.3 <i>Vurdering av modellregn for å beskrive andel håndtert</i>	17
4 KONKLUSJON	21
4.1 VIDERE ARBEID	22
5 REFERANSER	23
VEDLEGG A	24
VEDLEGG B	25
VEDLEGG C	26

Figurer

Figur 1: Forenklet kart av Stovner, med delfelt, flater og utløp.....	4
Figur 2: Forenklet kart av Tøyen, med delfelt, flater og utløp.....	5
Figur 3: Modellering av avrenning i SWMM.	6
Figur 4: Symmetrisk blokkhyetogram for 2-års nedbør ved Blindern, med en klimafaktor på 1.3. Total varighet er på 120 minutter, med en blokkopløsning på 5 minutter.	8
Figur 5: Andel nedbør håndtert ved ulike infiltrasjonsrater for utløp på Stovner. Resultatene viser at andelen håndtert nedbør øker ved økende infiltrasjonsrate.....	14
Figur 6: Andel nedbør håndtert ved ulike infiltrasjonsrater på Tøyen. Resultatene viser at andelen håndtert nedbør øker ved økende infiltrasjonsrate.	15
Figur 7: Modellregn og historisk nedbør plottet for Stovner.	18
Figur 8: Modellregn og historisk nedbør plottet for Tøyen.	18

Tabeller

Tabell 1: Oversikt over målestasjonen for klimatologiske observasjoner, Blindern, som er brukt i denne studien.....	6
Tabell 2: Oversikt over valgte modellregn og deres egenskaper og krav.	8
Tabell 3: Kriterier for valg av beregningsmetode hentet fra Oslo kommunes nye overvannsveileder.....	9
Tabell 4: Resultater for manuell beregning for de ulike utløpene på Stovner. Det presenteres hvilke delfelt som er knyttet sammen med utløpet, summen av delfeltene, deres kapasitet, samt om kravet til trinn 1 oppfylles.	11
Tabell 5: Resultater fra manuell beregning for de ulike utløpene på Tøyen. Det presenteres hvilke delfelt som er knyttet sammen med utløpet, summen av delfeltene, deres kapasitet, samt om kravet til trinn 1 oppfylles.	12
Tabell 6: Oversikt over innhentet data fra AFRY fra prosjektene for Tøyen og Stovner.....	24
Tabell 7: Verdier for ulike parametere for LID-moduler på Stovner.....	25
Tabell 8: Verdier for ulike parametere for LID-moduler på Tøyen.	25
Tabell 9: Volum til kapasitet og avrenning for hvert enkelt delfelt for prosjektet på Stovner.	26
Tabell 10: Volum til kapasitet og avrenning for hvert enkelt delfelt for prosjektet på Tøyen.....	27

1 Introduksjon

Hyppigere og mer intensive nedbørhendelser i urbane områder, kombinert med stadig mer fortetting, krever endringer i hvordan tiltak for overvann dimensjoneres. Ved mer utbygging erstattes grønne overflater med tette flater som tak og asfalt. Hovedsakelig er dette en utfordring i urbane områder fordi arealer med infiltrasjonsevne stadig reduseres. Dette påvirker den naturlige vannbalansen, da det bidrar til en økning i overflateavrenning, endringer i avrenningsmønsteret, samt en reduksjon i fordampning og grunnvannstand (Solheim et al., 2017). Avløpssystemet er i dag underdimensjonert slik at betydelige mengder overvann føres til avløpsrenseanlegg via fellessystem, feilkoblinger og etter tid ødelagte ledninger. Studier viser at over halvparten av vannet som kommer inn til norske avløpsrenseanlegg er uønsket (Lindholm et al., 2011).

Disse endringene, kombinert med den tradisjonelle måten å håndtere overvann på, fører til økt forekomst av skader på miljø, bygg og infrastruktur. NOU 2015:16 estimerte skadeposter forårsaket av overvann til 1,6 til 3,2 milliarder kroner årlig på landsbasis. Legger man til grunn en forventet økning i hyppighet av overvannshendelser som medfører skader frem til 2055, kan kostnader i størrelsesorden 45 til 100 milliarder kroner bli realiteten, dersom forebyggende tiltak ikke iverksettes (NOU 2015:16, 2015).

For å sikre en effektiv, bærekraftig og trygg overvannshåndtering har Norsk Vann foreslått tre-trinns strategien. Der små nedbørmengder infiltreres i grunnen (trinn 1), større nedbørmengder fordrøyes og forsinkes (trinn 2) og ekstreme nedbørhendelser ledes trygt videre i åpne flomveier (Lindholm et al., 2008). Det har lenge vært retningslinjer for valg av dimensjonerende nedbørmengde og beregningsmetodikk for fordrøyning (trinn 2) og flomveier (trinn 3). Først nå har Oslo kommune presentert en ny veileder for overvann med tilsvarende anbefaling ved håndtering av nedbørmengder i trinn 1.

Trinn 1 har viktige funksjoner og kan være med på å løse flere utfordringer knyttet til overvann. Blant annet å sikre en naturlig vannbalanse gjennom prosesser som infiltrasjon, fordampning og opptak av vann i vegetasjon, rense forurenset overvann, redusere mengden uønsket vann tilført avløpsrenseanlegg, utnytte vannets estetiske eller økologiske potensial og/eller gjenbruke overvann (Paus, 2018).

Det nye kravet Oslo kommune har satt for trinn 1 gjenspeiler forventningene til kapasiteten for permeable flater til å håndtere 95-99% av normale nedbørsituasjoner, inkludert å kontrollere lokal forurensing (Oslo kommune, 2023). Det er usikkert hvordan kravet vill fungere i praksis, og det er derfor behov for ytterligere evaluering for å sikre at kravet blir optimalt og tilpasset lokale forhold.

Denne studien vil vurdere ulike krav satt til trinn 1, der BREEAM og 2 års nedbør er valgt i samråd med Oslo kommune. BREEAM-kravet er valgt på bakgrunn av dets anerkjennelse og popularitet som en internasjonal miljøsertifisering (BREEAM, 2023). Kravet om 2-års nedbør ble valgt grunnet dens bruk som standardkrav i flere kommuner i Norge. Ved å evaluere flere krav, vil det muliggjøre en sammenligning og kontrastering av ulike tilnærminger til overvannshåndtering. Det vil bli evaluert om disse modellregnene kan fungere som et alternativ til å beregne vannbalansen over lang tid.

Formålet med denne studien er derfor å evaluere det nye kravet Oslo kommune setter til trinn 1 for overvannshåndtering, samt undersøke om det er mulig å bruke modellregn til å beregne vannbalanse over lang tid.

For å evaluere kravene er det valgt ut to utbyggingsprosjekter, Tøyen og Stovner. Begge studiene blir modellert i modelleringsprogrammet Storm Water Management Model (SWMM). SWMM er et dataverktøy som brukes for å modellere hydrologi og hydraulikk og er utviklet av United States Environmental Protection Agency (US EPA). Modellene i denne studien er utviklet med formål å undersøke om kravene satt til trinn 1; Oslo kommune, BREEAM og 2 års-nedbør er tilfredsstillende. Oslo kommune sin nye manuelle beregningsmetode som er basert på bransjepraksis ved bruk av rasjonell metode vil også bli evaluert. Dette vil bli gjort gjennom å følge den gitte beregningsmetoden for Tøyen og Stovner.

1.1 Problemstilling

Opgavens problemstilling er følgende

“Evaluering av Oslo kommunes krav til trinn 1 i tre-trinns strategien for håndtering av overvann”

1.2 Forskningsspørsmål

Studien baserer seg på to forskningsspørsmål som skal føre frem til nyttig kunnskap om det nye kravet Oslo kommune setter til trinn 1 i tre-trinns strategien. Følgende forskningsspørsmål skal bidra til å belyse problemstillingen:

1. Hva er sammenhengen mellom de sjablongmessige kravene Oslo kommune setter til trinn 1 i tre-trinns strategien (10 mm tilført løsmasser) og påregnelig vannbalanse over lang tid?
2. Finnes det andre krav til trinn 1, som BREEAM og 2 års nedbør, som fungerer bedre til å beregne vannbalanse over lang tid?

1.3 Struktur i oppgaven

Oppgaven følger hovedsakelig IMRaD-strukturen, der delkapitlene resultater og diskusjon er slått sammen. Kapittel 2 forklarer metode for studiet. Resultatene av studien er presentert og diskutert i kapittel 3. Avslutningsvis følger konklusjon i kapittel 4, og videre arbeid er foreslått og blir presentert i delkapittel 4.1.

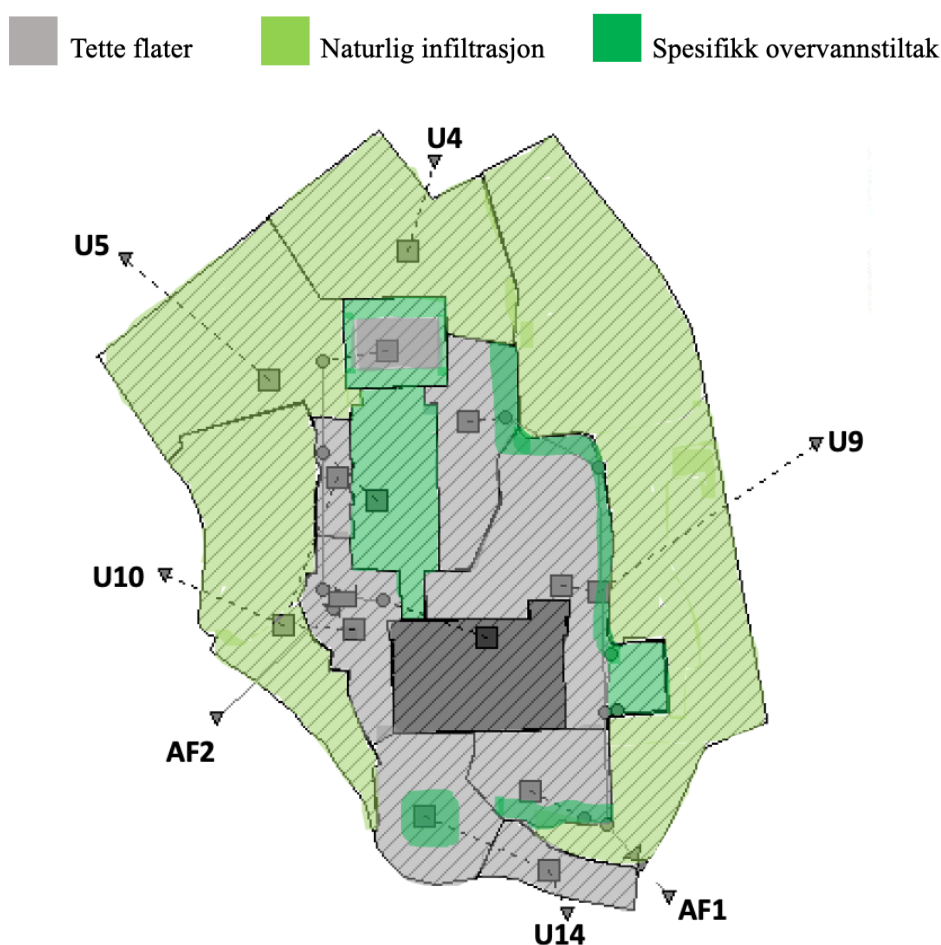
2 Metode

2.1 Studieområder og innhenting av data

Studien tar utgangspunkt i to utbyggingsområder i Oslo; Tøyen og Stovner. Begge prosjektene består av urban karakter, og er lokalisert høyt i terrenget sammenlignet med nærliggende områder. Av den grunn er det ingen avrenning inn til utbyggingsområdene, men de bidrar med avrenning til nærliggende bygg og infrastruktur.

2.1.1 Stovner

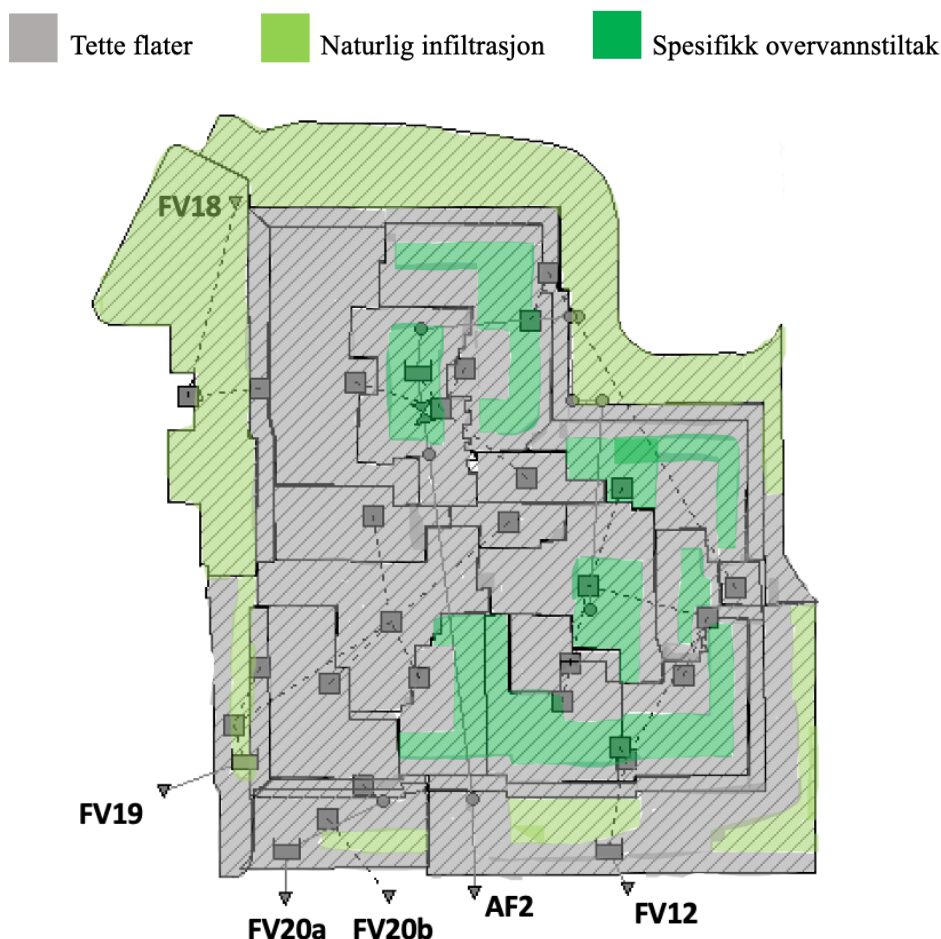
Stovner er et område (barneskole) nordøst i Oslo, bestående av tette flater som tak, asfalt og lekeområder. Området består også av store grønne flater som kan ta opp avrenning. Figur 1 gir en forenklet illustrasjon på inndeling av delfelt, overflater og utløp. Stovner er et pågående prosjekt under denne studien med forventet ferdigstillelse i 2026, og er dimensjonert for Oslo kommunes nye krav til trinn 1. Det vil bli implementert overvannsløsninger som regnbed, grønne tak og fordøyningsmagasin.



Figur 1: Forenklet kart av Stovner, med delfelt, flater og utløp.

2.1.2 Tøyen

Tøyen er en demenslandsby, sentralt i Oslo, bestående av mye tette flater som tak, takterrasser, betongheller og asfalt. Figur 2 gir en forenklet illustrasjon på inndeling av delfelt, overflater og utløp. Det er i dag implementert overvannsløsninger som regnbed, grønne tak og fordrøyningsmagasin. Tøyen er ikke dimensjonert for nytt krav til trinn 1. Prosjektet ble ferdigstilt i 2022.



Figur 2: Forenklet kart av Tøyen, med delfelt, flater og utløp.

2.1.3 Prosjektdata og klimatologiske observasjoner

Prosjektutredningene er hentet fra AFRY sin database. Hvilke data og grunnlag som er brukt til å modellere de to SWMM-modellene er presentert i Vedlegg A.

Begge prosjektene er lokalisert i Oslo og det er derfor hentet klimatologiske observasjoner fra Blindern målestasjon som underlag for studien. Denne målestasjonen blir sett på som den mest pålitelige i hele Norge. SWMM-modelleringen benytter nedbørmengde [mm/time] i minutt-oppløsning (Meteorologisk institutt, 2022), og maks-/min-temperatur [C] i døgn-oppløsning for å modellere scenarioer i valgt periode (Klimaservicesenter, 2022). Målestasjonen på Blindern

målte ikke nedbør i vinterhalvåret i perioden 1968 til 2004. Dette kan påvirke resultatene, og vil bli diskutert i kapittel 4.

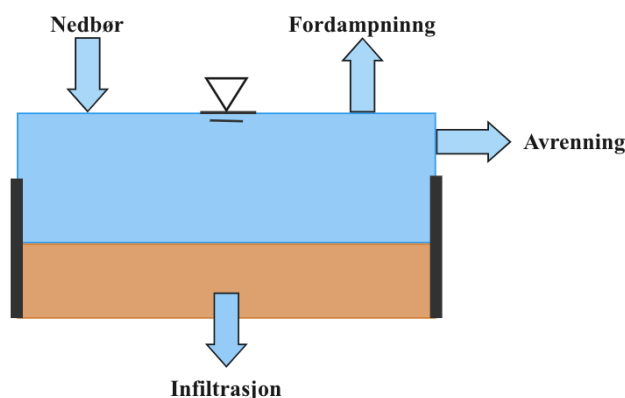
Tabell 1: Oversikt over målestasjonen for klimatologiske observasjoner, Blindern, som er brukt i denne studien.

Lokasjon	Stasjon for nedbørdata	Stasjon for temperaturdata	Periode [år]
Oslo	BLINDERN PLU (SN18701)	BLINDERN PLU (SN18701)	1968-2022

2.2 Modellering i SWMM

SWMM er et avansert hydrologisk og hydraulisk modelleringsprogram som brukes for å simulere overvannsystemer. Det ble utviklet av United States Environmental Protection Agency (US EPA) i perioden 1969 til 1971 og har siden blitt oppdatert jevnlig. Programmet anvendes for å simulere både enkelthendelser og langtidskontinuerlig simulering av avrenning i urbane områder (Rossman, 2015).

Figur 3 illustrerer konseptet for avrenning som er benyttet i SWMM, inkludert prosessene infiltrasjon, fordampning og nedbør. Dynamisk bølgekinning er valgt for simulering av avrenning. Programmet er godt etablert innen fagfeltet, har stor ytelsesevne og er kostnadsfritt. SWMM ble på bakgrunn av dette den foretrukne modelleringstjenesten for denne studien.



Figur 3: Modellering av avrenning i SWMM.

2.2.1 Feltegenskaper

En nøkkelparameter i SWMM-modellering er delfelt. Delfeltene hensyntar lokale forhold, og bestemmes på bakgrunn av topografi, bygningsstruktur og hvilke overflater området består av. Et delfelt kan bestå av ulike flater som regnbed, asfalt, tak, takterrasser med mer. Når et delfelt er definert, legger brukeren inn parameterverdier. I denne studien er det antatt at bredden er proporsjonal med kvadratroten av arealet til det enkelte delfeltet. For å stadfeste helning til det enkelte delfelt er det benyttet gjennomsnittlige verdier fra landskapsplan fra AFRYs prosjektdata.

Gropmagasinering er en nyttig funksjon i SWMM for å evaluere effekten av å inkludere fordrøyningsstrukturer som kan bidra til å redusere overflateavrenning. Verdier for gropmagasinering er hentet fra tabell A.5 i manualen til SWMM (ASCE, 1992). Verdier for manningstall er hentet fra tabell A.6 i manualen til SWMM (ASCE, 1992).

For begge SWMM-modellene er det gjort en forenkling hvor alle delfeltene blir satt til 100% impermeable. Dette er en fornuftig antagelse da det blir lagt inn en Low Impact Development modul (LID-modul) som representerer alle permeable flater/overvannsløsninger for delfeltet. Gjennom denne tilnærmingen antas all avrenning å bli ledet til LID-modulene. Denne studien er begrenset til bruk av to LID-moduler, henholdsvis regnbed og grønne tak. Begge LID-modulene er avhengige av ulike parametere, hvor disse verdiene er hentet fra LARK-grunnlag fra begge prosjektene med grundige tegninger og dimensjoner. Bredden på LID-modulene i denne studien antas å være kvadratrotten av total permeabel flate på delfeltet. Hydraulisk konduktivitet er satt til 200 mm/t (Lunde, 2020). Vedlegg B viser oversikt over alle LID-moduler og deres verdier for ulike parametere.

2.2.2 Rør- og kumegenskaper

Det er brukt overvanns- og dreneringsrør i begge modellene. Data for dette er hentet fra AFRYs prosjektdata, som har gitt tilgang til informasjon om diameter, materialer og beliggenheten til ledningene. Overvannsrørene er i materialet polyvinklorid (PVC). Manningstall for PVC rør ligger mellom 0.009-0.011 (Kulvert). Gjennomsnittsverdien på 0.01 er brukt for alle overvannsrør.

Dimensjoner, egenskaper og plassering av kummer er hentet fra prosjekttegninger. Ettersom at Stovner er et pågående prosjekt finnes det ikke detaljerte tegninger for kummer. Tilgjengelig data som plassering og kvotehøyder er derfor brukt som underlag med en antakelse om at alle ledningene ligger i bunn av kummene.

Lagringsenheter (Storage units) er avløpsnoder som gir lagringsvolum. Lagringsvolum beregnes ut ifra en funksjon av overflateareal og høyde. Lagringsnoder mottar tilsig, slipper ut overvann og kan tape vann gjennom infiltrasjon eller fordamping. Lagringsenheter er brukt for å hensynta sandfang med infiltrasjon og fordrøyningsmagasiner.

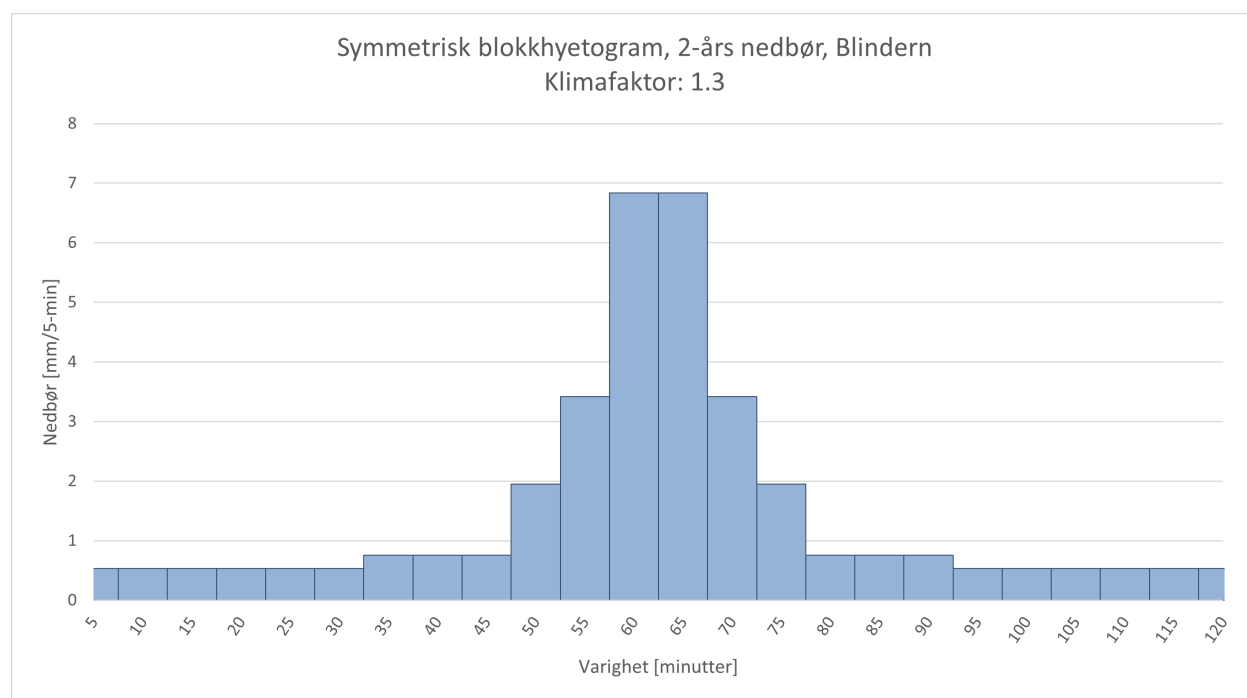
2.2.3 Modellregn

Det er valgt ut tre modellregn basert på ulike krav som eksisterer for trinn 1 i tre-trinns strategien. Disse tre er presentert i Tabell 2. For BREEAM og Oslo kommunes egne krav brukes

det en intensitet-varighet-frekvens (IVF) kurve for å beregne intensiteten til nedbøren basert på varighet og gjentaksintervall. For 2-års nedbør brukes det et symmetrisk blokkhyetogram. Det er brukt en klimafaktor på 1,3 for symmetrisk blokkhyetogram. Dette valget er basert på anbefalte verdier for klimafaktor i henhold til håndbok N200 utgitt av Vegdirektoratet (2018).

Tabell 2: Oversikt over valgte modellregn og deres egenskaper og krav.

Modellregn	Krav	Kurve
BREEAM	5 mm / 1 min	IVF
Oslo kommune	10 mm / 10 min	IVF
2 års nedbør	2 års-gjentaksintervall	Symmetrisk blokkhyetogram



Figur 4: Symmetrisk blokkhyetogram for 2-års nedbør ved Blindern, med en klimafaktor på 1.3. Total varighet er på 120 minutter, med en blokkopløsning på 5 minutter.

2.3 Gjennomføringer av simuleringer

Parameterne i SWMM-modellene holdes konstante under simuleringer, med unntak av infiltrasjonsraten, som endres grunnet usikkerheten til denne parameteren. Det er valgt fem ulike infiltrasjonsrater – 0.01, 0.1, 1, 10 og 100 mm/t. Disse verdiene er basert på en sammenstilling av litteratur om hydraulisk kapasitet gjort av Kildahl (2022). Infiltrasjonsrater endres for LID-moduler, fordrøyningsmagasiner og sandfang med infiltrasjon. Infiltrasjon er en viktig hydrologisk prosess med betydelig innvirkning på overflateavrenning. Ved infiltrasjon trenger vannet ned i jorden, gjennom jordoverflaten og beveger seg loddrett ned i profilen (Ødegaard,

2012). SWMM tilbyr flere valg for modellering av infiltrasjon, der Green-Ampt modellen er valgt for dette studiet. Denne type modell er valgt fordi den tar hensyn til jordas evne til å absorbere vann, samt at det kan være et startfuktighetsnivå i jorden som allerede er mettet med vann. Denne metning kan øke gradvis over tid i Green-Ampt modellen.

2.4 Manuell beregningsmetodikk for trinn 1

Oslo kommune har implementert en manuell beregningsmetodikk for trinn 1 i sin nye veileder for overvannshåndtering. Den manuelle beregningsmetodikken er basert på volumberegning, der volumet beregnes for kapasitet og avrenning til det enkelte delfeltet. Det er subjektivt hvordan et område deles opp og avhenger av hvor detaljert eller overordnet oppdeling som er ønskelig. Metodikken er basert på bransjepraksis ved bruk av rasjonell metode. Formålet med en slik metode er å dokumentere at det er avsatt nok permeable arealer til grunn infiltrasjon (infiltrasjon med maksdybde på 0,5 m) og med tilstrekkelig lagringskapasitet til å håndtere 10 mm nedbør. Kravet innebærer også at det skal dokumenteres på utenomhusplan at områdene der avrenning skal infiltreres, er områder der volumet kan utnyttes (Oslo kommune, 2023). Oslo kommune har definert kriterier for valg av manuell eller avansert beregningsmetode. Disse presenteres i Tabell 3. Dersom ett eller flere av kriteriene for avansert metode er oppfylt, utløses det krav om at denne metoden må benyttes fremfor den manuelle. Tabell 3 anvendes for å evaluere om Tøyen og Stovner kan benytte manuell beregningsmetode. Siden ingen av kriteriene for avansert metode er oppfylt, kan manuell metode benyttes for begge områdene.

Tabell 3: Kriterier for valg av beregningsmetode hentet fra Oslo kommunes nye overvannsveileder.

	Forenklet metode	Avansert metode
Metode	Manuelle beregninger	Modellering
Tiltaksareal	<10 ha	>10 ha
Konsentrasjonstid	<20 min	>20 min
Flomveisystem	Mindre flomveier (Intern/felles flomvei)	Hovedflomveisystem (Primær/sekundær flomvei)
Vannløp	Ingen vassdrag, og mindre lokale vassdrag og bekker	Hovedvassdrag og sidevassdrag definert i kart

Beregningsmetode for trinn 1 hentet direkte fra Oslo kommunes veileder:

Tiltaksarealet er delt i tre areal typer:

- A_a : Arealer som bidrar med avrenning (tette flater inklusive avrenningsfaktor).
- A_k : Mottakende arealer (permeable arealer som grøntarealer, vegeterte arealer, gressarmering, permeabel belegningsstein etc.).

-
- 0 arealer: Selvhåndterende permeable arealer som ikke har tilrenning og ikke avrenning.

Det blir utført følgende volumberegning for å dokumentere om $V_a < V_k$.

Formel for beregning av volum avrenning fra A_a (V_a):

$$V_a = A_a * C * i \quad (1)$$

A_a : arealet som bidrar med avrenning (m^2)

C: avrenningskoeffisient for arealflatene

i: nedbør (0,01 m)

Formel for beregning av volum kapasitet i mottagende overflate (V_k):

$$V_k = A_k * n * d - A_k * i \quad (2)$$

A_k : arealet på den mottagende overflaten (m^2)

n: porevolum i løsmasser under A_k

d: dybde (m)

i: nedbør (0,01 m)

I denne studien er det brukt en dybde (d) på 0,5 meter og porevolum (n) på 0,15. Noen regnbed har en maksimal dybde på 0,4 meter, og i disse tilfellene er derfor denne dybden brukt. For grønne tak er det anvendt verdier fra LARK-tegninger. Arealer og avrenningskoeffisienter er hentet fra regneark for overvann til prosjektene.

2.5 ChatGPT

ChatGPT er en stor språkmodell trent av OpenAI, basert på GPT-3.5-arkitekturen (ChatGPT, 2023). Dette ble brukt som et konstruktivt verktøy i denne studien, blant annet for å rette opp i feilkoder i SWMM, samt sjekke at viktige elementer om ulike temaer er med, spurt om forenklede forklaringer på temaer/teorier og hjelp i Excel.

3 Resultater og diskusjon

3.1.1 Manuelle beregninger iht. Oslo kommunes krav

Ved bruk av Oslo kommunes manuelle beregningsmetode for trinn 1, er det beregnet volum for kapasitet og avrenning for hvert enkelt delfelt for Stovner og Tøyen. Resultatene presenteres i Vedlegg C. Resultatene viser at 9/14 og 9/26 delfelt på henholdsvis Stovner og Tøyen oppfyller kravene som er satt til at kapasiteten skal være høyere enn avrenningen. De resterende 5/14 og 17/26 delfeltene oppfyller ikke kravene som er satt. Det bør bemerkes at om det enkelte delfeltet oppfyller kravet til trinn 1 eller ikke, gir begrenset innsikt i den totale håndteringen av nedbør på et område.

For å ta hensyn til at noen delfelt i et område kan ha kapasitet til å håndtere avrenning fra flere delfelt, blir alle utløpene i områdene undersøkt. Dette inkluderer kapasiteten og avrenning fra alle delfelt som fører til et spesifikt utløp. Slik blir det tatt hensyn til hvordan delfeltene samhandler innad i området. Tabell 4 og Tabell 5 presenterer en oversikt over resultater fra manuelle beregninger for Oslo kommunes krav til trinn 1 for de ulike utløpene.

Tabell 4: Resultater for manuell beregning for de ulike utløpene på Stovner. Det presenteres hvilke delfelt som er knyttet sammen med utløpet, summen av delfeltene, deres kapasitet, samt om kravet til trinn 1 oppfylles.

Utløp	Delfelt	Sum av delfelt	Kapasitet	Avrenning	Kapasitet - avrenning	Oppfyller trinn 1
Enhet		[m2]	[m3]	[m3]	[m3]	[Ja/Nei]
AF1	1 og 3	4000	13.8	13.6	0.2	Ja
AF2	11, 12, 13 og magasin	2090	84.4	20.8	63.7	Ja
U4	4	2590	146.9	1.75	145.2	Ja
U5	5	2850	100.8	7.6	93.2	Ja
U9	2 og 9	10130	485.5	16.8	468.7	Ja
U10	6, 7 og 10	4270	193.5	9.0	184.5	Ja
U14	8 og 14	1802	8.5	5.1	3.4	Ja

Tabell 5: Resultater fra manuell beregning for de ulike utløpene på Tøyen. Det presenteres hvilke delfelt som er knyttet sammen med utløpet, summen av delfeltene, deres kapasitet, samt om kravet til trinn 1 oppfylles.

Utløp	Delfelt	Sum av delfelt	Kapasitet	Avrenning	Kapasitet - avrenning	Oppyller trinn 1
Enhet		[m ²]	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[Ja/Nei]
AF2	3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 11, 13, 14, 15, 22 og magasin	6276	181.7	37.8	143.7	Ja
FV12	12, 22, 23 og IFS2	1801	48.4	7.3	41.1	Ja
FV18	1 og 18	1323	21.5	6.2	15.3	Ja
FV19	2, 9, 16, 19, 24, 25 og 26	2358	8.2	15.7	-7.5	Nei
FV20a	17 og IFS1	92	1.2	0.7	0.5	Ja
FV20b	20	423	3.8	2.9	0.9	Ja

Stovner

I Tabell 4 fremgår det at Stovner oppfyller trinn 1 for alle utløp, som betyr at ved 10 mm nedbør med en varighet på 10 minutter er det ingen avrenning fra området. Imidlertid har utløpene AF1 og U14 en begrenset kapasitet på 0,2 m³ og 3,4 m³ etter en slik nedbørhendelse og bør undersøkes nærmere. De øvrige delfeltene har betydelig mer reservekapasitet til rådighet.

Tøyen

Resultatene i Tabell 5 viser at Tøyen ikke oppfyller kravet til trinn 1 for utløp FV19.

Avrenningsmengden på 7,5 m³ overstiger kapasiteten til de tilknyttede delfeltene. Delfeltene tilknyttet utløp FV19 består av flere kasseregnbed og i manuell beregning antas disse å være 0-arealer fordi det er selvhåndterende permeable arealer som ikke har tilrenning og avrenning. Slike kasseregnbed vil bidra til håndtering av noe nedbør, og derfor kan resultatene for dette utløpet anses som mindre pålitelig. Resultatene indikerer også at utløpene FV20a og FV20b er nære på å ikke oppfylle kravet da de har en kapasitet på 0,5 m³ og 0,9 m³. Her anbefales det derfor å foreta en nærmere vurdering av disse utløpene, ettersom at manuell beregning vil medføre noen usikkerhet. For de resterende utløpene kan det imidlertid trygt anses at kravet til trinn 1 oppfylles, da det er tilstrekkelig reservekapasitet tilgjengelig, noe som gjør det trygt å bruke manuell beregningsmetode for disse tilfellene.

På bakgrunn av resultatene vil den manuelle beregningsmetoden gi en god og helhetlig tilnærming til å forstå hvordan Stovner og Tøyen håndterer nedbør. Denne metoden har også flere fordeler, blant annet enkelhet, lavere ressurskrav og evnen til å inkludere lokale forhold og erfaringer. Derimot vil manuelle beregninger gi usikkerheter i resultatene. Formel 1 og Formel 2 for manuell beregning har parametere som porøsitet og avrenningskoeffisient, som er viktige

verdier for å vurdere nøyaktigheten og påliteligheten til resultatene. Feilaktig valg av porøsitet kan føre til under- eller overvurdering av avrenning, og dermed gi unøyaktige resultater. Oslo kommune anbefaler en porøsitet på 0,15, med mindre annet er spesifisert. Det er imidlertid lite sannsynlig at alle permeable flater hos både Tøyen og Stovner har samme porøsitet, og en nærmere måling av dette anbefales for å øke konfidens i resultatene. Dette fremhever Solheim et al. (2017) i sin artikkel, at det kan være stor variasjon i infiltrasjonsraten, selv innenfor samme område og type jordart. Årsaker til dette er faktorer som påvirker tetthet og struktur i jorda, som gamle bygningsmasser og tunge maskiner. Artikkelen indikerer også at byjord, som vanligvis anses å være leirholdig, kan ha betydelige variasjoner i infiltrasjonsrate. Dette underbygger behovet for grundig undersøkelse av infiltrasjonsevnen på et område og påpeker viktigheten av å ikke anta en lik verdi for hele området. Tilsvarende kan feil valg av avrenningskoeffisient gi usikre beregninger for avrenning.

Resultatene forutsetter også at avrenningen oppfører seg som antatt i beregningene. Hvis det er avvik mellom resultatene for manuell beregning og faktisk avrenning, kan noen utløp få mer avrenning enn forventet og dermed ikke oppfylle kravet til trinn 1. Utløpene som viser resultater som besitter en kapasitetsverdi nær null er spesielt sårbare for slike usikkerheter. Dette skyldes at små feil i antagelser eller avrenningsmønstre som avviker fra det forventede, og sjansen for at utløpene ikke lenger oppfyller kravet til trinn 1 øker. Utløpene, FV20a, FV20b på Tøyen og AF1 og U14 på Stovner er eksempler på utløp som er sårbare for dette. I slike tilfeller er det viktig å være forsiktig med å trekke konklusjoner utelukkende basert på manuelle beregninger. I stedet anbefales det å bruke resultatene til å identifisere delfelt knyttet til utløpene mer nøyaktig og vurdere behovet for overvannstiltak. Delfeltene som i resultatene har høy kapasitet, eksempelvis delfelt U4, U9 og U10 på Stovner og AF2 på Tøyen, gir mer pålitelig data i manuell beregning da de har en grad av fleksibilitet fra usikkerhetene.

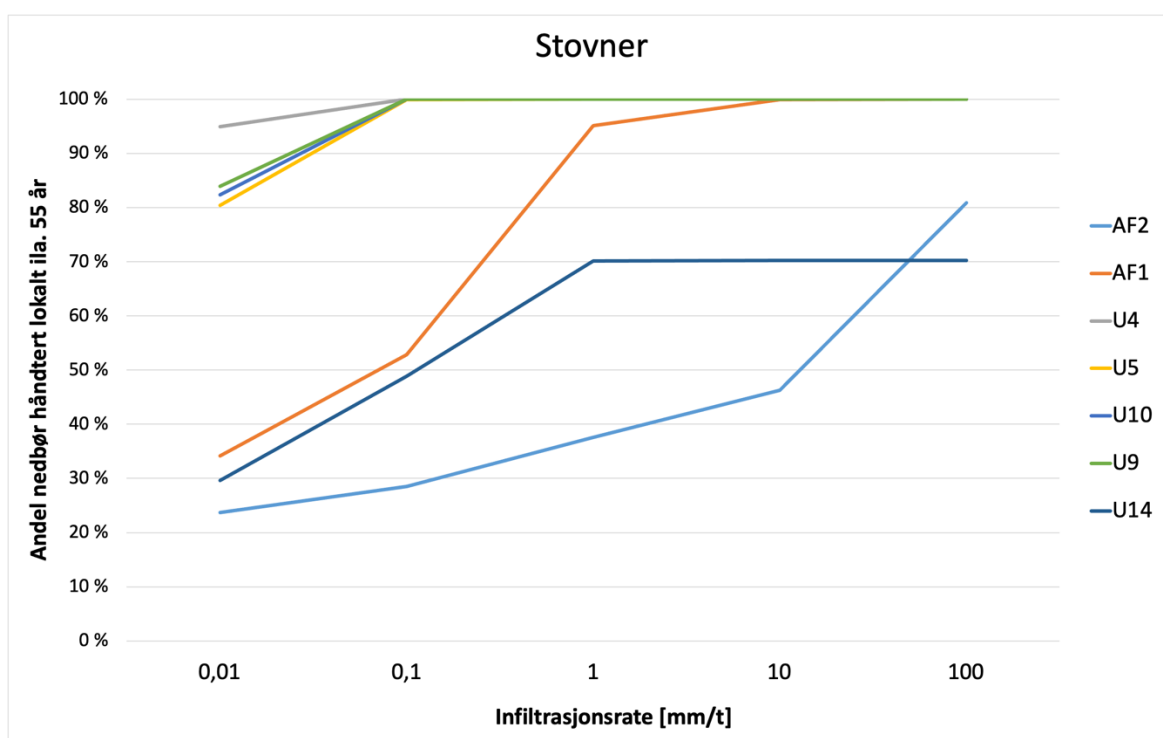
På bakgrunn av resultatene i Tabell 4 og Tabell 5 og usikkerhetene ved manuell beregning anbefales den manuelle beregningsmetode å brukes som grunnlag for å få en overordnet vurdering for overvannshåndtering og vurdere behovet for ytterligere tiltak for håndtering av nedbør, spesielt for sårbare utløp.

3.1.2 Simulering med historiske tidsserier for nedbør og temperatur

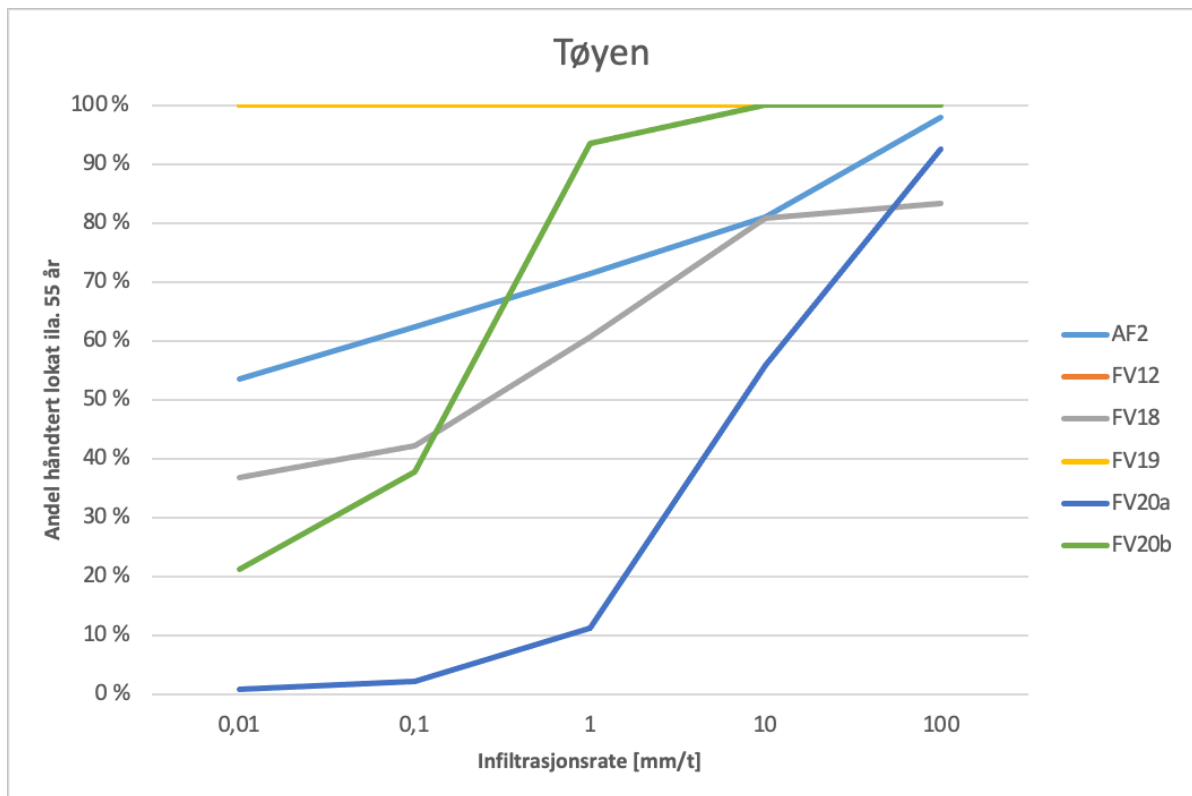
Et av formålene med simuleringen er å analysere sammenhengen mellom kravet til trinn 1 og beregningsmetoden som er brukt, ved hjelp av historiske tidsserier for nedbør og temperatur. Dersom det foreligger en tett sammenheng mellom de manuelle og avanserte beregningsmetodene, kan dette indikere at den manuelle beregningen gir pålitelige resultater som

er representative for virkeligheten. Resultatene i Figur 5 og Figur 6 illustrerer mengden nedbør som blir håndtert lokalt for hvert utløp ved historisk nedbør, ved ulike infiltrasjonsrater for henholdsvis Stovner og Tøyen.

Resultatene viser at infiltrasjonsraten er en avgjørende faktor som har betydelig innvirkning på andelen nedbør som blir håndtert lokalt. Dette vises i Figur 5 og Figur 6 da det kan identifiseres hvilke utløp som oppfyller kravet til trinn 1, og ved hvilke infiltrasjonsrater dette oppnås. Ved en infiltrasjonsrate på 0,01 mm/t, som tilsvarer kun fordampning, blir det observert en lav andel nedbør som håndteres lokalt for nesten alle utløp. Dette gjelder spesielt utløpene AF1, AF2 og U14 på Stovner, og AF2, FV18, FV20a og FV20b. Når infiltrasjonsraten øker, observeres en betydelig økning i andelen nedbør som håndteres. Utløp som U4, U5, U9, U10 og AF1 på Stovner og FV12, FV19 og FV20b på Tøyen er eksempler på dette. Dette er utløp som når 100%, noe som indikerer at det ikke vil være noen avrenning fra utløpet. Jo lavere prosentandel resultatet er, jo større andel nedbør blir ledet ut av området, som betyr at en mindre mengde nedbør blir håndtert lokalt. Dette underbygges i artikkelen til Paus (2018) som fremhever at infiltrasjonsevnen er en avgjørende faktor for mengde nedbør håndtert. Studien konkluderer med at en økning i infiltrasjonsraten fører til betydelig økning i kapasiteten til et område. Dermed kan det antydes at infiltrasjonsraten spiller en vesentlig rolle til et gitt område eller tiltak.



Figur 5: Andel nedbør håndtert ved ulike infiltrasjonsrater for utløp på Stovner. Resultatene viser at andelen håndtert nedbør øker ved økende infiltrasjonsrate.



Figur 6: Andel nedbør håndtert ved ulike infiltrasjonsrater på Tøyen. Resultatene viser at andelen håndtert nedbør øker ved økende infiltrasjonsrate.

En grundigere vurdering av resultatene gir innsikt i sammensetningen av overflatene til delfeltene som er knyttet til et utløp. Det skyldes at resultatene for utløpene påvirkes av mengden nedbør som blir håndtert lokalt. Ved manuell beregning kan dette identifiseres ved å observere hvor mye kapasitet utløpet har. Figur 5 indikerer at utløpene U4, U5, U9 og U10 på Stovner har evnen til å håndtere nedbøren lokalt, og påvirkes mindre av infiltrasjonsraten. En mulig årsak er at de er koblet til delfelt med mer permeable flater. Resultatene viser at utløpene AF1, AF2 og U14, er tilknyttet delfelt med mer tette flater, noe som resulterer i mindre mengder håndtert nedbør. Det bekreftes igjen at infiltrasjonsraten har en betydelig rolle, ettersom at de permeable flatene i disse delfeltene har stor innvirkning på mengden avrenning som når utløpet. Dette observeres også for Tøyen. Utløp som er bestående av delfelt med mye permeable flater vil påvirkes mindre av infiltrasjonsraten enn utløp med delfelt bestående av mer tette flater. Dette er spesielt tydelig for utløpene FV20a, FV20b og AF2 som består av mer tette flater enn utløpene FV12 og FV19. Resultatene indikerer en signifikant sammenheng mellom andelen permeable flater og infiltrasjonsraten, som har en betydelig innvirkning på delfeltets kapasitet til å håndtere nedbør lokalt. Dette er spesielt merkbart for utløp som er knyttet til delfelter med mindre andel permeable flater.

Det har vært utfordrerne å finne pålitelig kilder som bekrefter at områder med mer permeable flater er mindre sensitive for endring i infiltrasjonsrater. Dette skyldes at det er begrenset med

publiserte studier som har undersøkt dette spesifikke temaet. Imidlertid har det blitt observert i studier, blant annet Paus (2018), at områder med mer permeable flater har en høyere grad av infiltrasjon sammenlignet med områder med mindre permeable flater. Dette funnet kan bidra som støtte for hypotesen om at mengde permeabilitet kan ha en innvirkning på sensitiviteten til infiltrasjonsraten i et bestemt område.

Ved å sammenligne resultatene fra simuleringene i SWMM med resultatene fra manuell beregning i delkapittel 3.1.1, kan det vurderes om den manuelle metoden gir sammenlignbare resultater som simuleringene. Dersom det er en tett sammenheng, kan det være mer effektivt å bruke en slik manuell beregningsmetode. SWMM simuleringene for utløpene på Tøyen viser at tre av utløpene, nemlig AF2, FV18 og FV20a, ikke klarer å håndtere all nedbøren lokalt. Disse resultatene avviker fra manuelt utførte beregninger, hvor kun utløpet FV19 ikke oppfyller kravet. Simuleringer indikerer derimot at utløpet FV19 håndterer all avrenning ved alle infiltrasjonsrater. En mulig årsak til denne avvikelsen kan være tilstedeværelsen av et sluk på dette området, som holder tilbake nedbøren. Dette kan føre til at utløpet har en større kapasitet, fordi avrenningen fortsatt sendes ut av utløpet, men med en forsinkelse. Dette blir ikke tatt hensyn til i manuell beregning, men tas hensyn til i simuleringene. Som tidligere påpekt, består delfeltene til FV19 også av flere kasseregnbed som bidrar til håndtering av noe nedbør. Dette kan påvirke resultatene for simuleringen for utløp FV19, og utgjør dermed en potensiell forklaring på avviket fra manuell beregning. AF2 og FV20a oppfyller ikke lenger trinn 1 for simuleringer slik de gjorde i manuell beregning. Utløp som besitter en kapasitetsverdi nær null viser seg å være særlig sårbare for usikkerheter forbundet med manuelle metoder. Resultatene viser at slike utløp ikke vil tilfredsstille kravene til trinn 1 ved simulering. Dette skyldes at en eventuell feilmargin i de manuelle beregningene vil ha en større innvirkning på resultatene for utløp med begrenset kapasitet.

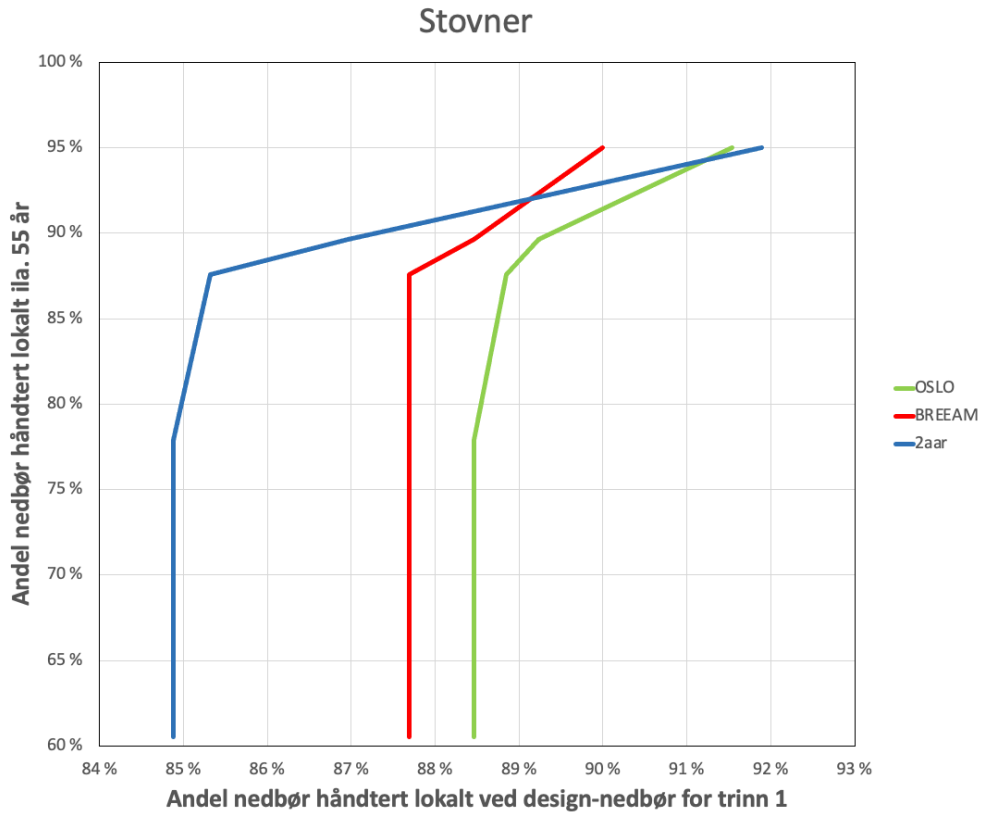
Målestasjonen på Blindern målte ikke nedbør i vinterhalvåret i perioden 1968 til 2004. Fravær av nedbørmålinger om vinteren kan føre til undervurdering av den totale årlige nedbøren, og vil dermed påvirke analyse av historiske nedbørdata og oppfatningen av klimaendringer. Snø og regn er på bakgrunn av dette ikke hensyntatt i modelleringen under denne perioden. Under vinterhalvåret er grunnen ofte frossen og dette vil ha stor påvirkning på infiltrasjonskapasiteten. Disse faktorene kan også påvirke grunnvannet, da mye av vannet vil renne på overflaten i disse periodene i stedet for å infiltrere i jorda. I dette tilfellet kan det være større mengder avrenning som blir ført til utløpene, enn det blir tatt hensyn til i simuleringene. Utilgjengelig nedbørdata fører til usikkerhet ved simulering av historisk nedbør, da det er vanskelig å anslå i hvilken grad det påvirker resultatene. Å inkludere nedbørdata i vinterhalvåret ville gitt mer nøyaktige

resultater og en bedre forståelse for hvordan avrenning oppfører seg i ulike situasjoner og årstider.

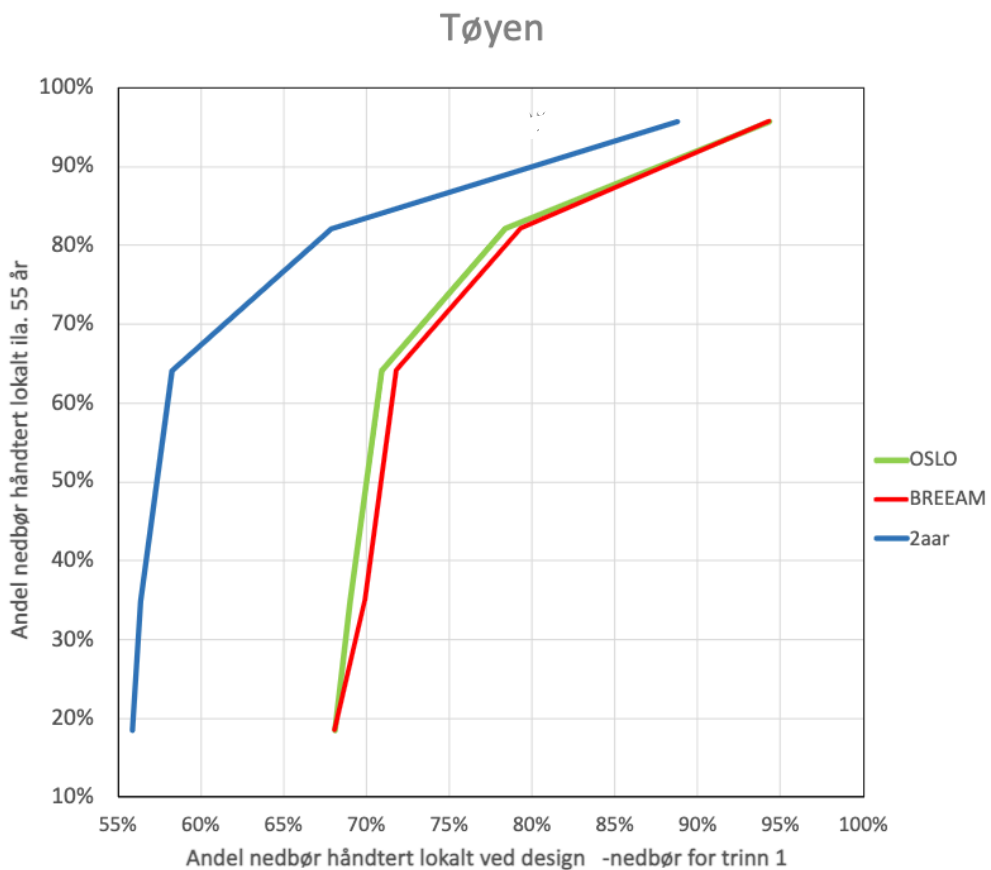
Konklusjonen av resultatene viser at det er flere faktorer som kan bidra til avvik mellom resultatene for manuell beregning og simulering av nedbør. Dette inkluderer forskjeller i forutsetninger og antagelser som brukes i de to metodene, samt tilgangen på detaljert data om avrenning som vannhastighet og avrenningsmønstre, samt overvannstiltak. Selv om manuell beregning er en enklere og mindre ressurskrevende metode for å beregne vannbalanse over lang tid og vil gi en god og helhetlig oversikt over håndtering av nedbør i et område, gir SWMM simuleringen mer presise resultater. Mer pålitelige resultater fra simuleringene gir mulighet for å implementere tiltak i de delfeltene som faktisk trenger det. FV19 eksemplifiserer en situasjon der tiltak kan bli utført feil steder dersom man utelukkende benytter seg av manuelle beregninger. Resultatene viser en sterkere sammenheng mellom manuell beregning og simulering for Stovner enn Tøyen. Det kan antyde at manuell beregning er mer egnet for områder med høyere grad av permeabilitet. I situasjoner som ligner mer på Tøyen, kan det derimot være mer hensiktsmessig å bruke en mer avansert metode.

3.1.3 Vurdering av modellregn for å beskrive andel håndtert

Beregning av vannbalanse over en lengre periode, i dette tilfellet 1968-2022, er en tid- og ressurskrevende prosess. For å effektivisere denne prosessen, undersøkes det om noen modellregn kan gi de samme forventede resultatene over lang tid. Dette undersøkes ved å sammenligne mengden nedbør som blir håndtert ved simuleringer med historisk nedbør, med mengden nedbør som blir håndtert ved ulike modellregn, for å se om det gir samme resultat. Resultater for dette presenteres i Figur 7 og Figur 8.



Figur 7: Modellregn og historisk nedbør plottet for Stovner.



Figur 8: Modellregn og historisk nedbør plottet for Tøyen.

Modellregnene gir forskjellige resultater for de to områdene, og avviket mellom modellregn og historisk nedbør er større for Tøyen enn for Stovner. Dette er tydelig illustrert i Figur 8, der andelen håndtert nedbør ved en infiltrasjonsrate på 0,01 mm/t er så lav som 18%. Her viser modellregnene en håndtert andel nedbør som er mye høyere. Figur 8 viser at det håndteres 56% for 2 års nedbør, og 68% for både BREEAM og Oslo kommune. På Stovner er andelen håndtert nedbør med en infiltrasjonsrate på 0,01 mm/t på 66%. Figur 7 viser at 2 års nedbør håndterer 86%, og at BREEAM og Oslo kommune håndterer omtrent 89% ved denne infiltrasjonsraten. En mulig årsak til at Stovner og Tøyen får ulike avvik mellom modellregn og historisk nedbør kan være at de to områdene har ulike topografiske- og overflateegenskaper, som kan føre til forskjellige avrenningsmønstre. Tøyen har en mer kompleks bygningsstruktur som kan gjøre det vanskeligere å forutsi avrenningsmønsteret. I tillegg har Tøyen mindre permeable overflater sammenlignet med Stovner, noe som vil påvirke mengden nedbør som håndteres lokalt. Modellregn og historisk nedbør viser seg å ha store avvik når infiltrasjonsraten er lav, men avviket reduseres for områder som Stovner som har mer permeable flater.

Det er observert at økt infiltrasjonsrate fører til at modellregnene og historisk nedbør har en høyere grad av konsistens og likhet. Dette er særlig tydelig når infiltrasjonsraten er 100 mm/t. På Stovner blir 92% av nedbøren håndtert for Oslo kommune og 2 år nedbør, mens historisk nedbør håndterer 95% lokalt. BREEAM håndterer en andel på 90%, og historisk nedbør har en verdi på 95%. En mulig årsak til at BREEAM ikke har like konsise resultater som de to andre modellregnene kan forekomme av at dette er et modellregn med unormal høy intensitet og lav varighet. For Tøyen oppfører Oslo kommune og BREEAM seg svært likt. Disse modellregnene håndterer historisk nedbør 96% lokalt, men både Oslo kommune og BREEAM håndterer 94%. 2 års nedbør klarer ikke å holde tritt med de andre modellregnene og håndterer en mindre andel nedbør.

I likhet med SWMM simuleringene er det også i analysen av modellregn brukt historisk nedbør fra målestasjonen på Blindern, som ikke målte nedbør i vinterhalvåret i perioden 1968 til 2004. Dette kan påvirke sammenhengen mellom modellregn og historisk nedbør, da manglende nedbørmålinger kan føre til at den historiske nedbøren i teorien ikke representerer den faktiske nedbøren. Som et resultat kan de oppstå en diskrepans mellom modellregnet og historisk nedbør, noe som kan påvirke korrelasjonen mellom de to og føre til usikkerhet i resultatene.

Resultatene underbygger at det vil være større avvik for et område med flere tette overflater. Dette blir også påvist i delkapittel 3.1.2, der det fremkommer at Tøyen påvirkes mer av

infiltrasjonsraten enn Stovner. Dette kan indikere at Tøyen er mer avhengig av sine permeable flater på grunn av deres begrensede mengde, i motsetning til Stovner som har flere slike flater. Selv om Stovner også påvirkes av infiltrasjonsraten, skjer det ikke i like stor grad som på Tøyen. Resultatene viser også at modellregn kan anvendes for å beregne vannbalansen over en lengre periode ved høye infiltrasjonsrater som 100 mm/t. Imidlertid er det mer pålitelig å bruke modellregn for områder med høyere grad av permeable flater, da infiltrasjonsraten er en svært usikker parameter, spesielt i urbane områder. Dette kan føre til avvik i håndtering av nedbør i områder med mindre permeable flater. Basert på resultatene, kan det antas at bruk av modellregn som grunnlag for å estimere vannbalansen i slike områder gir større usikkerhet ved endring i infiltrasjonsrate.

Samlet sett viser resultatene at det ikke er et modellregn som fungerer best for alle områder, og at lokale forhold må tas i betraktning når man velger og anvender modellregnet. Hvis det derimot skal anbefales et modellregn fra studien, viser resultatene at Oslo kommunes krav til trinn 1 kan være den foretrukket modellregnet til å beregne vannbalanse over lengre tid. Særlig ved høye infiltrasjonsrater, da dette modellregnet viser sterk korrelasjon mellom modellregn og historisk nedbør for både Tøyen og Stovner.

4 Konklusjon

Formålet med denne studien har vært å evaluere Oslo kommunes krav til trinn 1 i tre-trinns strategien gjennom å undersøke hvorvidt kravene som er satt er velegnet til å håndtere påregnelig vannbalanse over tid, samt vurdere om det finnes andre krav som er bedre egnet. Ved å benytte historiske tidsserier for nedbør og temperatur for de to utvalgte områdene, Tøyen og Stovner, bidrar studien til å vurdere kravene opp mot reell vannbalanse i urbane strøk i Oslo. Resultatene fra studien gir økt kunnskap om overvannshåndtering i urbane områder med varierende infiltrasjonsevne.

Studien har flere viktige funn. Primært understreker den at infiltrasjonsevnen er avgjørende for å oppfylle dagens krav til trinn 1 på tilfredsstillende måte, da den direkte påvirker områdets evne til å håndtere nedbør. Det er særlig relevant for urbane områder der jorda kan være sterkt modifisert og variere innad i et område. Resultatene viser også at topografi, helning og områdets flater kan påvirke infiltrasjonsevnen. Videre viser resultater at Oslo kommunes manuelle beregningsmetode kan anvendes som et utgangspunkt for å tilegne en overordnet vurdering av overvannshåndtering for et området, men at det er hensiktsmessig å undersøke og analysere delområder som er sårbare og utsatt for å ikke oppfylle kravet til trinn 1. Resultatene avdekker også en korrelasjon mellom sensitiviteten for infiltrasjonsrate og andelen permeable flater til området. Dette illustreres ved at Stovner, som har en høyere andel permeable flater sammenlignet med Tøyen, opprettholder en mer stabil vannbalanse og påvirkes mindre av endringer i infiltrasjonsraten. Studien viser at det er mulig å bruke modellregnene, BREEAM og 2-års nedbør, til å regne ut vannbalansen over lengre tid, men at dette kun anbefales ved en høy infiltrasjonsrate. Resultatene viser at modellregn har sterkest sammenheng med historisk nedbør i disse tilfellene. Modellregnene er også mindre sensitive for endring i infiltrasjonsrate for området bestående av mer permeable flater.

Konklusjonen i studien indikerer at infiltrasjonsevnen er avgjørende for at kravene til trinn 1 skal være tilfredsstillende. Dette vises ved at kravene satt av Oslo kommune, samt modellregn fra BREEAM og 2 års nedbør, kun oppfylles ved en infiltrasjonsrate på 100 mm/t. Det er viktig å bemerke seg at konklusjonen i studien er basert på to case-studier, og ytterligere forskning er nødvendig for å generalisere funn

4.1 Videre arbeid

Resultatene av studien introduserer flere forslag for videre arbeid for evaluering av trinn 1 i tre-trinns strategien og bedre håndtering av overvann i urbane områder.

- Repetere studien for flere prosjekter: Det bør gjennomføres en lignende studie for flere prosjekter og vurdere om resultatene vil føre til de samme konklusjonene. Dette vil bidra til å validere og generalisere funnene fra denne studien.
- Utforske alternative modellregn: En analyse av ulike modellregn bør gjennomføres for å vurdere om det finnes bedre alternativer enn de som ble brukt i denne studien. Det er også viktig å vurdere om det finnes modellregn som er bedre egnet for ulike typer områder og situasjoner.
- Optimalisere håndtering av avrenning i trinn 1: Det er viktig å undersøke hvordan avrenningshåndteringen i trinn 1 kan optimaliseres for å best mulig oppfylle formålet med trinn 1 samtidig som håndteringen er kostnadseffektiv.
- Effekten av nytt krav for trinn 1 på fremmedvann: En undersøkelse bør gjennomføres for å evaluere i hvilken grad det nye kravet til trinn 1 påvirker mengden av fremmedvann i urbane områder. Dette vil bidra til å forstå om kravet har en effekt på reduisering av uønsket vann til avløpssystemet.
- Sammenhengen mellom permeable flater og sensitivitet for endring av infiltrasjonsrate: Det bør undersøkes videre om det er en klar sammenheng mellom andelen permeable flater i et område og hvor sensitivt området er for endringer i infiltrasjonsraten. Dette vil bidra til å forstå hvordan ulike faktorer påvirker vannbalansen og overvannshåndtering i et gitt område.
- Påvirkning av nye dimensjoneringskrav til trinn 2 i tre-trinns strategien: Det er nødvendig å undersøke de nye dimensjoneringskravene som er innført av Oslo kommune for trinn 2 og se om kravet påvirker resultatene til trinn 1. Dette vil bidra til å forstå sammenhengen og samspillet mellom de to trinnene i overvannshåndteringen.

Implikasjonen av videre arbeid vil resultere i ny innsikt og kunnskap om overvannshåndtering og kunne bidra til å forbedre beslutningsstøtte i vann- og avløpsprosjekter, redusere etterslep og oppnå mer effektive og bærekraftige løsninger for håndtering av overvann i urbane områder.

5 Referanser

- ASCE. (1992). *Design & Construction of Urban Stormwater Management Systems*. New York, NY.
- BREEAM. (2023). *BREEAM*. Bregroup.
<https://bregroup.com/products/breem/#:~:text=BREEAM%20is%20the%20world's%20leading,construction%2C%20to%20use%20and%20refurbishment>.
- ChatGPT. (2023). *ChatGPT*.
- Kildahl, M. K. (2022). *Sammenligning av manuelle og modellbaserte metoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann* [Masteroppgave, Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet]. Brage.
- Klimaservicesenter. (2022). *Temperatur*.
<https://klimaservicesenter.no/kss/forside/vaertema/velg-tema-temp>
- Kulvert. *Mannings-n for rør, kanaler og elver*. Kulvert.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, I. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann.
- Lindholm, O. G., Bjerkholt, J. T., & Lien, O. (2011). Fremmedvann i nordiske avløpsledningsnett. *Norsk Vann*, 10.
- Lunde, E. W. (2020). *Infiltrasjon i regnbed og val av verdi for metta hydraulisk konduktivitet ved dimensjonering* [Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet]. Brage.
- Meteorologisk institutt. (2022). *FROST API*. <https://frost.met.no/index.html>
- NOU 2015:16. (2015). *Overvann i byer og tettsteder*. N. o. utredninger.
- Oslo kommune. (2023). *Retningslinjer og veiledning for overvannshåndtering i Oslo kommune*.
- Paus, K. A. H. (2018). Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann [Fagfelleurdert artikkel]. *Norsk Vann*, 12.
- Rossmann, L. A. (2015). *Storm water management model*
- Solheim, E. B., Braskerud, B. C., & French, H. K. (2017). Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis [Journal Article]. 13.
- Vegdirektoratet. (2018). *Vegbygging* (Vol. Håndbok N200). Statens vegvesen.
- Ødegaard, H. (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.

VEDLEGG A

Vedlegg A presenterer en oversikt over innhentet data fra AFRY fra prosjektene for Tøyen og Stovner, samt hva de ulike dokumentene er brukt til.

Tabell 6: Oversikt over innhentet data fra AFRY fra prosjektene for Tøyen og Stovner.

Type dokument	Beskrivelse
LARK-underlag	Dimensjoner og tegninger av LOD-tiltak som grønne tak, skogshage, regnbed, fordrøyningsmagasiner.
VA-plan	Brukt til beliggenhet på kummer, sandfang, sluk, samt hvor ledninger går, AF-er etc.
Overvannsplan	Hvordan overvannsløsninger og beliggenhet, samt hvilke retninger vannet renner, flomveier.
Terrengmodell	Terrengmodell i xml format. Brukt i SCALGO Live til å finne avrenningsmønster for Tøyen.
Hovedledningskart og kumdata	Informasjon på kummer, sluk, IFS og sandfang. Kvotehøyder, dybder, inn- og utløpshøyder for ledninger til og fra kummer. Diameter og materiale.
Regneark for overvann	Excelark med beregninger av overvannshåndtering for områdene.

VEDLEGG B

Vedlegg B presenterer en oversikt over alle LID-moduler, samt verdier for de ulike parameterne som er brukt i SWMM. RB står for regnbed og GT står for grønt tak.

Tabell 7: Verdier for ulike parametere for LID-moduler på Stovner.

ID	Delfelt	Areal	Bredde	Maksimal vannstand	Tykkelse jord	Mettet hydrualisk konduktivitet	Perkolasjons-hastighet
Enhet		[m ²]	[m]	[mm]	[mm]	[mm/t]	[mm/t]
RB1	1	253.4	15.92	200	400	200	10
RB2	2	383	19.57	200	400	200	10
RB3	3	136	11.66	200	400	200	10
RB4	4	2590	50.89	200	500	200	10
RB5	5	2850	53.39	200	500	200	10
RB6	6	102	10.10	200	400	200	10
RB8	8	349	18.68	200	400	200	10
RB9	9	7400	86.02	200	500	200	10
RB10	10	2930	54.13	200	500	200	10
RB11	11	173.8	13.22	200	400	200	10
GT12	12	1350	36.74	20	55	200	10

Tabell 8: Verdier for ulike parametere for LID-moduler på Tøyen.

ID	Delfelt	Areal	Bredde	Maksimal vannstand	Tykkelse jord	Mettet hydrualisk konduktivitet	Perkolasjons-hastighet
Enhet		[m ²]	[m]	[mm]	[mm]	[mm/t]	[mm/t]
A_RB3	3	13.6	3.69	200	820	200	10
A_GT4	4	192.7	13.88	20	55	200	10
A_RB5	5	185.7	13.63	200	400	200	10
B_GT7	7	120.8	10.99	20	55	200	10
C_RB9	9	3.9	1.93	200	820	200	10
A_RB10	10	7.3	2.70	200	400	200	10
A_RB11	11	855.3	29.25	200	400	200	10
B_RB12	12	693.7	26.34	200	400	200	10
B_GT13	13	90.7	9.52	20	55	200	10
B_RB14	14	31.0	5.56	200	400	200	10
B_GT15	15	183.6	13.55	20	55	200	10
C_RB16	16	35.0	5.92	200	400	200	10
A_RB18	18	439.7	20.97	200	400	200	10
C_RB19	19	139.3	11.80	200	400	200	10
C_RB20	20	61.5	7.84	200	400	200	10
B_RB22	22	118.0	10.86	200	400	200	10
B_RB23	23	71.1	8.43	200	400	200	10
C_GT24	24	155.3	12.46	20	55	200	10
C_RB25	25	10.9	3.30	200	400	200	10

VEDLEGG C

Tabell 9 og Tabell 10 viser en oversikt over resultater for volum kapasitet og volum avrenning fra den nye beregningsmetodikken i Oslo kommunes veileder for overvannshåndtering. Formel 1 og Formel 2 er anvendt. Det er blitt regnet ut kapasitet og avrenning for hvert delfelt i begge prosjektene. Hvis volum kapasitet er større enn volum avrenning oppfylder delfeltet kravet til trinn 1.

Tabell 9: Volum til kapasitet og avrenning for hvert enkelt delfelt for prosjektet på Stovner.

Delfelt	Volum kapasitet	Volum avrenning	Oppfyller trinn 1
Enhet	(V _k)	(V _a)	(V _k > V _a)
	[m ³]	[m ³]	[Ja/Nei]
1	7.0	5.3	Nei
2	4.5	16.8	Nei
3	6.8	8.3	Ja
4	146.9	1.8	Ja
5	100.8	7.6	Ja
6	3.0	1.8	Ja
7	0.0	7.2	Nei
8	8.5	1.1	Ja
9	481.0	0.0	Ja
10	190.5	0.0	Ja
11	8.7	4.6	Ja
12	0.7	0.0	Ja
13	0.0	16.2	Nei
14	0.0	4.1	Nei

Tabell 10: Volum til kapasitet og avrenning for hvert enkelt delfelt for prosjektet på Tøyen.

Delfelt	Volum kapasitet	Volum avrenning	Oppfyller trinn 1
Enhet	(Vk) [m3]	(Va) [m3]	(Vk > Va) [Ja/Nei]
1	0.0	1.7	Nei
2	0.0	4.2	Nei
3	0.0	5.9	Nei
4	0.5	5.0	Nei
5	19.2	2.4	Ja
6	0.0	3.5	Nei
7	0.3	4.5	Nei
8	0.0	1.3	Nei
9	0.0	0.9	Nei
10	0.0	0.4	Nei
11	52.7	4.7	Ja
12	45.0	4.2	Ja
13	0.2	4.0	Nei
14	2.0	0.8	Ja
15	0.5	2.3	Nei
16	0.0	3.4	Nei
17	0.0	0.7	Nei
18	21.5	4.5	Ja
19	7.8	0.7	Ja
20	3.8	2.9	Ja
21	0.0	2.0	Nei
22	6.5	3.0	Ja
23	3.6	1.1	Ja
24	0.4	1.9	Nei
25	0.0	3.8	Nei
26	0.0	0.9	Nei



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway