



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2022 30 stp
Fakultet for realfag og teknologi

Sammenligning av manuelle og modellbaserte metoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann

A comparison of manual and model based methods
for dimensioning detention systems for stormwater

Markus Kvillum Kildahl
Vann- og Miljøteknikk

Forord

Denne artikkelbaserte masteroppgaven er levert til Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), fakultet for realfag og teknologi. Oppgaven representerer mitt siste og avsluttende arbeid på studiet Vann- og Miljøteknikk. Hensikten med oppgaven var å utvide, samt forbedre, forståelsen av dagens dimensjonering for overvann til byggesaksbehandling. Oppgaven er skrevet som en del av Asplan Viak-programmet i Asplan Viak AS. En stor takk rettes til Asplan Viak AS for tilgang på prosjektmateriale, skriveplass under arbeidet, og generelt god veiledning og hjelp.

Tusen takk til min veileder Kim Aleksander Haukeland Paus for god veiledning og støtte gjennom hele arbeidet. Kim sine innspill, innsiktsfulle kommentarer, og store faglige kompetanse har vært uvurderlig.

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

Oslo, mai 2022

Markus Kvillum Kildahl

Sammendrag

Hyppigere intensive nedbørshendelser i urbaniserte områder, kombinert med stadig mer fortetting, endrer hvordan tiltak for overvann dimensjoneres. Som følge av dette kan mangel på overvannshåndtering føre til økt skade på bebyggelse og infrastruktur. Upresis og manglende dimensjonering for overvann kan bli kostbart. Beregning og dimensjonering av overvannssystemer som del av byggesaksbehandling er derfor blitt standard i flere norske kommuner. Manuell beregningsmetode basert på empiriske modeller og fysiske formler som regnenvelopmetoden og den rasjonale metode, er den mest vanlige metoden for dimensjonering av overvannssystemer og bestemmelse av fordrøyningsvolum. Metoden har flere forutsetninger og forenklinger som introduserer betydelig usikkerhet knyttet til resultatene. I dag håndteres usikkerheten i liten grad i prosjekt, og det er også ukjent om metoden bidrar til over- eller underdimensjonering av fordrøyningsvolum når en sammenligner med mer detaljerte og realistiske analyser gjennom datasimulert beregningsmetodikk.

Hovedformålet med studien er å vurdere og sammenligne dagens praksis opp mot resultater ved bruk av mer realistiske modeller for dimensjonering. I denne studien er US EPAs Storm Water Management Model (SWMM) benyttet som datasimulert beregningsmetode. Grunnlaget for studien er 31 prosjektutredninger i forbindelse med byggesaksbehandling i perioden 2015-2022, der fordrøyningsvolumet er dimensjonert ved bruk av den rasjonale metode. Inngangsdata i SWMM-modellene er prosjektenes stedlige forutsetninger og karakteristikk, samt modellregn som nedbørshendelser. Ved bruk av modellregn til beregninger antas det at gjentaksintervallet er likt for nedbør og avrenning. Denne antakelsen studeres nærmere for tre ulike modellregn (kasseregn, symmetrisk blokkhyetogram og trekantregn). Modellene dimensjoneres med modellregnene for et 5- års gjentaksintervall, og studien undersøker gjentaksintervallet for overskridelse av fordrøyningsanleggets kapasitet mot lengre tidsserier med historisk nedbør.

Resultatene av studien viser en signifikant forskjell mellom manuelle- og datasimulerte beregningsmetoder ved dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann. Forskjellen gir tydelig indikasjon på at dagens praksis ved bruk av manuelle beregningsmetoder overdimensjonerer fordrøyningsvolum til byggesaksbehandling. Resultatene viser at den rasjonale metode overestimerer volum i 90% av prosjektutredningene. I gjennomsnitt er fordrøyningsvolumet beregnet i SWMM til å være 38% lavere enn ved den rasjonale metode. Forholdet mellom utløp og areal (spesifikt maksimalt utløp $(\frac{l}{s*ha})$), samt andel impermeable og permeable flater er mest utslagsgivende for størrelsen på avviket i beregnet fordrøyningsvolum mellom beregningsmetodene. Studien viser at avviket øker ved økt spesifikt utløp, kombinert med høyere andel permeable flater.

Ved dimensjonering av tiltak med modellregn viser studien at gjentaksintervall for overskridelse av kapasitet er i varierende overenstemmelse med hva en forventer ved historiske nedbørsserier. Gjentaksintervallet var i gjennomsnitt høyere enn forventningen ved historisk nedbør, som resulterer i en underdimensjonering av fordrøyningsvolum. For å få en presis dimensjonering av fordrøyningsvolum basert på historiske tidsserier anbefales det at spesifikt maksimalt utløp er under $80 (\frac{l}{s*ha})$. Felt med et spesifikt maksimalt utløp over $80 (\frac{l}{s*ha})$, som samtidig har mer enn 70% andel impermeable flater, kan også gi en presis dimensjonering basert på historiske tidsserier i SWMM. Da er gjentaksintervallet for overskridelse av kapasitet lik forventet overskridelse ved

historiske nedbørsserier for alle de tre modellregnene. En nedbørsanalyse av dimensjonerende nedbørshendelser fra historisk nedbør er også foretatt. Der viser resultatene at gjentakintervallet for dimensjonerende hendelser er av forventet størrelse etter hva som er dimensjonert.

Resultatene i denne studien har betydning for praksis knyttet til dimensjonering av fordrøyningsanlegg. Det anbefales at dimensjoneringen beregnes ved bruk av datasimulerte metoder for å redusere usikkerheten som eksisterer ved manuelle metoder. Ved å bruke denne studiens resultater i fremtidig dimensjonering av fordrøyningsvolum, kan beregningene bli mer presise og optimalisere dimensjoneringen av overvannssystemer til byggesaksbehandling. Videre arbeid vil innebære evaluering av andre databaserte nedbør-avløpsmodeller og vurdering av flere modellregn, samt undersøke forskjell i fordrøyningsvolum beregnet i manuell metode og SWMM for felt der det foreligger en kalibrert og validert datasimulert beregningsmetode.

Innhold

FORORD	I
SAMMENDRAG	II
INNHold	IV
ABSTRACT	1
1 INTRODUKSJON	2
1.1 FORSKERSPØRSMÅL OG MÅL FOR OPPGAVEN	3
2 METODE	4
2.1 UTVALG OG ANALYSE AV PROSJEKTUTREDNINGER	4
2.2 MODELLERING I SWMM	4
2.2.1 <i>Evaluering av SWMM parametere</i>	5
2.3 MODELLREGN	5
2.4 NEDBØRSANALYSE AV DIMENSJONERENDE NEDBØRSHENDELSER	6
2.5 BEHANDLING AV DATA OG STATISTISKE TESTER	6
3 RESULTATER OG DISKUSJON	7
3.1 SAMMENLIGNING AV METODIKK FOR DIMENSJONERING AV FORDRØYNINGSVOLUM FOR OVERVANN.....	7
3.2 VURDERING AV MODELLREGN VED Å GJENSKEPE ET REALISTISK ANTALL OVERSKRIDELSESHENDELSER.....	8
3.3 NEDBØRSANALYSE AV OVERSKRIDELSESHENDELSER	10
3.4 PRAKTISK BETYDNING AV RESULTATER	11
3.5 USIKKERHET	12
3.6 VIDERE ARBEID.....	12
4 KONKLUSJON	13
5 REFERANSER	14
VEDLEGG A - NEDBØRMÅLESTASJONER	16
VEDLEGG B – PROSJEKTUTREDNINGER	17
VEDLEGG C – BEGRUNNELSE FOR VALG AV HYDRAULISK KONDUKTIVITET	18
VEDLEGG D – PROSJEKTUTREDNINGER TIL NEDBØRSANALYSE	20
VEDLEGG E – FORDRØYNINGSVOLUM CASEOMRÅDER	21
VEDLEGG F – OVERSKRIDELSESENTALL FOR MODELLREGN	23
VEDLEGG G – NEDBØRSANALYSE	25
VEDLEGG H – ANOVA ENVEIS VARIANSANALYSE	26

Sammenligning av manuelle og modellbaserte metoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann

Markus Kvillum Kildahl

Fakultet for realfag og teknologi
Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet

Abstract

More frequent and intensive precipitation events in urban areas change how we dimension stormwater solutions. Documentation of calculations for design of stormwater solutions has become a standard part of case processing for construction and spatial planning. Manual calculation methods based on empirical models and physical formulas, such as the rational method, is the most common methodology used for design and estimation of stormwater solutions and the detention volume today. It is unknown whether the methodology contributes to miscalculation of stormwater solutions when comparing it to more detailed and realistic analyses through computer simulated calculation methods.

The main objective for this study was to investigate and compare current calculation practice against results from more realistic models of dimensioning (Storm Water Management Model, SWMM). The basis of the study was 31 previous construction projects in the period 2015-2022, where the detention system for stormwater was calculated with manual calculation methods. When using rainfall hyetographs in calculation, it is presumed that the return period between precipitation and runoff is equal. This presumption was further studied for three types of rainfall hyetographs.

The results of this study show a significant difference between manual- and computer simulated calculation methods when estimating stormwater solutions. By using SWMM to estimate detention volume for stormwater, the results gave 38% less need for detention volume in average, than the rational method. High outlet flow per area ($\frac{l}{s*ha}$), as well as share of permeable and impermeable surfaces were the most decisive factors for the difference in dimensioning between the two calculation methods. The deviation increases with an increased outlet flow per area ($\frac{l}{s*ha}$), combined with more permeable surfaces. Additionally, this study showed that the return period between precipitation and runoff did not correlate with long timeseries of historical precipitation. Projects with outlet flow per area over 80 ($\frac{l}{s*ha}$), combined with a fraction of impermeable surfaces larger than 70%, had an even greater miscorrelation. The correlation to long timeseries of historical precipitation became significantly better after consideration of these values.

The results clearly indicates that current practice in case processing for construction and spatial planning are calculating too much detention volume in stormwater solutions. This study recommends detention volume for stormwater to be calculated with computer simulated methods.

1 Introduksjon

Økende nedbørsintensitet som følge av klimaendringer og stadig fortetting, endrer hvordan tiltak for overvann dimensjoneres. Overvannssystemer som ikke klarer å håndtere overvannet på en trygg måte, vil gi skader på bygninger og infrastruktur for mange hundre millioner kroner hvert år (NOU, 2015, s. 33). Som et resultat av dette er det blitt vanlig å dokumentere beregninger og dimensjonering av sammensatte overvannssystemer som del av byggesak i forbindelse med oppretting av nye tiltak og bebyggelse (Oslo Kommune, 2017). Overvannstiltak i byggesaksbehandling skal kunne håndtere trinn1- og 2 etter tre-trinnsstrategien for overvannshåndtering (Oslo Kommune, 2017). Dimensjonerende grense for trinn 2 inkluderer metode for å fordrøye og forsinke overvann innenfor planområdet med minimalt påslipp til avløpssystem (Lindholm, et al., 2008). Presis dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann blir bare viktigere i fremtiden for at et allerede sårbart vann- og avløpsnettverk ikke skal overbelastes (Shuster, Bonta, Thurston, Warnemuende, & Smith, 2005; Haase, 2009).

Overvannstiltakene beslaglegger til dels betydelig areal og volum av en tomt, som videre fører til en betydelig kostnad (Magnussen, Wingstedt, Rasmussen, & Reinvang, 2015). Magnussen et al. sin rapport (2015) anslår en investeringskostnad for fordrøyningsbasseng på $6,825 \text{ kr/m}^3$. Eksempelvis vil det bety en kostnad på 682 500 kr for et planområde med et nødvendig fordrøyningsvolum på 100 m^3 . Kostnadene tilknyttet slike anlegg understreker hvor viktig det er med en mer realistisk dimensjonering, som betyr bedre og mer presise måter å dimensjonere på.

Dimensjoneringen av overvannssystemer i byggesaker blir i dagens praksis hovedsakelig behandlet med manuelle beregningsmetoder (U. Zuhlke, personlig kommunikasjon, 8. april 2022). Dette innebærer metoder som er utformet og basert på enkle formler og empiriske modeller, som den rasjonale formel og regnenvelopmetoden. Slike manuelle beregningsmetoder skaper en usikkerhet fordi de i liten grad blir håndtert ved dimensjonering. Manuelle metoder gir ofte et enkelt overslag, samtidig som subjektive og skjønnsmessige vurderinger definerer ulike inngangsparametere, eksempelvis avrenningskoeffisient, konsentrasjonstid (Stenius, Glad, Wang, & Væringstad, 2015) og forutsetning om konstant utløp. En usikkerhetsanalyse av den rasjonale formel viser signifikant usikkerhet for flere av faktorene til formelen (Bondeson, 2021). Studien fra Sverige viser at nedbørintensiteten og avrenningskoeffisienten har størst usikkerhet knyttet til seg.

En dimensjoneringsmetodikk som kan gi mer presis dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann til byggesaksbehandling er datasimulert modellering basert på område-spesifikke karakteristikk. Bruken av slik modellering vil i stor grad være avhengig av kvaliteten på de stedlige forutsetningene og selve modellen som blir anvendt.

Det hydrauliske og hydrologiske simuleringsverktøyet SWMM (Stormwater Management Model) blir ofte anvendt til å modellere overvannssystemer. Modelleringsverktøyet er langt mer omfattende i form av ytelse og realisme enn det en vil kunne oppnå ved både manuelle beregninger og flere andre hydrologiske beregningsmetoder (Niazi, et al., 2017). En kan modellere og simulere et betydelig antall prosesser knyttet til urban hydrologi ved bruk av SWMM. Forskjellen fra den rasjonale metode, som har en direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning, er at programmet stegvis simulerer nedbørshendelsen og påfølgende avrenning gjennom kinematisk bølgeligning, og med mer komplekse infiltrasjonsberegninger som Green-Ampt metode (Rossmann, 2015). At

programmet er fleksibelt, godt etablert innen fagfeltet, gratis, og har en stor ytelsesevne, ble avgjørende for at SWMM ble den foretrukne datasimulerte modelleringstjenesten for denne studien.

Sammenligning av beregnet fordrøyningsvolum gjennom dimensjonering i SWMM og den rasjonale metode, vil vise om dagens metode bidrar til å over- eller underdimensjonere fordrøyningsanlegg til byggesaksbehandling. Et tidligere forsøk på å sammenligne metodene ble gjort i en studie av Nedza (2019). Sammenligningen foretok kun to beregninger av fordrøyningsvolum, og viste at den rasjonale metode overdimensjonerte fordrøyningsanlegget. Hvorvidt det resultatet stemmer for et langt større antall beregninger, skal denne studien undersøke.

Ved dimensjonering gjennom både manuelle og datasimulerte beregninger, behøver en å bruke nedbørhendelser for å teste systemets ytelse og bestemme gjentakintervall for overskridelse av kapasitet. Med hensyn til å redusere usikkerheten som introduseres ved bruk av modellregn, vil det være foretrukket å benytte lange historiske tidsserier for nedbør og temperatur direkte. Det er imidlertid begrenset datagrunnlag for nedbørstasjoner med lengre tidsserier og/eller det er svært tidkrevende å kjøre modeller for flere års data med minutt oppløsning. Derfor benyttes det modellregn med nedbørshyetogram som erstatning for historiske tidsserier (Bøyum, Eidsmo, Lindholm, & Markhus, 1997). Modellregnene ble historisk utviklet for å bestemme maksimal vannføring, og dermed er det usikkert hvilke regn vi skal bruke til beregning av fordrøyning. Dimensjoneringen av fordrøyningsvolum i både manuelle- og datasimulerte beregningsmetoder baserer seg på predikasjonen modellregnene gir for fremtidig nedbør. Ved bruk av modellregn til beregninger antas det imidlertid at gjentakintervallet for nedbør er lik gjentakintervallet for avrenning (Bøyum, Eidsmo, Lindholm, & Markhus, 1997). Dette er en sentral antakelse for at dimensjoneringen av fordrøyningskapasitet skal samsvare med fremtidig nedbør. Hvorvidt denne antakelsen stemmer er lite utforsket.

1.1 Forskerspørsmål og mål for oppgaven

Hensikten med studien er å besvare følgende forskningsspørsmål:

1. Er det en signifikant forskjell mellom manuelle- og datasimulerte beregningsmetoder ved dimensjonering av fordrøyningsvolum til overvannshåndtering?
2. Hvilke modellregn bør benyttes til å dimensjonere tiltak for at gjentakintervall for overskridelse av kapasitet skal være i best mulig overensstemmelse med det vi forventer ved historiske nedbørserier?

Kapittel 2 forklarer metode og gjennomføring av forskningsspørsmålene. Resultatene av studien er presentert og diskutert i kapittel 3. Avslutningsvis følger konklusjon, og videre arbeid er foreslått.

2 Metode

2.1 Utvalg og analyse av prosjektutredninger

Eksisterende prosjektutredninger ifm. byggesaksbehandling er sammenligningsgrunnlaget studien tar utgangspunkt i. Utvalget av prosjektutredninger stammer fra Asplan Viak sin database.

For å få et diversifisert og godt sammenligningsgrunnlag av prosjektutredninger, er det bestemt enkelte kriterier ved utvelgelse i databasen. Kriteriene for prosjektene består av urban karakter, nedbørfelt med totalareal mindre enn 4 hektar (ha), nærhet til målestasjon med måleserie, og de skal være maksimalt 7 år gamle. Kriteriene er bestemt for å minimere ukjente parametere, ha like inngangsinstillinger for alle modellene, og dermed la de stedlige forutsetningene variere. Etter utvalg og analyse er 31 prosjektutredninger modellert som caseområder i SWMM. Caseområdenes gjennomsnitt og median for stedlige forutsetninger er listet opp i Tabell 1. Oversikt over alle caseområdene og deres stedlige forutsetninger er presentert i Vedlegg B – Prosjektutredninger

Tabell 1: Statistikk for de utvalgte prosjektutredningene i areal, avrenningskoeffisient, dimensjonerende nedbørshendelse, manuelt beregnet fordrøyningsvolum, utløp, strupingskoeffisient, dimensjonerende gjentaksintervall og klimafaktor er listet opp.

	Areal	Dimensjonerende GI	Kf	Avrenningskoeffisient	Utløp	Qmid/Qmaxut	Fordrøyningsvolum ved manuell beregning (Rasjonale metode)	Dimensjonerende regnvarighet
Enhet	[m ²]	[År]	[-]	[-]	[l/s]	[-]	[m ³]	[Minutter]
Min	604	10	1,3	0,43	1	0,7	13	10
Maks	38 000	200	1,5	0,95	533	0,83	1 214	720
Gjennomsnitt	9 684	38	1,4	0,64	72	0,7	196	45
Median	5 512	20	1,4	0,63	20	0,7	106	45

2.2 Modellering i SWMM

For hver prosjektutredning er det opprettet en egen SWMM-modell. Modellen består av et nedbørfelt der andelen permeable og impermeable flater er bestemt med utgangspunkt i caseområdets illustrasjonsplan og/eller utenomhusplan. Kinematisk bølgelikning er valgt for simulering av avrenning. Hvert delfelt er modellert med uttak til ett fordrøyningsmagasin med påslipp til resipient (typisk kommunal avløpsledning). Ettersom formålet i oppgaven er å vurdere magasinivolum, er magasinene modellert som tomme basseng med rette sidekanter og maksimal vanddybde på 1 m. Utløpet fra magasinet er modellert som en strupeledning. Lysåpningen på utløpet er satt slik at maksimal videreført vannmengde tillatt i caseområde opptrådte i en situasjon der vannstanden i magasinet er 1 m. Med like innstillinger og inngangsparametere for alle modellene er det de stedlige forutsetningene som definerer variasjonene i resultater mellom caseområdene. Disse forutsetningene er gitt av prosjektutredningen, og nedbørsdata fra respektive IVF (intensitet, varighet, frekvens)-kurver er konstruert til modellene. Oversikt over stedlige forutsetninger er oppgitt i Vedlegg B – Prosjektutredninger

2.2.1 Evaluering av SWMM parametere

Alle inngangsinstillinger til modellene og kilde for valg av parametere er oppgitt i Tabell 2. Verdiene benyttet er hentet fra litteratursøk, en gitt antakelse eller fra SWMM sin brukermanual for aktuelle grunnforhold og omstendigheter. Resultatene i studien viste seg tidlig å være sensitiv for verdien av hydraulisk konduktivitet. Det er besluttet å bruke en hydraulisk konduktivitet på 41 mm/time for alle caseområder. Bakgrunn for valg av verdi kommer fra Solheim, French og Braskerud (2017) sin rapport av infiltrasjonsmålinger i Oslo, som er denne studiens primærkilde for hydraulisk konduktivitet. Vedlegg C inneholder et litteratursøk for å underbygge Solheim-rapporten sin relevans og robusthet, en ytterligere begrunnelse for valg av verdi, samt en sensitivitetsanalyse av den hydrauliske konduktiviteten for modellering i SWMM.

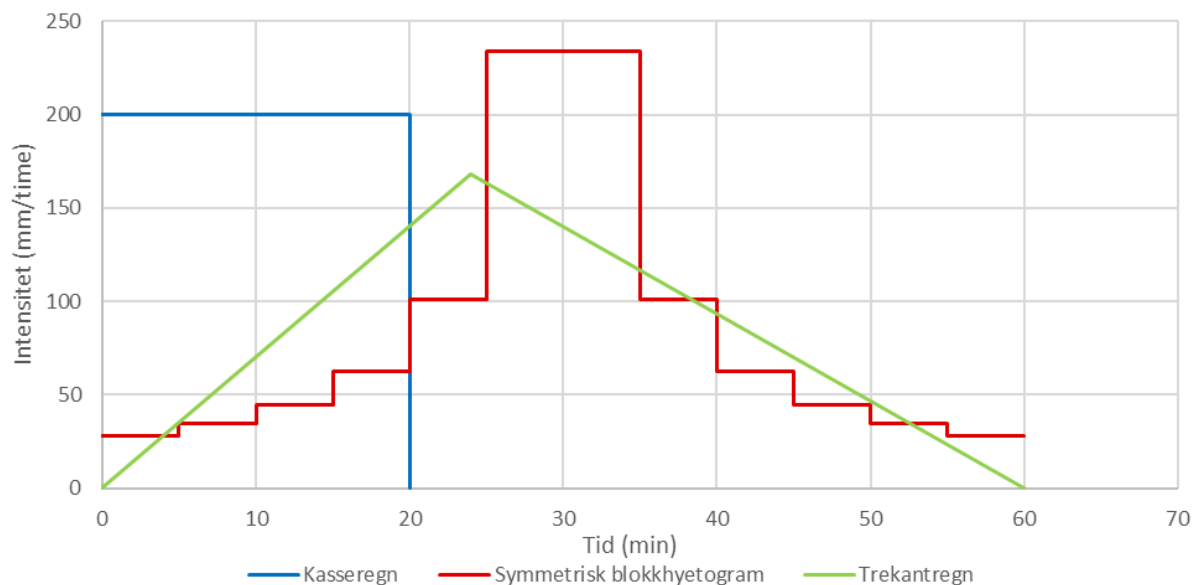
Tabell 2: Inngangsinstillinger og valgte verdier for delfelt og infiltrasjonsdata i SWMM. Kilde til bakgrunn for valgte verdier er også presentert.

Parameter	Verdi	Kilde
DELFELT		
- Ruhet for overflateavrenning på impermeable flater (Mannings n)	0,015	SWMM brukermanual (Rossman, 2015) og (McRuen, Johnson, & Ragan, 1996)
- Ruhet for overflateavrenning på permeable flater (Mannings n)	0,03	SWMM brukermanual (Rossman, 2015) og (McRuen, Johnson, & Ragan, 1996)
- Gropmagasinering på impermeable flater (mm)	1,9	SWMM brukermanual (Rossman, 2015) og (McRuen, Johnson, & Ragan, 1996)
- Gropmagasinering på permeable flater (mm)	3,8	SWMM brukermanual (Rossman, 2015) og (McRuen, Johnson, & Ragan, 1996)
INFILTRASJONSDATA		
- Modifisert Green-Ampt metode		
○ Kapillærsug (mm)	3,5	(Tsai, Liu, & Hsu, 2018) og (Hilpert, Park, Hsu, & Huang, 2016)
○ Hydraulisk konduktivitet (mm/time)	41	(Solheim, French, & Braskerud, 2017) og Vedlegg C
○ Metningsgrad (%)	25	Antakelse og (McRuen, Johnson, & Ragan, 1996)

2.3 Modellregn

Modellregnene benyttet i oppgaven er konstruert basert på IVF-data fra den respektive prosjektutredningen. Tre ulike modellregn er benyttet for å undersøke hvor godt de er egnet til å beskrive gjentakintervallet for overskridelse av kapasitet beregnet ved historiske nedbørsserier. Disse tre er kasseregner, symmetrisk blokkhyetogram (med konstant varighet på 60 min og blokkopløsning på 5 min) og trekantregn (nedbørstopp opptrer etter 40% av varigheten). De manuelle beregningene i prosjektutredningene bruker kasseregner som nedbørshyetogram. Derfor er simuleringene i SWMM for forskningsspørsmål 1 i denne studien også simulert med kasseregner. Dette er for å sammenlikne metodene (SWMM og rasjonale formel) uavhengig av nedbør.

Modellregnene er konstruert basert på teori fra Ødegaard et.al og NVE (2014; 1997), og fremstilt i Figur 1.



Figur 1: Modellregnene symmetrisk blokkhyetogram, trekantregn og kasseregn fremstilt som diagram.

Caseområdene er dimensjonert med et 5-års gjentakintervall for å sammenligne modellregnenes gjentakintervall for overskridelse av fordrøyningskapasitet med det man forventer ved historiske nedbørsserier. Ved å teste beregnet fordrøyningskapasitet med historiske nedbørsserier, vil dimensjonering for et lavere gjentakintervall måle ytelsen til modellen oftere. Dermed blir sammenligningen av gjentakintervall for nedbør og avrenning styrket. Ytelsen av modellen blir målt ved antall hendelser magasinet går fullt, og ved dimensjonering for et gjentakintervall på 5 år skal modellen teoretisk gå fullt 10 ganger på 50 år med historisk nedbør. Da vil gjentakintervallet for nedbør og avrenning være likt, og gjentakintervallet for overskridelse av fordrøyningskapasitet er i overensstemmelse med det man forventer ved historiske nedbørsserier.

2.4 Nedbørsanalyse av dimensjonerende nedbørshendelser

Dimensjonerende nedbørshendelser gitt av modellregn-analysen er videre analysert i en nedbørsanalyse. Analysen er foretatt for å undersøke hva slags estimert gjentakintervall nedbørshendelsene som fører til overskridelse har. Ettersom dette er en tidkrevende analyse, er 12 representative caseområder valgt ut. Caseområdene representerer variasjonen i stedlige forutsetninger for datasettet i studien. Oversikt over utvalgte caseområder er oppgitt i Vedlegg D.

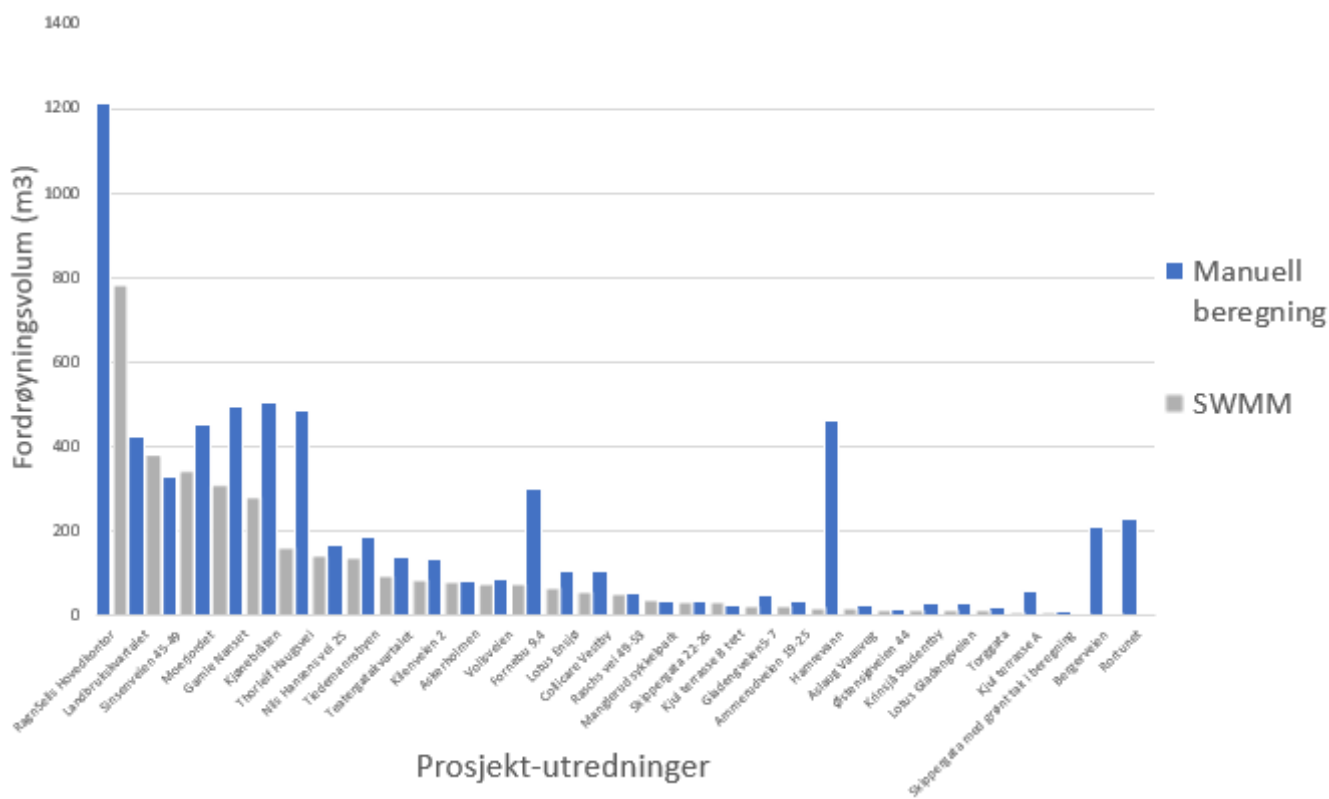
2.5 Behandling av data og statistiske tester

En enveis variansanalyse (ANOVA) er utført for å avdekke hvorvidt det er en signifikant forskjell i beregnet fordrøyningsvolum mellom den rasjonale metode og SWMM. Variansanalysen behandler studiens resultater i en statistisk test, der formålet er å undersøke variansen i beregnet fordrøyningsvolum mellom metodene. Verdiene benyttet i ANOVA-statistikken er forholdet mellom caseområdenes fordrøyningsvolum og areal. Sammenhengen blir vurdert med en p-verdi. En p-verdi på 0,05 og lavere vurderer metodene til å ha en signifikant forskjell.

3 Resultater og diskusjon

3.1 Sammenligning av metodikk for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann

Figur 2 oppsummerer beregnet fordrøyningsvolum ved bruk av henholdsvis manuell metode og ved bruk av SWMM. Når en betrakter gjennomsnittet, viser resultatene en signifikant forskjell ($p=0,05$) mellom manuelle- og datasimulerte beregningsmetoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum. 28 av 31 caseområder er dimensjonert med et lavere fordrøyningsvolum ved bruk av SWMM som metode for beregning. Totalt dimensjonerte SWMM gjennomsnittlig for et 38 % lavere fordrøyningsvolum enn prosjektutredningen.



Figur 2: Forskjell i beregnet fordrøyningsvolum for samtlige caseområder ved bruk av den rasjonale metode og SWMM. Rasjonale metode i blå stolper, og SWMM i grå stolper. Caseområdene er sortert etter størrelse gitt beregnet fordrøyningsvolum i SWMM.

Caseområdenes ulike stedlige forutsetninger har direkte betydning for dimensjoneringen av størrelsen på fordrøyningsvolum i SWMM. Dette skyldes trolig at SWMM ivaretar infiltrasjonsegenskapene til caseområdene bedre. Gropmagasinering og infiltrasjonsegenskapene blir bedre hensyntatt og beregnet enn ved manuell metode. For den rasjonale formel er det kun avrenningskoeffisienten som ivaretar infiltrasjonsegenskapene i likningen. En studie gjort av Niazi et al. (2017) sammenlignet og analyserte over 150 artikler og rapporter der SWMM ble benyttet til å modellere og planlegge overvannssystemer. Gjennom en sensitivitets analyse viser studien at SWMM-modellering er sensitiv for inngangsparametere relatert til karakteristikkene av de permeable og impermeable flatene. Dette samsvarer med resultatene i denne studien. De permeable og impermeable forholdene, gitt av de stedlige forutsetningene til prosjektutredningen, har stor innflytelse på resultat av dimensjonert fordrøyningsvolum. Resultatene i denne studien samsvarer også med et tidligere forsøk på å sammenligne beregning i den rasjonale metode og SWMM (Nedza, 2019). I Nedza (2019) sin studie dimensjonerte SWMM for 73,3% og 69,3% av dimensjoneringen til den rasjonale metode for henholdsvis to fordrøyningsmagasiner. Det betyr

en gjennomsnittlig 29% lavere dimensjonering av fordrøyningsvolumet i SWMM, enn ved den rasjonale metode. Resultatet er for kun to beregninger av fordrøyningsvolum, men i en mer detaljert skala enn de 31 som er sammenlignet i denne studien.

Resultatene viser flere caseområder som dimensjonerte for en ytterligere differanse i beregnet fordrøyningsvolum enn gjennomsnittet. Caseområder med ytterligere differanse forekommer der de stedlige forutsetningene består av et høyere forhold mellom utløp og areal, videre kalt spesifikt maksimalt utløp, og en lavere avrenningskoeffisient. Her vil avrenningskoeffisienten, og dermed andel permeable og impermeable flater, definere hvilke forutsetninger som blir lagt til grunn for infiltrasjonsegenskapene. Et eksempel er caseområdet «Kjul terrasse A», der fordrøyningsvolumet beregnet via den rasjonale formel og SWMM henholdsvis er 60 og 10 m³. For dette caseområdet er spesifikt maksimalt utløp $167 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$, og avrenningskoeffisienten 0,61. Den ytterligere differansen forekommer for caseområder der spesifikt maksimalt utløp er over $100 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$, og avrenningskoeffisienten er under 0,7. Da kan SWMM beregne over 65 % mindre behov for fordrøyningsvolum enn den rasjonale formel. Se Vedlegg E for alle caseområdenes spesifikke maksimale utløp, differanse i fordrøyningsvolum og andre resultater knyttet til sammenligning av metodikk.

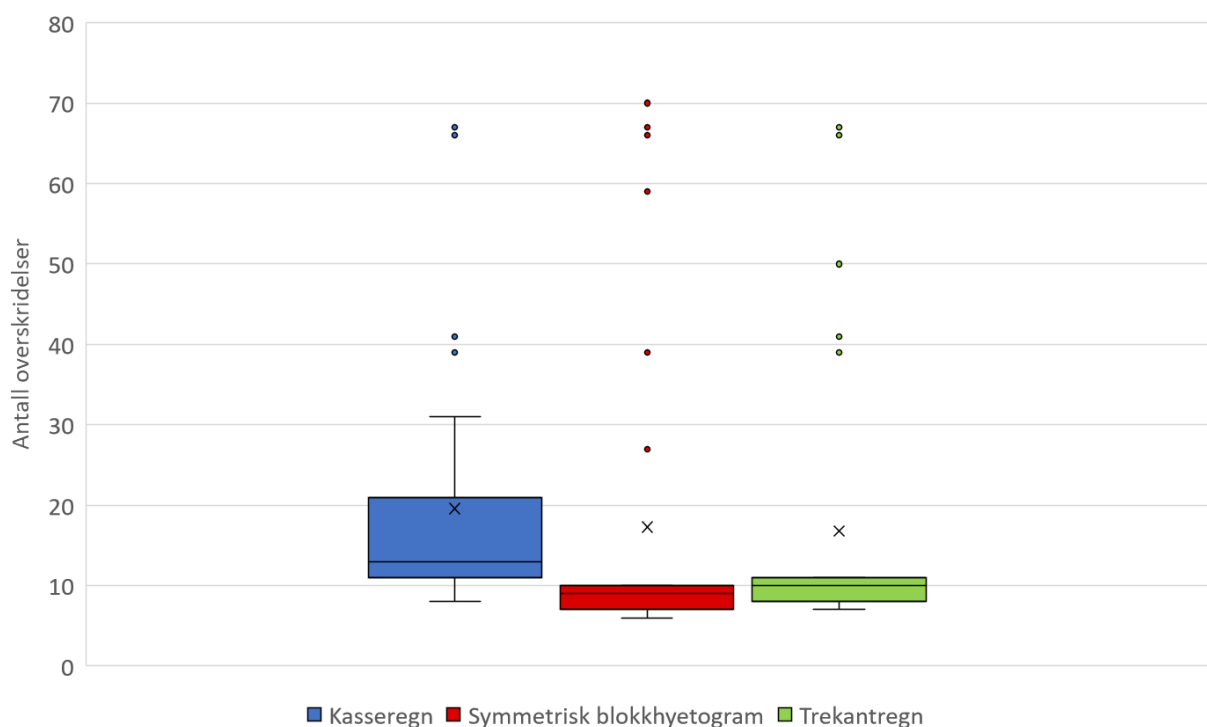
Sammenligning av metodene viser også at varigheten for dimensjonerende nedbørshendelse er forskjellig. Varigheten er forlenget for dimensjonerende nedbørshendelse ved 14 av 31 caseområder. Resterende hadde lik varighet. En forlenget varighet indikerer det motsatte av resultatene i denne studien, og forklares ved å se på forskjellen i utløpsarrangement mellom metodene. Vannføringskurven til utløpsarrangementet bestemmer videreført vannmengde ut av fordrøyningsmagasinet i SWMM. Denne baserer seg på vannføringen som funksjon av trykkhøyden i magasinet. Dette er forskjellig fra den rasjonale metode, der det brukes en faktor for videreført vannmengde til beregning av nødvendig fordrøyningsvolum (Q_{mid}/Q_{maxut} i Vedlegg B og Tabell 1) (MFT, 2015). Aaby og Lindholm (2007) sin studie rapporterer denne faktoren til å være enten 0,7 og 0,83 avhengig av utløpsarrangement, som er tilsvarende prosjektutredningenes faktorer. Dette er større enn det vannføringskurven i SWMM vil ha, uavhengig av stedlige forutsetninger. En lavere faktor fører til redusert videreført vannmengde ut av magasinet. Dette resulterer i at varigheten på den dimensjonerende nedbørshendelsen og dermed nødvendig fordrøyningsvolum øker.

Til tross for at caseområdenes utløpsarrangement bidrar til å øke fordrøyningsvolumet, viser resultatene i denne studien at behovet for fordrøyningsvolum fremdeles er langt mindre ved bruk av SWMM. Dette støtter teorien om at infiltrasjonsegenskapene til et planområde ivaretas bedre ved datasimulert simulering enn ved manuell beregning.

3.2 Vurdering av modellregn ved å gjenskape et realistisk antall overskridelsehendelser

Resultatene for vurderingen av modellregn viser at gjentakintervallet er varierende for overskridelse av kapasitet sammenlignet med historisk tidsserie. Caseområdenes stedlige forutsetninger er avgjørende for presisjonen av gjentakintervall for overskridelse av kapasitet. Ved bruk av modellregne til dimensjonering for 5-års gjentakintervall over 53 år med data blir magasinenes kapasitet overskredet antall ganger som vist i Figur 3. Resultatene for antall overskridelser blir presentert i et boksdigram, og viser hvordan enkelte caseområder tydelig avviker fra standardavviket og gjennomsnittet generelt. Ekstremverdiene representerer

caseområder som får en markant underdimensjonering. Dermed bidrar disse verdiene til å øke det gjennomsnittlige overskridelsesantallet for modellregnene, som er 19,6, 17,3 og 16,8 for henholdsvis kasseregn, symmetrisk blokkhyetogram og trekantregn. Alle caseområdenes dimensjonering for 5-års gjentaksintervall og overskridelsesantall, er oppgitt i Vedlegg F.

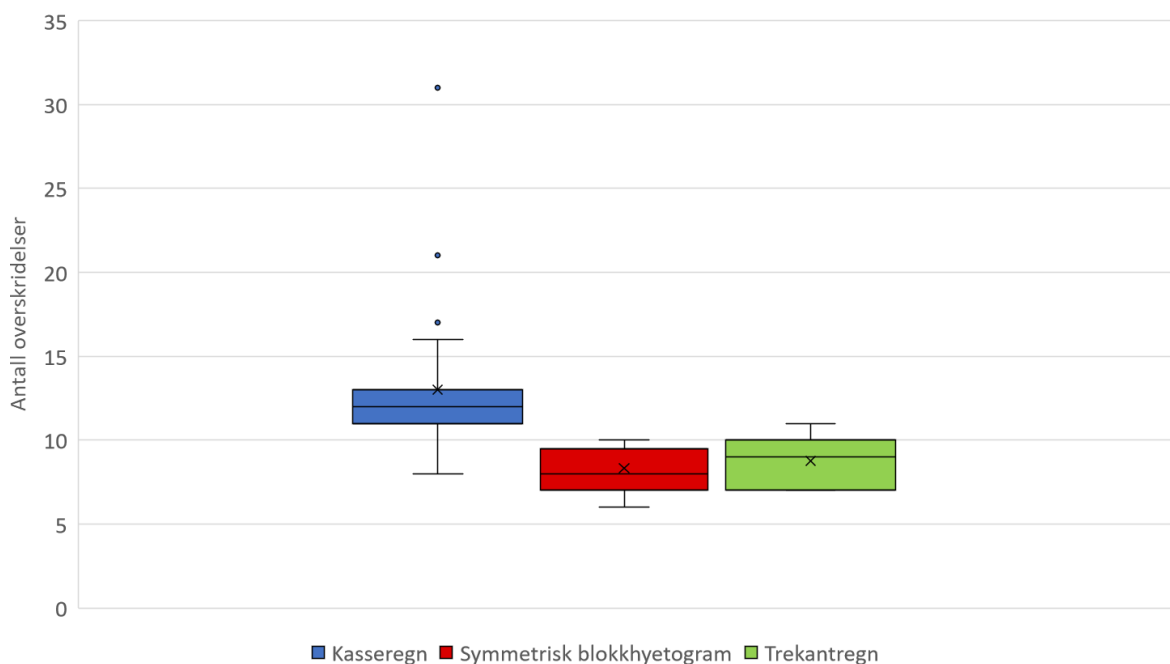


Figur 3: Boksdiaagram over antall overskridelser for de tre ulike modellregnene: Kasseregn, symmetrisk blokkhyetogram og trekantregn. Boksdiaagrammet viser at resultatene varierer veldig med enkelte ekstremverdier som er presentert ved punktene over hver boks. Verdi for gjennomsnitt er markert med X. 25, 50 og 75%- persentiler er markert ved strekene i hver boks, og standardavviket over og under gjennomsnittet er vist ved halene (værhår).

Caseområdene med markant underdimensjonering har tydelige fellestrekk i stedlige forutsetninger. Alle underdimensjoneringene med et overskridelsesantall over 31, har et spesifikt maksimalt utløp på over $80 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$. Dette gjelder 6 caseområder. Samtidig er det to caseområder som har et spesifikt maksimalt utløp over dette, men som ikke gir høyere overskridelsesantall enn 11 for eksempelvis kasseregn. Dette er caseområdene «Kjul terrasse B» og «Østensjøveien». Caseområdene har til gjengjeld en høyere avrenningskoeffisient ($>0,7$), som kan forklare avviket. En høyere avrenningskoeffisient betyr større andel impermeable flater på caseområdet, hvilket resulterer i mer avrenning og videre gir høyere dimensjonering av fordrøyningsvolumet.

Modellregnene på caseområder som gir et høyt overskridelsesantall, og derfor underdimensjonerer betydelig, har klare fellestrekk i stedlige forutsetninger. Dermed er det hensiktsmessig å etablere to forutsetninger for videre dokumentasjon av ytelse til modellregnene. Disse forutsetningene innebærer en terskelverdi for spesifikt maksimalt utløp, samt en maksverdi på avrenningskoeffisienten. Terskelverdien for spesifikt utløp settes til $80 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$, og maksverdien på avrenningskoeffisienten til 0,7. Resultatene for antall overskridelser etter at nevnte forutsetninger er hensyntatt, er presentert i et boksdiaagram i Figur 4. Da blir caseområdene noe overdimensjonert for symmetrisk blokkhyetogram og trekantregn, og det forekommer stadig en mindre grad av underdimensjonering for kasseregn. Alle de tre modellregnenes gjentaksintervall for overskridelse overensstemmer allikevel svært godt ved dimensjonering, gitt forutsetninger for spesifikt

maksimalt utløp og avrenningskoeffisient. Det betyr at antakelsen om likt gjentaksintervall mellom nedbør og avrenning, er forholdsvis presis. Dette samsvarer med en studie gjort av Mikolajewski et al. (2022). Studien tok ikke for seg utvalgte modellregn og dimensjonerte ikke for fordrøyningsvolum, men viser at predikasjonen for fremtidig regn som modellregn gir, er presise og kan benyttes til dimensjonering i urban hydrologi.



Figur 4: Boksdiaagram for overskridelseshendelser for de tre modellregnene, etter bruk av terskelverdi på 80 i spesifikt maksimalt utløp ($l/(s*ha)$). Tre ekstremverdier er fremdeles synlige i boksdiaagrammet for kasseregn. Verdi for gjennomsnitt er markert med X. 25, 50 og 75%- persentiler er markert ved strekene i hver boks, og standardavviket over og under gjennomsnittet er vist ved halene (whiskers).

3.3 Nedbørsanalyse av overskridelseshendelser

Nedbørsanalysen undersøkte totalt 120 nedbørshendelser som resulterte i overskridelse av fordrøyningsmagasinet for de 12 utvalgte caseområdene. Alle caseområdene er simulert med samme historiske nedbørsserie, og derfor var tolv av de største nedbørshendelsene fra perioden dimensjonerende for alle caseområdene. Allikevel er det ti enkelthendelser som ikke er observert på tvers av caseområdene. Nedbørsanalyse av enkelthendelsene viser at åtte av dem hadde et gjentaksintervall på 7 år eller mer ved varierende varigheter på mellom 1 og 360 minutter. Det er et stort nok gjentaksintervall til at de teoretisk kan være overskridende. En analyse av dato for overskridelseshendelser er foretatt. Enkelthendelsene, samt de andre overskridelseshendelsene forekom i sommerhalvåret eller sen vår/tidlig høst. Analyse av dato er gjort for å kontrollere at ikke noen dimensjonerende nedbørshendelser skjedde samtidig som, eller i kombinasjon med, smeltevann fra vinteren, og dermed påvirker sammenligningen i denne studien.

To overskridelseshendelser hadde en nedbørshendelse med et gjentaksintervall på 3 år, og er observert i samme caseområdet. Dette er et lavere gjentaksintervall enn det man forventer av beregningene. Denne observasjonen viser at gjentaksintervallet for nedbør og avrenning ikke er likt for alle caseområder. Dette forårsakes av de stedlige forutsetningene til feltet. For begge hendelsene er det flere nedbørshendelser med 2-års gjentaksintervall som inntraff ett til to døgn før den overskridende hendelsen. Dette er observert i caseområdet «Kjul terrasse B», som består av en høy avrenningskoeffisient på 0,9, og et høyt spesifikt maksimalt utløp på 168 ($\frac{l}{s*ha}$). Dette gjør at området i større grad klarer å håndtere korte, mer intense nedbør på grunn av høyt utløp.

Det samsvarer med at flere av de større nedbørshendelsene i løpet av den historiske tidsserien ikke er overskridende for dette caseområdet. Samtidig vil lengre, mindre intense regn bli håndtert dårligere på grunn av høyere andel tette flater og lite infiltrasjon. Dette forklarer hvorfor de to hendelsene med lavere gjentaksintervall er overskridende for det aktuelle caseområdet. Detaljert nedbørsanalyse for de to overskridende nedbørshendelsene med 3-års gjentaksintervall, oppgis i Vedlegg G.

3.4 Praktisk betydning av resultater

Statistikk fra variansanalysen (ANOVA) viser en p-verdi på $< 0,05$. Det betyr at det er signifikant forskjell på de to ulike gruppene som blir testet. Altså en signifikant forskjell i dimensjonering for fordrøyningsvolum mellom manuell- og datasimulert beregningsmetode. Enveis variansanalyse presenteres i Vedlegg H.

Resultatene i denne studien gir en tydelig indikasjon på at dagens praksis ved bruk av manuelle beregningsmetoder overdimensjonerer fordrøyningsvolum for overvann, sammenlignet med modellbasert metode ved bruk av SWMM. Det betyr at implementering av datasimulerte metoder som SWMM i dimensjonering til byggesaksbehandling ikke bare vil gi mer realistiske resultater, men også, vil kunne redusere behovet for fordrøyningsvolum til et planområde. I situasjoner der feltet stort sett består av tette flater og har et begrenset maksimalt påslipp til resipient, vil avviket være lavt mellom metodene. Da kan også manuelle metoder benyttes til dimensjonering for fordrøyningsvolum. Der man har større andeler permeable flater ($>30\%$) og/eller har høyt spesifikt maksimalt utløp ($>60 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$), vil SWMM-beregningene kunne foretrekkes for å sannsynliggjøre et lavere nødvendig fordrøyningsvolum. I den sammenhengen er det vesentlig å måle infiltrasjonsegenskapene lokalt for å redusere usikkerhet ved beregningene. Lavere nødvendig fordrøyningsvolum krever mindre beslag på areal i et planområdet, og kostnadene knyttet til overvannstiltak reduseres. Mer presis dimensjonering for fremtidig klima gir bedre samspill mellom ulike fagfelt i en byggesaksbehandling. Det er viktig for at klimatilpasningen skal bli optimal ved utbygging. Datasimulerte beregningsmetoder krever ytterligere kompetanse på det aktuelle dataverktøyet, samt at opprettelse av modell og simulering også er mer tidkrevende enn manuell metode.

Studien viser at gjentaksintervallet for overskridelse av kapasitet ved bruk av modellregning til dimensjonering av fordrøyningsvolum er i varierende overenstemmelse med det vi forventer ved historiske nedbørsserier. Felt med et høyere spesifikt maksimalt utløp ($>80 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$) underdimensjonerer slik at overskridelsesantallet blir langt høyere enn det en forventer ved dimensjonert gjentaksintervall. Resultatene viser derimot at felt med et slikt høyt spesifikt utløp, men som samtidig består av større andel impermeable flater ($>70\%$), vil gi en bedre overensstemmelse av gjentaksintervall for overskridelse. Det er mest hensiktsmessig å bruke historiske tidsserier for dimensjonering i SWMM for felt med et lavere spesifikt utløp enn $80 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$. Der man midlertidig har et spesifikt utløp på mer enn $80 \left(\frac{l}{s*ha}\right)$, men samtidig har mer enn 70% impermeable flater, vil dimensjonering i SWMM med historiske tidsserier også være foretrukket.

Nedbørsanalyse av overskridelseshendelsene viser forventet resultat av gjentaksintervallet for dimensjonerende nedbørshendelser. Ved caseområder med høy andel impermeable flater,

kombinert med høyt spesifikt maksimalt utløp, må en forvente at lengre, mindre intense nedbør blir dimensjonerende fremfor mer intense nedbør med et høyere gjentaksintervall.

3.5 Usikkerhet

Det er generelt stor usikkerhet knyttet til bestemmelsen av hydraulisk konduktivitet for modelleringen i SWMM. Verdien som er benyttet for hydraulisk konduktivitet i SWMM-modellene, er en konservativ vurdering basert på Solheim-rapporten (Solheim, French, & Braskerud, 2017), og videre underbygget med litteratursøk og sensitivitetsanalyse i Vedlegg C. Ved å foreta infiltrasjonsmåling på caseområdet, og bruke målt verdi av hydraulisk konduktivitet i SWMM, kan man få en ytterligere presis dimensjonering. Samtidig vil trolig sårbarheten ved endring i hydraulisk konduktivitet på et felt være like stor for både datasimulert og manuell beregningsmetode.

Et forhold som ikke er omtalt i denne studien, er grunnvannsstandens påvirkning som kan resultere i mettet overflateavrenning (UiO, u.å.). Det er viktig med tilstrekkelig analyse av feltets grunnforhold og nærliggende grunnvannsstander, som kan påvirke overflateavrenningen og videre dimensjoneringen av fordrøyningsvolum.

Fordrøyningsmagasinet sin utforming er ikke omtalt i studien. SWMM-modellene har et rektangulært magasin, mens det ofte benyttes rørmagasin som løsning i utbygginger. Kontraksjonskoeffisienten og fordrøyningen er bedre ved rørmagasiner, og bruken av rektangulært magasin antas derfor å være en konservativ tilnærming som ikke påvirker resultatene i nevneverdig grad.

Usikkerhet knyttet til måling av nedbør når historisk nedbør benyttes, er ikke vurdert i studien. Mangel på kalibrert eller validert modell for dimensjonering er en annen usikkerhet i studien. Det vil også være avvik mellom planlagt terreng, overflater, eller til hvordan et område faktisk ender opp med å bli utbygd.

3.6 Videre arbeid

Resultatene av studien introduserer flere forslag for videre arbeid. Det bør arbeides videre med å undersøke forskjellen mellom fordrøyningsvolum, beregnet i manuell metode og SWMM for felt, der det foreligger en kalibrert og validert nedbør-avløpsmodell. Det foreslås å evaluere andre databaserte nedbør-avløpsmodeller (eksempelvis DHI-programvare (DHI, 2022)) for dimensjonering av fordrøyningsvolum. Andre modellregn bør også undersøkes for å finne ut hvorvidt de klarer å gjenskape et korrekt gjentaksintervall for antall overskridelsehendelser. Studien kan utvides til å evaluere forskjellene mellom antakelser i prosjektutredning og faktisk utbygd prosjekt, med formål om å vurdere egenskaper som har påvirkning på ytelsen til fordrøyningsmagasinet. Dette er egenskaper som kort er omtalt i denne studien, eksempelvis magasinutforming, utløpsarrangement, permeabel/impermeabel andel, infiltrasjonsevne og grunnvann.

4 Konklusjon

Dagens dimensjonering av fordrøyningsvolum til byggesaksbehandling blir behandlet med manuelle beregningsmetoder. Det er knyttet usikkerhet til resultatene av denne metodikken, og det er ukjent hvorvidt metoden bidrar til å over- eller underdimensjonere fordrøyningsstiltak ved sammenligning av mer detaljerte analyser.

I denne studien er to metoder for beregning ved dimensjonering av fordrøyningsvolum til byggesaksbehandling sammenlignet. En sammenligning av manuell- og datasimulert metodikk for dimensjonering er nødvendig for å undersøke robustheten ved dagens beregningsmetode og presisjon av dimensjonering for fremtidig klima. Sammenligningsgrunnlaget var 31 caseområder fra tidligere prosjektutredninger, som er dimensjonert for nødvendig fordrøyningsvolum i SWMM. Det er undersøkt hvilke av de tre modellregnene som korresponderer best med historisk nedbørsdata ved dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann.

Konklusjoner av studien er følgende:

- Det er en signifikant forskjell i dimensjonering av fordrøyningsvolum mellom manuell- og datasimulert beregningsmetode. Forskjellen viser at dagens metode bidrar til å overdimensjonere fordrøyningsstiltak til byggesaksbehandling. Forskjellen er størst for felt med et høyt spesifikt maksimalt utløp ($\frac{l}{s*ha}$) og stor andel permeable flater. Det anbefales derfor å ta i bruk SWMM til beregning av fordrøyningsvolum når spesifikt maksimalt utløp er større enn $60 (\frac{l}{s*ha})$, og/eller feltet har større andel enn 30% permeable flater.
- Implementering av datasimulerte beregningsmetoder for dimensjonering av overvannssystemer til byggesaksbehandling kan redusere det nødvendige behovet for fordrøyningsvolum til et planområde. Det betyr at en både legger beslag på mindre areal til fordrøyning, og at en får reduserte kostnader knyttet til overvannstiltak.
- Alle tre modellregnene underdimensjonerte behov for fordrøyningsvolum, sammenlignet med gjentakintervallet for overskridshendelser over en historisk tidsserie.
- Modellregnene kan fremdeles gi en presis dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann. Det anbefales derfor å dimensjonere fordrøyningsanlegg basert på historiske tidsserier i SWMM når spesifikt maksimalt utløp er under $80 (\frac{l}{s*ha})$. Dersom et felt har et spesifikt maksimalt utløp over $80 (\frac{l}{s*ha})$, men større enn 70% andel impermeable flater, vil også dimensjonering i SWMM basert på historiske tidsserier bli anbefalt.
- Overskridende nedbørshendelser i beregningen av fordrøyningsvolum i SWMM viser forventede gjentakintervall, basert på hva som er dimensjonert.

Datasimulerte beregningsmetoder kan erstatte dagens bruk av manuelle metoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann til byggesaksbehandling. For at dimensjonering ved bruk av datasimulert beregningsmetode skal bli optimalisert, bør det arbeides videre med følgende:

- Undersøke avvik i overskridelsesantall fra modellregnvurderingen nærmere.
- Studien kan utvides til å sammenligne resultater med en annen datasimulert beregningsmetode.
- Kalibrere og validere en SWMM-modell til dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann til byggesaksbehandling.

5 Referanser

- Aaby, L., & Lindholm, O. (2007). *Mengderegulering i avløpsteknikken. Hva er best tilgjengelig teknologi?* Norsk Vann.
- Akbulut, S. (2005). *Artificial neural networks for predicting the hydraulic conductivity of coarse-grained soils*. Ataturk.
- Bondeson, S. (2021). Uncertainty analysis of the rational method in stormwater management. Gøteborg: [Masteroppgave] Chalmers University of Technology.
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. Oslo: NVE.
- Chen, Y., Day, S. D., Wick, A. F., & McGuire, K. J. (2014). *Influence of urban land development and subsequent soil rehabilitation on soil aggregates, carbom, and hydraulic conductivity*. Virginia.
- DHI. (2022). *mikepoweredbydhi*. Hentet fra https://www.mikepoweredbydhi.com/?_ga=2.160416317.1002825568.1652688692-2018993482.1652688692
- Fagstoff med Tekipedia*. (2018, September 4). Hentet fra MedTekipedia Home: <https://www.ntnu.no/wiki/display/medtekipedia/Anova>
- Gregory, J., Dukes, M. D., Jones, P., & Miller, G. (2006). *Effect of urban soil compaction on infiltration rate*. Florida.
- Hilpert, M., Park, S. W., Hsu, S.-Y., & Huang, V. (2016). *Water infiltration into prewetted porous media: Dynamic capillary pressure and Green-Ampt modelling*. New York: Elsevier Ltd.
- Haase, D. (2009). *Effects of Urbanisation on the water balance- a long-term trajectory*. Environmental Impact Assessment review.
- Jabro, J. (1992). *Estimation of saturated hydraulic conductivity of soils from particle soze distribution and bulk density data*. Pennsylvania.
- Lee, D., Reynolds, W. D., Elrick, D., & Clothier, B. (1985). *A comparison of three field methods for measuring saturated hydraulic conductivity*. Ottawa.
- Levy, G., Smith, H., & Agassi, M. (1989). *Water temperature effect on hydraulic conductivity and infiltration rate of soils*.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G., & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann Rapport. Rapport-nummer 168*. Norsk Vann.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I., & Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Cowi, Vista analyse.
- McKeague, J. A., Wang, C., & Topp, C. (1982). *Estimating saturated hydraulic conductivity from soils morphology*. Ottawa.
- McRuen, R. H., Johnson, P. A., & Ragan, R. M. (1996). *Hydrology*. Washington DC: Federal Highway Administration.
- MFT. (2012). *Fordrøyning av overvann*. Hentet fra VA Miljø Blad Nr.104: <https://www.va-blad.no/wp-content/uploads/2012/11/Blad-104.pdf>
- MFT. (2015). *VA Miljø Blad Nr.116*. Hentet fra https://www.tonsberg.kommune.no/_f/p1/if6638220-616a-41d4-b83f-83096561f9e7/va-miljoblad-nr-116-mengderegulering-i-avlopsteknikken.pdf
- Mikolajewski, K., Ruman, M., Kosek, K., Glixelli, M., Dziminska, P., Zietara, P., & Licznar, P. (2022). *Development of cluster analysis methodology for identification of model rainfall hyetographs and its application at an urban precipitation field scale*. Krakow: ScienceDirect.
- Minnesota stormwater manual*. (2020, April 8). Hentet fra Minnesota stormwater manual: https://stormwater.pca.state.mn.us/index.php/Available_stormwater_models_and_selectin_g_a_model
- Mockus, V., Werner, J., Woodward, D., Nielsen, R., Dobos, R., Hjelmfeldt, A., & Hoeft, C. (2009). *National engineering handbook - Hydrologic soil groups*. United States Department of Agriculture.

- Mohanty, B. P., Kanwar, R. S., & Everts, C. J. (1994). *Comparison of saturated hydraulic conductivity measurement methods for a glacial-till soil*. Ottawa.
- Nedza, N. M. (2019). *Dimensioning detention systems for small urban catchments*. Trondheim: [Masteroppgave] NTNU- Norwegian University of Science and Technology.
- Niazi, M., Nietch, C., Maghrebi, M., Jackson, N., Bennett, B., Tryby, M., & Massoudieh, A. (2017). *Storm water management model: performance review and gap analysis*. EPA.
- NOU. (2015). *Overvann i byer og tettsteder som problem og ressurs*. Hentet fra <https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf>
- Oslo Kommune, V. o. (2017). *Overvannshåndtering - En veileder for utbygger*. Oslo, Oslo.
- Parnas, F., Abdalla, E., & Muthanna, T. M. (2021). *Evaluating three commonly used infiltration methods for permeable surfaces in urban areas using SWMM and STORM*. IWA publishing.
- Philips, E. C., & Kitch, W. A. (2011). *A review of methods for characterization of site infiltration with design recommendations*. Los Angeles.
- Rossmann, L. (2015). *SWMM 5.1 Storm water management model User's manual*. Cincinnati, USA: Environmental protection agency.
- Shuster, W., Bonta, J., Thurston, H., Warnemuende, E., & Smith, D. (2005). *Impacts of impervious surface on watershed hydrology*. Urban water journal.
- Solheim, E., French, H. K., & Braskerud, B. C. (2017). *Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis*. Oslo: Vannforeningen.
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K., & Væringstad, T. (2015). *Veilederfor flomberegninger i små uregulerte felt*. Oslo: NVE.
- Tsai, Y.-Z., Liu, Y.-t., & Hsu, S.-Y. (2018). *Effects of the grain size on dynamic capillary Pressure and the Modified Green-Ampt model for infiltration*. Taiwan: Hindawi.
- UiO. (u.å.). *Nedbør-avløp prosesser*. Oslo: Universitet i Oslo, UiO.
- Woltemade, C. J. (2010). *Impact of residential soil disturbance on infiltration rate and stormwater runoff*.
- Zuhlke, U. (2022, April 8). *Personlig kommunikasjon*. *Personlig kommunikasjon*.
- Ødegaard, H. (2014). *Vann- og avløpsteknikk. 2. utg.* Oslo: Norsk Vann.

Vedlegg A - Nedbørmålestasjoner

Tabell 3: Oversikt over stasjoner der nedbør måles med minutt-oppløsning og der måleperiode er over 30 år.

Lokasjon	Stasjon	Periode (år)	Meter over havet
Oslo 1	OSLO - BLINDERN PLU (SN18701)	1968 – 2017 (49)	94 m
Oslo 2	OSLO – VESTLI (18270)	1974 – 2018 (35)	200 m
Oslo 3	OSLO – LAMBERTSETER (SN18020)	1985 – 2017 (33)	135 m
Bærum	GJETTUM PLU (19490)	1970 – 2017 (32)	67 m
Ås	ÅS – RUSTADSKOGEN (SN17870)	1974 – 2017 (41)	120 m
Gardermoen	GARDERMOEN SØR (SN4781)	1967 – 2010 (43)	202
Fredrikstad	FREDRIKSTAD (SN3030)	1970 – 2013 (30)	30 m
Hamar	HAMAR II (SN12290)	1968 – 2017 (45)	141 m
Kristiansand	KRISTIANSAND – SØMSKLVEIA (SN39150)	1974 – 2017 (38)	12 m
Karmøy	KARMØY – BREKKEVANN (SN47240)	1968 – 2015 (38)	19 m
Kristiansund	KRISTIANSUND – KARIHOLA (SN64300)	1973 – 2017 (38)	5 m
Bergen	SANDSLI (SN50480)	1982 – 2017 (33)	37 m
Trondheim	TRONDHEIM - RISVOLLAN (SN68230)	1987 – 2018 (32)	84 m

Vedlegg B – Prosjektutredninger

Tabell 4: Oversikt over alle de 31 prosjektutredningene og deres respektive stedlige forutsetninger som er inngangsdata til SWMM-modelleringen. «Kf» er klimafaktor, «GI» er gjentakintervall, «Dim» er forkortelse for dimensjonerende, og «Qmid/Qmaxut» er forholdet mellom midlere og maksimal vannføring for videreført vannmengde.

Prosjekt-utredninger	Areal	Avrenningskoeffisient	Dim nedbørs-hendelse	Fordrøynings-volum	Utløp	Qmid/Qmaxut	Dimensjonerende GI	Kf
Enheter	[m ²]	[-]	[Minutter]	[m ³]	[l/s]	[-]	[År]	[-]
Fornebu 9.4	38 000	0,6	20	301	328	0,7	10	1,5
RagnSells Hovedkontor	29 000	0,68	60	1214	129	0,7	200	1,5
Bergerveien	28 000	0,58	20	211	533	0,7	50	1,5
Rortunet	26 891	0,43	45	231	305	0,7	20	1,3
Thorleif Haugsvei	22 428	0,63	45	487	259	0,7	200	1,5
Moerjordet	20 700	0,6	90	455	20,7	0,7	10	1,5
Sinsenveien 45-49	17 210	0,68	90	328	28	0,7	20	1,4
Landbrukskvartalet	13 900	0,62	90	425	13,9	0,7	20	1,4
Kjønebråten	13 399	0,46	720	505	6,7	0,7	50	1,5
Tiedemannsbyen	11 382	0,78	45	188	70,9	0,7	10	1,3
Gamle Nanset	9 988	0,67	360	494	10	0,7	20	1,4
Collicare Vestby	9 590	0,9	10	106	202,2	0,7	25	1,4
Kjul terrasse A	8 442	0,61	15	60	141,4	0,7	20	1,5
Kilenveien 2	6 500	0,75	60	136	20	0,83	20	1,3
Nils Hansens vei 25	6 143	0,7	60	168	10	0,7	20	1,3
Lotus Ensjø	5 512	0,74	45	106	21	0,7	10	1,3
Askerholmen	4 300	0,5	45	81	22	0,7	50	1,5
Teatergatakvartalet	3 915	0,77	180	140	4	0,7	20	1,4
Manglerud sykkelpark	3 600	0,55	30	36	25,7	0,7	20	1,4
Raschs vei 49-53	3 149	0,5	60	52	4	0,7	10	1,3
Gladengveien5-7	2 917	0,67	45	48	12	0,7	10	1,3
Vollsveien	2 705	0,51	90	88	5,41	0,7	200	1,4
Lotus Gladengveien	2 161	0,68	45	30	12	0,7	10	1,3
Ammerudveien 19-25	2 001	0,52	60	34	4	0,7	10	1,5
Østensjøveien 44	1 961	0,7	20	16	20	0,83	20	1,3
Krinsjå Studentby	1 535	0,46	90	29	2	0,7	20	1,3
Kjul terrasse B tett	1 407	0,9	20	23	23,6	0,7	20	1,5
Skippergata 22-26 df2	1 054	0,46	45	13	3	0,83	20	1,3
Skippergata 22-26	1 032	0,95	60	35	3	0,83	20	1,3
Aslaug Vaasveg	779	0,67	90	26	1,6	0,7	25	1,5
Torggata	604	0,55	180	19	1	0,7	20	1,4

Vedlegg C – Begrunnelse for valg av hydraulisk konduktivitet

Tabell 5: Tabellen viser oversikt over litteratursøket som ble foretatt av hydraulisk konduktivitet.

Kilde	Resultater	Sted/land	Metode	Grunnforhold/jord-type	Kommentarer
(Woltemade, 2010)	28 -92 mm/time	Pennsylvania - USA	DR	Fyllmasser, plen, vegetasjon	
(Parnas, Abdalla, & Muthanna, 2021)	104.64 mm/time	Oslo	SWMM og STORM	Urban sandy soils	Max og min infil rate ved bruk av Horton
(Philips & Kitch, 2011)	104.14 mm/time	Sør-California	In-situ infiltration test	Alluviale avsetninger og fyllmasser	
(Levy, Smith, & Agassi, 1989)	31.1-128.9 mm/time	Sør-Afrika	Lab	75% sand - 3 % siltjord og 22 % leire	Studie på sammenheng mellom temperatur og Ksat.
(McKeague, Wang, & Topp, 1982)	0.17-500 mm/time	Canada	Jordprøver	sand-leire	
(Chen, Day, Wick, & McGuire, 2014)	63-148 mm/time	Virginia, USA		Fyllmasser	
(Mockus, et al., 2009)	A- > 144 mm/time B- > 36 mm/time C - < 36 mm/time	USA		Klassifisert inn i tre grupper: A- 10% leire og 90% sand - B- 10% leire og 90 % siltig leirjord - C - 20%leire og 80% siltig leirjord	SWMM Manual - Saturated conductivity
(Akbulut, 2005)	>100 mm/time	Ataturk, Tyrkia	Jordprøver/Lab	Grovkornet fast materiale.	
(Lee, Reynolds, Elrick, & Clothier, 1985)	108-38.52 mm/time	Ontario, Canada	Luftinngangspa rameter, Guelph parameter, trykkparamete r	Sand, leirjord og leire	
(Jabro, 1992)	5.125-12.7 mm/time	Pennsylvania, USA	Guelphparame ter	Silt og leire	
(Mohanty, Kanwar, & Everts, 1994)	6.6-54 mm/time	Ottawa, Ontario - Canada	Guelphparame ter, fartsparameter , diskparameter og dobbeltube	Isjord - forfrosset	
(Gregory, Dukes, Jones, & Miller, 2006)	8-188 mm/time	Florida, USA	DR	Kompakte grunnforhold på urbane konstruksjonsplasser	

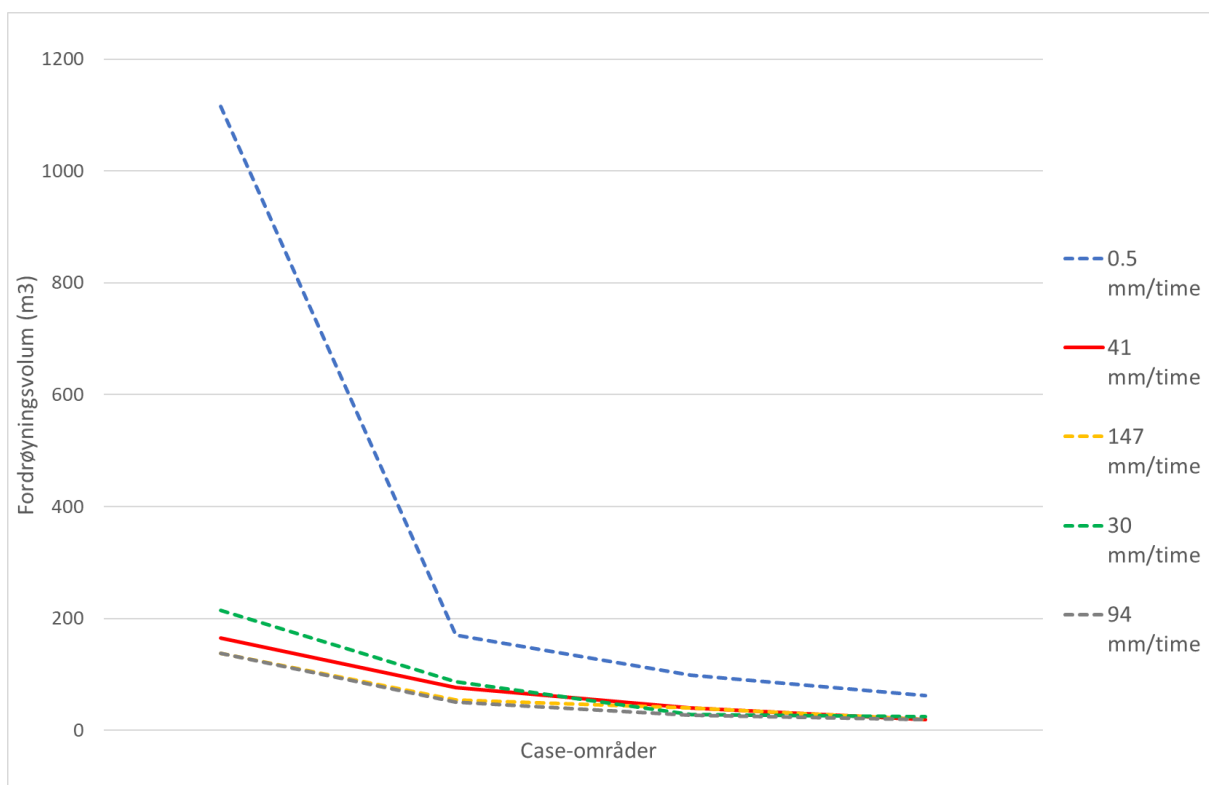
Bakgrunn for valgt verdi av hydraulisk konduktivitet fra Solheim, French og Braskerud sin rapport (2017)

Gjennomført litteraturstudie i Tabell 5 argumenterer for at verdiene fra Solheim-rapporten er rasjonelle å bruke. Minste hydrauliske konduktivitet som ble målt var 5 mm/time i siltig mellomleire, og høyeste var 895 mm/time i sandig lettleire. Siltig mellomleire var jordarten med lavest hydraulisk konduktivitet generelt, og snittet av 6 målinger med henholdsvis 3 ulike målemetoder (MPD*, MPD og DR), var 89 mm/time. Alle 6 målingene ble gjort fra to relativt like felt (Vold_A og Vold__B). Sandig lettleire var jordarten med høyest hydraulisk konduktivitet, og snittet av 6 målinger ble der 346 mm/time. Snittet av laveste verdi hydrauliske konduktivitet fra hvert av de 6 ulike jordartene (grus, lettleire, sand, sandig lettleire, lettleire, siltig mellomleire), der korreksjonsfaktor ble medregnet i målinger fra MPD

metode 1 (MPD*), ble 41 mm/time. Totalt gjennomsnitt av samtlige målinger fra Solheim var 147 mm/time. 41 mm/time er dermed den laveste gjennomsnittsverdien som kan beregnes ut fra rapporten. Målingene fra rapporten er foretatt i Oslo, der også mange av prosjektutredningene i denne studien er hentet fra.

Sensitivitetsanalyse av den hydrauliske konduktiviteten for modellering i SWMM

I sensitivitetsanalysen ble samtlige caseområder dimensjonert for tre ulike verdier av hydraulisk konduktivitet. Analysen viser at resultatene er sensitive for verdier under 30 og mot 0.5 mm/time. Det er ikke en stor forskjell i resultat fra 30 til 147 mm/time. Ved å redusere den hydrauliske konduktiviteten til en lavere verdi enn 30, kan beregnet fordrøyningsvolum øke. Det er ikke synonymt med at fordrøyningsvolumet reduseres ved å øke konduktiviteten opp fra 30. Dermed kan man anta at SWMM-modellenes «terskelverdi» for hydraulisk konduktivitet, ligger under eller omkring 30, avhengig av caseområdets stedlige forutsetninger. Etter litteratursøk og begrunnelse i Vedlegg C, vil uansett 41 mm/time være en realistisk og konservativ verdi å benytte for simuleringene.



Figur 5: Sensitivitetsanalyse av hydraulisk konduktivitet. I analysen ble fem verdier analysert: 0.5, 30, 41, 94 og 147 mm/time. Fem representative caseområder ble analysert i sensitivitetsanalysen.

Vedlegg D – Prosjektutredninger til nedbørsanalyse

Tabell 6: Prosjektutredninger som ble valgt til nedbørsanalysen og deres respektive stedlige forutsetninger.

Prosjekt	Areal	Utløp	Spesifikt maksimalt utløp	Avrenningskoeffisient
Enhet	[m ²]	[l/s]	[l/(s*ha)]	[-]
Ragn Sells	29 000	129	44	0,68
Thorleif Haugsvei	22 428	259	115	0,63
Landbrukskvartalet	13 900	13,9	10	0,62
Kjønebråten	13 399	6,7	5	0,46
Tiedemannsbyen	11 382	70,9	62	0,78
Nils Hansens vei 25	6 143	10	16	0,7
Lotus Ensjø	5 512	21	38	0,74
Raschs vei	3 149	4	13	0,5
Lotus gladeng	2 161	12	56	0,68
Østensjøveien	1 961	20	102	0,7
Kjul terrasse B	1 407	23,6	168	0,9
Torggata	604	1	17	0,55

Vedlegg E – Fordrøyningsvolum caseområder

Tabell 7: Prosjektutredningene, og dermed caseområdene i SWMM sine resultater, for dimensjonering av fordrøyningsvolum og differansen mellom dem i %. Caseområdenes viktigste stedlige forutsetninger for betydningen av dimensjonering, er med i tabellen. Det er også varighet på dimensjonerende nedbør, og differansen mellom prosjektutredning og SWMM.

Prosjekt	Areal	Avrenningskoeffisient	Dim nedbørshendelse Prosjektutredning	Dim nedbørhendelse SWMM	Fordrøyningsvolum Prosjektutredning	Fordrøyningsvolum SWMM	Qut	Qut/A	Differanse fordrøyningsvolum Prosjektutredning SWMM
Enhet	(m ²)	[-]	[Minutter]	[Minutter]	[m ³]	[m ³]	[l/s]	[l/(s*h a)]	[%]
Fornebu 9.4	38 000	0,6	20	30	301	67	328	86	78
RagnSells Hovedkontor	29 000	0,68	60	60	1214	780	129	44	36
Bergerveien	28 000	0,58	20	90	211	2	533	190	99
Rortunet	26 891	0,43	45	20	231	1	305	113	100
Thorleif Haugsvei	22 428	0,63	45	90	487	163	259	115	67
Moerjordet	20 700	0,6	90	360	455	310	20,7	10	32
Sinsenveien 45-49	17 210	0,68	90	90	328	345	28	16	-5
Landbruksk vartalet	13 900	0,62	90	90	425	380	13,9	10	11
Kjønebråten	13 399	0,46	720	720	505	165	6,7	5	67
Tiedemanns-byen	11 382	0,78	45	45	188	96	70,9	62	49
Gamle Nanset	9 988	0,67	360	720	494	280	10	10	43
Collicare Vestby	9 590	0,9	10	15	106	55	202,2	211	48
Kjul terrasse A	8 442	0,61	15	20	60	10	141,4	167	83
Kilenveien 2	6 500	0,75	60	90	136	80	20	31	41
Nils Hansens vei 25	6 143	0,7	60	60	168	140	10	16	17
Lotus Ensjø	5 512	0,74	45	90	106	60	21	38	43
Askerholmen	4 300	0,5	45	60	81	77	22	51	5
Teatergatak vartalet	3 915	0,77	180	180	140	85	4	10	39
Manglerud sykkelpark	3 600	0,55	30	30	36	37	25,7	71	-3
Raschs vei 49-53	3 149	0,5	60	180	52	40	4	13	23

Gladengveien 5-7	2 917	0,67	45	60	48	26	12	41	46
Vollsveien	2 705	0,51	90	90	88	77	5,41	20	13
Lotus Gladengveien	2 161	0,68	45	45	30	15	12	56	50
Ammerudveien 19-25	2 001	0,52	60	60	34	20	4	20	41
Østensjøveien 44	1 961	0,7	20	45	16	16	20	102	0
Krinsjø Studentby	1 535	0,46	90	90	29	15	2	13	48
Kjul terrasse B tett	1 407	0,9	20	20	23	26	23,6	168	-13
Skippergata 22-26	1 054	0,46	45	60	13	7	3	28	46
Skippergata 22-26	1 032	0,95	60	60	35	34	3	29	3
Aslaug Vaasveg	779	0,67	90	90	26	17	1,6	21	35
Torggata	604	0,55	180	180	19	12	1	17	37

Vedlegg F – Overskridelsesantall for modellregn

Tabell 8: Caseområdenes dimensjonering for 5-års gjentaksintervall med de tre ulike modellregnene: kasseregn, symmetrisk blokkhyetogram og trekantregn. Overskridelseantall etter at dimensjoneringen er testet med 53 år med historisk nedbør. De mest sentrale stedlige forutsetninger er gitt i tabellen.

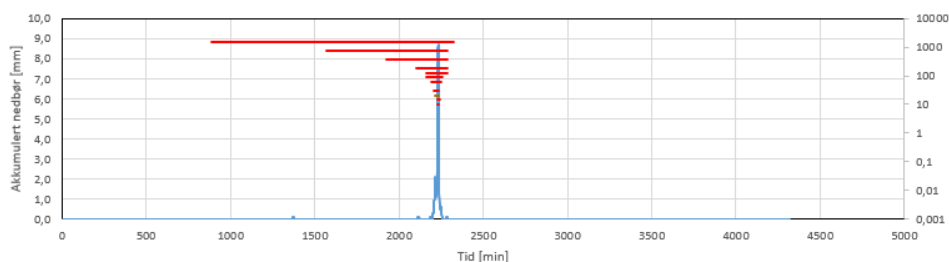
Caseområde	Kasse regn	Symmetrisk blokkhyetogram	Trekant regn	Overskridelsesantall			Areal	Utløp	Spesifikk maksimum utløp	Avrenningskoeffisient
				Kasse regn	Symmetrisk blokkhyetogram	Trekant regn				
Enhet	[m ³]	[m ³]	[m ³]	[-]	[-]	[-]	[m ²]	[l/s]	[l/(s*ha)]	[-]
Fornebu 9.4	0,8	0,8	0,8	67	67	67	38 000	328	86	0,6
Ragn Sells	78	103	97	11	8	8	29 000	129	44	0,68
Bergerveien	0,5	0,6	0,5	41	27	41	28 000	533	190	0,58
Rortunet	0,6	0,5	0,6	39	59	39	26 891	305	113	0,43
Thorleifhaugsveien	0,6	0,4	0,5	30	70	50	22 428	259	115	0,63
Moerjordet	118	178	164	21	8	11	20 700	20,7	10	0,6
Sinselveien	58	135	125	31	7	10	17 210	28	16	0,68
Landbrukskvartalet	152	165	158	13	9	10	13 900	13,9	10	0,62
Kjønebråten	33	44	43	13	8	9	13 399	6,7	5	0,46
Tiedemannsbyen	31	46	45	11	8	8	11 382	70,9	62	0,78
Gamle Nanset	68	87	86	16	10	10	9 988	10	10	0,67
Collicarve Vestby	0,6	0,6	0,6	66	66	66	9 590	202,2	211	0,9
Kjul Terrasse A	0,3	0,3	0,3	39	39	39	8 442	141,4	167	0,61
Kilenveien	22	39	39	13	10	10	6 500	20	31	0,75
Nils Hansens vei 25	61	67	67	13	10	10	6 143	10	16	0,7
Lotus Ensjø	21	29	28	13	10	10	5 512	21	38	0,74
Askerholmen	7	11	11	13	7	7	4 300	22	51	0,5
Teatergata kvartalet	32	40	39	17	9	11	3 915	4	10	0,77
Manglerud	7	9	9	9	7	7	3 600	25,7	71	0,55

Raschsvei	17	21	21	13	10	10	3 149	4	13	0,5
Gladengveien 5-7	9	13	12	12	7	8	2 917	12	41	0,67
Vollsvei	10	13	12	13	9	11	2 705	5,41	20	0,51
Lotusgladeng	5	7	6	9	6	7	2 161	12	56	0,68
Ammerudveien	9	10	10	11	9	9	2 001	4	20	0,52
Østensjøveien	2	1,8	3,5	9	9	7	1 961	20	102	0,7
Kringsjå	5	6	6	11	8	8	1 535	2	13	0,46
Kjulterrasse B	3	5	5	11	7	7	1 407	23,6	168	0,9
Skippergata m GT	0,9	1,1	1	8	6	7	1 054	3	28	0,46
Skippergata 22-26	14	15	16	12	10	8	1 032	3	29	0,95
Aslaugvaasveg	4	5	5	11	7	7	779	1,6	21	0,67
Torggata	2,6	3,1	3	11	9	9	604	1	17	0,55

Vedlegg G – Nedbørsanalyse

Datamengde: 111
 Nedbørmengde (obs): 12,9 mm
 Nedbørmengde (kont): 12,9 mm
 Terskel Z: 0 år

Maks Z: 3,12 år
 Varighet: 5 min
 Klokkeslett: 14:10
 Nedbørminutter: 40 min
 Dato: 02.08.2006 14:00

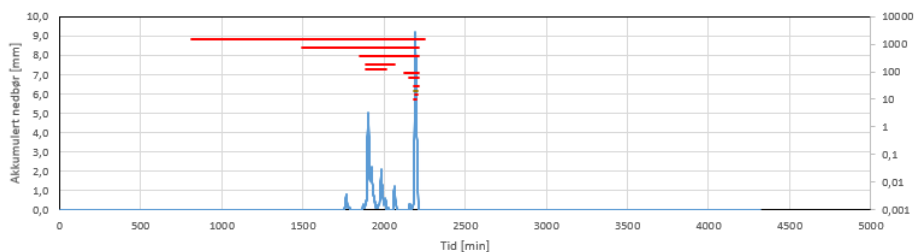


REKKEFØLGE	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	
TID	2232	2232	2232	2231	2232	2233	2227	2223	2225	2220	2210	2225	2195	2105	1925	1605
START	2232	2231	2231	2229	2227	2226	2217	2208	2203	2190	2165	2165	2105	1925	1565	885
SLUTT	2233	2233	2234	2234	2237	2241	2237	2238	2248	2250	2255	2285	2285	2285	2285	2325
Tid	2291	2291	2291	2190	2191	2292	2286	2282	2284	2279	2269	2284	2254	2164	1984	1605
a	0,43	0,82	1,15	1,78	2,67	3,59	4,30	5,17	6,40	6,91	6,87	6,50	6,90	7,75	8,18	8,15
b	1,55	2,52	3,37	4,58	6,87	8,19	9,32	11,00	12,55	13,68	14,42	16,54	19,31	22,51	31,15	38,39
P [mm]	1,6	3,1	4,4	6,6	8,7	8,9	10,0	11,4	12,1	12,5	12,6	12,7	12,8	12,8	12,8	12,9
Z ₉₅ [år]	1,1	2,0	2,4	3,1	2,0	1,2	1,2	1,1	0,9	0,8	0,8	0,6	0,4	0,3	0,1	0,0
Z [år]	1	2	2	3	2	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0

Figur 6: Nedbørsanalyse av overskridende hendelse med 3-års gjentaksintervall. Nedbørhendelsen fant sted 02.08.2006.

Datamengde: 197
 Nedbørmengde (obs): 32,0 mm
 Nedbørmengde (kont): 32,0 mm
 Terskel Z: 0 år

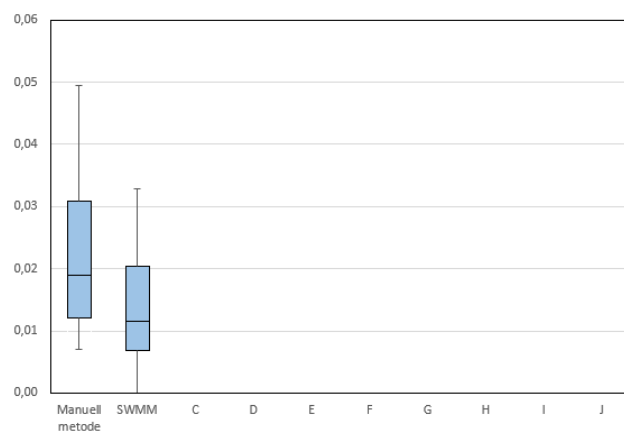
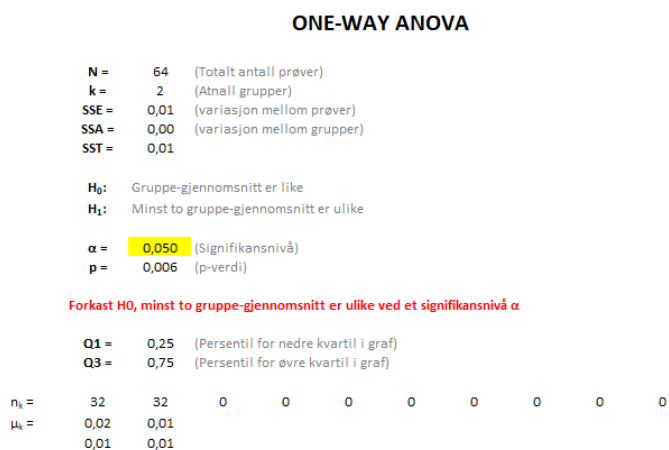
Maks Z: 2,95 år
 Varighet: 360 min
 Klokkeslett: #/T
 Nedbørminutter: 128 min
 Dato: 13.08.2010 13:00



REKKEFØLGE	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
TID	2194	2194	2195	2194	2192	2195	2196	2196	2198	2181	2166	1950	1977	2031	1851	1531
START	2194	2193	2194	2192	2187	2188	2186	2181	2166	2151	2121	1890	1887	1851	1491	811
SLUTT	2195	2195	2197	2197	2197	2203	2206	2211	2211	2211	2211	2010	2067	2211	2211	2251
Tid	2253	2253	2254	2253	2251	2254	2255	2255	2247	2240	2225	2009	2036	2090	1910	1531
a	0,43	0,82	1,15	1,78	2,67	3,59	4,30	5,17	6,40	6,91	6,87	6,50	6,90	7,75	8,18	8,15
b	1,55	2,52	3,37	4,58	6,87	8,19	9,32	11,00	12,55	13,68	14,42	16,54	19,31	22,51	31,15	38,39
P [mm]	1,8	3,0	4,5	6,2	9,2	11,4	13,2	13,7	13,8	14,1	14,1	14,7	16,1	30,9	32,0	32,0
Z ₉₅ [år]	1,8	1,8	2,7	2,5	2,4	2,4	2,5	1,7	1,2	1,1	1,0	0,8	0,6	3,0	1,1	0,5
Z [år]	2	2	3	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	3	1	0

Figur 7: Nedbørsanalyse av overskridende hendelse med 3-års gjentaksintervall. Nedbørhendelsen fant sted 13.08.2010.

Vedlegg H – ANOVA Enveis variansanalyse



Figur 8: Resultatet av den statistiske testen (ANOVA). Testen var en enveis variansanalyse.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway