



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

**Masteroppgave 2023 30 stp**  
Fakultet for realfag og teknologi

# **Modellering og analyse av dynamiske utløpsløsninger for fordrøyningsmagasiner ved multiobjektiv optimalisering**

Modelling and analysis of dynamic outlet solutions  
for detention reservoirs through multi-objective  
optimization

**Markus Olav Aasebø**  
Vann- og miljøteknikk

---

---

## Forord

Denne masteroppgaven er levert til Norges Miljø- og Biovitenskapelige Universitet (NMBU), fakultet for realfag og teknologi. Oppgaven er avsluttende arbeid i studiet Vann- og Miljøteknikk, og representerer mitt ønske å bidra til den teknologiske utviklingen innad vannbransjen.

Jeg ønsker å rette en stor takk til min veileder Kim Aleksander Haukeland Paus for kritisk hjelp og gode diskusjoner under oppgavens omløp. Videre rettes en takk til alle involvert i fakultetet for Realtek og Teknologi for generell opplæring under hele studieløpet. Til slutt rettes en stor takk til mor og far for korrekturlesning, og mine nærmeste for støtte og sosialisering gjennom hele studieperioden.

Ås, Mai 2023

Markus Olav Aasebø



---

## Sammendrag

Som en konsekvens av klimautfordringer og økt urbanisering er det forventet større mengder overvann i fremtiden. Som en del av fremtidig overvannstrategi er det nødvendig med nye teknologiske fremskritt innenfor tretrinnsstrategien. I denne oppgaven har som mål å utforske en multiobjektiv optimering til fordrøyning av overvann i form av en dynamisk magasinmodell.

Oppgaven kan deles inn i to hoveddeler, først undersøkes det om det er mulig å utforme en dynamisk utløpsløsning som optimaliseres for bestemte fordrøyningsegenskaper, og hvordan magasinet skiller seg fra statiske utløpsløsninger. For denne oppgaven er dette utforsket ved bruk av NSGA-ii (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II*) (Kalyanmoy Deb et al., 2002) og SWMM (*Stormwater Management Model*) (United States Environmental Protection Agency, 2023). Det er i hovedsak fokusert på objektivene så lite magasinivolum som mulig og så lang tidsforsinkelse på avrenningsvolum som mulig (uttrykt som tidsforskjellen mellom halvparten av utløpsvolumet og innløpsvolumet). Variabler utgjorde utløpsåpning og A-koeffisient. Det er undersøkt om det er mulig å konstruere et sett med kontrollregler via SWMM, der vannføring inn i magasinet, vanndybde og en kombinasjon av begge er simulert.

Resultatet av simuleringen viser at det er mulig å konstruere et fordrøyningsmagasin som bruker multiobjektiv optimering til å beregne dynamiske fordrøyningsmodeller som har bedre fordrøyende effekt enn en statisk fordrøyningsmodell. Der alle utløpskontrollene som er testet ut gir bedre tidsforsinkende effekt enn en statisk modell ved like vannvolum. Mest forbedringspotensiale ble vurdert ved dybde som parameter mellom 0.3 til 1.0 m.

I andre del av oppgaven undersøkes det om valgte dynamiske og statiske modeller har lik avrenning som et naturlig felt med beregnete gjentakintervaller. Det er undersøkt for 4 til 5 forskjellige magasinmodeller for alle utløpskontroller inkludert statiske modeller.

Resultatene tilsier at det ikke er mulig å konstruere et fordrøyningsmagasin som har tilnærmet lik avrenning som det naturlige feltet gitt de parameterene som er brukt i oppgaven. Avhengig av utløpskoeffisient, utløpsåpning og vannvolum viser det seg av avrenningen for alle gjentakintervallene er mer konsentrert enn en statisk modell, samt for det naturlige feltet. Der den beste løsningen er vurdert som et magasin som kan produsere mindre avrenningsmengder for alle gjentakintervallene, det vil si, lik avrenning for et høyt gjentakintervall regn som et lavere gjentakintervall.

---

## Summary

Due to climate challenges and increased urbanization, there is an expected increase in the amount of stormwater in the future. As a part of future stormwater strategy, new technological advances within the 3-step strategy are necessary. This assignment aims to explore a multi-objective optimization for stormwater detention in the form of a dynamic storage model.

The assignment can be divided into two main parts. Firstly, it investigates whether it is possible to design a dynamic outlet solution that is optimized for specific detention properties, and how the storage model differs from static outlet solutions. For this assignment, this is explored using NSGA-ii (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II*) (Kalyanmoy Deb et al., 2002) and SWMM (*Stormwater Management Model*) (United States Environmental Protection Agency, 2023). The focus is on the objectives of as small storage volume as possible and as large delay of flow as possible (expressed as the time difference between half of the outlet volume and inlet volume). Variables include outlet opening and coefficient. It is investigated whether it is possible to construct a set of control rules via SWMM, where flow into the storage, water depth, and a combination of both are simulated.

The simulation results show that it is possible to construct a detention storage model that uses multi-objective optimization to calculate dynamic detention models that have better detention effect than a static detention model. All outlet controls tested provide better time-delaying effects with the same water volume. The most potential for improvement was evaluated with depth as a parameter between 0.3 to 1.0 m.

In the second part of the assignment, it is investigated whether the selected dynamic and static models have similar runoff to a natural field with calculated return periods. This was investigated for 4 or 5 different storage models for all outlet controls, including static models.

The results suggest that it is not possible to construct a detention storage that has nearly similar runoff as the natural field given the parameters used in the assignment. Depending on the coefficient, outlet opening, and water volume, it turns out that the runoff for all return periods is more concentrated than a static model, and a natural field. The best solution is considered to be a storage model that can produce less runoff for all return periods, i.e., similar runoff for a larger return period as a smaller return period.



---

## Innhold

<b>FORORD</b> .....	<b>I</b>
<b>SAMMENDRAG</b> .....	<b>III</b>
<b>SUMMARY</b> .....	<b>IV</b>
<b>INNHold</b> .....	<b>VI</b>
<b>FIGURER</b> .....	<b>VIII</b>
<b>TABELLER</b> .....	<b>IX</b>
<b>1 INTRODUKSJON</b> .....	<b>1</b>
1.1 PROBLEMSTILLING.....	3
1.2 FORSKNINGSSPØRSMÅL .....	3
1.3 AVGRENSNING OG STRUKTUR I OPPGAVEN.....	3
<b>2 METODE</b> .....	<b>4</b>
2.1 SWMM – BESKRIVELSE AV SYSTEMET .....	4
2.1.1 Regnmåler .....	4
2.1.2 Nedbørsfelt .....	4
2.1.3 Fordrøyningsmagasin .....	5
2.1.4 Utløpsløsning .....	5
2.1.5 Styrt utløp .....	6
2.2 TESTEDE UTLØPSLØSINGER .....	6
2.3 MULTIOBJEKTIV OPTIMALISERING .....	7
2.3.1 NSGA-ii .....	7
2.3.2 Variabler .....	9
2.3.3 Objekter.....	10
2.4 SIMULERINGER.....	11
2.4.1 Ekstremhendelser .....	11
2.4.2 Lange tidsserier med nedbør og temperatur .....	12
2.5 BEREGNING AV QVF - STATISTIKK .....	13
2.5.1 Beregning av gjentaksintervall.....	13
2.5.2 Referansefelt.....	14
2.6 PROGRAMMERING I R.....	15
2.6.1 Generell koding .....	15
2.6.2 Pakker.....	16
2.6.3 Nsga2r.....	17
2.6.4 SWMMR .....	17
<b>3 RESULTATER OG DISKUSJON</b> .....	<b>18</b>
3.1 EVALUERING AV PARETOFRONT .....	18
3.1.1 Alle utløpskontroller.....	19
3.1.2 Dybde 0.3 – 1.0m.....	19
3.1.3 Vurdering av resultater for paretofront .....	20
3.1.4 Vurdering av feilkilder for paretofront .....	22
3.2 EVALUERING AV MAGASINER FOR NATURLIG AVRENNING .....	23
3.2.1 QVF – Statistisk utløpskontroll for dybde 0.3 – 1.0m.....	23
3.2.2 Vurdering av resultater for naturlig avrenning .....	25
3.2.3 Vurdering av feilkilder for naturlig avrenning .....	27
3.3 PRAKTISK GJENNOMFØRING AV DYNAMISK LØSNING .....	27
3.4 VIDERE ARBEID .....	28
<b>4 KONKLUSJONER</b> .....	<b>28</b>



---

<b>REFERANSER.....</b>	<b>31</b>
<b>VEDLEGG A.....</b>	<b>33</b>
<b>VEDLEGG B.....</b>	<b>35</b>
<b>VEDLEGG C.....</b>	<b>37</b>
<b>VEDLEGG D.....</b>	<b>43</b>

---

## Figurer

Figur 1 - SWMM modell av nedbørsfelt, magasin, utløp og regnmåler (United States Environmental Protection Agency, 2023).....	4
Figur 2 - Kalkulasjonsprosesser i NSGA-ii (Jingyi Liu et al., 2019).....	8
Figur 3 – Typisk fordrøyningseffekt for 50 % av volum ut i forhold til 50 % volum inn (T50) .	11
Figur 4 - Sæternbekken nedbørsfelt (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2023a).....	14
Figur 5 – Paretofront fra NSGA-ii simuleringer .....	19
Figur 6 – Paretofront for dybdekontroll 0.3 – 1.0m sammenlignet med statisk magasin. ....	20
Figur 7 - QVF statistikk av valgte magasinivolum for dynamiske magasiner med kontroller på dybde 0.3 – 1.0 m og gjentaksintervall 2, 5, 10 or 20 år med varighet fra 1 minutt til 1440 minutter. ....	24
Figur 8 - QVF statistikk av valgte magasinivolum for statiske magasiner med gjentaksintervall 2, 5, 10 or 20 år med varighet fra 1 minutt til 1440 minutter.....	25
Figur 9 - Komplette kode for NSGA-ii simulering.....	34
Figur 10 - Komplette kode for QVF - simulering.....	36

---

## Tabeller

Tabell 1 – Eksempel på hydraulisk kontroll i SWMM og beskrivelse av grenseverdiregler for utløpsåpningen. ....	6
Tabell 2 – Eksempel på hydrauliske kontrollvariasjoner av dybde i SWMM .....	7
Tabell 3 – NSGA – ii grenseverdier for variablene som brukt i koden. Minimalverdi satt til 0.01 og maksimalverdi satt til 0.99 for utløpsåpningene, og 0.01 – 100 for A-koeffisienten.....	9
Tabell 4 - Beregningsmetoder for tidsforsinkelse (Stovin et al., 2017) .....	10
Tabell 5: Oversikt over ekstremhendelser som ble benyttet ved multiobjektiv optimalisering. ....	12
Tabell 6 - Generell informasjon om Sæternbekken .....	14
Tabell 7- Interpolert QVF - statistikk, fra Sæternbekken nedbørsfelt, avrenningsverdier gitt i $[ls * ha]$ .....	15
Tabell 8 - Beskrivelse av variabler beregnet i Rstudio .....	16
Tabell 9 - Pakker brukt i Rstudio kode .....	17
Tabell 10 - NSGA-ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, og utløpskontroller for dybde 0.3 – 1.0m.....	37
Tabell 11 - Resultater for statisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4 .....	38
Tabell 12 – NSGA-ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkels formel nummer 4 og utløpskontroll for dybde 0.4 – 1.0m.....	39
Tabell 13 – NSGA-ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4 og utløpskontroll for dybde 0.4 – 1.0m.....	40
Tabell 14 – NSGA-ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4 og utløpskontroller for vannføring inn 50 – 250 l/s .....	41
Tabell 15 – NSGA – ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4, og utløpskontroller for kombinasjon dybde 0.3 – 1.0 m og vannføring inn 50 – 250 l/s.....	42
Tabell 16 – Resultater for valgte statiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4 og volum 367 m <sup>3</sup> , 257m <sup>3</sup> , 414 m <sup>3</sup> og 296 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	43
Tabell 17 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.3 – 1.0 m og volum 304 m <sup>3</sup> , 326 m <sup>3</sup> , 254 m <sup>3</sup> og 273 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	44
Tabell 18 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.4 – 1.0 m og volum 334 m <sup>3</sup> , 254 m <sup>3</sup> , 285 m <sup>3</sup> og 276 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	45
Tabell 19 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.25 – 1.0 m og volum 302 m <sup>3</sup> , 319 m <sup>3</sup> , 292 m <sup>3</sup> og 237 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	46
Tabell 20 - Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for vannføring inn i magasinet 50 – 250 l/s og volum 293 m <sup>3</sup> , 248 m <sup>3</sup> , 327 m <sup>3</sup> og 273 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	47
Tabell 21 - Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for kombinasjon av dybde 0.3 – 1.0 m og vannføring inn i magasinet 50 – 250 l/s og volum 288 m <sup>3</sup> , 319 m <sup>3</sup> , 335 m <sup>3</sup> og 247 m <sup>3</sup> , avrenning gitt i $[ls * ha]$ .....	48

---

## 1 Introduksjon

Som en konsekvens av økt urbanisering, klimaendringer og et aldrende avløpsanlegg forventes økt forekomst av overvannsskader i urbane områder (Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon Informasjonsforvaltning, 2015). For å møtekomme utfordringene pekes naturbaserte overvannssystemer med egenskaper til å håndtere avrenning slik naturen gjør ut som en ønsket løsning. Flere kommuner krever i dag at overvann ved ekstremhendelser holdes tilbake og fordrøyes lokalt der avrenningen oppstår, før vannet slippes kontrollert ut til avløpsanlegget, vassdrag eller flomvei. Eksempelvis, stiller Oslo kommune krav til at kommunale virksomheter må sikre trygg håndtering av overvannet innenfor sine ansvarsområder, samtidig må de følge kommunens prinsipper og strategier for overvannshåndtering. Private virksomheter har krav til å passe på at det settes av plass til å ta vare på overvannet på det relevante området (Oslo Kommune, 2013). Tilslutt, settes det krav til at Oslos innbyggere skal håndtere overvannet fra egen eiendom etter tretrinnsstrategien, der fordrøyning fungerer som trinn 2. Det spesifiseres også at det skal dokumenteres hvordan fremtidens regn med 5-års gjentaksintervall skal holdes tilbake på eiendommen, med maksimalt tillatt påslipp på aktiv overvannsledning avhengig av størrelsen på tiltaksarealet (Vann- Og avløpsetaten, 2022).

Tiltak for fordrøyning omfatter både naturbaserte anlegg som regnbed og grønne tak, og konstruerte anlegg som magasiner over og under bakken. I forbindelse med utbygging i urbane områder utgjør i dag fordrøyningstiltak normalt en betydelig kostnad. Kvillum (2022) gikk igjennom 31 utbyggingsplaner og fant at det gjennomsnittlige behovet for fordrøyning var  $202.4 \frac{m^3}{ha}$ . Kostnadene relatert til et lukket fordrøyningsmagasin er avhengig av flere faktorer, for eksempel utforming, materialvalg og grunnforhold (Kristin Magnussen et al., 2015). Om en allikevel antar en midlere enhetspris for betongrør med diameter på 1000 mm med gravbare forhold på  $4700 \frac{NOK}{m^3}$  (Kristin Magnussen et al., 2015) utgjør dette en spesifikk arealkostnad på  $950810 \frac{NOK}{ha}$ .

For å forsvare anlegning av fordrøyningstiltak økonomisk er det vesentlig at avrenning håndteres på en slik måte at skader og andre uønskede hendelser ikke oppstår nedstrøms. Ved utforming av magasiner der hydraulisk kontroll skal oppnås, må det derfor etableres et bestemt utløpsarrangement fra fordrøyningstiltaket. Utløpsløsninger som for eksempel, strupeutløp, virvelkammer og V-overløp gir alle en forutsigbar sammenheng mellom vanddybden i magasinet og videreført vannføring gjennom utløpet, og en kan dermed dimensjonere anlegget for en bestemt videreført vannføring. Felles for utløpsløsningene som tradisjonelt benyttes for magasiner er at de

---

er statiske og at maksimal videreført vannføring fra utløpet sammenfaller med maksimal vanddybde i magasinet. Et alternativ til dette som er lite utforsket i Norge er dynamiske utløpsarrangement som benytter informasjon om for eksempel vanddybde i magasinet eller vannføring inn til magasinet for styre utløpsløsningen. Eksempelvis viste en studie at en integrert optimering og regelbasert tilnærming for forutsigbare dynamiske utløpskontroller i urbane overvannsystemer kan redusere maksimal vannføring fra magasinet opp til 73 - 95 %. Studien konstruerte flere regler for beregning av magasinverdier, med mål om å optimere for vannkvalitet og kvantitet (Shadab Shishegar et al., 2019).

Dynamiske utløpsløsninger kan potensielt gi bedre fordrøyningsegenskaper enn statistiske utløpsløsninger ettersom de eksempelvis kan ha mulighet til å holde tilbake all avrenning i en periode der avløpsanlegget er fullt, for så å slippe ut vannet på et tidspunkt etter regnskylllet opphører og avløpssystemet igjen har kapasitet. Det er også en rekke ulike tilnærminger for å karakterisere fordrøyningsegenskaper. For eksempel har vannføring inn, vannføring ut, magasinivolum og magasinutforming alle innvirkning på maksimal videreførte vannmengder. En dynamisk styrt utløpsløsning har potensial til å optimaliseres for én eller flere egenskaper avhengig av de lokale forutsetninger og behov. Mulighetsrommet for valg av variabler ved dynamiske styrt utløpsløsninger er stort. Eksempelvis må det ta stilling til hvilke bestemte vanddybder og/eller innkommende vannføring som skal initiere hvilken grad utløpet åpnes. Utforming av magasiner med dynamisk utløp blir dermed et multiobjektiv optimaliseringsproblem med potensielt stort antall variabler og flere funksjoner (objektiver). Objektivene vil eksempelvis kunne være minst mulig videreført vannføring, minst mulig magasinivolum og/eller høyest mulig økning i konsentrasjonstid (tidsforsinkelse).

En effektiv måte å løse multiobjektive optimaliseringsproblemer på er å benytte NSGA-ii (*Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II*) (Kalyanmoy Deb et al., 2002). Eksempelvis er NSGA-ii tidligere brukt til å optimalisere irrigasjon planlegging (Yusoff et al., 2011) og for å finne optimal oppsettning av vannoppbevaring, med hensyn til kostnader og maksimal vannføring i et gitt system (T. Tao et al., 2013). Ved å kombinere NSGA-ii med en modell som beskriver hydraulikken i magasin og utløpsarrangement, kan en utforske utfallsrommet og potensialet for dynamiske utløp. En populær hydraulisk modell er SWMM (*Stormwater Management Model*) (United States Environmental Protection Agency, 2023), modellen er eksempelvis benyttet til beregning og dimensjonering av fordrøyningsmagasiner (Kvillum, 2022; Merli, 2020; Ulla, 2021) og beregner avrenning ved bruk av en ikke-lineær karmodell (United States Environmental Protection Agency, 2023). I tillegg er SWMM er tilgjengelig med versjoner som kan kjøres i Rstudio (Posit, 2011), noe som gjør det mulig å kombinere med genetiske algoritmer. Grafisk fremvisning av

---

simuleringsresultater er eksportert og videre plottet i excel for grafisk fremvisning (Microsoft Corporation, 2021).

Det overordnede målet med oppgaven er å utforske potensialet for dynamiske styrte utløpsløsninger i lys av de fordrøyende egenskapene et magasin burde ha. Slike egenskaper omfatter blant annet mest mulig naturlig avrenning jfr. krav om naturbaserte løsninger (Kommunal- og distriksdepartementet, 2018), minst mulig magasinivolum for å redusere utbyggingskostnader og mest mulig fordrøyning for å redusere sannsynligheten for uønskede hendelser nedstrøms. For å tilnærme seg målet er følgende forskningsspørsmål og problemstilling forsøkt besvart:

### **1.1 Problemstilling**

Oppgavens problemstilling er følgende:

«Er det mulig å modellere et dynamisk fordrøyningsmagasin ved hjelp av multiobjektive genetiske algoritmer som kan forbedre fordrøyningseffekten i forhold til eksisterende statiske fordrøyningsløsninger?»

### **1.2 Forskningsspørsmål**

1. Hvordan kan en utforme en dynamisk utløpsløsning som optimaliseres for bestemte fordrøyningsegenskaper, og hvordan skiller disse seg fra magasiner med statiske utløpsløsninger?
2. I hvilken grad vil magasiner med dynamiske og statiske utløp etterligne fordelingen av avrenning i naturlige felt?

### **1.3 Avgrensning og struktur i oppgaven**

Fokuset i denne oppgaven er å vurdere om det er mulig bruke metodene som er diskutert til å konstruere en teoretisk dynamisk fordrøyningsmodell. Det er derfor gjort noen avgrensninger tilknyttet grenseverdier i noen av modellene som er blitt vurdert til å ikke ha stor innvirkning på modellens nøyaktighet. Dette er heller basert på enkle antakelser og/eller av interesse for tid.

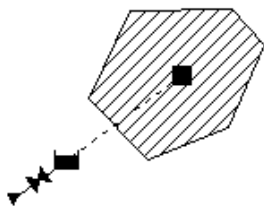
Oppgavens struktur er delt inn i metode for å utforske forskningsspørsmålene er beskrevet i kapittel 2. Resultatene av oppgaven er presentert og diskutert i kapittel 3. Til slutt følger konklusjon der oppgaven i sin helhet er vurdert.

---

## 2 Metode

### 2.1 SWMM – beskrivelse av systemet

Det ble utarbeidet en enkel nedbør-avløpsmodell i SWMM (Figur 1). Modellen består av et impermeabelt nedbørfelt (*subcatchment*), der avrenningen fra nedbørfeltet føres til et fordrøyningsmagasin (*storage unit*). Videre ble det lagt inn et utløpsarrangement (*outlet link*) i magasinet. Til slutt er det også lagt inn en regnmåler (*rain gage*).



Figur 1 - SWMM modell av nedbørfelt, magasin, utløp og regnmåler (United States Environmental Protection Agency, 2023).

#### 2.1.1 Regnmåler

Regnmålere (*rain gages*) gir nedbørsdata for ett eller flere nedbørfelt i en modell. Nedbørsdataen kan enten være brukerdefinert eller komme fra en ekstern fil (Rossman, 2015).

I denne oppgaven er det lagt inn ekstern data for 15 ekstreme nedbørshendelser, og for senere modeller er det lagt inn for 55 år med historisk nedbørsdata.

#### 2.1.2 Nedbørfelt

Et nedbørfelt (*subcatchment*) er hydrologiske enheter av land hvor topografi og eventuelle avløpselementer leder overvann til et utløpspunkt. Nedbørfeltet kan karakteriseres som permeabelt eller impermeabelt, der dybden av eventuell gropmagasinering (*depression storage*) for begge instillingene kan bestemmes. Avrenningen fra et nedbørfelt kan også føres til et annet nedbørfelt, eller videre til et magasin. I tillegg er det flere inngangsparametere som kan beskrives

---

i nedbørsfeltet, for eksempel, areal av nedbørsfeltet, prosent helning og bredde på vannføringssti (*flow path*) (Rossman, 2015).

### 2.1.3 Fordrøyningsmagasin

I SWMM representerer et fordrøyningsmagasin (*storage unit*) et oppsamlingsmagasin for vannmengder. Størrelsen til magasinet kan variere mellom for eksempel et typisk fordrøyningsmagasin, eller en større innsjø. Noden tar i mot (*inflows*) og viderefører teoretiske vannmengder fra andre noder i systemet. I tillegg kan det legges inn inngangsparametere som for eksempel bestemmer at vannet skal infiltreres i jordmasser (*seepage loss*), eller fordampes (*evaporation factor*). Andre inngangsparametere inkluderer dybde (*max. depth*), høyden til bunn av magasinet (*inverted elevation*), start dybde av vannmengder (*initial depth*) og behandling av eventuelle forurensninger (*treatment*) (Rossman, 2015).

### 2.1.4 Utløpsløsning

Videreførte vannmengder fra fordrøyningsmagasinet blir kontrollert i et utløp (*outlet link*). På lik måte som et fordrøyningsmagasin er det flere tilgjengelige inngangsparametere som, for eksempel, mulighet til å bestemme om det skal tillates tilbakeføring av vannmengder (*flap gate*), samt høydeforskjell mellom innløp og utløp av noden (*inlet offset*) (Rossman, 2015).

Videre kan det bestemmes beregningsmetode for vannføringen i utløpet (*rating curve*). For denne modellen er metoden *functional/depth* valgt. Vannføringen blir beregnet ved hjelp av Formel 1

$$Q = A * y^b \quad (1)$$

Der  $Q$  er vannføring [ $\frac{l}{s}$ ],  $y$  er dybden av vannet over utløpets åpning ved innløpnoden [ $m$ ] og  $b$  er bestemt eksponent.

$A$  er en koeffisient (A-koeffisient) gitt ved Formel 2:

$$A = C_d * a * \sqrt{2g} \quad (2)$$

Der  $a$  er utløpsåpningen [ $dim. L\phi s$ ],  $C_d$  er utløpskoeffisienten og  $g$  er gravitasjonskonstanten [ $\frac{m}{s^2}$ ] (Rossman, 2015).



### 2.1.5 Styrte utløp

En annen kritisk del av SWMM modellen er kontrollene ved utløpet, som brukes til å bestemme hvordan ulike regulatorer kan justeres i løpet av simuleringen (Rossman, 2015). I denne modellen er åpningen til utløpsnoden justert basert på tre regler relatert til betingelser i fordrøyningsmagasinet. Det er fokusert på grenseverdier tilknyttet vanndybde [ $m$ ], vannføring inn i magasinet [ $\frac{l}{s}$ ] og en kombinasjon av begge grensebetingelsene. Kontrollene bestemmes ved hjelp av ulike kommandoer relatert til et objekt. For denne modellen er objektet satt til Node 1, som tilsvarer fordrøyningsmagasinet, og utløp 1.

## 2.2 Testede utløpsløsinger

Som en del av kontrollspesifiseringen blir det testet ut flere ulike muligheter i forbindelse med justering av utløpsåpningen. Ved simulering av nedbørsperioden i SWMM er det gitt et bilde på hvilke verdier av de valgte kontrollparameterene (dybde, vannføring og en kombinasjon) som kan forventes. Dette gir igjen et innblikk i hvilke intervaller som er realistisk for det valgte magasinet. Kontrollene er spesifisert i Tabell 1.

Tabell 1 – Eksempel på hydraulisk kontroll i SWMM og beskrivelse av grenseverdiregler for utløpsåpningen.

For Dybde 0.3 – 1.0m:	For vannføring inn:	For en kombinasjon av dybde og vannføring inn:
RULE MC1 IF NODE 1 DEPTH <= 0.3 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.29 RULE MC2 IF NODE 1 DEPTH > 0.3 AND NODE 1 DEPTH <= 0.6 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.77 RULE MC3 IF NODE 1 DEPTH > 0.6 AND NODE 1 DEPTH < 1.0 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.41	RULE MC1 IF NODE 1 INFLOW <= 50 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.29 RULE MC2 IF NODE 1 INFLOW > 50 AND NODE 1 INFLOW <= 150 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.77 RULE MC3 IF NODE 1 INFLOW > 150 AND NODE 1 INFLOW <= 250 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.41	RULE MC1 IF NODE 1 DEPTH <= 0.3 AND NODE 1 INFLOW <= 50 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.29 RULE MC2 IF NODE 1 DEPTH > 0.3 AND NODE 1 DEPTH <= 0.6 AND NODE 1 INFLOW > 50 AND NODE 1 INFLOW <= 150 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.77 RULE MC3 IF NODE 1 DEPTH > 0.6 AND NODE 1 DEPTH < 1.0 AND NODE 1 INFLOW > 150 AND NODE 1 INFLOW <= 250 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.41

Kontrollene for dybde er spesifisert ved at utløpsåpningen vil justeres etter tre regler gitt som MC1, MC2 og MC3. Dersom vannet i magasinet står under 0.3 m vil utløp 1 sin utløpsåpning bli innstilt med en verdi bestemt ut fra NSGA-ii variabler. Videre vil utløpsåpningen justeres ved vannhøyde mellom 0.3 og 0.6 m, og siste utløpsåpningen for vannhøyde 0.6 til 1.0 m. Dersom vannhøyden skulle overstige 1 m vil utløpsåpningen være 1.0, noe som tilsier et helt åpent utløp. Samme prinsipp gjelder for kontrollene av vannføring inn, der utløpsåpningen varierer for under  $50 \frac{l}{s}$ , for mellom 50 til  $150 \frac{l}{s}$  og 150 til  $250 \frac{l}{s}$ . Til slutt testes det for en kombinasjon av begge kodene. Det burde derimot noteres at for kombinasjonskontrollen finnes det situasjoner der ingen av de satte reglene gjelder. For eksempel, dersom vanddybden er under 0.3 m men vannføringen inn er over  $50 \frac{l}{s}$ . I en slik situasjon vil utløpsåpningen automatisk bli satt til 1.0 på lik måte som dersom vannhøyden i magasinet er over 1.0 m.

Ettersom det er tiltenkt at vanddybde er en mer praktisk parameter å måle fortløpende i et fordrøyningsmagasin er det også simulert modeller for to andre vanddybdegrensebetingelser. Disse verdiene er bestemt ut fra samme SWMM vurdering som tidligere verdier. Modellprinsippene er likt som tidligere beskrevet og vist i Tabell 2.

Tabell 2 – Eksempel på hydrauliske kontrollvariasjoner av dybde i SWMM

<b>For Dybde 0.25 – 1.0m:</b>	<b>For Dybde 0.4 – 1.0m:</b>
RULE MC1 IF NODE 1 DEPTH <= 0.4 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.29	RULE MC1 IF NODE 1 DEPTH <= 0.25 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.29
RULE MC2 IF NODE 1 DEPTH > 0.4 AND NODE 1 DEPTH <= 0.7 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.77	RULE MC2 IF NODE 1 DEPTH > 0.25 AND NODE 1 DEPTH <= 0.4 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.77
RULE MC3 IF NODE 1 DEPTH > 0.7 AND NODE 1 DEPTH < 1.0 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.41	RULE MC3 IF NODE 1 DEPTH > 0.4 AND NODE 1 DEPTH < 1.0 THEN OUTLET 1 SETTING = 0.41

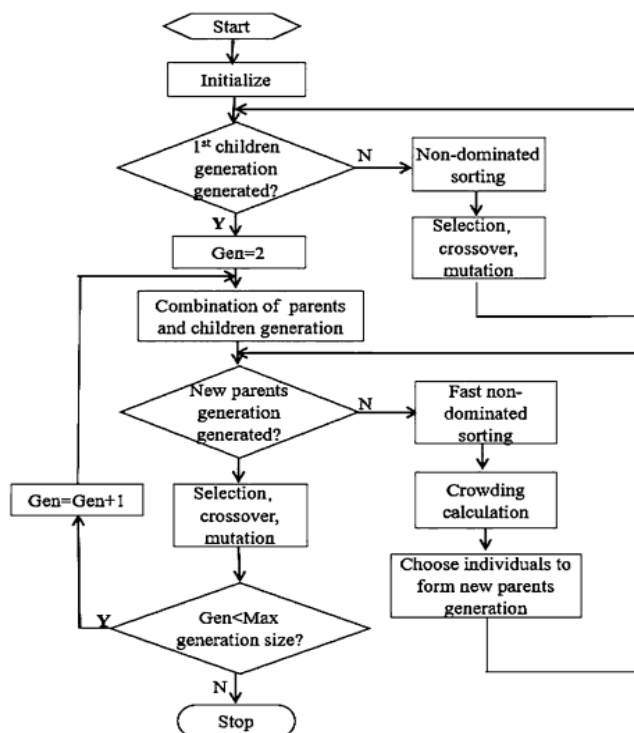
## 2.3 Multiobjektiv optimalisering

### 2.3.1 NSGA-ii

NSGA-ii er en algoritme som brukes til å løse komplekse problemstillinger innen multiobjektiv optimering. Algoritmen fungerer ved å slå sammen flere problemstillinger. I denne oppgaven

settes det ulike parametere tilknyttet fordrøyning, og det regnes ut hvilke verdier som overskriver gitte fordrøyingsrelaterte objekter satt av brukeren. Ved multiobjektiv optimalisering av magasinet må det derfor defineres ulike objekter og parametere. Der objektene er egenskapene som blir optimalisert, mens parameterene er verdiene som varierer i utregningene til objektene. Dette gjøres ved en genetisk algoritme og en populasjon av løsningsmuligheter som gjentas over flere generasjoner med tilpasninger til problemstillingene.

Beregningsmetodikken kan forklares ved at det først initialiseres en populasjon basert på problemområdet og begrensningene til ligningssettet. Deretter gjennomføres ikke-dominerende sortering (*non-dominated sorting*) basert på populasjonen som er initialisert. Når sorteringen er fullført, tilordnes en trengselavstandsverdi (*crowding distance*) til hver front i populasjonen, og individene velges basert på rangering og trengselavstand (*crowding calculation*). Individene velges deretter ved hjelp av en binær turneringsutvelgelse med trengselsammenligningsoperasjoner (*crowded-comparison*), før en reelt kodet genetisk algoritme brukes med simulert binær kryssing (*binary crossover*) og polynommutasjon (*polynomial mutation*). Til slutt kombineres avkomspopulasjonen (*offspring population*), og individene i neste generasjoner ved utvelgelse. Den nye generasjonen fylles av hver front til populasjonstørrelsen overstiger gjeldene populasjonstørrelse (Yusoff et al., 2011). Dette konseptet er vist på en forenklet måte i Figur 2.



Figur 2 - Kalkulasjonsprosesser i NSGA-II (Jingyi Liu et al., 2019).

Multiobjektiv optimalisering i form av NSGA-ii gir resultater i form av en paretofront, som fungerer som et sett med potensielle løsninger for et likningssett der det ikke er en definitiv løsning. Det fremmes derfor flere potensielle løsninger med ulike verdier for de forskjellige objektivene. Brukeren har mulighet til å tolke resultatene og vurdere hvilke verdier som er mest ønsket.

### 2.3.2 Variabler

I denne oppgaven er variablene og grenseverdiene vist i Tabell 3 og vurdert til A-koeffisienten til utløpsnoden (variabel 4) samt utløpsåpningen av magasinet (variabel 1 – 3). Kontrollene er valgt for utløpet ettersom det ikke hindrer vann å komme inn i magasinet, samt vil lukking av utløpsåpningen fungere som en fordrøyende parameter til det tiltenkte magasinet. A-koeffisienten har grenseverdier mellom minsteverdi lik 0.01 og maksverdi lik 100. Utløpsåpningsvariabelene er en multiplikator som representerer en faktor for åpningen av utløpet til magasinet. Der er minsteverdi lik 0.01, noe som tilsvarer tilnærmet lukket åpning, og maksverdi 0.99, som tilsvarer tilnærmet åpen åpning.

Tabell 3 – NSGA – ii grenseverdier for variablene som brukt i koden. Minimalverdi satt til 0.01 og maksimalverdi satt til 0.99 for utløpsåpningene, og 0.01 – 100 for A-koeffisienten.

Variabel	Min. Verdi	Max. Verdi	Beskrivelse
1	0.01	0.99	Endrer «MC1» i SWMM kontrollene. Variabelen representerer utløpsåpningen til magasinet.
2	0.01	0.99	Endrer «MC2» i SWMM kontrollene. Variablene representerer utløpsåpningen til magasinet.
3	0.01	0.99	Endrer «MC3» i SWMM kontrollene. Variablene representerer utløpsåpningen til magasinet.
4	0.01	100	Endrer A-koeffisienten for utløpsnoden i SWMM modellen.

### 2.3.3 Objekter

For å identifisere de best tenkte objektene for dette prosjektet er det tenkt hvilke typiske egenskaper og mål som er relevante ved installering av et fordrøyningsmagasin. Som et resultat av fordrøyning vil vannmengdene fra området bli sendt videre til kommunale overvannsledninger over en lengre tidsperiode, samt vil maksimal vannføring være mindre.

Det er vurdert at dersom det kun er ønskelig å holde på store mengder vann vil det være mest realistisk å ha et så stort magasinivolum som mulig, noe som ikke er ønskelig om det er plassmangel og andre utfordringer knyttet til ressursbruk. Av denne grunn er et av objektene for det dynamiske magasinet satt til volum i magasinet. På den måten kan det være mulig å finne et magasin som har minst mulig nødvendig volum for den tenkte situasjonen.

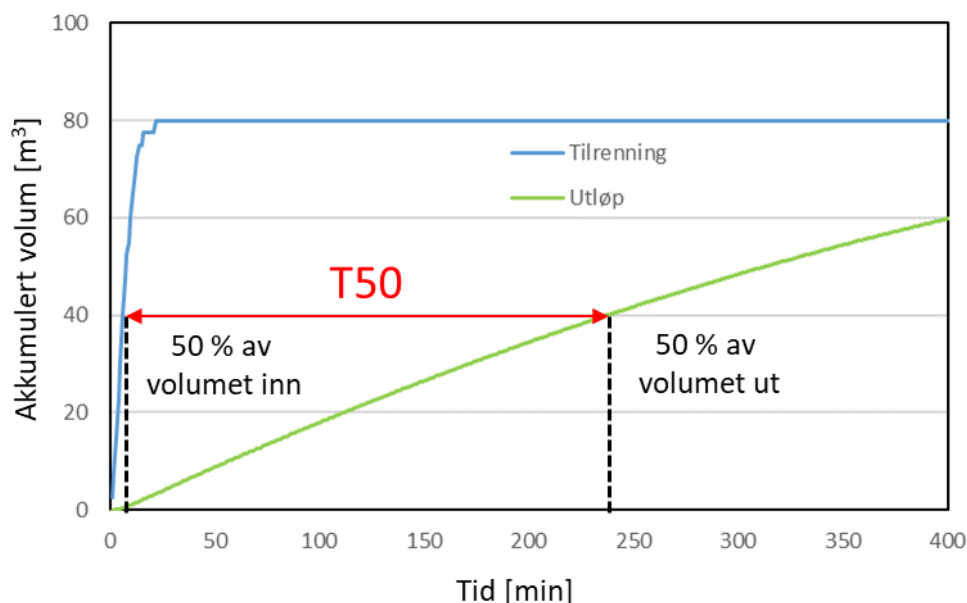
Ved fordrøyning er det ønskelig å holde på vannmengdene i en periode. Et mål på dette er tidsforsinkelse, som generelt kan beskrives som tidsforskjellen på vannføring i forbindelse med nedbør uten fordrøyning, og vannføring fra fordrøyningsmagasinet. For å bestemme dette er det nødvendig å se nærmere på ulike beregningsmåter. I Tabell 4 er det beskrevet syv ulike beregningsmetoder (Stovin et al., 2017).

Tabell 4 - Beregningsmetoder for tidsforsinkelse (Stovin et al., 2017)

Nummer	Formel	Beskrivelse
1	$t_{peak_o} - t_{peak_i}$	Tidsforsinkelsen av maksimal vannføring ut i forhold til maksimal vannføring inn.
2	$\frac{peak_o}{peak_i}$	Maksimalvannføring ut i forhold til maksimalvannføring inn.
3	$peak_o$	Verdi av maksimal vannføring ut.
4	$t_{v_{050}} - t_{v_{i50}}$	Tidsforsinkelsen ved 50% volum ut i forhold til 50 % volum inn.
5	$t_{start_o} - t_{start_i}$	Tidsforsinkelsen når utløpet starter i forhold til når vannføring kommer inn til magasinet.
6	$\frac{t_{dur_o}}{t_{dur_i}}$	Varigheten på utløpet sett i forhold til varigheten på innløpet.
7	$\frac{v_o}{v_i}$	Volum i utløpet i forhold til volum i innløp i løpet av regnhendelsen.

Det har blitt gjort forsøk på simulering ved bruk av alle formelene i Tabell 4 med forskjellige resultater, der tidsforsinkningsformel nummer 4 ( $T50$ ) er valgt ved videre simuleringer. Ved bruk av denne beregningsmetoden vil både videreført vannføring og volum optimaliseres. Dette står i motsetning til, for eksempel, tidsforsinkningsformel nummer 2, der bare maksimal vannføring

optimaliseres. Dette vil ikke gi gode resultater dersom hensikten med simuleringene er å få minst mulig volum med høyest mulig tidsforsinkelser.



Figur 3 – Typisk fordrøyningseffekt for 50 % av volum ut i forhold til 50 % volum inn (T50).

Ut fra Figur 3 kan en identifisere konseptet T50 tidsforsinkelse som er tidsforskjellen mellom halvparten av akkumulert volum inn i magasinet og halvparten av akkumulert volum ut av magasinet.

## 2.4 Simuleringer

Simuleringer i SWMM ble gjennomført med et beregningssteg på 1 minutt og routing-steg på 60 sekunder. Dette valget ble tatt for å begrense beregningstiden på simuleringene og er ikke vurdert til å ha noe nevneverdig innvirkning på endelige resultater.

### 2.4.1 Ekstremhendelser

Som følge av lang beregningstid ved multiobjektiv optimalisering ble kun enkelthendelser simulert ifm. forskningsspørsmål nr. 1. Utvalg og analyse av hendelsene er gitt av Kim H. Paus (2023) og omfatter totalt 15 større nedbørhendelsene fra BLINDERN PLU SN18701 perioden 1968 til 2020 (Tabell 5). Hendelsene ble valgt ut ved å først finne tidspunkt for de største timesverdiene, og deretter analysere minutt-verdier for disse tidspunktene. Gjentakintervall ble anslått ved interpolasjon av IVF-statistikk fra samme målestasjon perioden 1968 – 2017. Metoden som ble benyttet garanterer ikke at alle ekstremhendelser er identifisert, og det vil trolig være flere hendelser med høye gjentakintervall for kortere varigheter.

Tabell 5: Oversikt over ekstremhendelser som ble benyttet ved multiobjektiv optimalisering.

Nr.	Dato	Største gjentakintervall [år]	Regnvarighet ved største gjentakintervall [min]	Total nedbørmengde for hendelsen [mm]
1	06.08.1980	182	30	59.7
2	22.08.1988	49	360	69.9
3	06.06.1992	58	1	31.4
4	31.07.1989	18	1440	70.0
5	15.07.1995	15	720	68.2
6	25.09.1999	22	360	65.6
7	10.07.2012	15	120	50.5
8	26.06.2014	273	120	73.7
9	05.08.2015	17	720	55.4
10	01.09.2019	8	180	34.0
11	17.06.1980	523	5	48.9
12	06.09.1985	10	1440	60.0
13	15.08.1988	14	360	55.0
14	09.08.2017	12	360	56.1
15	04.08.2019	41	20	27.0

Alle hendelsene ble simulert separat i SWMM, og gjennomsnittlige verdier for objektiver ble beregnet for alle ekstremregnhendelsene. Det beregnes derfra en paretofront, ved hjelp av NSGA-ii, til magasinmodellene. Det er ønskelig at fordrøyningsmagasinet skal kunne håndtere store og intense nedbørshendelser. Dette er viktig på grunn av forventet økende hyppighet og intensitet av nedbør som følge av klimaendringer. Det er derfor valgt ut 15 forskjellige historiske ekstremhendelser, der gjennomsnittsverdiene for disse blir simulert for ulike variasjoner av kontroller i fordrøyningsmagasiner. Resultatene av disse simuleringene gir et innblikk i hvilke kontrollparametere som virker gunstige for videre testing, og derav hvilke dynamiske fordrøyningsmagasinmodeller som virker lovende.

Variablene ble videre brukt til å beregne for tidsforsinkningsformel nummer 1 – 7, ved hjelp av formlene beskrevet i Tabell 4. Resultatene ble plassert i en oppsummeringsmatrise, og verdiene brukes til å kalkulere gjennomsnittsverdien til alle tidsforsinkningsmetodene. Til slutt plottes det en paretofront, ved hjelp av NSGA-ii, til magasinene. Dette gjøres ved å konstruere en ny matrise med verdier for volum, tidsforsinkning, samt verdier for utløpsåpningen og utløpskoeffisienten.

#### 2.4.2 Lange tidsserier med nedbør og temperatur

I forbindelse med forskningsspørsmål nr. 2 ble 55 år med minutt-nedbør fra BLINDERN PLU SN18701 (perioden 1968 til 2022) benyttet som inngangsverdi for nedbør i SWMM. Nedbørverdiene (1 minutts oppløsning) ble lastet ned via *Frost* (Meteorologisk institutt, 2022). I tillegg ble fordampning beregnet med Hargreaves metode. Inngangsparametere i Hargreaves

---

metode er minimum og maksimum døgntemperaturer og ble lastet ned via Klimaservicesenteret.no (Meteorologisk institutt, 2023).

## 2.5 Beregning av QVF - statistikk

En annen beregning ble brukt for å regne ut for 55 år med nedbørsdata og regne ut QVF - statistikk for de valgte magasinmodellene. QVF - statistikk (avrenning – varighet – frekvens) er en metode som brukes til å beregne avrenningen fra et område over gitte tidsintervaller. Metoden er ikke ulik IVF (intensitet – varighet – frekvens) som ofte brukes til å avgjøre hvilken kapasitet som trengs for eksempel på avløpsrør for overflatevann. Begge metodene bruker dimensjonerende nedbør for ulike varighet for et utvalg av returperioder (Benestad & Tjernshaugen, 2021). Hovedforskjellen er at QVF tar for seg avrenningen av et område, mens IVF bruker intensiteten av nedbør.

For utregning av QVF – statistikk i denne oppgaven er det brukt valgte kontroller og verdier fra NSGA-ii simulerte dynamiske og statiske modeller. Disse verdiene ble eksportert inn i SWMM modellen sammen med nedbørsdataen. De faste verdiene blir eksportert der kontroll, utløpsåpningsverdiene og A-koeffisienten til den valgte dynamiske modellen er spesifisert. For statiske modeller er det kun A-koeffisienten som er spesifisert. Deretter hentes det ut SWMM-resultater for vannføring ut av magasinet og det regnes ut løpende summer for ulike tidsvarigheter og gjentaksintervall.

### 2.5.1 Beregning av gjentaksintervall

Formel 3 ble brukt for beregning av gjentaksintervall ( $T$ ):

$$T = \frac{1}{p_e} \quad (3)$$

Der  $p_e$  er sannsynlighet for overskridelse.

Det finnes flere måter å beregne sannsynlighet for overskridelse, i dette tilfellet er det gjort ved bruk av Weibulls plote-posisjonsformel vist i Formel 4:

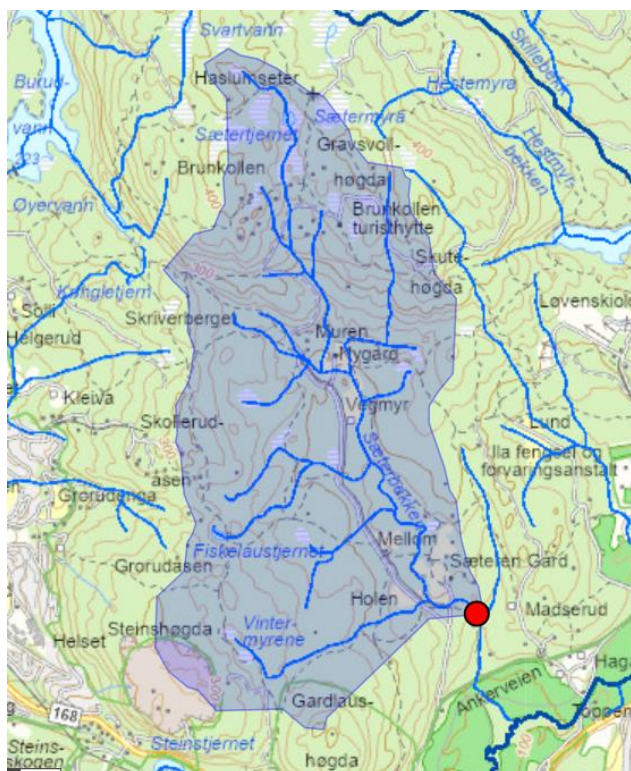
$$p_e = \frac{m}{N + 1} \quad (4)$$

Der  $N$  er totale antall observasjoner og  $m$  er rangen til observasjonene. Det er vanlig å rangere data som er over en viss terskel i økende rekkefølge fra minste ( $m = 1$ ) til største verdi ( $m = N$ ). Weibulls plote-posisjonsformel følger da direkte definisjonen av gjentaksintervallet (Lasse Makkonen, 2006). Dette gir QVF – statistikk  $[\frac{l}{s*ha}]$  for naturlige vassdrag for varigheter på 60, 180, 720 og 1440 minutter og gjentaksintervaller på 2, 5, 10 og 20 år.



## 2.5.2 Referansefelt

For å utforme en referanseverdi for naturlig avrenning ble observasjoner for vannføring for Sæternbekken i Bærum analysert. Sæternbekken (stasjonnr. 8.6.0) er et naturlig felt, som består av 93 % skog, på totalt 6,28 km<sup>2</sup> (Tabell 6) (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2023b). Nedbørsfeltet er vist i Figur 4 og er hentet fra nevina.nve.no (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2023a).



Figur 4 - Sæternbekken nedbørsfelt (Norges vassdrags- og energidirektorat, 2023a)

Tabell 6 - Generell informasjon om Sæternbekken

	<b>Sæternbekken</b>
<b>Stasjon ID</b>	8.6.0
<b>Nedbørsfelt</b>	6,28 km <sup>2</sup>
<b>Andel skog</b>	93 %
<b>Måleperiode</b>	1971 – 2022
<b>Avstnad fra Blindern PLU</b>	Ca. 8,7 km

Observasjoner med tidsoppløsning på 15 minutter for perioden 2002 til 2022 ble benyttet i analysen. Til å begynne med ble det laget en ny tidsserie med 1 minutt oppløsning der manglende verdier ble beregnet via interpolasjon. Videre ble det beregnet midlere vannføring for varigheter fra 1 til 1440 minutter (Tabell 7). De årlig største vannføringsverdiene for hver varighet ble så bestemt og resulterte i flere verdier for vannføring. Observasjonene har en tidsoppløsning på 15 minutter og verdiene for varighetene under 30 minutter vil da være noe lavere enn de kunne ha fått

dersom oppløsningen hadde vært 1 minutt. Effekten er imidlertid antatt å være minimal ettersom vassdraget er relativt stort og har treg responstid.

Tabell 7- Interpolert QVF - statistikk, fra Sæternbekken nedbørsfelt, avrenningsverdier gitt i  $[\frac{l}{s \cdot ha}]$

	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2 år</b>	5.948	5.946	5.944	5.939	5.927	5.536	4.263	3.174
<b>5 år</b>	9.521	9.518	9.514	9.500	9.430	8.257	5.598	4.195
<b>10 år</b>	12.926	12.895	12.862	12.712	12.426	11.233	7.436	5.669
<b>20 år</b>	16.827	16.791	16.752	16.588	16.180	14.004	9.022	6.945

## 2.6 Programmering i R

For å kunne sammenkjøre multiobjektiv optimalisering med modellen i SWMM er det nødvendig å bruke Rstudio som et mellomledd. Koden for simuleringer med NSGA-ii er vist i sin helhet i Vedlegg A, mens koden for QVF – statistikk er vist i Vedlegg B

### 2.6.1 Generell koding

Det settes opp en funksjon som gjør de nødvendige beregningene relevant for objektene i simuleringene. Dataen fra de 15 ekstremverdiene blir simulert og der de nye kontrollverdiene, blir brukt ved utregning av en beregningsmatrise med vektorer for tidssteg, vannføring ut og inn av magasinet ( $Q_u$  og  $Q_i$ ), og den kummulative summen av disse vektorene brukt til å beregne volum inn ( $v_i$ ) og volum ut ( $v_o$ ) av magasinet. For å kalkulere tidsforsinkelsen er det nødvendig å beregne ulike parametere. Dette er videre beskrevet i Tabell 8.

Tabell 8 - Beskrivelse av variabler beregnet i Rstudio

Parameter	Beskrivelse
<b>t_peak_i</b>	Satt som tidspunktet der den største verdien i vektoren for $Q_u$ eller $Q_i$ oppstår.
<b>t_peak_o</b>	
<b>t_v_i50</b>	Satt som tidspunktet der absoluttdifferensen til vektoren $v_i$ eller $v_u$ og halvparten av kumulative summen til $v_i$ eller $v_u$ er mins.
<b>t_v_o50</b>	
<b>peak_i</b>	Satt som verdien der $Q_i$ og $Q_u$ er størst/minst.
<b>peak_o</b>	
<b>t_start_i</b>	Satt som tidspunktet der vannføring inn i /ut av magasinet er over 0.
<b>t_start_o</b>	
<b>t_dur_i</b>	Satt som summen tidspunktene der verdier i vektoren $Q_i$ eller $Q_u$ ikke har verdi lik null 0
<b>t_dur_o</b>	
<b>v_i</b>	Satt som summen av verdiene i vektoren $Q_i$ eller $Q_u$ .
<b>v_o</b>	

### 2.6.2 Pakker

For å bruke Rstudio til de tenkte formålene er det nødvendig å installere flere pakker som gjør det mulig å referere til andre R funksjoner som ikke er tilgjengelig med grunnversjonen av Rstudio. I oppgaven er det brukt flere forskjellige pakker, noen mer kritiske enn andre. Tabell 9 viser til pakkene som er brukt i koden.

Tabell 9 - Pakker brukt i Rstudio kode

Pakke	Bruk	Kilde
Zoo	Funksjonen <i>coredata</i> blir brukt til å hente ut verdier tilsvarende vannføring inn og vannføring ut fra SWMM modellen.	(Achim Zeileis & Gabor Grothendieck, 2005)
Rfast	Funksjonen <i>round</i> er brukt til å runde av desimalene i flere vektorer for variablene i NSGA-ii.	(Michail Tsagris & Manos Papadakis, 2022)
openxlsx	Funksjonen <i>write_xlsx</i> blir brukt til å eksportere R verdier til Excel.	(Philipp Shaubergger & Alexander Walker, 2022)
Stringi	Funksjonen <i>stri_sub</i> er brukt til å hente ut verdier for dybde i magasinet fra SWMM vektor.	(Gagolewski, 2022)
Dplyr	Funksjonen <i>count</i> blir brukt til å telle tidssteg ved beregning av <i>t_dur_i</i> og <i>t_dur_o</i>	(Hadley Wickham et al., 2023)
mco	En samling av funksjoner til å løse multiobjektiv optimalisering problemer ved bruk av NSGA-ii	(Olaf Mersmann, 2020)

Pakkene som er brukt i større grad i denne oppgaven blir beskrevet mer detaljert. Dette gjelder pakker som er viktige for implementering av SWMM og NSGA-ii.

### 2.6.3 Nsga2r

Ved beregning for ekstremverdisimuleringene er NSGA-ii ved installering av nsga2r pakken brukt (Ching-Shih Tsou, 2023). Koden tar for seg beregninger relatert til den multiobjektive generiske algoritmen og tar i bruk flere funksjoner. Informasjon relatert til antall variabler, objekter, generasjoner og populasjoner blir lagt inn som tidligere nevnt. Pakken uttrykker også en funksjon som fungerer som utregningsmodell med relevante beregninger. Verdiene som returneres er løsningen av de bestemte variablene og de ikke-dominerende objektivfunksjonverdiene (Ching-Shih Tsou, 2023).

### 2.6.4 SWMMR

For å endre og simulere for SWMM verdier kreves det installering av SWMMR pakken. Dette gjør det mulig å lese og skrive SWMM filer, initiere simuleringer fra R konsollen og konvertere SWMM modellfiler (Dominik Leutnant et al., 2019).

---

Koden tar for seg informasjon fra den korrelerende SWMM simuleringen ved hjelp av flere funksjoner fra SWMMR. Videre blir informasjonen relatert til utløpskontroller vurdert og simulert, og historiske ekstremverdier blir lagret som H1 – H15. Det blir spesifisert at kontrollene til det styrte utløpet skal endres til verdier som korrelerer med verdier i NSGA-ii variablene.

For koden som beregner QVF - statistikk er samme funksjoner brukt, hovedforskjellen ligger i at verdiene det blir simulert for er gitt av brukeren og inneholder spesifiserte utløpsåpningsverdier, A-koeffisient og kontroller for potensielle magasiner. Disse verdiene er hentet ut fra resultatene av tidligere simuleringer. Koden simulerer så for datoer fra 1968 til 2022 (55år) og bruker relevante funksjoner fra SWMMR pakken på lik måte som tidligere nevnt.

### 3 Resultater og diskusjon

Ved simuleringer er det nødvendig å spesifisere ulike verdier relatert til nedbørsfeltstørrelse og magasin karakteristikk. Verdiene anses ikke som kritiske ettersom det ikke har stor innvirkning på resultatene dersom den dynamiske og statiske modellen har samme utgangspunkt. Disse verdiene er valgt ut fra logiske faglige tilnærminger som typisk kan oppnås. Karakteristikken til fordrøyningsmagasinet ble beskrevet med rette sidekanter og en maksimal dybde på 100 m. Den høye dybden ble valgt for å ha kontroll på avrenningen og fordi det ikke var ønskelig å beskrive overløp fra magasinet på overflaten.

Det er ikke medberegnet noe infiltrasjon eller fordampning i denne oppgaven, det samme gjelder gropmagasinering og behandling av forurensninger. Arealet av magasinet er satt som 500 m<sup>2</sup> og er ganget med trykkehøyden ( $h_{max}$ ) for å gi nødvendig volum.

Nedbørsfeltet for denne oppgaven valgt til å ha et areal på 1 ha, bredde på vannføringssti på 31 m, 2.5 % helning og 100 % impermeable overflater. Det er valgt å ikke ha innstillingen for *flap gate* i utløpsnoden.

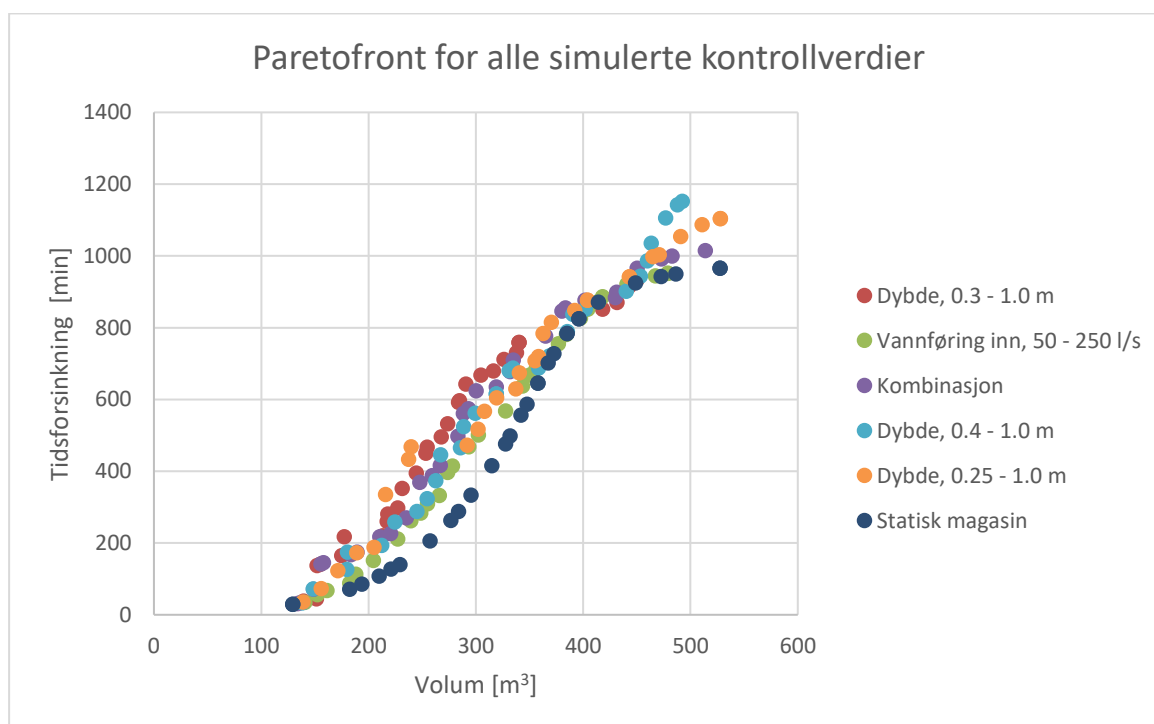
#### 3.1 Evaluering av Paretofront

Det ble simulert for de 5 tidligere nevnte dynamiske kontrollmulighetene og en statisk utløpsmodell. NSGA-ii ble gjort for 10 generasjoner og 30 populasjoner med objektiver for gjennomsnittlig tidsforsinkning og volum i magasinet for alle ekstremværhendelsene. Simuleringene tok rundt 1 time og 30 minutter å gjennomføre per simulering. Det er produsert 30 individuelle modeller som til sammen utgir formen til en paretofront. I tillegg blir det gjort

tilsvarende simulering for en modell med statistisk utløpsåpning som variabel (min. verdi og max. verdi satt til 1). En eventuell økning av antall populasjoner og generasjoner vil øke hvor nære resultatene er den ideelle paretofronten av modellen, men også øke simuleringstiden per simulering.

### 3.1.1 Alle utløpskontroller

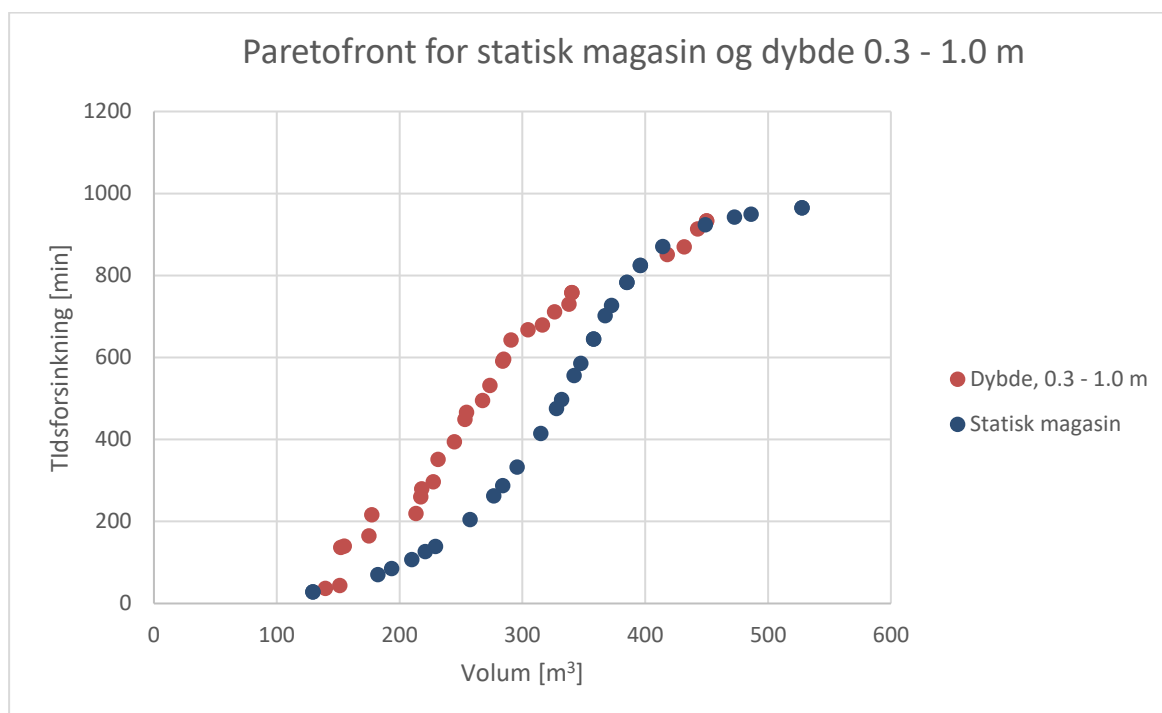
Simulering av gjennomsnittlige verdier for 15 ekstremhendelser er vist i Figur 5 og viser paretofront for alle utløpskontrollene med den statiske modellen som referanse.



Figur 5 – Paretofront fra NSGA-ii simuleringer

### 3.1.2 Dybde 0.3 – 1.0m

Ut i fra resultatene i Figur 4 er det dybdekontrollene for 0.3 – 1.0 m som er mest gunstige. Resultatene er vist isolert i forhold til statisk modell i Figur 6. Her observeres det at, for eksempel, et magasin med volum på ca. 300 m<sup>3</sup> gir en tidsforsinkelse på ca. 650 minutter. Dette er nesten en dobling av tidsforsinkelsen til en statisk modell som har omtrent samme størrelse. Alle simuleringresultatene for dybde 0.3 – 1.0 m er vist i Vedlegg C, Tabell 10.



Figur 6 – Paretofront for dybdekontroll 0.3 – 1.0m sammenlignet med statisk magasin.

En eksempelmodell med volum på  $304 \text{ m}^3$  (Vedlegg C, Tabell 10) og tidsforsinkning på 667 minutter, tilsier en utløpsåpning på 0.42 for vanddybder mellom 0 – 0.3 m (*MC1 Setting*), 0.07 for vanddybder mellom 0.3 – 0.6 m (*MC2 Setting*) og 0.98 for vanddybder 0.6 – 1.0 m (*MC3 Setting*). Modellen gir også en A-koeffisient i utløpsnoden på 37.72. En statisk modell med tilsvarende volum ( $295 \text{ m}^3$ ) (Vedlegg C, Tabell 12), der alle utløpsløsningene er satt til en maksverdi lik 1, har til sammenlikning en tidsforsinkning på 333 minutter og A-koeffisient lik 12.91.

### 3.1.3 Vurdering av resultater for paretofront

Figur 5 viser at det finnes et klart forbedringspotensiale for dynamiske modeller med objektiver for volum og tidsforsinkningsmetode T50. Samtlige utløpskontroller viser bedre tidsforsinkelse ved mindre eller samme volum som en statisk modell. Modellene med volum fra ca.  $200 - 400 \text{ m}^3$  viser størst forskjell mellom dynamiske og statiske modeller. Disse modellene kan tolkes til å ha like stort volum som en statisk modell, men betydelig bedre tidsforsinkelse med henhold til 50 % volum ut i forhold til 50 % volum inn i magasinet. Som en konsekvens av dette kan det forventes mindre overbelastning av videre ledningsnett. En annen effekt er mindre magasinivolum med bedre/lik fordrøyningseffekt og derfor mindre kostnader relatert til utgraving og installering av magasin.

Det observeres også at for volum på ca.  $400 - 450 \text{ m}^3$  er det minimal forskjell mellom dynamiske modeller og statiske modeller, før en forbedring av tidsforsinkelsen igjen kan observeres for magasiner med volum over  $450 \text{ m}^3$ . Generelt kan resultatene tydes ved at for magasiner med volum

---

mellom 200 – 350 m<sup>3</sup> er det dybdekontroll 0.3 – 1.0 m som gir best fordrøyende effekt med de gitte objektivene. Mens for høyere volum er det spesielt utløpskontrollene for vanndybde mellom 0.4 – 1.0 m og 0.25 – 1.0 m som viser best resultater. De statiske modellene viser høy variasjon i tidsforsinkelse i forhold til volum i sjiktet ca. 200 til 450 m<sup>3</sup> før grafen flater ut ved høyere volum. En mulig forklaring er at de magasinene for dybde 0.3 – 1.0 m ikke har blitt simulert for nok populasjoner til å gi resultater i det høyeste volumspekteret. Det kan observeres fra Figur 6 at det ikke er noen individuelle punkter over 450 m<sup>3</sup>. Det er derfor ikke mulig å si noe om magazinegeneskapene til en slik utløpskontrollert modell på lik måte som for de andre dybdekontrollene.

Det er få tidligere studier som har gjennomført samme type forskning som i denne oppgaven, det er imidlertid noen studier som viser til RTC (*real time control*) programmering på ulike former. En studie bruker RTC til å forbedre vannkvaliteten og fordrøyningstiden i et tørt fordrøyningsbasseng. Denne modellen bruker SWMM kontrollregler med ulike evolusjoner for grenseverdier av dybde og regnmengder for å åpne eller lukke utløpet. Rapporten simulerte for 6 etterfølgende sommerperioder og justeres etter behov. Resultatet lyktes i å øke fordrøyningstiden samt å minke videreført forurensninger og satt en øvre grense på 4 dager tidsforsinkelse (E. Gaborit et al., 2012). Studiet tar ikke i bruk noe form for NSGA-ii optimalisering av utløpsåpningen og har et fikset volum tilgjengelig da modellen er basert på et eksisterende fordrøyningsbasseng.

Annen forskning tar for seg et relativt enkelt system for fast fordrøyningstid der utløpet er stengt i 12 timer før det åpner helt. Denne metoden hadde også som mål å bedre mengden videreførte forurensende stoffer og resulterte i en bedre renseseffekt en tradisjonelle fordrøyningsmodeller (John R. Middleton & Micheal E. Barrett, 2008). Det er imidlertid verdt å nevne at modellen gjelder et fordrøyningsbasseng som er utenfor hovedavløpssystemet, og derfor mottar overvann gjennom en separat ledning. Dette medfører at vannmengdene inn i magasinet kan bli kontrollert og skiller seg fra fordrøyningsmagasiner som mottar avrenning fra nærliggende tak og gater (E. Gaborit et al., 2012).

En studie som tar for seg NSGA-ii ved bruk av beregninger rundt nedbørsavrenning bruker bedring av vannkvalitet, minimering av kostnader relatert til flom og utbyggelse, og redusering av avrenningsmengder som objekter (S. Oraei Zare et al., 2012). Oppgaven tar ikke for seg spesifikt fordrøyningsmagasiner, men er imidlertid relevant å nevne for å vise at det er mulig å konstruere en NSGA-ii modell over flere plan for flere objekter.



---

Denne oppgaven skiller seg fra tidligere studier hovedsakelig ved bruk av NSGA-ii. Det er verdt å nevne at resultatene fra tidligere studier gir gode resultater for tidsforsinkning, da også for reelle simuleringmodeller. Svakheter ved tidligere studier ligger i andre forenklinger i beregningensmetoden. Dette gjelder fikset bassengvolum og/eller avrenning fra nærområdet. Optimalisering av magasinivolum er et mål i denne oppgaven og det tas derav høyde for flere potensielle volumverdier i tillegg til tidsforsinkning. Metoden fremmet i denne oppgaven gir videre innblikk for implementering av dynamiske fordrøyningsløsninger da NSGA-ii gir mulighet for større nøyaktighet enn kun faste utløpsregler.

### ***3.1.4 Vurdering av feilkilder for paretofront***

Det er relevant å nevne at det kontrollene for dybde mellom 0.3 – 1.0 m ikke nødvendigvis er det best mulige intervallet for utløpskontrollen. Det er gjennomførbart å bruke NSGA-ii med dybde som variabel for å gi et enda mer nøyaktig bilde på hvilken dybdeverdi som kan gi best resultater, samt åpne for eventuelt flere regelsteg for valgt dybdekontroll. Av begrensningsinteresser ble ikke dette gjort for denne oppgaven, ettersom det hadde krevd en lenger simuleringstid for hver simulering. Valget ble også tatt for å gjøre modellen mindre komplisert og likevelli vise at det er mulig å bruke NSGA-ii for å konstruere et dynamisk magasin som teoretisk er bedre enn en statisk modell. For utløpskontroller relatert til vannføring inn gjelder samme usikkerhetsmomenter, da det er åpent for muligheter for at det finnes mer gunstige kontrollverdier å simulere for. Det burde også understrekes at objektivene valgt i denne oppgaven ikke nødvendigvis er de objektivene som gir best resultater for et fordrøyningsmagasin. Andre objekter som maksimal videreført vannføring kan teoretisk gi et bedre innblikk i forbedring av fordrøyende egenskaper.

Fordrøyningsmagasinets utforming er ikke tatt i betraktning i denne oppgaven, da det ikke anses som relevant ved sammenligning av et tilsvarende formet statisk magasin. Det burde imidlertid nevnes at modellen i SWMM har rette sidekanter. Dette står i kontrast med mer vanlige rørmagasiner som ofte brukes i utbygninger (Kvillum, 2022). Utformingen har sannsynligvis liten betydning for verdiene fra simuleringen. Samtidig vurderes det at sammenligningsresultatet forblir tilnærmet likt.

Ut fra Figur 4 kan det observeres at noen av utløpskontrollene ikke har like bredt spekter av volum som andre modeller. Dette har innvirkning på resultatene ved at det ikke gir et komplett bilde over hvilken utløpskontrollmetode som egner seg for alle volumer. Dette er ikke vurdert som kritisk for besvarelse av problemstillingen i denne oppgaven. Det er imidlertid verdt å bemerke at for noen dynamiske modeller med volum rundt 400 – 450 m<sup>3</sup> har mindre tidsforsinkelse enn de statiske

---

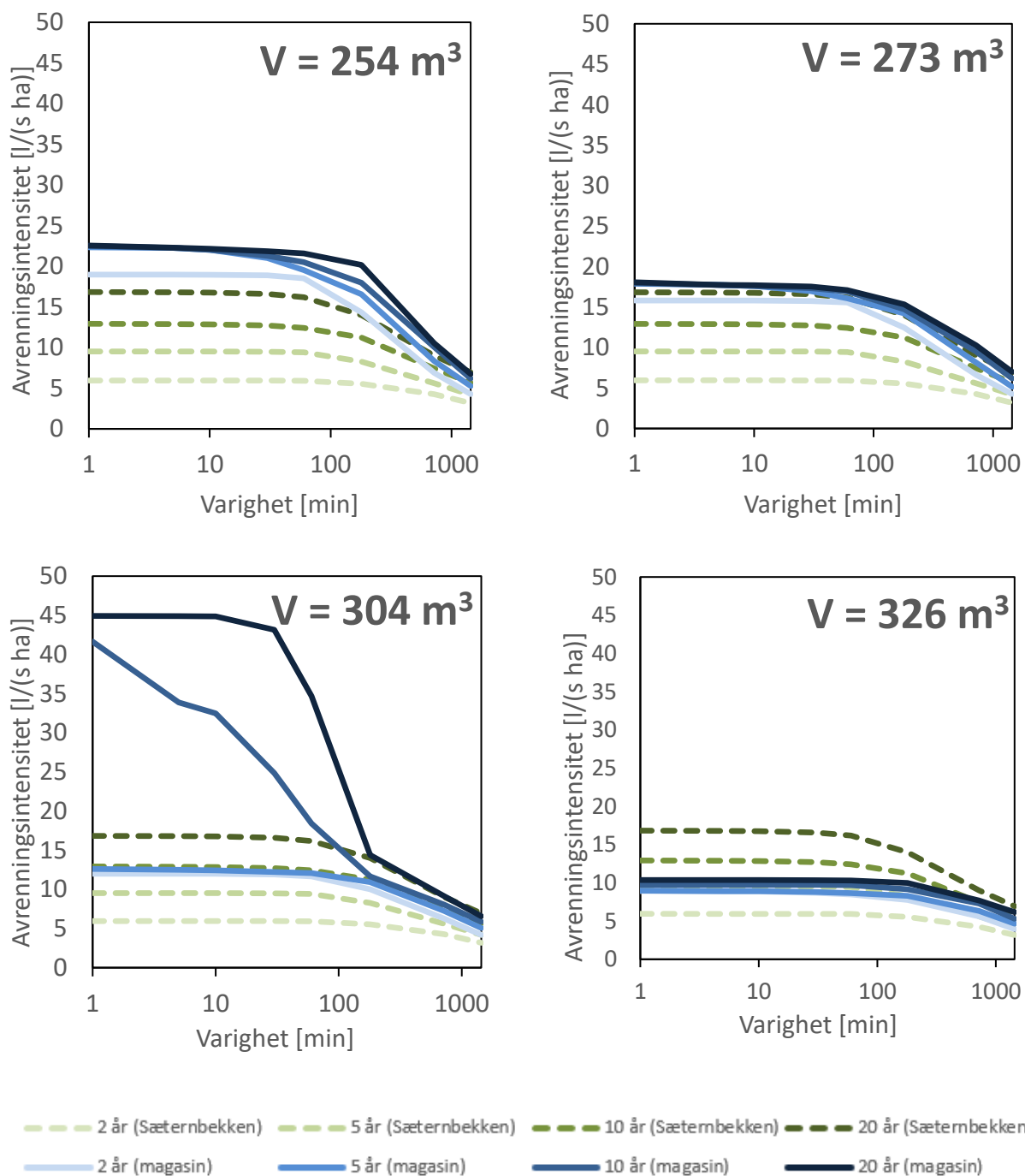
modellene i tilsvarende volumsjikte. Dette kan igjen skyldes at det ikke er nok generasjoner/populasjoner under simulering i NSGA-ii, da det ikke er nok informasjon å hente for disse verdiene.

### **3.2 Evaluering av magasiner for naturlig avrenning**

Ut fra paretofrontene i Figur 5 ble det simulert for 4 variasjoner i volum av alle de dynamiske modellene (med unntak av dybdekontrollert modell 0.4 – 1.0 m, som ble gjort for 5 variasjoner), samt 4 for den statiske. Simuleringene tok rundt 30 til 40 minutter per runde. Det blir da gitt QVF statistikk for til sammen 25 modeller. Magasinene er vurdert ut ifra plasseringene i paretofronten, samt for å gi større variasjon i simuleringene av interesse for å vise et bredere resultat. Generelt har magasinene blitt valgt med volum mellom ca. 200 m<sup>3</sup> – 400 m<sup>3</sup>. Disse magasinene er markert i gult i Vedlegg C.

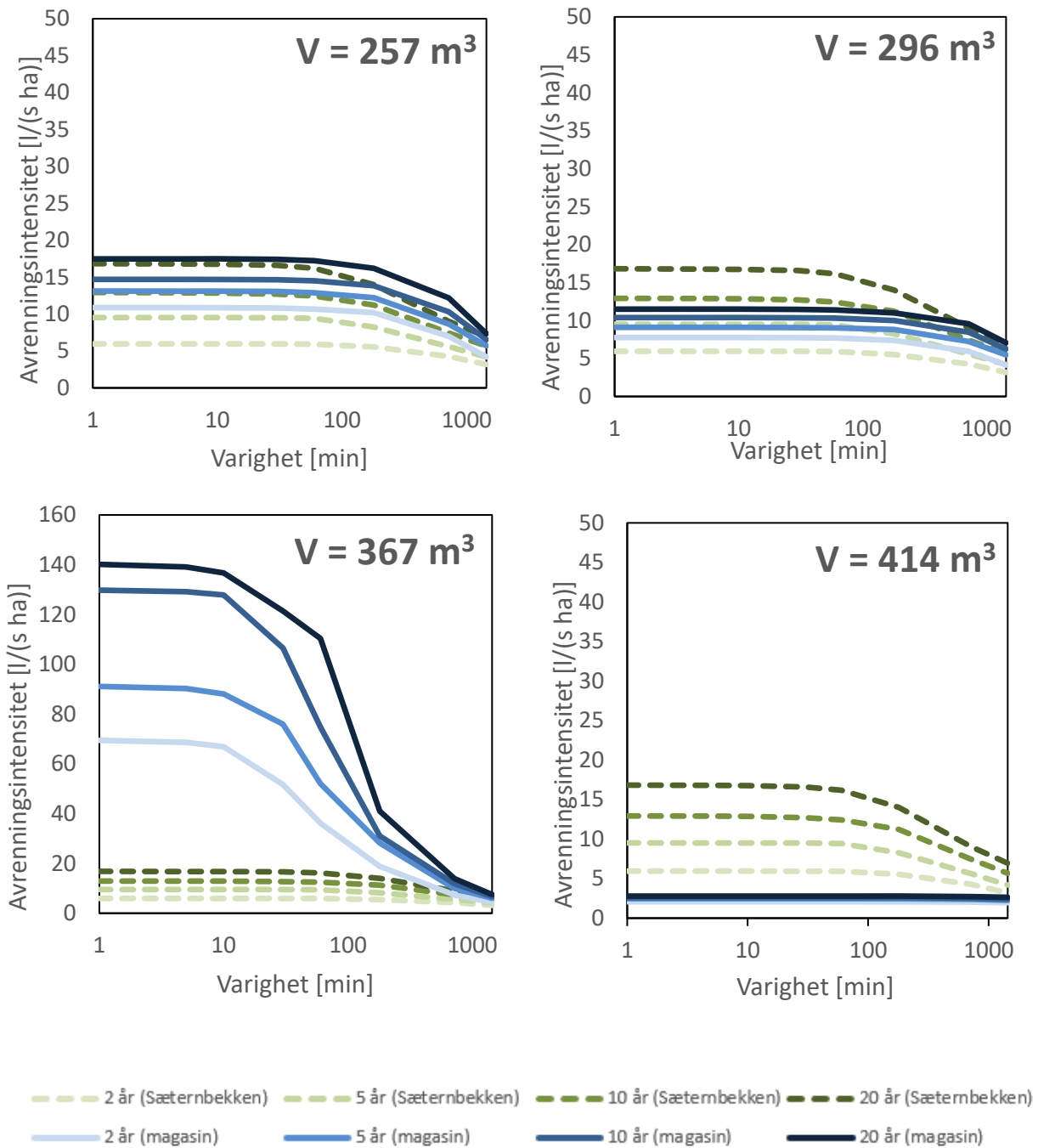
#### ***3.2.1 QVF – Statistikk utløpskontroll for dybde 0.3 – 1.0m***

Simuleringsresultatene for alle avrenningsverdier for dynamiske utløpskontroller og statiske modeller er vist i Vedlegg D. Ettersom dybdekontroll 0.3 – 1.0 m ga best resultater i paretofronten er det disse magasinene som er valgt for demonstrering av QVF – statistikk. De 4 modellene som er valgt representerer et utvalgt av volum fra 254 til 326 m<sup>3</sup> (se Vedlegg C, tabell 10). I dette volumsjiktet er det observert størst forbedringspotensiale fra statiske modeller. Resultatene av simuleringen er sammenlignet med naturlig avrenning for gjentaksintervaller for 2, 5, 10 og 20 år og varighet fra 1 – 1440 minutter fra Sæternbekken vist i Tabell 7. Magasinene er presentert i Figur 7.



Figur 7 - QVF statistikk av valgte magasinivolum for dynamiske magasiner med kontroller på dybde 0.3 – 1.0 m og gjentakintervall 2, 5, 10 or 20 år med varighet fra 1 minutt til 1440 minutter.

De valgte variasjonene av statiske magasiner er markert i Vedlegg C, Tabell 11 og vist i Figur 8. Valgene er tatt på samme grunnlag som de dynamiske modellene, med noe bredere volumsjikt fra 257 – 414 m<sup>3</sup>. Dette ettersom punktenes utforming i paretofronten tillater noe større variasjoner enn for dybde 0.3 – 1.0 m.



Figur 8 - QVF statistikk av valgte magasinivolum for statiske magasiner med gjentaksintervall 2, 5, 10 or 20 år med varighet fra 1 minutt til 1440 minutter.

### 3.2.2 Vurdering av resultater for naturlig avrenning

Figur 7 viser at volum 304 m<sup>3</sup> for dynamisk modell gir resultater som skiller seg betraktelig fra resultatene for de øvrige modellene. Dette kan forklares ved en stor utløpsløsningsverdi ved relativt høy vanddybde slik som vist i Vedlegg C, Tabell 10 (*MC3 setting = 0.98*). I praksis betyr dette at ved kortere nedbørsvarigheter med store vannmengder (gjentaksintervall 10 og 20 år)

---

fylles magasinet opp til vanddybde mellom 0.6 – 1.0 m og utløpsåpningen blir da skrudd opp til helt åpen for å slippe ut vannmengdene.

De resterende magasinene viser at gjentaksintervallet konsentreres betraktelig. En konsekvens av dette er at nedbør med gjentaksintervall på 5 år vil gi tilnærmet lik avrenning som et 20 års gjentaksintervall, slik som vist ved volum 326 m<sup>3</sup>. De midlere volumene gir samme type konsentrasjon rundt et 20 års gjentaksintervall.

Det observeres at de statiske modellene i Figur 8 jevnt over gir en mer naturbasert fordeling av gjentaksintervall. Med unntak av modell med volum 414 m<sup>3</sup> som har generelt lav avrenning i alle gjentaksintervaller, magasinet følger heller ikke naturlig variasjon med økende nedbørsvarighet. Som en konsekvens av dette observeres det relativt høy trykkehøyde ( $h_{max}$ ) i magasinet ved alle gjentaksintervaller. Magasin volum 367 m<sup>3</sup> gir høye avrenninger, spesielt for lave gjentaksintervaller. Der observeres det relativt lav trykkehøyde ved alle gjentaksintervaller.

Til slutt viser magasin volum 296 m<sup>3</sup> og 257 m<sup>3</sup> verdier mer lik naturlig avrenning, med noe mindre konsentrert avrenning for gjentaksintervallene sammenlignet med dynamiske modeller i samme volumsjikt. Fullstendig oversikt over alle statiske modeller er gitt i Vedlegg D, Tabell 16.

Resultatene viser av det ikke er mulig å konstruere et fordrøyningsmagasin som gir lik fordeling av vannføring per gjentaksintervall som det naturbaserte systemet. Dette understreker viktigheten av at det dimensjoneres for tilstrekkelig lavt videreført gjentaksintervall ettersom dette kan beskrives som en begrensende faktor for videreført avrenning da større gjentaksintervall gir tilnærmet like verdier. Ettersom Sæternbekken nedbørsfelt er betydelig større (6,28 km<sup>2</sup>) enn det teoretiske feltet (1 ha) burde det vurderes om det er mer hensiktsmessig å sammenligne felt i lik størrelse. Et mindre nedbørsfelt vil trolig gi større avrenning for kortere regnhendelser og lavere avrenning for lengre hendelser.

Ellers har kurvene for dynamiske modeller lik form som naturlig variasjon med økende nedbørsvarighet. Resultatene antyder at en dynamisk modell kan utnyttes ved å installeres ved områder som er spesielt utsatte for store gjentaksintervaller for nedbør, systemet vil da videreføre generelt mindre avrenningsverdier ved hyppige store nedbørshendelser. En magasinmodell med volum på 326 m<sup>3</sup> (Figur 7) hadde for eksempel fungert i et område der regnmengder tilsvarende 10 og 20 års gjentaksintervaller inntreffer oftere enn andre områder.

---

### 3.2.3 Vurdering av feilkilder for naturlig avrenning

Ettersom resultatet av disse simuleringene er basert på resultatene gitt av NSGA-ii simuleringene stilles det usikkerhet i forhold til utløpskontroller, samt ved de valgte magasin volumene og utløpsinnstillingene det simuleres for. Det er også usikkerheter knyttet til Sæternbekken ettersom vassdraget ikke er direkte ved Blindern målestasjon, dette kan ha betydning da områdene ikke nødvendigvis er utsatt for samme nedbørsmengder.

Videre vil det være usikkerhetsmomenter knyttet til SWMM modellen brukt for simuleringen. Dette reflekterer ikke et realistisk nedbørsfelt da det ikke er tatt høyde for noe infiltrasjon eller tidligere overvannstiltak før avrenningen ankommer fordrøyningsmagasinet. Dersom infiltrasjon implementeres i modellen vil det ha betydning i forhold til vannmengden inn i magasinet. Det samme kan argumenteres om implementering av fordampning og gropmagasinering i modellen. Tiltakene hadde generelt bidratt til å gjøre modellen mer realistisk.

Et tidligere studie har undersøkt om det er mulig å konstruere en utløpsløsning for fordrøyningsanelgg som påvirker strømmingen med mål om å etterligne et naturlig felt. Studien konkluderer med at en utløpsløsning bestående av et rektangulært og et sirkulært utløp best etterligner naturlig strømming. Disse forsøkene er gjort ved ulike simuleringemetoder samt ved praktisk forsøk ved hydraulisk benk med en antatt utløpskoeffisient på 0.6 (Ulla, 2021). Studiet er statisk og tar ikke hensyn til noen dynamiske muligheter for utløpet. Det er derimot vist at det finnes utløpsløsninger som sammenfaller bedre med naturlig avrenning, noe som kan implementeres i denne oppgaven.

### 3.3 Praktisk gjennomføring av dynamisk løsning

En kritisk del for implementasjon av automatiske magasiner er installering av trykkmåler i magasinet. Utløpskontrollene til systemet er spesifisert relativt presist ved dybdegrensene og krever derfor en presis måling ved hvert tidssteg. Eksempelvis har trykkmåler *RX-1010-50*, 63 mm en unøyaktighet på  $\pm 2.5\%$  på hele målområdet (Brannan AB, 2022). Ved en vandedybde på 1.0m på 4°C (ca. 10 000 pa) tilsvarer dette en feilmargen på 250 pa, noe som må tas høyde for ved praktisk implementering. Det er generelt ønskelig med en trykkmåler med minst mulig feilmargen.

For praktisk implementering er det forventet at noen forenklinger må utdøves av interesse for installering av modellen. For eksempel anses det som urealistisk å konstruere en utløpsløsning med beregninger for to desimaler. Det er da forventet at noen praktiske tilnærminger må bli gjort

---

for å oppnå en relativt lik verdi. Det anerkjennes også at gjennomføring og design av en faktisk fungerende mekanisk løsning for dynamisk justering av magasinutløp er utenfor denne oppgavens fagfelt, og uforutsette utfordringer relatert til gjennomføring er forventet.

### **3.4 Videre arbeid**

Det er mulig å finjustere koden i R – studio og kontrollene i SWMM slik at et teoretisk fordrøyningsmagasin kan produsere enda mer nøyaktige resultater. Dette kan også vurderes for inngangsparameterene i SWMM modellen. For å begrense oppgaven er ikke dette gjort i så stor detalj som nødvendig for å oppnå en tilnærming lik virkeligheten. Det er mulig ved videre testing å inkludere grenseverdiene for dybde som en variabel i NSGA-ii koden, noe som kan gi et bedre innblikk i hva som er de ideelle verdiene for optimaliseringsbehovet. Samt er det mulighet for videre testing av objektiver i NSGA-ii koden for å teste om andre fordrøyningssegenskaper kan ha bedre effekt. Et annet spørsmål innebærer om det er mulig å bruke samme optimaliseringsmetode for å beskrive forventede kostnader til et dynamisk system, samt om det er mulig å forbedre vannkvaliteten, noe som er spesielt relevant for avrenning i urbane områder. Generelt er begrensningene til metoden avhengig av brukerens ønsker.

Oppgaven er teoretisk og har ikke blitt testet ut i praksis ved et faktisk nedbørsfelt. Dette anses som nødvendig for å virkelig fastslå at metoden brukt i denne oppgaven fungerer som tenkt. Det er flere ulike faktorer som, for eksempel, infiltrasjon i jorden, nøyaktighet av målere og installasjon av magasin, som ikke kan fastslås ved bare simuleringer. Generelt vil det være faktorer ved implementering i virkeligheten som er uforutsigbare.

Det er også ønskelig å undersøke hvordan en dynamisk modell presterer sammenlignet med en statisk modell med virvelkammer utløp, eller et magasin som tillater infiltrasjon av vannmengder. Dette er modeller som er gjennomført i praksis og kan da gi et bedre innblikk på om en dynamisk modell er ønskelig i gitte situasjoner. Simuleringene er også mulig å implementere i SWMM, samt for NSGA-ii ved endringer av parametere i modellen.

## **4 Konklusjoner**

I denne oppgaven er det undersøkt om det er mulig å designe en teoretisk modell av et dynamisk fordrøyningsmagasin som kan endre utløpsåpningen i magasinet fortløpende. Det er videre vurdert om en slik løsning fungerer bedre enn et tradisjonelt statisk fordrøyningsmagasin uten disse dynamiske egenskapene.

---

Som oppsummering svares det på forskningsspørsmålene til oppgaven:

1. Hvordan kan en utforme en dynamisk utløpsløsning som optimaliseres for bestemte fordrøyningssegenskaper, og hvordan skiller disse seg fra magasiner med statiske utløpsløsninger?

Ved simuleringer i R – studio, SWMM og bruk av NSGA – ii er det vist at dette er mulig ved optimalisering av objektivenes tidsforsinkingsformel nummer 4 (*T50*) (Tabell 4), som beskriver tidsforsinkelsen ved 50 % volum ut i forhold til 50 % volum inn. Det er simulert for utløpskontroller med tre regler, spesifisert i SWMM, for ulike dybder, vannføring inn i magasinet og en kombinasjon av begge. Alle kontrollene, kombinert med variabler for utløpsåpning gitt av NSGA-ii, gir bedre fordrøyningseffekt enn et typisk statisk magasin der dybdekontroller mellom 0.3 til 1.0 m er vurdert som det mest gunstige av de simulerte kontrollene for de satte objektivenes.

Resultatene viser at det er mulig å utsette og forminke videreførte vannmengder ved bruk av en dynamisk modell slik at videre ledningsnett ikke blir overbelastet. I tillegg er det mulig å oppnå tilsvarende tidsforsinkelser ved et mindre magasinivolum ved bruk av en dynamisk modell enn det som typisk trengs ved tilsvarende statiske løsninger.

2. I hvilken grad vil magasiner med dynamiske og statiske utløp etterligne fordelingen av avrenning i naturlige felt?

Det ble forsøkt simulert 55 år med minutt-nedbør mot en naturlig avrenningssituasjon fra Sæternbekken nedbørsfelt. Ved simuleringer av 25 lovende magasinmodeller for alle valgte kontrollmuligheter i SWMM er det vist at valgte dynamiske magasiner ikke tilsvarende et typisk naturbasert system. Noen modeller ga tilnærmet lik avrenning for alle gjentakintervaller, noe som antyder at installering av magasinene i områder som ofte er utsatt for ekstremhendelser kan minke avrenningen fra området sammenlignet med de naturlige fordrøyningssegenskapene til området. Som følge av dette anses det som viktig å kartlegge avrenningsverdier for mindre gjentakintervaller ved dimensjonering av dynamiske modeller da disse fungerer som en begrensende faktor ettersom større gjentakintervaller ikke gir høyere avrenningsverdier.

Valgt nedbørsfelt for denne oppgaven er betydelig større enn feltet som er simulert i SWMM, noe som kan ha stor innvirkning på resultatene. Videre vurderinger tilknyttet simuleringer for felt med sammenstilte størrelser anses som nødvendig for konkret besvarelse av dette forskningsspørsmålet. Det er imidlertid verdt å nevne at avrenningen følger naturlig avrenningsmønster, noe åpner muligheter for videre forskning og derav finjustering av resultatet slik at avrenningen blir tilstrekkelig likt et naturligsystem.





---

## Referanser

- Achim Zeileis & Gabor Grothendieck. (2005). zoo: S3 Infrastructure for Regular and Irregular Time Series. *Journal of Statistical Software*, 14 (6): 1 - 27. doi: 10.18637/jss.v014.i06
- Benestad, R. & Tjernshaugen, A. (2021). IVF (*intensitet-varighet-frekvens*). Tilgjengelig fra: [https://snl.no/IVF - intensitet-varighet-frekvens](https://snl.no/IVF_-_intensitet-varighet-frekvens) (lest 18.04.2023).
- Brannan AB. (2022). *Rexotherm Tryckmätare RX-1010-50, 63.* . Tilgjengelig fra: <https://media.bluestonepim.com/d068c2c8-9bed-437d-b824-71edc13e7e6d/e9a529ff-ca51-4294-b3b5-77080d8d0ff5/ZwWDJoPA27Cf9EDyZMQcE2vgv/Em4fU1prDprfkidl4vPsqDdro.pdf> (lest 10.05.2023).
- Ching-Shih Tsou. (2023). *nsga2R: Elitist Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm*. Tilgjengelig fra: <https://CRAN.R-project.org/package=nsga2R>
- Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon Informasjonsforvaltning. (2015). Overvann i byer og tettsteder som problem og ressurs.
- Dominik Leutnant, Anneke Döring & Uhl, M. (2019). swmmr - an R package to interface SWMM. *Urban Water Journal*, 16 (1): 68 - 76. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2019.1611889>.
- E. Gaborit, D. Muschalla, B. Vallet, P. A. Vanrolleghem & F. Anctil. (2012). Improving the performance of stormwater detention basins by real-time control using rainfall forecasts. *Urban Water Journal*, 10 (4): 230 - 246. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2012.726229>.
- Gagolewski, M. (2022). stringi: Fast and Portable Character String Processing in R. *Journal of Statistical Software*, 103 (2). doi: 10.18637/jss.v103.i02.
- Hadley Wickham, Romain François, Lionel Henry, Kirill Müller & Davis Vaughan. (2023). dplyr: A Grammar of Data Manipulation.
- Jingyi Liu, Jianhua Zheng & Mingtao Li. (2019). Dry mass optimization for the impulsive transfer trajectory of a near-Earth asteroid sample return mission. *Astrophysics and Space Science*, 365 (215). doi: <https://doi.org/10.1007/s10509-019-3703-0>.
- John R. Middleton & Micheal E. Barrett. (2008). Water Quality Performance of a Batch-Type Stormwater Detention Basin. *Water Environment Research*, 80 (2): 172 - 178. doi: <https://doi.org/10.2175/106143007X220842>.
- Kalyanmoy Deb, Associate Member, IEEE, Amrit Pratap, Sameer Agarwal & T. Meyarivan. (2002). A fast and Elitist Multiobjective Genetic Algorithm: NSGA-II. *IEEE Transactions on Evolutionary Computation*, 6 (2): 181 - 197.
- Kim H. Paus. (2023). *En evaluering av modellregn for estimering av maksimalavrenning og fordrøyningsvolum i små urbane nedbørfelt*. Upublisert manuskript.
- Kommunal- og distriktsdepartementet. (2018). *Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpassning* (lest 21.04.2023).
- Kristin Magnussen, Anja Wingstedt, Ingeborg Rasmussen & Rasmus Reinvang. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Rapport nummer 2015/02. Tilgjengelig fra: <https://www.vista-analyse.no/no/publikasjoner/kostnader-og-nytte-ved-overvannstiltak/> (lest 25.04.2023).
- Kvillum, M. K. (2022). *Sammenligning av manuelle og modellbaserte metoder for dimensjonering av fordrøyningsvolum for overvann*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/3028156> (lest 18.04.2023).
- Lasse Makkonen. (2006). Plotting Positions in Extreme Value Analysis. *Journal of Applied Meteorology and Climatology*, 45 (2): 334 - 340. doi: 10.1175/JAM2349.1.
- Merli, B. (2020). *Metodikk for kalibrering og verifisering av en overvannsmodell*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2753767> (lest 25.04.2023).
- Meteorologisk institutt. (2022). *FROST API*. <https://frost.met.no/index.html>.

- 
- Meteorologisk institutt. (2023). Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/> (lest 04.05.2023).
- Michail Tsagris & Manos Papadakis. (2022). Forward Regression in R: From The Extreme Slow to the Extreme Fast. *Journal of Data Science*, 16 (4): 771 - 780. doi: [https://doi.org/10.6339/JDS.201810\\_16\(4\).00006](https://doi.org/10.6339/JDS.201810_16(4).00006).
- Microsoft Corporation. (2021). *Microsoft Excel* (Versjon 2303). Programvare. Tilgjengelig fra: <https://office.microsoft.com/excel>.
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2023a). *NEVINA Nedbørfelt-Vannføring-INdeks-Analyse*. Tilgjengelig fra: <https://nevina.nve.no/> (lest 15.05.2023).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2023b). *Sildre*. Tilgjengelig fra: <https://sildre.nve.no/map> (lest 10.05.2023).
- Olaf Mersmann. (2020). *mco: Multiple Criteria Optimization Algorithms and Related Functions*. Tilgjengelig fra: <https://CRAN.R-project.org/package=mco>
- Oslo Kommune. (2013). *Strategi for overvannshåndtering i Oslo, 2013 - 2030* (lest 24.04.2023).
- Philipp Shaubergger & Alexander Walker. (2022). *openxlsx: Read, Write and Edit xlsx Files*. Tilgjengelig fra: <https://ycphs.github.io/openxlsx/index.html>, <https://github.com/ycphs/openxlsx>.
- Posit, P. (2011). *RStudio* (Versjon 2022.07.2 + 576). Programvare. Tilgjengelig fra: <https://posit.co/downloads/> (lest 19.04.2023).
- Rossman, L. A. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*. Cincinnati: U.S. Environmental Protection Agency.
- S. Oraei Zare, B. Saghafian & A. Shamsai. (2012). Multi-objective optimization for combined quality–quantity urban runoff control. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 4531 - 4542. doi: <https://doi.org/10.5194/hess-16-4531-2012>.
- Shadab Shishegar, Sophie Duchesne & Pelletier, G. (2019). An integrated optimization and rule-based approach for predictive real time control of urban stormwater management systems. *Journal of Hydrology*, 577. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.124000>.
- Stovin, V., Vesuviano, G. & De-Ville, S. (2017). Defining green roof detention performance. *Urban Water Journal*, 14 (6): 574 - 588. doi: <https://doi.org/10.1080/1573062X.2015.1049279>.
- T. Tao, Wang, J., Xin, K. & Li, S. (2013). Multi-objective optimal layout of distributed stormwater detention. *International Journal of Environmental Science and Technology*, 11: 1473 - 1480. doi: 10.1007/s13762-013-0330-0.
- Ulla, J. (2021). *Utvikling av utløpsløsninger for naturbaserte tiltak for overvann*. Masteroppgave. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Tilgjengelig fra: <https://hdl.handle.net/11250/2823822> (lest 19.04.2023).
- United States Environmental Protection Agency. (2023). *Storm Water Management Model (SWMM)*. Tilgjengelig fra: <https://www.epa.gov/water-research/storm-water-management-model-swmm> (lest 19.04.2022).
- Vann- Og avløpsetaten. (2022). *Veileder for overvannshåndtering – endringer oktober 2022* (lest 26.04.2023).
- Yusoff, Y., Ngadiman, M. S. & Zain, A. M. (2011). Overview of NSGA-II for Optimizing Machining Process Parameters. *Procedia Engineering*, 15: 3978 - 3983. doi: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.08.745>.

## Vedlegg A

```
1 rm(list = ls())
2 start_time <- Sys.time() # Starter tidtaking
3
4 library(purrr)
5 library(readxl)
6 library(zoo)
7 library(tibble)
8 library(Rfast)
9 library(openxlsx)
10 library(swmmr)
11 library(stringi)
12 library(dplyr)
13 library(nsga2R)
14 library(mco)
15
16 setwd("C:/Users//marku//OneDrive/Documents/Master2023/smart_mag")
17
18 inp <- read_inp(x = "smart_mag.inp")
19 write_inp(inp, "tempmodel.inp")
20 inp <- read_inp(x = "tempmodel.inp")
21
22
23 g <- 10
24 p <- 10
25 N <- 15
26
27 # MC1 SETTING
28 v1_min <- 0.01
29 v1_max <- 0.99
30
31 # MC2 SETTING
32 v2_min <- 0.01
33 v2_max <- 0.99
34
35 # MC3 SETTING
36 v3_min <- 0.01
37 v3_max <- 0.99
38
39 # OUTLET COEFFICIENT
40 v4_min <- 0.01
41 v4_max <- 100
42
43 ~~~~~
44 ~~~~~ Swmm ~~~~~
45 ~~~~~
46
47
48 fitness <- function(x){
49
50 # Endrer variabler i modell-fil
51 v1 <- round(v1_min+(x[1]*(v1_max-v1_min)),2)
52 v2 <- round(v2_min+(x[2]*(v2_max-v2_min)),2)
53 v3 <- round(v3_min+(x[3]*(v3_max-v3_min)),2)
54 v4 <- round(v4_min+(x[4]*(v4_max-v4_min)),2)
55
56 inp$controls[3,1] <- paste("THEN OUTLET 1 SETTING =",v1)
57 inp$controls[7,1] <- paste("THEN OUTLET 1 SETTING =",v2)
58 inp$controls[11,1] <- paste("THEN OUTLET 1 SETTING =",v3)
59 inp$outlets[6] <- v4
60
61 oppsummering <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 8, nrow = N)), c("NO1", "NO2", "NO3", "NO4", "NO5", "NO6", "NO7", "h_max"))
62
63 for (j in 1:N){
64
65 txt <- "\"HIS.dat\"""
66 inp$timeSeries[4] <- gsub("IS", as.character(j), txt)
67
68 write_inp(inp, "tempmodel.inp")
69 inp <- read_inp(x = "tempmodel.inp")
70 files <- run_swmm("tempmodel.inp", exec="C:/Users/marku/oblig-B/swmm5.exe")
71
72 # HENTER SWMM-RESULTATER FOR VANNFORING INN TIL MAGASIN
73 out <- read_out(
74 file = files$out, # path to out file
75 itype = 1, # type: node
76 object_name = "1", # name of node
77 vIndex = 4 # parameter at node: total inflow
78 )[[1]]$total_inflow # directly access to xts object
79
80 sim_i <- coredata(out)
81
82 # HENTER SWMM-RESULTATER FOR VANNFORING UT FRA MAGASIN
83 out <- read_out(
84 file = files$out, # path to out file
85 itype = 1, # type: node
86 object_name = "2", # name of node
87 vIndex = 4 # parameter at node: total inflow
88 )[[2]]$total_inflow # directly access to xts object
89
90 sim_o <- coredata(out)
91
92 # HENTER SWMM-RESULTATER FOR VANNSTAND I MAGASIN
93 list_of_rpt_results <- read_rpt(x = "tempmodel.rpt")
94 B <- list_of_rpt_results$node_depth_summary[2,4]
95 h_max <- as.numeric(stri_sub(B,-5))
96
97 }
```

```

96
97 # Lager beregningsmatrise
98 calc <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 5, nrow = nrow(sim_i))), c("Tid", "Q_i", "Q_u", "V_i", "V_u"))
99 calc[,1] <- seq(1,nrow(sim_i))
100 calc[,2] <- sim_i
101 calc[,3] <- sim_o
102 calc[,4] <- cumsum(calc[,2])
103 calc[,5] <- cumsum(calc[,3])
104
105
106 # BEREGNING AV METRIKKER
107 t_peak_i <- which.max(calc[,2])
108 t_peak_o <- which.max(calc[,3])
109 t_v_150 <- which.min(abs(calc[,4] - calc[nrow(sim_o),4]/2))
110 t_v_050 <- which.min(abs(calc[,5] - calc[nrow(sim_o),5]/2))
111 peak_i <- max(calc[,2])
112 peak_o <- max(calc[,3])
113 t_start_i <- which(calc[,2] != 0)[1]
114 t_start_o <- which(calc[,3] != 0)[1]
115 t_dur_i <- count <- sum(calc[,2] != 0)
116 t_dur_o <- count <- sum(calc[,3] != 0)
117 v_i <- sum(calc[,2])
118 v_o <- sum(calc[,3])
119
120 NO1_peak_delay <- t_peak_o - t_peak_i # Tidsforsinkelsen av maksimal vannf8ring ut ift. maksimal vannf8ring inn
121 NO2_peak_atten <- peak_o/peak_i # OBJ! Maksimal vannf8ring ut ift. maksimal vannf8ring inn
122 NO3_peak_runoff <- peak_o # OBJ! Verdi av maksimal vannf8ring ut
123 NO4_v50_delay <- t_v_050 - t_v_150 # OBJ!(MINUS) Tidsforsinkelsen ved 50 % volum ut ift. 50 % volum inn
124 NO5_start_time <- t_start_o - t_start_i # Tidsforsinkelsen nC%r utlC8pet starter ift. nC%r vannf8ring kommer inn til magasinet
125 NO6_dur_ext <- t_dur_o/t_dur_i # OBJ!(MINUS) Varigheten pC% utlC8pet sett ift. varigheten pC% innlC8pet
126 NO7_v_r <- v_o/v_i # OBJ? volum i utlC8pet ift. volum i innlC8p illa. regnhendelsen
127
128 oppsummering[j,1] <- NO1_peak_delay
129 oppsummering[j,2] <- NO2_peak_atten
130 oppsummering[j,3] <- NO3_peak_runoff
131 oppsummering[j,4] <- NO4_v50_delay
132 oppsummering[j,5] <- NO5_start_time
133 oppsummering[j,6] <- NO6_dur_ext
134 oppsummering[j,7] <- NO7_v_r
135 oppsummering[j,8] <- h_max
136
137 }
138 }
139
140 mid_h_max <- mean(oppsummering[,8])
141 mid_NO1_peak_delay <- mean(oppsummering[,1])
142 mid_NO2_peak_atten <- mean(oppsummering[,2])
143 mid_NO3_peak_runoff <- mean(oppsummering[,3])
144 mid_NO4_v50_delay <- mean(oppsummering[,4])
145 mid_NO5_start_time <- mean(oppsummering[,5])
146 mid_NO6_dur_ext <- mean(oppsummering[,6])
147 mid_NO7_v_r <- mean(oppsummering[,7])
148
149
150 f1 <- mid_h_max*500
151 f2 <- -mid_NO4_v50_delay
152
153 return(c(f1,f2))
154 }
155
156 # fitness(x)
157
158
159
160 set.seed(123)
161 cal_optim <- nsga2R(fn = fitness, varNo = 4, objDim = 2, generations = g, popsize = p,
162 lowerBounds = rep(0, 4), upperBounds = rep(1, 4))
163
164
165 cal_optim$objectives
166 cal_optim$parameters
167
168
169 res <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 6, nrow = p)), c("v_max", "50%-delay", "MC1 SETTING", "MC2 SETTING", "MC3 SETTING", "OUTLET COEF"))
170 res[1] <- cal_optim$objectives[,1]
171 res[2] <- -round(cal_optim$objectives[,2],2)
172 res[3] <- round(v1_min+(cal_optim$parameters[,1]*(v1_max-v1_min)),2)
173 res[4] <- round(v2_min+(cal_optim$parameters[,2]*(v2_max-v2_min)),2)
174 res[5] <- round(v3_min+(cal_optim$parameters[,3]*(v3_max-v3_min)),2)
175 res[6] <- round(v4_min+(cal_optim$parameters[,4]*(v4_max-v4_min)),2)
176 res
177
178 plot(res[,2], res[,1], col = "black", xlab = "50%-delay", ylab = "Midlere av maks volum")
179
180 end_time <- Sys.time()
181 end_time - start_time
182
183 # Eksporter dataframe til Excel
184 write.xlsx(res, "nsga-ii_resultshdsd.xlsx", rowNames = FALSE)
185
186

```

Figur 9 - Komplette kode for NSGA-ii simulering

## Vedlegg B

```
1 rm(list = ls())
2 start_time <- Sys.time() # Starter tidtaking
3
4 library(purrr)
5 library(readxl)
6 library(zoo)
7 library(tibble)
8 library(Rfast)
9 library(openxlsx)
10 library(swmmr)
11 library(stringi)
12 library(dplyr)
13 library(nsga2R)
14 library(mco)
15 library(beepR)
16
17 setwd("c:/Users/marku/OneDrive/Documents/Master2023/smart_mag")
18
19 inp <- read_inp(x = "ModellXXX - NO4_volum296_TRAD.inp")
20
21 N <- 55 # Antall C%r fra og med 1968 (55 betyr da fra 1968 til og med 2022)
22
23
24 QVF <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 10, nrow = N)), c("year", "h_max", "Q1", "Q5", "Q10", "Q30", "Q60", "Q180", "Q720", "Q1440"))
25 QVF$year <- 1968:(1968+N-1)
26
27 for (j in 1968:(1968+N-1)){
28
29   print(paste(".....et tilbakeblikk pC% vc&ret i",j))
30
31   inp$options[8,2] <- paste("01/01/",j, sep = "")
32   inp$options[10,2] <- inp$options[8,2]
33   inp$options[12,2] <- paste("12/31/",j, sep = "")
34
35
36   write_inp(inp, "tempmodel.inp")
37   inp <- read_inp(x = "tempmodel.inp")
38   files <- run_swmm("tempmodel.inp", exec="c:/Users/marku/oblig-B/swmm5.exe")
39
40
41   # HENTER SWMM-RESULTATER FOR Q_ut
42   out <- read_out(
43     file = files$out, # path to out file
44     itype = 1, # type: node
45     object_name = "2", # name of node
46     vIndex = 4 # parameter at node: total inflow
47   )["[2]"]$total_inflow # directly access to xts object
48
49
50   sim_o <- coredata(out)
51
52   calc <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 9, nrow = nrow(sim_o))), c("Tid", "Q", "Q5", "Q10", "Q30", "Q60", "Q180", "Q720", "Q1440"))
53   calc$Tid <- seq(1,nrow(sim_o))
54   calc$Q <- sim_o
55
56   # Setter opp funksjoner som beregner løpende summer for ulike varigheter
57
58   sum5 <- function(i) {
59     if (i > nrow(calc)-5-1) {
60       return(0)
61     } else {
62       return(sum(calc$Q[i:(i+5-1)]))
63     }
64   }
65
66   sum10 <- function(i) {
67     if (i > nrow(calc)-10-1) {
68       return(0)
69     } else {
70       return(sum(calc$Q[i:(i+10-1)]))
71     }
72   }
73
74   sum30 <- function(i) {
75     if (i > nrow(calc)-30-1) {
76       return(0)
77     } else {
78       return(sum(calc$Q[i:(i+30-1)]))
79     }
80   }
81
82   sum60 <- function(i) {
83     if (i > nrow(calc)-60-1) {
84       return(0)
85     } else {
86       return(sum(calc$Q[i:(i+60-1)]))
87     }
88   }
89
90   sum180 <- function(i) {
91     if (i > nrow(calc)-180-1) {
92       return(0)
93     } else {
94       return(sum(calc$Q[i:(i+180-1)]))
95     }
96   }
97
98   ...
99 }
```

```

98 -     sum720 <- function(i) {
99 -       if (i > nrow(calc)-720-1) {
100 -         return(0)
101 -       } else {
102 -         return(sum(calc$Q[i:(i+720-1)]))
103 -       }
104 -     }
105 -
106 -
107 -     sum1440 <- function(i) {
108 -       if (i > nrow(calc)-1440-1) {
109 -         return(0)
110 -       } else {
111 -         return(sum(calc$Q[i:(i+1440-1)]))
112 -       }
113 -     }
114 -
115 -
116 -
117 -     calc$Q5 <- sapply(1:nrow(calc),sum5)
118 -     calc$Q10 <- sapply(1:nrow(calc),sum10)
119 -     calc$Q30 <- sapply(1:nrow(calc),sum30)
120 -     calc$Q60 <- sapply(1:nrow(calc),sum60)
121 -     calc$Q180 <- sapply(1:nrow(calc),sum180)
122 -     calc$Q720 <- sapply(1:nrow(calc),sum720)
123 -     calc$Q1440 <- sapply(1:nrow(calc),sum1440)
124 -
125 -     QVF$Q1[j-1967] <- round(max(calc$Q)/1,2)
126 -     QVF$Q5[j-1967] <- round(max(calc$Q5)/5,2)
127 -     QVF$Q10[j-1967] <- round(max(calc$Q10)/10,2)
128 -     QVF$Q30[j-1967] <- round(max(calc$Q30)/30,2)
129 -     QVF$Q60[j-1967] <- round(max(calc$Q60)/60,2)
130 -     QVF$Q180[j-1967] <- round(max(calc$Q180)/180,2)
131 -     QVF$Q720[j-1967] <- round(max(calc$Q720)/720,2)
132 -     QVF$Q1440[j-1967] <- round(max(calc$Q1440)/1440,2)
133 -
134 -
135 -     list_of_rpt_results <- read_rpt(x = "tempmodel.rpt")
136 -     B <- list_of_rpt_results$node_depth_summary[2,4]
137 -     h_max <- as.numeric(stri_sub(B,-5))
138 -
139 -     QVF$h_max[j-1967] <- h_max
140 -
141 -   }
142 -
143 -
144 -   # Eksporter aarlige stoerste verdier til Excel
145 -   write.xlsx(QVF, "QVF_NO4_Volum296_TRAD_infiltrasjon.xlsx", rowNames = TRUE)
146 -
147 -
148 -   RetPer <- setNames(data.frame(matrix(ncol = 10, nrow = 5)), c())
149 -   RetPer[1,1] <- "duration [min]"
150 -   RetPer[2,1] <- "2 years"
151 -   RetPer[3,1] <- "5 years"
152 -   RetPer[4,1] <- "10 years"
153 -   RetPer[5,1] <- "20 years"
154 -   RetPer[1,2] <- "h_max"
155 -   RetPer[1,3] <- 1
156 -   RetPer[1,4] <- 5
157 -   RetPer[1,5] <- 10
158 -   RetPer[1,6] <- 30
159 -   RetPer[1,7] <- 60
160 -   RetPer[1,8] <- 180
161 -   RetPer[1,9] <- 720
162 -   RetPer[1,10] <- 1440
163 -
164 -
165 -   for (j in 2:10){
166 -
167 -     n2 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][2]
168 -     n3 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][3]
169 -     n5 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][5]
170 -     n6 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][6]
171 -     n11 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][11]
172 -     n12 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][12]
173 -     n28 <- QVF[,j][order(-QVF[,j])][28]
174 -
175 -     RetPer[2,j] <- round(n28,3)
176 -     RetPer[3,j] <- round((n11-n12)/(56/11-56/12)*(56/11-5)+n12,3)
177 -     RetPer[4,j] <- round((n5-n6)/(56/5-56/6)*(56/5-10)+n6,3)
178 -     RetPer[5,j] <- round((n2-n3)/(56/2-56/3)*(56/2-20)+n3,3)
179 -
180 -   }
181 -
182 -
183 -   # Eksporter estimerte verdier med gjentaksternivall fra 2 til 20 C%r til Excel
184 -   write.xlsx(RetPer, "RP_NO4_Volum296_TRAD_volumoptim.xlsx", rowNames = TRUE)
185 -
186 -
187 -   end_time <- Sys.time()
188 -   end_time - start_time
189 -
190 -   beep("fanfare")
191 -

```

Figur 10 - Komplet koden for QVF - simulering

## Vedlegg C

For alle tabeller i vedlegg C er magasinene markert i gul valgt ut for videre simuleringer av naturlig avrenning.

Tabell 10 - NSGA-ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, og utløpskontroller for dybde 0.3 – 1.0m

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
450	933.533333	0.13	0.03	0.21	9.61
139.666667	37.4666667	0.97	0.54	0.76	99.42
450	933.533333	0.13	0.03	0.21	9.61
418	851.533333	0.16	0.16	0.3	10.49
340.333333	758.666667	0.79	0.14	0.31	20.59
244.666667	394.8	0.78	0.05	0.39	52.52
213.333333	220	0.88	0.12	0.9	58.41
231.333333	351.866667	0.9	0.07	0.43	50.93
273.666667	531.933333	0.78	0.05	0.34	41.89
175	164.933333	0.88	0.03	0.78	99.43
267.666667	495.8	0.78	0.06	0.47	41.89
442.666667	914.133333	0.03	0.07	0.25	12.12
151.333333	44.2	0.95	0.63	0.66	87.14
227.333333	297.466667	0.84	0.1	0.91	51.42
290.666667	643	0.18	0.02	0.64	98.36
177.333333	217	0.89	0.02	0.61	98.37
316.333333	679.6	0.66	0.1	0.39	27.45
152	137.333333	0.97	0.05	0.33	98.97
253.333333	449.666667	0.73	0.04	0.25	54.76
340.333333	758.666667	0.79	0.14	0.31	20.59
284	591.8	0.26	0.02	0.64	99.43
338	730.4	0.17	0.02	0.08	98.37
254.666667	466.8	0.75	0.03	0.25	54.76
155	140.6	0.94	0.03	0.64	99.71
217.333333	260.133333	0.88	0.1	0.93	56.9
284.666667	596.266667	0.26	0.02	0.64	98.59
431.666667	870.133333	0.08	0.07	0.25	12.46
304.666667	667.666667	0.42	0.07	0.98	37.72
218	280.133333	0.98	0.1	0.98	51.42
326.333333	711.533333	0.79	0.13	0.56	20.66



Tabell 11 - Resultater for statistisk magasin gitt tidsforsinkelsformel nummer 4

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
129.333333	28.9333333	1	1	1	99.59
527.666667	965.066667	1	1	1	0.18
527.666667	965.066667	1	1	1	0.18
129.333333	28.9333333	1	1	1	99.67
315	415.333333	1	1	1	10.39
295.666667	333.266667	1	1	1	12.91
276.666667	262.8	1	1	1	16.18
347.666667	586.333333	1	1	1	6.95
284	287.533333	1	1	1	14.86
372.666667	727.333333	1	1	1	4.84
210	107.666667	1	1	1	34.72
414.333333	870.866667	1	1	1	2.63
327.666667	476.2	1	1	1	8.96
486.333333	949.6	1	1	1	0.7
193.666667	85.5333333	1	1	1	41.7
332	497.866667	1	1	1	8.52
257.333333	205.4	1	1	1	20.21
449	924.4	1	1	1	1.43
182.333333	71.0666667	1	1	1	48.29
367.333333	701.933333	1	1	1	5.19
229.333333	139.6	1	1	1	28.15
385	783.6	1	1	1	4.05
396	824.6	1	1	1	3.43
358	645.6	1	1	1	6.02
472.666667	942.533333	1	1	1	0.92
358	645.6	1	1	1	6.02
221	127.066667	1	1	1	30.42
342	556.333333	1	1	1	7.45
396	824.6	1	1	1	3.43
385	783.6	1	1	1	4.05

Tabell 12 – NSGA-II resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkels formel nummer 4 og utløpskontroll fordybde 0.4 – 1.0m

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
492.333333	1152.2	0.11	0.04	0.41	2.22
138.333333	33.3333333	0.9	0.85	0.93	99.43
138.333333	33.3333333	0.9	0.85	0.93	99.43
440.333333	900.866667	0.21	0.37	0.46	4.8
402	851.2	0.3	0.41	0.23	11.12
179.666667	126.133333	0.88	0.03	0.08	72.67
224.666667	258	0.78	0.07	0.47	49.96
148.333333	72.1333333	0.9	0.1	0.93	99.28
299.333333	561.8	0.25	0.05	0.33	76.2
212.333333	192.8	0.89	0.1	0.47	51.16
267.333333	445.733333	0.29	0.04	0.87	90.05
180.333333	173.933333	0.88	0.12	0.05	72.67
453.333333	943.466667	0.19	0.09	0.46	4.8
285.666667	465.4	0.29	0.04	0.77	71.77
358.333333	687.333333	0.27	0.17	0.31	25.22
288.666667	523.666667	0.44	0.07	0.51	47
463.333333	1035.26667	0.19	0.09	0.77	2.67
319	614.866667	0.44	0.07	0.93	30.3
254.666667	323.733333	0.86	0.13	0.43	35.05
460	985.733333	0.19	0.14	0.84	2.67
331	679.866667	0.11	0.04	0.31	91.87
390.333333	837.266667	0.38	0.42	0.23	11.12
368.666667	721.333333	0.27	0.21	0.31	19.67
262.666667	373.2	0.8	0.11	0.52	35.05
245	287.2	0.78	0.1	0.47	39.78
477	1105.93333	0.11	0.04	0.4	3.58
385.333333	788.6	0.38	0.37	0.35	11.06
488	1142.13333	0.11	0.04	0.4	2.61
334.666667	687.2	0.21	0.09	0.92	34.83
319	614.866667	0.44	0.07	0.93	30.3

Tabell 13 – NSGA-II resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4 og utløpskontroll fordybde 0.4 – 1.0m

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
528	1103.733333	0.02	0.02	0.26	0.81
139	35.4666667	0.99	0.67	0.76	99.6
528	1103.733333	0.02	0.02	0.26	0.81
216	335.1333333	0.51	0.03	0.52	89.24
205	187.4	0.66	0.06	0.42	84.08
237.3333333	432.9333333	0.95	0.05	0.75	38.39
491	1054.06667	0.02	0.02	0.23	3.54
239.666667	467.6	0.27	0.02	0.49	84.08
156	73	0.95	0.13	0.97	93.7
443.3333333	941.3333333	0.39	0.61	0.53	3.17
511	1086.6	0.02	0.04	0.23	2.05
292	472.4	0.79	0.13	0.72	20.66
319.3333333	604.466667	0.85	0.1	0.49	18.31
404	876.3333333	0.7	0.45	0.33	7.51
465	997.8	0.18	0.76	0.45	2.72
362.666667	783.466667	0.44	0.1	0.14	27.83
337.3333333	629.2	0.39	0.1	0.27	27.83
340.666667	674.2	0.44	0.1	0.23	27.83
443.3333333	941.3333333	0.39	0.61	0.53	3.17
171.3333333	122.8	0.93	0.08	0.53	93.39
189	172.1333333	0.66	0.06	0.83	86.06
471	1002.86667	0.18	0.69	0.38	2.72
392.3333333	847.5333333	0.7	0.45	0.33	9.02
358.3333333	719.266667	0.65	0.55	0.26	16.04
404	876.3333333	0.7	0.45	0.33	7.51
355.3333333	707.8	0.7	0.6	0.26	16.03
370.3333333	814.9333333	0.44	0.06	0.14	26.38
302	516.666667	0.79	0.12	0.57	20.66
308	566.6	0.85	0.1	0.49	20.66
292.666667	472.5333333	0.78	0.13	0.72	20.66

Tabell 14 – NSGA-II resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4 og utløpskontroller for vannføring inn 50 – 250 l/s

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
140.666667	34.5333333	0.87	0.96	0.42	99.43
479	951.533333	0.11	0.05	0.06	7.51
479	951.533333	0.11	0.05	0.06	7.51
327.666667	567.6	0.15	0.9	0.69	40.22
377	755.2	0.11	0.51	0.92	32.93
356	684.733333	0.13	0.77	0.98	33.77
302.333333	500.933333	0.05	0.86	0.89	93.49
266	332.6	0.11	0.86	0.33	88.36
188	112.733333	0.27	0.85	0.98	97.91
418	885.733333	0.14	0.01	0.04	18.25
182.333333	87.6666667	0.48	0.87	0.91	76.12
273.666667	396.6	0.07	0.89	0.7	99.6
161.333333	67.7333333	0.43	0.98	0.42	98.41
239.333333	261.6	0.11	0.97	0.67	99.84
343.666667	637.266667	0.13	0.75	0.98	38.66
440.666667	921.333333	0.11	0.05	0.05	15.2
255	308.866667	0.1	0.86	0.96	96
404.333333	851	0.18	0.01	0.08	17.72
397.666667	826.066667	0.14	0.03	0.98	23.99
248.666667	283.4	0.11	0.86	0.8	96.66
444.666667	925.133333	0.11	0.05	0.05	14.35
152.333333	55.3333333	0.52	0.99	0.42	98.18
467.333333	944.466667	0.11	0.05	0.05	9.47
350	667.666667	0.11	0.75	0.89	40.45
384.333333	781.133333	0.11	0.15	0.05	36.73
415	873.333333	0.14	0.01	0.98	18.25
204.666667	150.8	0.2	0.85	0.98	99.28
278.333333	413.933333	0.07	0.87	0.7	96.66
227.333333	211.066667	0.15	0.86	0.8	96.66
293.333333	467.866667	0.07	0.86	0.41	88.3

Tabell 15 – NSGA – ii resultater for dynamisk magasin gitt tidsforsinkelsesformel nummer 4, og utløpskontroller for kombinasjon dybde 0.3 – 1.0 m og vannføring inn 50 – 250 l/s

V_MAX [M <sup>3</sup> ]	MID_NO4_V50_DELAY [MIN]	MC1 SETTING	MC2 SETTING	MC3 SETTING	OUTLET COEF
514	1014.133333	0.12	0.17	0.34	1.92
134	31.1333333	0.95	0.92	0.56	99.91
235.333333	269.4	0.89	0.1	0.47	51.16
450.333333	965.266667	0.06	0.09	0.35	15.03
247.666667	369.066667	0.94	0.03	0.47	51.36
148.666667	71.3333333	0.99	0.17	0.62	99.98
401.666667	876.466667	0.18	0.07	0.1	28.83
431.333333	898.666667	0.15	0.09	0.35	15.03
365	776	0.89	0.18	0.56	11.5
300.333333	623.8	0.67	0.06	0.12	38.77
380.333333	845.733333	0.18	0.07	0.1	39.41
189.333333	174.266667	0.83	0.07	0.6	99.98
473	991.733333	0.12	0.17	0.48	5.33
332	677.2	0.79	0.13	0.56	20.66
220.666667	225.733333	0.97	0.03	0.16	61.68
283.333333	497.666667	0.65	0.09	0.14	44.82
183.666667	167.333333	0.98	0.07	0.74	92.39
267	415.733333	0.67	0.09	0.14	51.26
158	144.8	0.99	0.07	0.63	98.04
155.666667	141.066667	0.99	0.07	0.63	99.98
259.333333	387.333333	0.71	0.09	0.1	54.12
335	709.266667	0.79	0.13	0.31	20.59
293	573.666667	0.99	0.05	0.14	32.05
319	634.266667	0.67	0.09	0.14	32.05
430	883.666667	0.15	0.09	0.49	15.03
483	999.333333	0.12	0.17	0.48	4.37
383.666667	855.266667	0.16	0.07	0.1	39.41
135.333333	32.2666667	0.95	0.82	0.63	99.91
288.333333	560.466667	0.67	0.06	0.12	44.39
210.666667	217.133333	0.98	0.09	0.16	61.68

## Vedlegg D

Tabell 16 – Resultater for valgte statiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4 og volum 367 m<sup>3</sup>, 257m<sup>3</sup>, 414 m<sup>3</sup> og 296 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i  $[\frac{l}{s*ha}]$

VOLUM 367 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.04	69.46	68.6	66.92	51.72	36.22	18.85	7.33	4.36
3	5 years	0.062	91.116	90.266	88.093	75.976	52.061	28.203	10.002	6.011
4	10 years	0.123	129.791	129.214	127.826	106.608	74.791	31.007	11.769	6.692
5	20 years	0.149	140.151	139.166	136.661	121.407	110.383	41.036	13.911	7.52

VOLUM 257 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.29	10.88	10.88	10.87	10.82	10.68	10.18	6.99	4.2
3	5 years	0.424	13.118	13.108	13.108	13.05	12.88	12.229	8.642	5.706
4	10 years	0.526	14.701	14.701	14.691	14.644	14.506	13.848	10.309	6.543
5	20 years	0.749	17.471	17.471	17.47	17.406	17.244	16.213	12.189	7.349

VOLUM 414 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.63	2.08	2.08	2.08	2.08	2.08	2.07	2.02	1.95
3	5 years	0.88	2.46	2.46	2.46	2.46	2.46	2.45	2.363	2.245
4	10 years	0.99	2.61	2.61	2.61	2.61	2.61	2.606	2.523	2.419
5	20 years	1.121	2.787	2.787	2.787	2.787	2.787	2.779	2.727	2.634

VOLUM 296 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.36	7.77	7.77	7.77	7.75	7.71	7.39	5.97	4.14
3	5 years	0.5	9.106	9.106	9.099	9.086	9.036	8.829	7.24	5.479
4	10 years	0.649	10.391	10.391	10.387	10.367	10.314	10.006	8.461	6.259
5	20 years	0.791	11.5	11.491	11.49	11.471	11.404	10.989	9.581	7.069

Tabell 17 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.3 – 1.0 m og volum 304 m<sup>3</sup>, 326 m<sup>3</sup>, 254 m<sup>3</sup> og 273 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i  $[\frac{l}{s*ha}]$

VOLUM 304 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	<b>2 years</b>	0.27	11.99	11.99	11.99	11.92	11.65	10.02	6.26	4.19
<b>3</b>	<b>5 years</b>	0.57	12.61	12.51	12.44	12.229	12.079	10.929	7.236	5.073
<b>4</b>	<b>10 years</b>	0.6	41.63	33.876	32.472	24.856	18.426	11.646	8.042	5.87
<b>5</b>	<b>20 years</b>	0.704	44.92	44.901	44.867	43.139	34.674	14.379	9.133	6.574

VOLUM 326 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	<b>2 years</b>	0.38	8.93	8.89	8.86	8.7	8.47	7.76	5.6	3.95
<b>3</b>	<b>5 years</b>	0.6	8.979	8.914	8.902	8.786	8.652	8.306	6.314	4.66
<b>4</b>	<b>10 years</b>	0.703	9.726	9.726	9.726	9.716	9.686	9.167	7.29	5.302
<b>5</b>	<b>20 years</b>	0.8	10.37	10.37	10.37	10.351	10.301	9.967	7.706	6.169

VOLUM 254 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	<b>2 years</b>	0.21	18.97	18.97	18.96	18.88	18.53	14.33	6.9	4.28
<b>3</b>	<b>5 years</b>	0.336	22.327	22.25	22.01	21.01	19.533	16.544	8.345	5.269
<b>4</b>	<b>10 years</b>	0.632	22.48	22.25	22.02	21.293	20.489	17.985	10.064	6.195
<b>5</b>	<b>20 years</b>	0.771	22.549	22.297	22.161	21.86	21.584	20.163	10.514	6.746

VOLUM 273 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	<b>2 years</b>	0.23	15.81	15.8	15.8	15.74	15.58	12.47	6.65	4.26
<b>3</b>	<b>5 years</b>	0.489	17.884	17.73	17.59	16.962	16.069	14.217	8.159	5.15
<b>4</b>	<b>10 years</b>	0.606	17.959	17.74	17.59	17.323	16.933	14.724	9.514	6.184
<b>5</b>	<b>20 years</b>	0.781	18.064	17.75	17.694	17.527	17.096	15.334	10.304	7.001

Tabell 18 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.4 – 1.0 m og volum 334 m<sup>3</sup>, 254 m<sup>3</sup>, 285 m<sup>3</sup> og 276 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i  $[\frac{l}{s*ha}]$

VOLUM 334 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	2 years	0.48	4.62	4.62	4.61	4.58	4.53	4.34	3.72	3.24
<b>3</b>	5 years	0.7	26.61	7.46	7.46	6.021	5.04	4.494	4.094	3.562
<b>4</b>	10 years	0.71	27.049	27.049	27.036	24.092	19.025	9.962	4.579	3.766
<b>5</b>	20 years	0.777	28.247	28.239	28.22	28.063	27.416	12.309	6.349	4.387

VOLUM 254 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	2 years	0.25	14.93	14.93	14.92	14.87	14.68	13.17	6.9	4.26
<b>3</b>	5 years	0.351	17.779	17.779	17.745	17.569	17.22	14.632	8.219	5.762
<b>4</b>	10 years	0.596	19.05	18.92	18.8	18.26	17.446	16.239	9.961	6.421
<b>5</b>	20 years	0.78	19.079	19.016	18.951	18.776	18.55	17.441	10.421	6.737

VOLUM 285 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	2 years	0.29	11.11	11.11	11.11	11.05	10.91	10.36	6.54	4.15
<b>3</b>	5 years	0.441	13.13	13.09	13.03	12.78	12.399	11.249	7.654	5.129
<b>4</b>	10 years	0.682	34.209	13.09	13.03	12.931	12.769	12.126	8.303	5.916
<b>5</b>	20 years	0.734	47.404	44.879	44.829	38.134	22.974	12.437	9.181	6.594

VOLUM 267 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	2 years	0.26	13.39	13.39	13.38	13.28	13	11.97	6.63	4.25
<b>3</b>	5 years	0.376	15.669	15.654	15.626	15.494	15.269	13.236	8.016	5.315
<b>4</b>	10 years	0.641	16.526	16.423	16.32	15.987	15.634	14.386	9.104	6.209
<b>5</b>	20 years	0.726	66.596	61.224	61.13	37.937	22.971	15.066	9.874	6.711

VOLUM 299 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>1</b>	<b>Duration [min]</b>	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
<b>2</b>	<b>2 years</b>	0.31	10.14	10.14	10.14	10.11	10	9.42	6.13	4.18
<b>3</b>	<b>5 years</b>	0.552	11.57	11.51	11.462	11.284	11.096	10.049	7.301	4.937
<b>4</b>	<b>10 years</b>	0.693	16.453	16.436	16.429	12.306	11.359	10.659	7.861	5.53
<b>5</b>	<b>20 years</b>	0.779	20.126	20.126	20.116	19.959	19.38	11.191	8.25	6.37



Tabell 19 – Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for dybde 0.25 – 1.0 m og volum 302 m<sup>3</sup>, 319 m<sup>3</sup>, 292 m<sup>3</sup> og 237 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i [ $\frac{l}{s*ha}$ ]

VOLUM 302 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.46	12.89	12.88	12.88	12.87	12.77	9.45	3.72	2.68
3	5 years	0.559	14.194	14.194	14.184	14.154	14.054	13.348	6.501	4.206
4	10 years	0.663	15.459	15.459	15.459	15.432	15.39	14.771	7.97	4.836
5	20 years	0.824	17.266	17.266	17.257	17.223	17.116	16.36	9.877	5.844

VOLUM 319 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.43	7.78	7.74	7.71	7.57	7.35	6.9	5.17	3.86
3	5 years	0.564	7.8	7.752	7.742	7.722	7.672	7.394	5.932	4.495
4	10 years	0.715	7.849	7.776	7.766	7.74	7.716	7.523	6.515	4.997
5	20 years	0.814	8.1	8.1	8.1	8.091	8.063	7.88	7.366	5.739

VOLUM 292 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.4	9.45	9.45	9.45	8.41	7.97	7.34	5.29	3.9
3	5 years	0.512	10.641	10.633	10.633	10.611	10.535	10.072	6.024	4.662
4	10 years	0.636	11.898	11.898	11.891	11.868	11.788	11.392	7.442	5.096
5	20 years	0.786	13.157	13.149	13.147	13.119	13.033	12.471	9.409	5.633

VOLUM 237 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.33	13.05	12.95	12.86	12.46	12	10.71	6.37	4.2
3	5 years	0.4	49.707	42.166	35.43	22.208	16.065	11.872	7.954	5.375
4	10 years	0.43	51.318	51.294	51.229	49.819	31.56	17.306	8.582	6.416
5	20 years	0.589	59.947	59.924	59.854	59.147	55.679	23.507	9.76	6.711

Tabell 20 - Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for vannføring inn i magasinet 50 – 250 l/s og volum 293 m<sup>3</sup>, 248 m<sup>3</sup>, 327 m<sup>3</sup> og 273 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i  $[\frac{l}{s \cdot ha}]$

VOLUM 293 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
2	2 years	0.43	37.56	37.23	34.31	17.8	10.65	6.41	4.2	3.38
3	5 years	0.61	46.962	46.703	44.551	30.484	17.189	8.551	5	4.282
4	10 years	0.653	55.874	54.824	54.43	44.624	28.518	12.358	6.369	4.798
5	20 years	0.747	57.677	57.639	57.361	52.739	33.124	14.403	7.143	5.556

VOLUM 248 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
2	2 years	0.34	36.94	36.5	33.99	18.9	12.44	8.2	5.67	4.02
3	5 years	0.452	47.373	47.221	46.266	30.941	19.09	10.89	6.869	5.352
4	10 years	0.561	55.46	55.371	55.013	47.289	30.686	14.761	8.324	6.052
5	20 years	0.661	60.39	60.364	60.227	56.326	35.671	17.251	9.611	6.916

VOLUM 327 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
2	2 years	0.45	19.29	18.99	17.02	9.89	6.83	4.84	3.91	3.3
3	5 years	0.64	24.1	23.896	22.457	15.655	9.994	6.209	4.692	4.126
4	10 years	0.736	28.582	27.736	27.371	23.076	15.326	8.206	5.536	4.574
5	20 years	0.82	30.274	30.157	29.916	26.583	17.681	9.436	6.131	5.176

VOLUM 273 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	<b>h_max</b>	<b>1 min</b>	<b>5 min</b>	<b>10 min</b>	<b>30 min</b>	<b>60 min</b>	<b>180 min</b>	<b>720 min</b>	<b>1440 min</b>
2	2 years	0.41	41.84	41.52	38.96	19.48	11.96	7.03	4.58	3.57
3	5 years	0.562	53.462	53.085	50.437	34.927	19.561	9.581	5.464	4.559
4	10 years	0.61	62.64	61.786	61.449	50.449	32.289	13.85	6.94	5.116
5	20 years	0.697	65.49	65.441	65.236	59.739	37.48	16.153	7.859	5.969

Tabell 21 - Resultater for valgte dynamiske magasiner gitt tidsforsinkelseformel nummer 4, utløpskontroller for kombinasjon av dybde 0.3 – 1.0 m og vannføring inn i magasinet 50 – 250 l/s og volum 288 m<sup>3</sup>, 319 m<sup>3</sup>, 335 m<sup>3</sup> og 247 m<sup>3</sup>, avrenning gitt i [ $\frac{l}{s*ha}$ ]

VOLUM 288 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.25	14.8	14.8	14.8	14.75	14.51	11.97	6.64	4.23
3	5 years	0.404	16.402	16.174	16.174	16.021	15.73	13.734	8.142	5.269
4	10 years	0.646	17.22	17.034	16.752	16.393	16.234	15.158	9.714	6.366
5	20 years	0.956	18.73	18.594	18.546	17.157	16.953	16.177	10.419	6.974
VOLUM 319 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.28	11.38	11.38	11.38	11.33	10.94	9.71	6.24	4.08
3	5 years	0.494	12.101	12.101	11.96	11.832	11.716	10.854	7.665	4.903
4	10 years	0.713	12.984	12.884	12.874	12.733	12.609	11.813	8.369	5.942
5	20 years	0.966	15.097	15.021	14.669	13.023	12.987	12.733	9.729	6.6
VOLUM 335 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.32	8.93	8.86	8.83	8.67	8.48	7.99	6.01	4
3	5 years	0.533	9.659	9.656	9.549	9.461	9.373	8.967	6.976	5.103
4	10 years	0.773	10.433	10.39	10.39	10.114	10.069	9.749	7.663	5.778
5	20 years	0.983	12.22	11.86	11.286	10.63	10.603	10.416	8.73	6.487
VOLUM 247 M <sup>3</sup>	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Duration [min]	h_max	1 min	5 min	10 min	30 min	60 min	180 min	720 min	1440 min
2	2 years	0.19	21.17	21.17	21.16	20.86	20.4	15.39	7.01	4.26
3	5 years	0.272	25.367	25.359	25.329	24.392	22.456	18.474	8.756	5.413
4	10 years	0.655	26.545	26.11	25.786	24.445	23.42	21.104	10.486	6.383
5	20 years	0.971	28.94	27.461	25.79	24.931	24.319	21.987	12.084	7.071



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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway