

# Blågrønne taks flomdempende effekt

RAPPORT NR.42 / 2026

SKREVET AV Eivind Halvorsen, Lothar Dören, Thomas Skaugen og Ina Storteig

# Blågrønne taks flomdempende effekt

RAPPORT NR. 42 / 2026

| | |
|---|---|
| Utgitt av: | Norges vassdrags- og energidirektorat |
| Prosjektleder: | Eivind Halvorsen |
| Redaktør: | Ina Storteig |
| Forfattere: | Eivind Halvorsen, Lothar Dören, Thomas Skaugen og Ina Storteig |
| Forsidefoto: | Blågrønt tak på Vega Scene. Foto: Knut Møen |
| ISBN: | 978-82-410-2595-2 |
| ISSN: | 2704-0305 |
| Saksnummer: | 202502517 |

Sammendrag:

Denne rapporten undersøker hvilken flomdempende effekt blågrønne tak kan ha i urbane nedbørfelt. Resultatene viser at blågrønne tak reduserer de største flomtoppene, og at effekten øker med andelen blågrønne tak. Flomdempingen avhenger imidlertid i stor grad av hvor våte takene er før det begynner å regne. Ved lave og moderate vannføringer kan vannføringen øke som følge av forsinket avrenning. Resultatene viser også at bruk av restriktor gir ytterligere flomdemping ved store avrenningshendelser.

Emneord: Blågrønne tak, naturbasert løsning, overvannshåndtering, urbanstasjoner og flomdemping

**Norges vassdrags- og energidirektorat**
Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0310 Oslo

Telefon: 22 95 95 95
E-post: nve@nve.no
Internett: https://www.nve.no

*I NVE bruker vi kunstig intelligens til bearbeiding av tekst og analyse av data. Innholdet er kvalitetssikret av forfatterne og NVE står ansvarlig.*

November 2026

# Innhold


**Forord** ..... 5

**Sammendrag** ..... 6

**Del 1 – Innledning, data og metode** ..... 7

**1 Innledning** ..... 8

1.1 Bakgrunn ..... 8
1.2 Problemstilling og mål ..... 8
1.3 Vannhåndtering på tak – hva er det? ..... 8

**2 Måledata fra blågrønne tak** ..... 9

2.1 Fremgangsmåte ..... 9
2.2 Valg av blågrønne tak ..... 9
2.3 Måledata og dataperioder ..... 10

**3 Urbane nedbørfelt og scenarioer** ..... 11

3.1 Vestli ..... 11
3.2 Sandsli ..... 12
3.3 Karihola ..... 13

**4 Hydrologisk modellering** ..... 15

4.1 Hydrologisk modell – hva er det? ..... 15
4.2 Effekten av flomdemping fra blågrønne tak i et nedbørfelt ..... 15
4.3 Den hydrologiske modellen DDD ..... 15
4.4 Hvordan simuleres blågrønne tak i DDD? ..... 16

**Del 2 – Resultater** ..... 17

**5 Flomdemping fra blågrønne tak** ..... 18

5.1 Vestli ..... 18
5.2 Sandsli ..... 22
5.3 Karihola ..... 23

**6 Flomdempingen avhenger av andelen blågrønne tak** ..... 26

6.1 Vestli ..... 26
6.2 Sandsli ..... 27
6.3 Karihola ..... 27

**7 Blågrønne tak demper de høyeste flomtoppene** ..... 28

7.1 Vestli ..... 28
7.2 Sandsli ..... 30
7.3 Karihola ..... 32

**Del 3 – Diskusjon og konklusjon** ..... 35

**8 Diskusjon** ..... 36

8.1 Flomdempingen avhenger av hvor våte takene er ..... 36

8.2 Flomdemping om vinteren ..... 37
8.3 Variasjon mellom nedbørfelt i flomdemping fra blågrønne tak ..... 37
8.4 Betydning av omfanget av blågrønne tak ..... 38
8.5 Restriktor øker flomdempingen ytterligere ..... 39
8.6 Usikkerheter og begrensninger ..... 40

**9 Konklusjon ..... 41**

**10 Referanser ..... 43**

**Vedlegg A – detaljer om dataene ..... 45**

A.1. Historikk måledata fra grønne tak ..... 45
A.2. Detaljert informasjon om Vega Scene ..... 46
A.3. Detaljert informasjon om Storbylegevakt ..... 48

**Vedlegg B – simulering av blågrønne tak ..... 50**

B.1. Sammenligning av simulert avrenning fra andre blågrønne tak ..... 50
B.2. Flomdempingseffekt av restriktor på avrenning fra blågrønt tak – Vega Scene ..... 51

**Vedlegg C – modellering med DDD ..... 53**

C.1. Detaljer om DDD ..... 53
C.2. Simulere blågrønne tak med DDD ..... 54
C.3. Modellevalueringskriterier til kalibrering og validering ..... 54
Valg av modellevalueringskriterier ..... 54
Nedbørfelt – kalibrering og validering ..... 54
Blågrønne tak – kalibrering og validering ..... 55
C.4. Modellparametere fra urbane nedbørfelt ..... 55

**Vedlegg D – resultater fra scenario 2 ..... 56**

D.1. Vestli ..... 56
D.2. Sandsli ..... 59
D.3. Karihola ..... 62

# Forord

Uten klimatilpasning vil mer ekstremvær føre til flere, større og mer intense overvannshendelser og dermed økte skadekostnader for samfunnet. Regjeringen vil «øke kunnskap om effekten av og kostnaden ved naturbaserte løsninger og kombinasjonsløsninger for overvann, flom og skred» (Meld. St. 27 (2023-2024)). NVE skal bidra til å forebygge skader fra overvann gjennom kunnskap om avrenning i tettbygde strøk og veiledning til kommunal arealplanlegging. Økt kunnskap om effekten av naturbaserte løsninger er derfor viktig for å styrke kunnskapsgrunnlaget for overvannshåndtering i norske byer.

I det interne forskningsprosjektet Grønne tak – flomdemping overvann (2024-2026), har vi sett nærmere på effekten av blågrønne tak som en naturbasert løsning for overvannshåndtering i tettbygde områder. Prosjektet har undersøkt hvilken flomdempende effekt de blågrønne takene har på taknivå, og hvor stor den totale effekten er i et urbant nedbørfelt. Resultatene viser at blågrønne tak kan ha opptil 70 % flomdempende effekt, men at denne effekten også kan være nær 0 % særlig avhengig av fuktighetsforholdene før nedbørhendelsen og arealandelen blågrønne tak. Målet har vært å bidra med ny kunnskap som kan benyttes i planlegging og forvaltning av overvannstiltak i urbane områder.

Hege Hisdal
direktør
Hydrologisk avdeling

Seija Stenius
seksjonssjef
Seksjon for hydrologiske analyser

Dokumentet sendes uten underskrift. Det er godkjend i samsvar med interne rutiner.

# Sammendrag

Blågrønne tak brukes i økende grad som et naturbasert tiltak for overvannshåndtering i byer. De kan forsinke og holde tilbake nedbør på takflaten, og dermed redusere belastningen på avløpssystemer og vassdrag under kraftige nedbørhendelser. Formålet med denne studien har vært å undersøke hvilken flomdempende effekt blågrønne tak kan ha i urbane nedbørfelt, og hvordan effekten varierer mellom ulike nedbørfelt og hydrologiske forhold.

Avrenningen fra det blågrønne taket på Vega Scene i Oslo ble simulert ved hjelp av den hydrologiske modellen DDD. Modellen ble kalibrert mot målte avrenningsdata fra taket og brukt til å representere blågrønne tak i tre urbane nedbørfelt: Vestli i Oslo, Sandsli i Bergen og Karihola i Kristiansund. For hvert nedbørfelt ble vannføringen simulert med og uten blågrønne tak, og for ulike andeler blågrønne tak.

Resultatene viser at blågrønne tak kan redusere de største flomtoppene i alle de tre undersøkte nedbørfeltene. Flomdempingen øker når en større andel av de tette flatene erstattes med blågrønne tak. For de største flomhendelsene varierte flomdempingen fra nær 0 % til over 70 %, avhengig av fuktighetsforhold før hendelsen, arealandel blågrønne tak og klima. Samtidig viser analysene at effekten varierer betydelig mellom hendelser.

Hvor våte takene er før en nedbørhendelse viser seg å være en av de viktigste faktorene for hvor stor flomdempingen blir. Tak med tilgjengelig lagringskapasitet kan holde tilbake og forsinke mer vann enn tak som allerede er mettet. Resultatene viser derfor at blågrønne tak ofte gir størst flomdemping etter perioder med lite nedbør og god drenering, mens effekten kan være betydelig mindre når nedbørhendelser kommer tett etter hverandre. I enkelte tilfeller kan flomtoppen bli høyere med blågrønne tak enn uten. Dette skjer når takene allerede er mettet, samtidig som forsinket avrenning fra takene sammenfaller med avrenningen fra resten av nedbørfeltet.

Persentilanalyser og varighetskurver viser at blågrønne tak påvirker vannføringen forskjellig ved ulike vannføringsnivåer. De høyeste vannføringene reduseres gjennomgående, mens vannføringen ved lave og moderate vannføringer ofte øker noe. Dette skyldes at vann holdes tilbake i takene og dreneres ut senere. Blågrønne tak virker derfor i stor grad ved å omfordele vannet i tid.

Analysene tyder også på at lokale hydrologiske forhold er viktige for hvor stor flomdempingen blir. Forskjeller mellom nedbørfeltene kan ikke forklares av andelen blågrønne tak alene, men ser også ut til å være påvirket av forhold som metningsgrad, middelavrenning (klima) og vannets transporthastighet i nedbørfeltet.

I tillegg viser analysene at bruk av restriktor i utløpet fra blågrønne tak (en teknisk installasjon som fungerer som en fysisk sperre og reduserer utløpet av vann), gir økt flomdemping, særlig ved de største avrenningshendelsene. Restriktoren bidrar til å forsinke avrenningen ytterligere og reduserer de høyeste avrenningstoppene fra taket.

Resultatene viser samlet at blågrønne tak kan være et effektivt supplement i overvannshåndteringen i byer. Effekten avhenger imidlertid både av omfanget av tiltaket og av de hydrologiske forholdene i takene og nedbørfeltene, og kan derfor variere betydelig mellom ulike nedbørhendelser og lokaliteter.

# Del 1 – Innledning, data og metode

Denne delen presenterer bakgrunnen for studien, datagrunnlaget, de undersøkte nedbørfeltene og metoden som er brukt i analysene.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

Rapporten formidler resultater om blågrønne taks flomdempende effekt. NVE har gjennomført et internt forskningsprosjekt Grønne tak – flomdemping overvann (2024-2026). Prosjektet har sett nærmere på effekten av blågrønne tak som en naturbasert løsning for overvannshåndtering. Formålet med rapporten er å dokumentere metodikk, resultater og vurderinger knyttet til bruk av blågrønne tak som en naturbasert løsning for overvannshåndtering.

## 1.2 Problemstilling og mål

Forskningsprosjektet forsøker å finne svar på hvilken flomdempende effekt de blågrønne takene har på taknivå, og hvor stor den totale flomdempende effekten er i et urbant nedbørfelt. Med flomdemping menes her reduksjon av flomtopper og høye vannføringer ved utløpet av nedbørfeltet. Begrepet flomtopp brukes i rapporten om de høyeste vannføringstoppene i de analyserte tidsseriene, selv om disse ikke nødvendigvis representerer flom i hydrologisk forstand. Målet er å kvantifisere effekten av flomdempingen, og få en bedre forståelse av blågrønne taks effektivitet gjennom sesongene og ved ulike klimatiske forhold. Økt kunnskap om dette temaet vil gi bedre grunnlag for å planlegge overvannshåndtering i byer fremover.

Flere tidligere studier har sett på den lokale flomdempende effekten, men det er færre studier som har sett på hvordan de fungerer som en naturbasert løsning for overvannshåndtering i et nedbørfelt. NVE har tidligere gitt ut Grønne tak og styrtregn (NVE rapport 65/2014) (Braskerud, 2014) som beskriver effekten av enkeltstående, ekstensive grønne tak.

## 1.3 Vannhåndtering på tak – hva er det?

I ny bebyggelse er det blitt mer utbredt med vegetasjonskledde tak og magasin for å fordrøye nedbør. I denne rapporten ser vi på blågrønne tak, men det finnes også mange flere varianter av flomdempende tak.

**Grønne tak** har vegetasjon eller vekstmedium på taket. Hanslin & Johannessen (2018) deler inn grønne tak i ekstensive, semi-intensive og intensive grønne tak, basert på tykkelsen på vekstmediet. Ekstensive grønne tak har et tynt lag med vekstmasser (5-10 cm), semi-intensive grønne tak har noe tykkere oppbygning (10–30 cm), bestående av vekstmedium og dreneringslag, mens intensive grønne tak har en betydelig tykkere oppbygning (mer enn 30 cm).

**Blågrønne tak** har vanligvis et magasinerende lag med høyt porevolum i tillegg til et grønt vekstmedium på toppen. Nedbøren som faller på taket, blir forsinket ettersom vannet først må transporteres gjennom vekstlaget og det magasinerende laget før det når utløpet. I tillegg kan vannet i det magasinerende laget bli stående lenger enn det naturlig ville gjort, fordi utløpet fra det magasinerende laget er strupet med en restriktor.

**En restriktor** er en teknisk installasjon som fungerer som en fysisk sperre, og slipper kun gjennom noe vann. Det tvinger dermed vannet til å oppholde seg lengre i det magasinerende laget.

**Fordrøyende tak** brukes ofte som en benevnelse for tak som har magasinerende lag (Sivertsen m.fl., 2023), og som kan bestå av mange ulike topplag som f.eks. betongstein, treheller, bed og vegetasjon.

# 2 Måledata fra blågrønne tak

## 2.1 Fremgangsmåte

Vi benytter den hydrologiske modellen Distance Distribution Dynamics (DDD) til å simulere avrenningen fra blågrønne tak og hvordan denne påvirker vannføringen i urbane nedbørfelt. DDD-modellen kalibreres mot målinger fra det instrumenterte blågrønne taket på Vega Scene i Oslo. Se kapittel 4 for generell beskrivelse av en hydrologisk modell og kapittel 4.3 for nærmere beskrivelse av DDD-modellen.

Målingene fra Vega Scene brukes til å kalibrere parametere i DDD-modellen. Vi vurderer hvor godt modellen simulerer avrenningen fra taket ved å sammenligne simulert og observert avrenning. Parameterne som best gjengir den observerte avrenningen brukes videre i analysene.

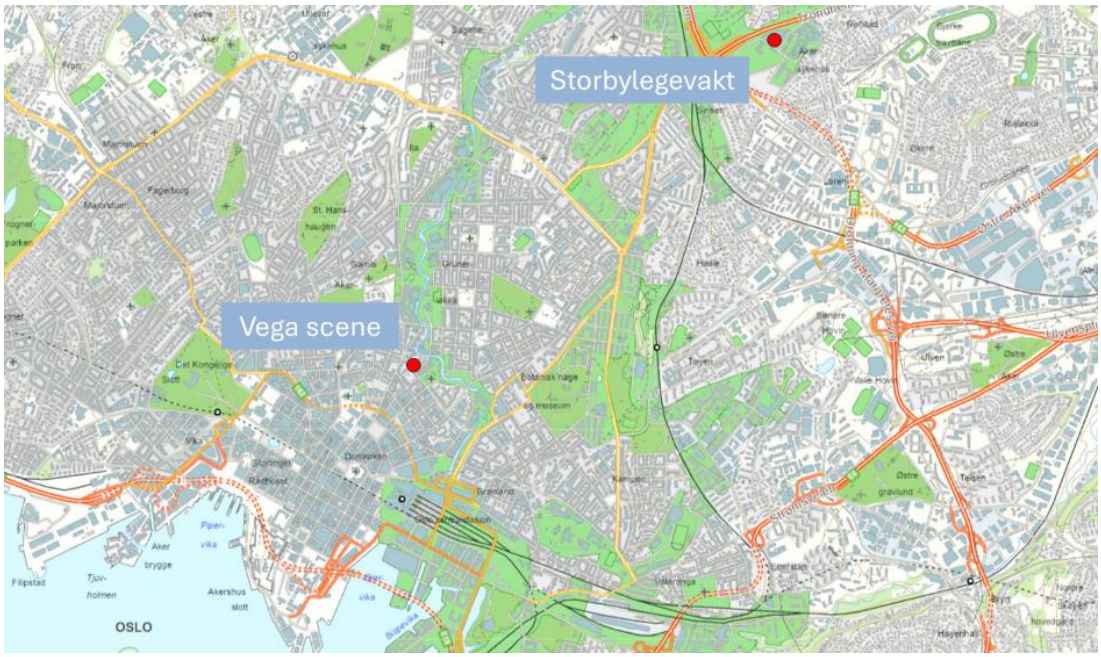
For å kvantifisere flomdempingen fra blågrønne tak erstatter vi deler av de tette flatene i tre urbane nedbørfelt med blågrønne tak i modellen. Deretter sammenlignes simulert vannføring ved utløpet av nedbørfeltene for scenarier med og uten blågrønne tak. DDD-modellen er tidligere kalibrert for de urbane nedbørfeltene.

Videre i rapporten beskrives datagrunnlaget, de urbane nedbørfeltene og den hydrologiske modellen som er brukt i analysene. Deretter presenteres resultatene og diskuteres i lys av variasjoner mellom nedbørfeltene og ulike hydrologiske forhold.

## 2.2 Valg av blågrønne tak

NVE måler i dag fra fem instrumenterte grønne og blågrønne tak. Formålet med målingene er å forstå de hydrologiske prosessene som skjer på takene. I denne rapporten har vi hovedsakelig brukt målinger fra det blågrønne taket på Vega Scene i Oslo (figur 1).

Det blågrønne taket på Vega Scene i Oslo er det blågrønne taket med flest år med data. Derfor brukte vi hovedsakelig de dataene. Siden det også finnes data for det blågrønne taket på Storbylegevakten, kunne vi se på hvor følsom DDD-modellen og nedbørfeltet var for valget av blågrønt tak. Resultatene fra disse analysene sammenfaller med resultatene basert på Vega Scene (se vedlegg B.1).




*Figur 1: Plassering av de undersøkte blågrønne takene, Vega Scene og Storbylegevakten i Oslo. NVE Atlas, 2026.*

Begge de blågrønne takene befinner seg i Oslo. De er begge semi-intensive blågrønne tak, hvor vi forventer en høyere flomdempende effekt sammenlignet med ekstensive grønne tak. Fordelen med å bruke disse er at målingene er gjort på store tak som er i bruk, og ikke fra eksperimenter på liten skala. Vi forventer derfor at måleresultatene er mer representative for hvordan avrenning opptrer på blågrønne tak i urbane nedbørfelt sammenlignet med avrenning fra småskala takforsøk.

Dataene fra de blågrønne takene ligger på Sildre. Mer informasjon om takene, oppbygging og måledata fra Vega Scene og Storbylegevakten finnes i henholdsvis vedlegg A.2 og A.3. Historikken bak NVEs instrumentering av grønne og blågrønne tak finnes i vedlegg A.1.

## 2.3 Måledata og dataperioder

Måledataene brukt i denne rapporten er basert på kvalitetssikrede måledata fra takene på Vega Scene og Storbylegevakta. Tabell 1 viser hvilke måleperioder de ulike variablene avrenning, nedbør og temperatur er tilgjengelig for de to blågrønne takene.

*Tabell 1: Tilgjengelige kvalitetssikrede målevariabler og måleperiode for de ulike målevariablene.*

| Målevariabler | Tidsoppløsning | Måleperiode | |
|---|---|---|---|
| | [min] | Vega Scene | Storbylegevakt |
| Avrenning | 10 | sep. 2021 – mar. 2025 | jun. 2023 – feb. 2025 |
| Nedbør | 1 | jan. 2020 – mar. 2025 | jun. 2023 – feb. 2025 |
| Lufttemperatur | 10 | mar. 2021 – mar. 2025 | sep. 2023 – feb. 2025 |

**Vega Scene** har avrenningsdata fra september 2021 til mars 2025, men med restriktor fra september 2021 til januar 2022, og data uten restriktor fra november 2022 til mars 2025. Perioden uten restriktor er brukt til å sammenligne avrenningen fra takene med og uten restriktor (vedlegg B.2), mens perioden med restriktor er brukt til å kalibrere DDD-modellen. Se detaljer om taket i vedlegg A.2.

**Storbylegevakta** er modellert for perioden september 2023 til februar 2025. Det er kun den sørlige delen av taket som er modellert og hele perioden er med restriktor (se vedlegg A.3 for detaljer om taket).

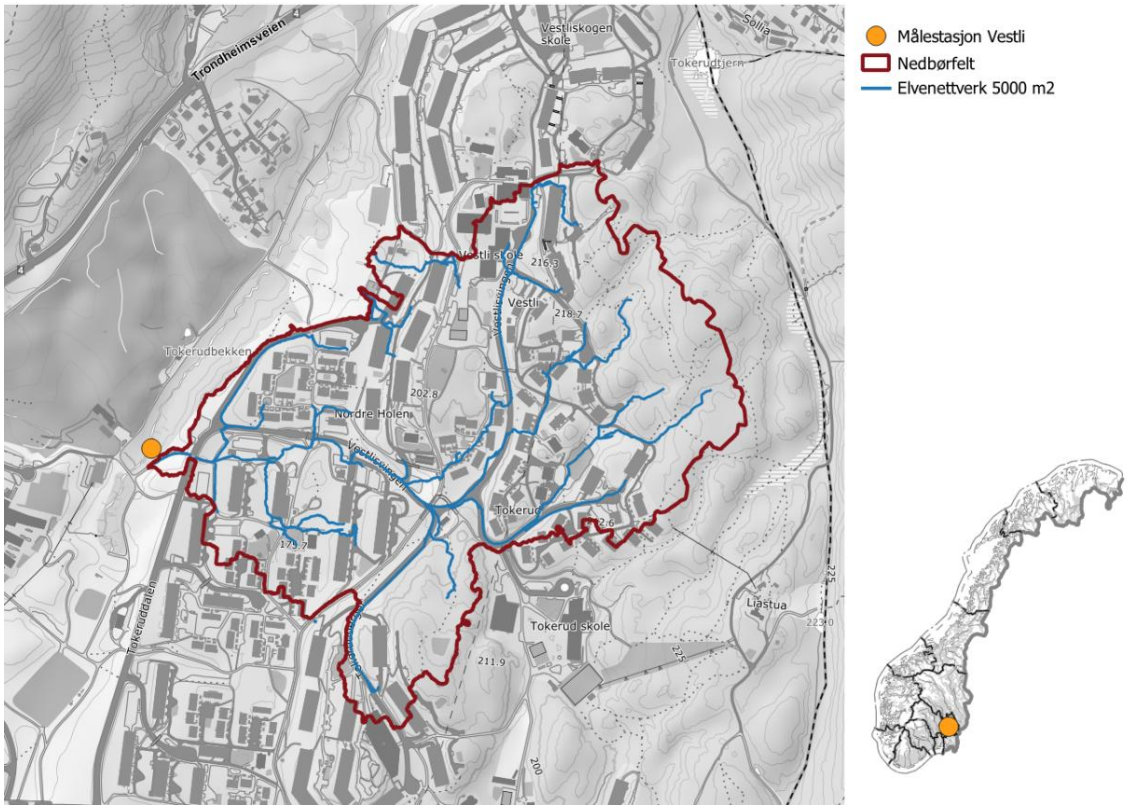
# 3 Urbane nedbørfelt og scenarioer

Vi har valgt å teste hvor stor flomdempingseffekten av blågrønne tak er i tre urbane nedbørfelt. I de tre urbane nedbørfeltene måler NVE allerede vannføring slik at den hydrologiske modellen DDD kan kalibreres og valideres på vannføringsdata fra nedbørfeltet, før vi legger inn den modellerte effekten av det blågrønne taket på Vega Scene. Simuleringsperiodene er valgt ut fra tilgjengelige kvalitetssikrede data for de enkelte nedbørfeltene.

Vi har valgt ut de urbane nedbørfeltene Vestli (Oslo), Sandsli (Bergen) og Karihola (Kristiansund). I dette kapitelet finner du informasjon om de ulike urbane nedbørfeltene. Du kan lese mer om alle målestasjonene og historikken i Urbanstasjonsrapport: Gjennomgang av urbanstasjonsnettet og historiske data (NVE rapport 5/2026). De tre nedbørfeltene varierer i størrelse, andel tette flater og klimatiske forhold. Dette gir grunnlag for å undersøke hvordan effekten av blågrønne tak varierer mellom ulike typer urbane nedbørfelt.

## 3.1 Vestli

Vestli er et urbant nedbørfelt i Oslo (figur 2). Avløpssystemet i nedbørfeltet er separert i ett system for kloakk (spillvann) og ett for overvann. Målestasjonen 6.12 Vestli ligger i overvannssystemet og måler overvannet og grunnvannstilsig før det renner ut i Tokerudbekken.




*Figur 2: Plassering av Vestli urbanstasjon og tilhørende nedbørfelt. Bakgrunnskart er hentet fra Norgeskart.*

Måledata fra stasjonen kan blant annet lastes ned fra Sildre: https://sildre.nve.no/station/6.12.0.

### FELTPARAMETERE

Vi tar utgangspunkt i at feltet har et areal på 0,41 km$^2$ og består av 21 % tette flater som hus og veier og 79 % permeable flater som grøntområder. Feltparameterne er de samme som ble brukt i Simulering av NVEs urbanfelt med urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell (DDDUrban) (NVE rapport 34/2023) (Storteig m.fl., 2023), selv om Urbanstasjonsrapporten (NVE rapport 5/2026) (Dören m.fl., 2026) har avdekt at ulike kilder oppgir ulikt areal for feltet. Valgt tidsoppløsning for simulering er 10 minutter.

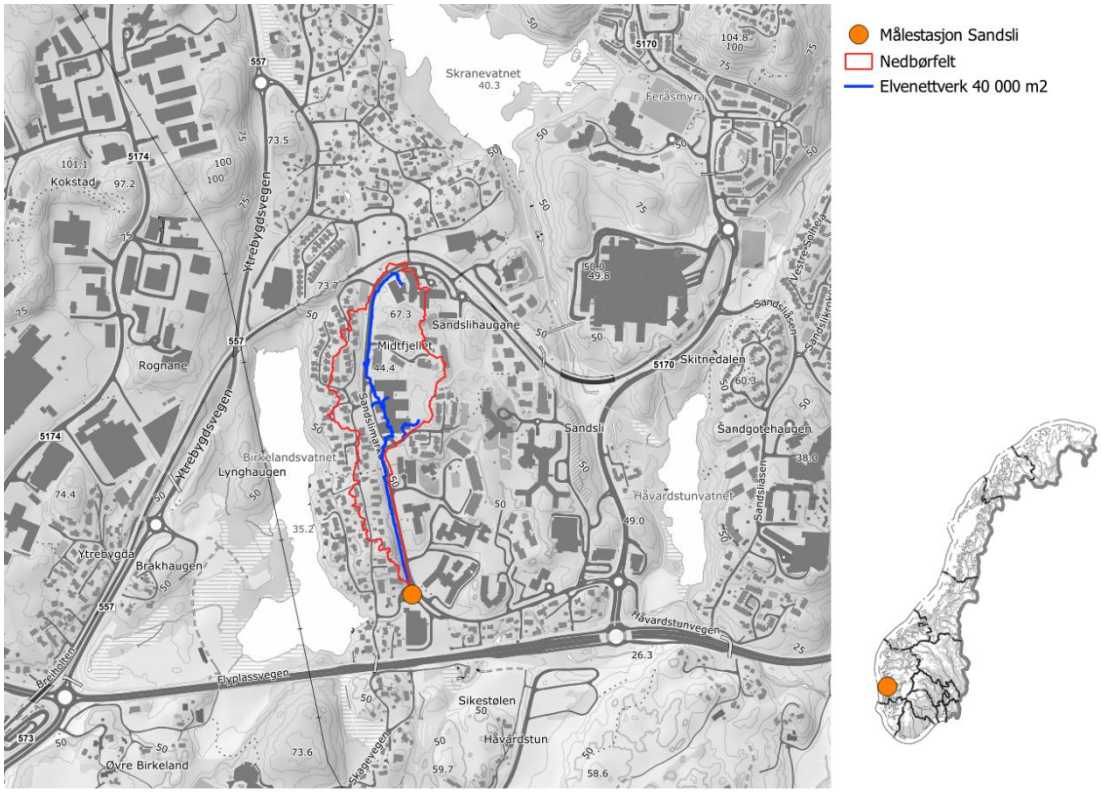
### SIMULERINGSPERIODE MED BLÅGRØNNE TAK

Vi har simulert nedbørfeltet på Vestli for perioden mai 2022 til september 2024. I modellen har vi tatt utgangspunkt i at nedbørfeltet har 86 600 m$^2$ tette flater. Vi har modellert to scenarier der deler av de tette flatene erstattes med blågrønne tak tilsvarende taket på Vega Scene:

- Scenario 1: erstatter 50 000 m$^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 58 % av de tette flatene.
- Scenario 2: erstatter 10 000 m$^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 12 % av de tette flatene.

## 3.2 Sandsli

Sandsli er et urbant nedbørfelt i Bergen (figur 3). Målestasjonen 56.1 Sandsli ble satt opp i forbindelse med utbygging i området, og som et urbanhydrologisk forskningsfelt for å styrke det urbanhydrologiske kunnskaps- og datagrunnlaget. Stasjonen er plassert i overvannsnettet, og vannføringen er svært påvirket av grunnvannsstanden under nedbør (Dören m.fl., 2026).




*Figur 3: Plassering av Sandsli urbanstasjon og tilhørende nedbørfelt. Bakgrunnskart er hentet fra Norgeskart*

**FELTPARAMETERE**

Vi tar utgangspunkt i at feltet har et areal på 0,06 km², og består av 19 % tette flater og 81 % permeable flater. Feltparameterne er de samme som ble brukt i Simulering av NVEs urbanfelt med urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell (DDDUrban) (NVE rapport 34/2023) (Storteig m.fl., 2023). Valgt tidsoppløsning for simulering er 5 minutter.

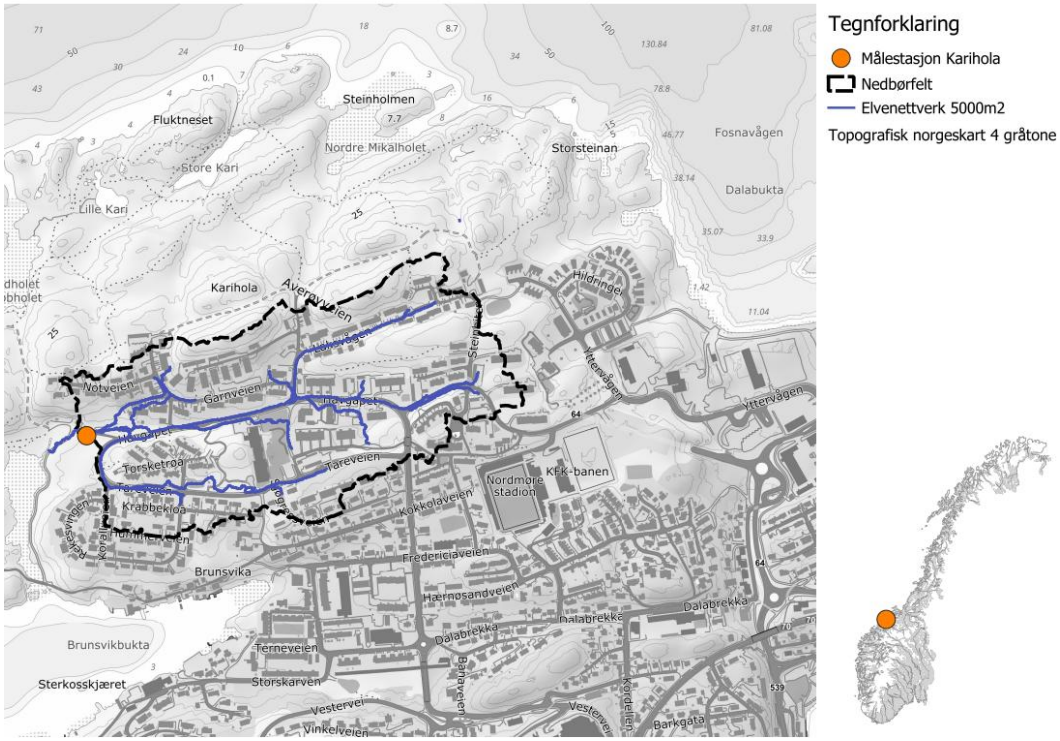
**SIMULERINGSPERIODE MED DE BLÅGRØNNE TAK**

Vi har simulert nedbørfeltet til Sandsli for perioden januar 2019 til januar 2024. Totalt er det 11 600 m² med tette flater på Sandsli. Vi har modellert to scenarier der deler av de tette flatene erstattes med blågrønne tak tilsvarende taket på Vega Scene:

- Scenario 1: erstatter 10 000 m² av de tette flatene, som tilsvarer 86 % av de tette flatene.
- Scenario 2: erstatter 5 000 m² av de tette flatene, som tilsvarer 43 % av de tette flatene.

## 3.3 Karihola

Karihola er et urbant nedbørfelt i Kristiansund (figur 4). Målestasjonen 110.1 Karihola ligger i overvannssystemet og måler overvannet og en ukjent del av grunnvannstilsig i nedbørfeltet.




*Figur 4: Plassering av Karihola urbanstasjon og tilhørende nedbørfelt. Bakgrunnskart er hentet fra Norgeskart.*

**FELTPARAMETERE**

Vi tar utgangspunkt i at feltet har et areal på 0,25 km², og består av 28 % tette flater og 72 % permeable flater. Dette er urbanstasjonen med den høyeste andelen tette flater av alle NVEs ni urbanstasjoner. Feltparameterne er de samme som ble brukt i Simulering av NVEs urbanfelt med urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell (DDDUrban) (NVE rapport 34/2023) (Storteig m.fl., 2023), selv om Urbanstasjonsrapporten (NVE rapport 5/2026) (Dören m. fl., 2026) har avdekt at ulike kilder oppgir ulikt areal for feltet. Valgt tidsoppløsning for simulering er 10 minutter.

## SIMULERINGSPERIODE MED DE BLÅGRØNNE TAK

Vi har simulert Karihola for perioden mai 2020 til mai 2024. Totalt er det omtrent 70 000 $m^2$ med tette flater i feltet til Karihola. Vi har modellert to scenarier der deler av de tette flatene erstattes med blågrønne tak tilsvarende taket på Vega Scene:

- Scenario 1: erstatter 50 000 $m^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 72 % av de tette flatene.
- Scenario 2: erstatter 10 000 $m^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 14 % av de tette flatene.

Resultater fra scenario 1 finner du i del 2 – Resultater, mens scenario 2 finner du i vedlegg D.

# 4 Hydrologisk modellering

For å kunne beregne den flomdempende effekten av de blågrønne takene i et nedbørfelt, bruker vi den hydrologiske modellen DDD for å beskrive hvordan avrenningen er fra de blågrønne takene. I dette kapitlet får du mer informasjon om den hydrologiske modellen vi har brukt, og hvordan den er tilpasset til å simulere blågrønne tak.

## 4.1 Hydrologisk modell – hva er det?

En hydrologisk modell er, i denne sammenheng, et dataprogram som matematisk beskriver hvor mye og hvor fort vannet beveger seg etter at det har nådd bakkeoverflaten fra nedbør eller gjennom snøsmelting. Modellen holder også orden på alt vannet som tilføres fra regn og snøsmelting, hvor mye som lagres i grunnen og hvor mye som går ut av systemet i form av fordamping og avrenning. Vi sier at den hydrologiske modellen til enhver tid beskriver vannbalansen i et nedbørfelt.

## 4.2 Effekten av flomdemping fra blågrønne tak i et nedbørfelt

Vannet bruker tid på å bevege seg i, og over bakken i et nedbørfelt. Tiden det tar for vannet å bevege seg på bakkeoverflaten avhenger blant annet av om vannet kan infiltrere ned i bakken, hvor vått det er i bakken før nedbøren faller, om snøen smelter, og hvor tettpakket overflaten er.

Simuleringsperiodene er lange nok til å inkludere mange ulike nedbørhendelser og hydrologiske forhold. Dette gjør det mulig å undersøke hvordan flomdempingen fra de blågrønne takene varierer mellom årstider, værforhold og metningsgrad i tak og nedbørfelt.

## 4.3 Den hydrologiske modellen DDD

Vi bruker den hydrologiske DDD-modellen (Distance Distribution Dynamics) utviklet av Skaugen og Onof (2014) og Skaugen m.fl. (2020). Modellen har vært brukt til å modellere urbane nedbørfelt og grønne tak tidligere (Storteig m. fl., 2023; Viker-Walsøe og Valle, 2020). Modellen brukes også i NVEs flomvarslingstjeneste. DDD har relativt få modellparametere og er tidligere brukt til modellering av urbane nedbørfelt og grønne tak.

DDD trenger nedbør og temperatur som inngangsdata for å simulere vannføring. Hvis modellen skal kalibreres, trenger den også observert vannføring. DDD er kalibrert mot observerte avrenningsdata fra de blågrønne takene. Modelloppsett for de urbane nedbørfeltene er basert på tidligere kalibreringer. For å få et objektivt mål på hvor godt DDD-modellen simulerer det vi observerer bruker vi modellevalueringskriterier. Hvilke kriterier vi har brukt og hvordan vi har kalibrert for de ulike urbane nedbørfeltene kan du lese mer om i vedlegg C.

Mer detaljer om DDD-modellen finner du i vedlegg C, og du kan laste ned modellen fra https://github.com/NVE/DDDmodels

## 4.4 Hvordan simuleres blågrønne tak i DDD?

I denne rapporten modelleres de blågrønne takene separat fra nedbørfeltet ved hjelp av en egen DDD-modell kalibrert mot målinger fra Vega Scene. Modellen beregner avrenningen fra de blågrønne takene for den aktuelle simuleringsperioden. For å vurdere effekten på vannføringen i et urbant nedbørfelt erstattes avrenningen fra et gitt areal tette flater med den simulerte avrenningen fra et tilsvarende areal blågrønne tak. Den samlede vannføringen i nedbørfeltet beregnes deretter ved å kombinere bidraget fra nedbørfeltet med avrenningen fra de blågrønne takene.

For å modellere de blågrønne takene trenger vi å definere feltegenskapene til takene. De fleste feltegenskapene er fysiske parametere, mens vannets hastighet i jord- og vegetasjonsdekket på taket er en parameter som vi kalibrerer.

# Del 2 – Resultater

Denne delen viser hvordan blågrønne tak påvirker avrenning og vannføring i urbane nedbørfelt.

# 5 Flomdemping fra blågrønne tak

I dette kapitlet viser vi de modellerte tidsseriene av vannføring i de urbane nedbørfeltene Vestli, Sandsli og Karihola med og uten blågrønne tak. Fra alle nedbørfeltene henter vi også ut eksempler på perioder fra den modellerte tidsserien hvor de blågrønne takene gir stor og liten flomdemping.

## 5.1 Vestli

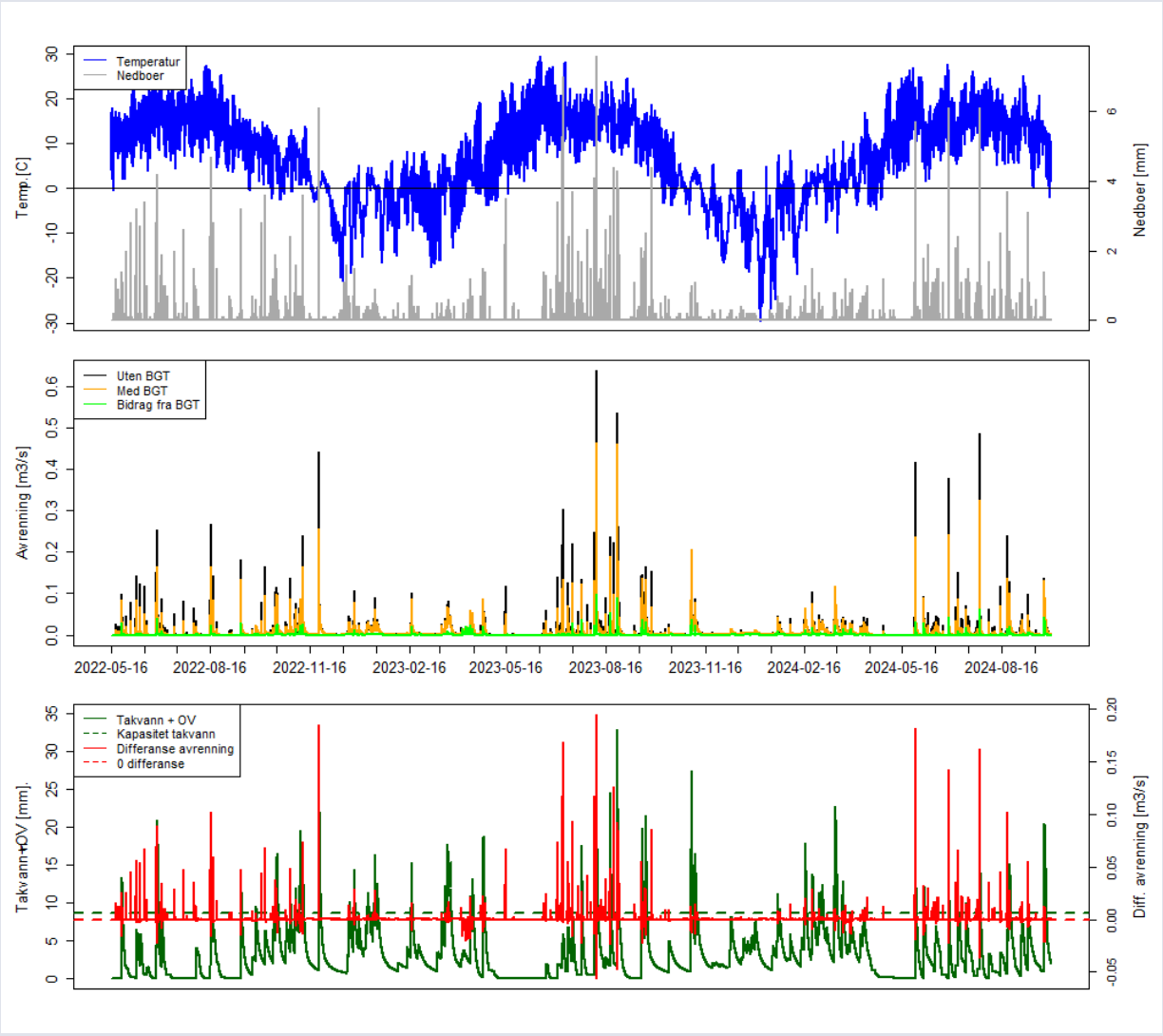
I feltet til Vestli i Oslo er 50 000 $m^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 58 % av de tette flatene i feltet, erstattet med blågrønne tak (figur 5).

De blågrønne takene reduserer de høyeste flomtoppene gjennom hele året. Når ledig lagringskapasitet i de grønne takene er lav, når den mørkegrønne grafen ligger tett opp til den stiplede grønne linjen i det nederste panelet i figur 5, så er også flomdempingen fra de blågrønne takene mindre.

Om høsten kan takene redusere flom mye, for eksempel i november 2022. Samtidig ser vi at om høsten kan takene ha liten flomdemping, for eksempel i november 2023. Forskjellen på de to tilfellene er at lagringskapasiteten (nederste panel i figur 5) på takene i 2022 er høy, mens den i 2023 er lav, og til slutt overskrides lagringskapasiteten til takene og vannet renner av også på overflaten fra takene.

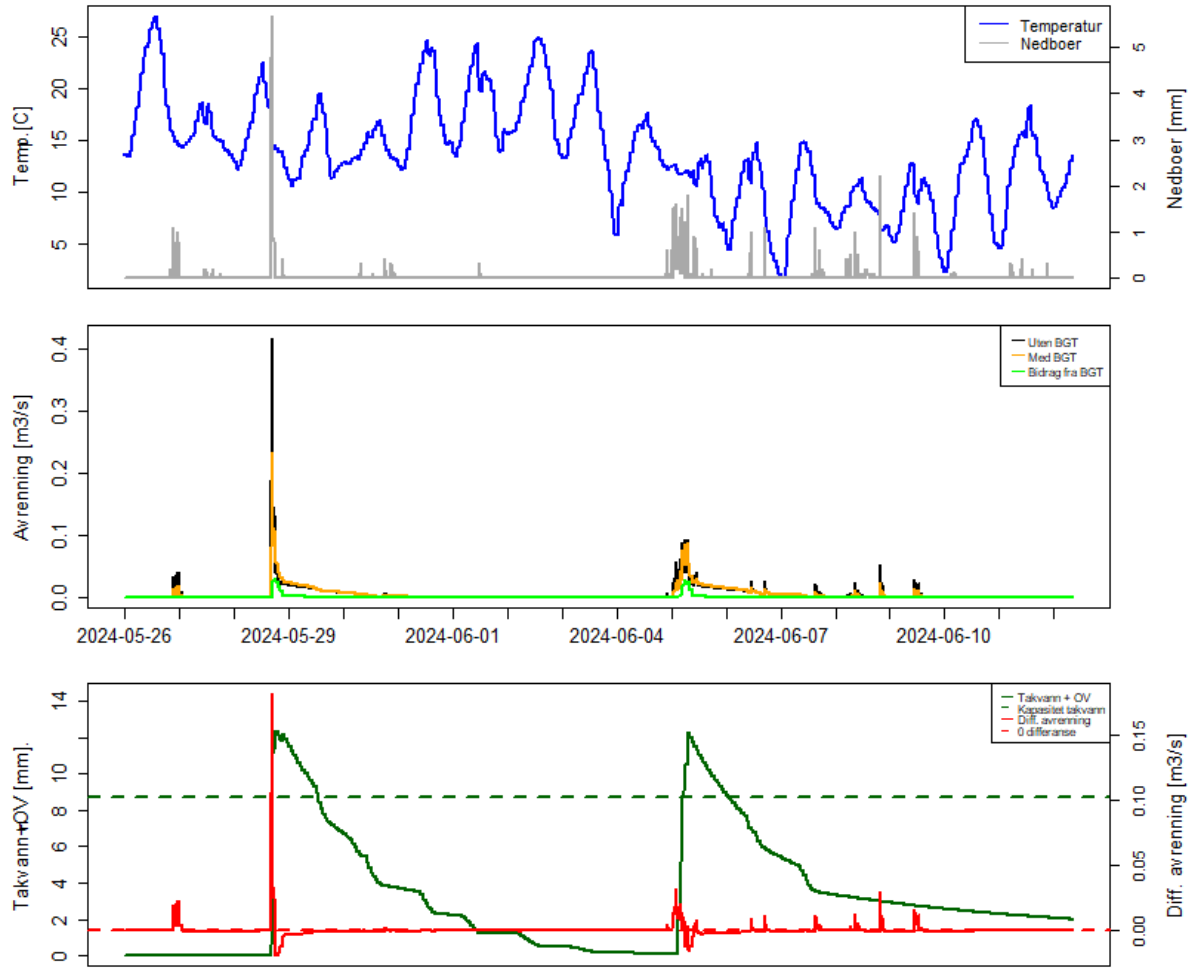
Når lagringskapasiteten i takene overskrides (stiplet grønn linje i figur 5) er det ikke plass til at mer vann kan infiltrere, og vannet må renne av på overflaten. Tidspunktet for når vi observerer de høyeste flomtoppene samsvarer med når takvannet overskrider lagringskapasiteten.
Nederste panel viser også (i rødt) avviket mellom vannføring fra hele nedbørsfeltet med og uten de blågrønne takene. Når den røde linjen har positive verdier betyr det at de blågrønne takene demper vannføringen i forhold til ikke å ha blågrønne tak. Når den røde linjen har negative verdier betyr det at fordrøyningen fra de blågrønne takene gjør at vannføringen er høyere med de blågrønne takene enn uten.

I november og gjennom vinteren (des.-feb.) er flomtoppene gjennomgående lavere enn om sommeren.



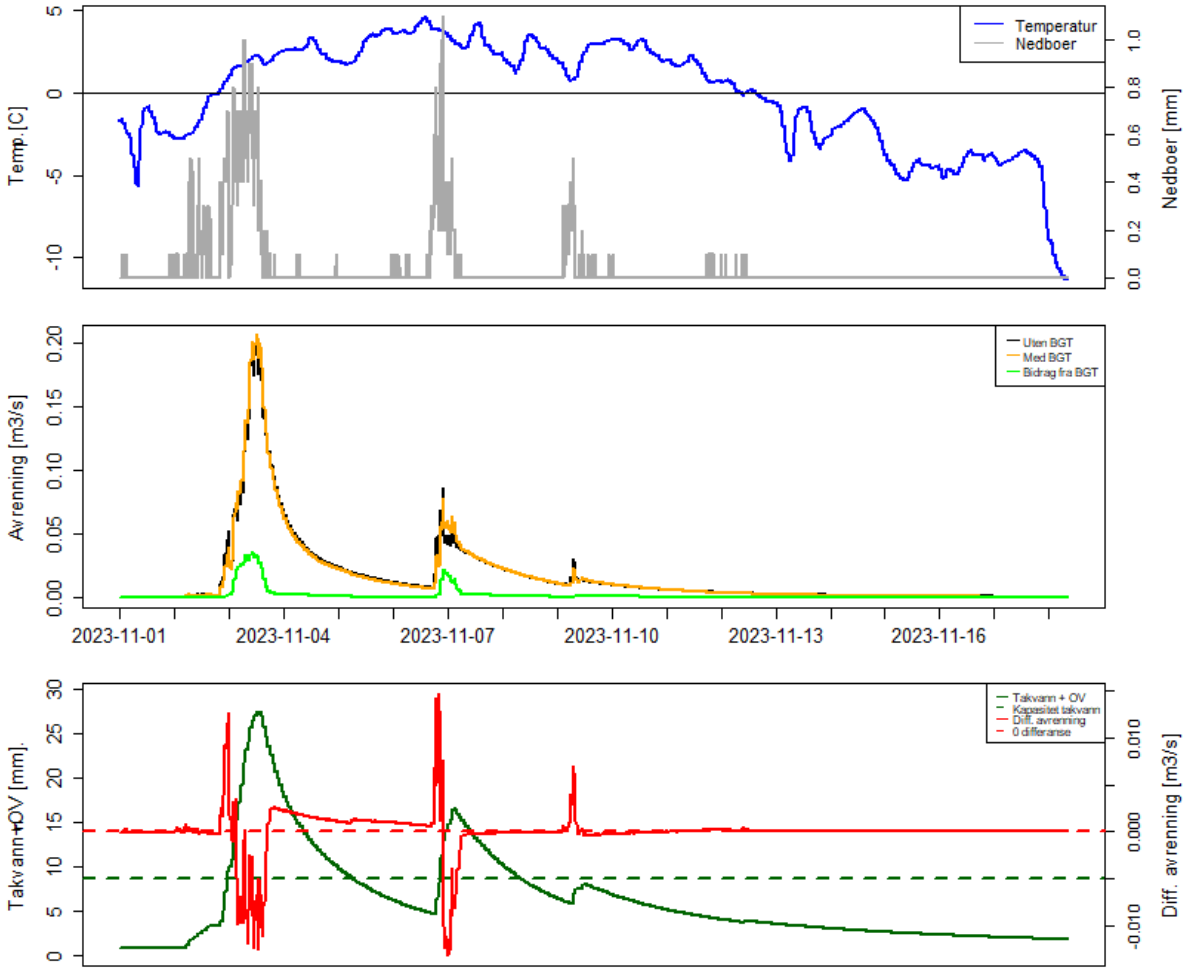

*Figur 5: Øverste panel viser nedbør og temperatur for den modellerte perioden mai 2022 til september 2024. Midterste panel viser simulert vannføring fra nedbørsfeltet uten blågrønne tak (svart) mens oransje viser vannføringen fra nedbørsfeltet når 50 000 m² tette flater er erstattet med blågrønne tak. Lys grønn viser vannføringen spesifikt fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de grønne takene (mørkegrønt) og avviket mellom vannføring på Vestli med og uten blågrønne tak (rød). Merk at takvann i nederste panelet inkluderer overflateavrenning (OV) som oppstår når vanninnholdet i taket når lagringskapasiteten (stiplet grønn).*

Våren 2024 er flomdempingen ved Vestli god (figur 6). Uten blågrønne tak er flomtoppen på omtrent 0,4 $m^3/s$, mens med blågrønne tak blir den redusert til i overkant av 0,2 $m^3/s$. Før nedbøren som kommer 28. –29. mai er det god lagringskapasitet fordi takvannet (mørk grønn) ligger godt under lagringskapasiteten (stiplet grønn linje). Det gjør at taket har kapasitet til å fordrøye nedbør. Det gjenspeiles også i det nederste panelet i figur 6 hvor deler av nedbøren fordrøyes i taket som takvann i tidskrittet etter at nedbøren falt, samtidig som flomtoppen er redusert.




*Figur 6: Viser detaljer av figur 5 hvor de blågrønne takene demper flomtoppen ved Vestli våren 2024. Dette ser vi tydelig i det midterste panelet hvor vannføring uten blågrønne tak er høyere (sort) enn med (oransje). Vi ser dette også fra det positive utslaget av den røde linjen i nederste panel.*

Høsten 2023 er flomdempingen ved Vestli begrenset (figur 7). Det kommer nedbør i forkant av den mest intense nedbøren som gjør at lagringskapasiteten i taket fylles opp, og taket blir mettet med vann før den mest intense nedbøren treffer takene. Når de største nedbørmengdene treffer takene, har vanninnholdet i takene allerede nådd lagringskapasiteten, og de blågrønne takene fører til en høyere flomtopp på Vestli enn om nedbørfeltet ikke hadde hatt så stor andel blågrønne tak.




*Figur 7: Viser detaljer av figur 5 på Vestli høsten 2023. De blågrønne takene gir en høyere vannføring ved Vestli fordi takene blir mettet av nedbør som kommer før den mest intense nedbøren. Den høyere vannføringen kan også ses der den røde linjen som markerer differansen mellom scenarioene er negativ. Merk at takvann i nederste panelet inkluderer overflateavrenning (OV) som oppstår når vanninnholdet i taket når lagringskapasiteten (stiplet grønn).*

Det er også gjennomført simuleringer hvor 10 000 m² av de tette flatene, som tilsvarer 12 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak. Flomdempingen ble mindre sammenlignet med når 50 000 m² av de tette flatene (figur 5) ble erstattet med blågrønne tak. Se vedlegg D for detaljer om vannføringen når 10 000 m² av de tette flatene er erstattet med blågrønne tak.

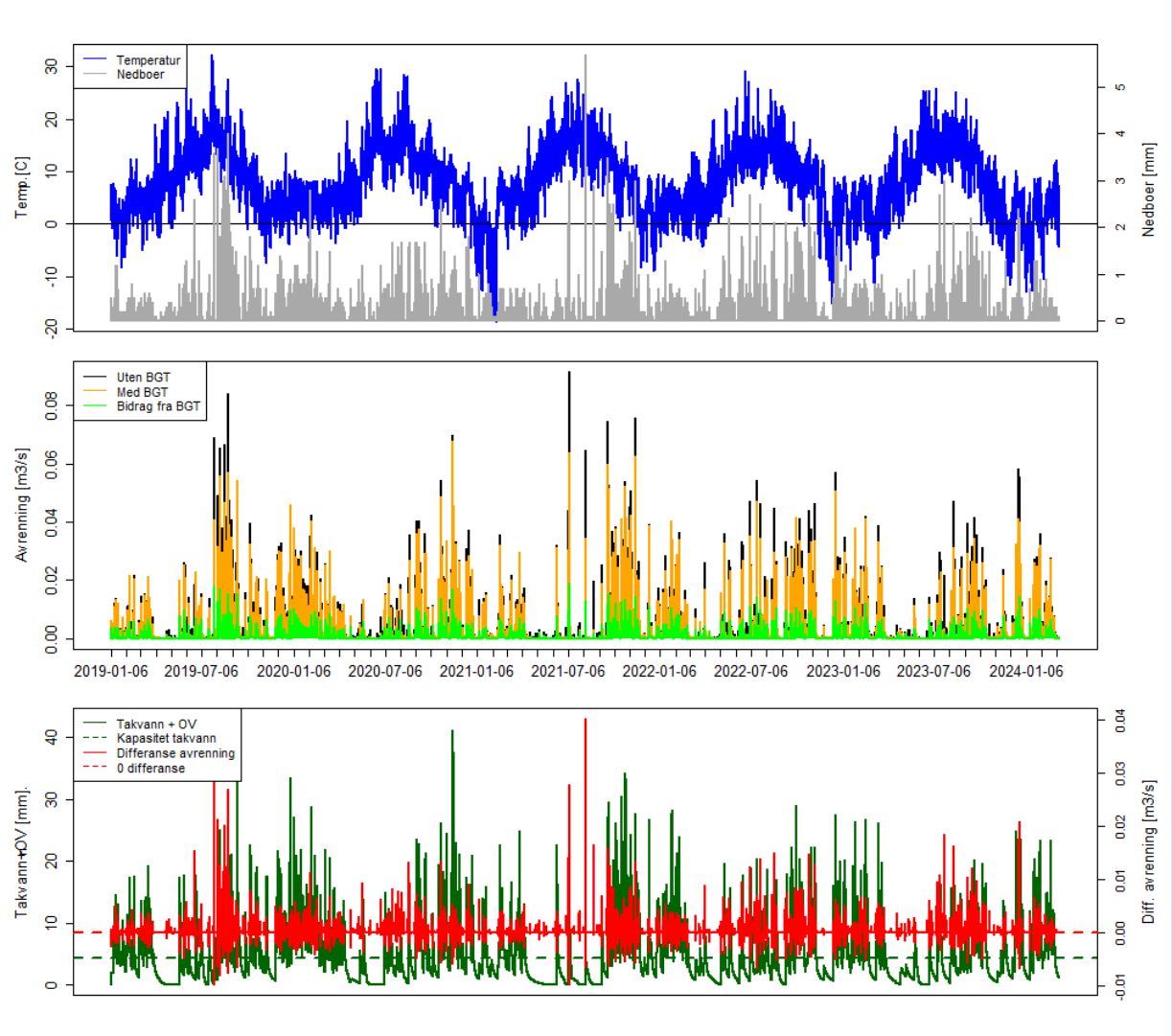
## 5.2 Sandsli

I feltet til Sandsli like ved Bergen er 10 000 m² av de tette flatene, som tilsvarer 86 % av de tette flatene, erstattet med blågrønne tak (figur 8).

De blågrønne takene demper også flomtoppene ved Sandsli gjennom hele året, slik som for Vestli. Til forskjell fra Vestli så blir lagringskapasiteten oftere overskredet (nederste panel i figur 8).

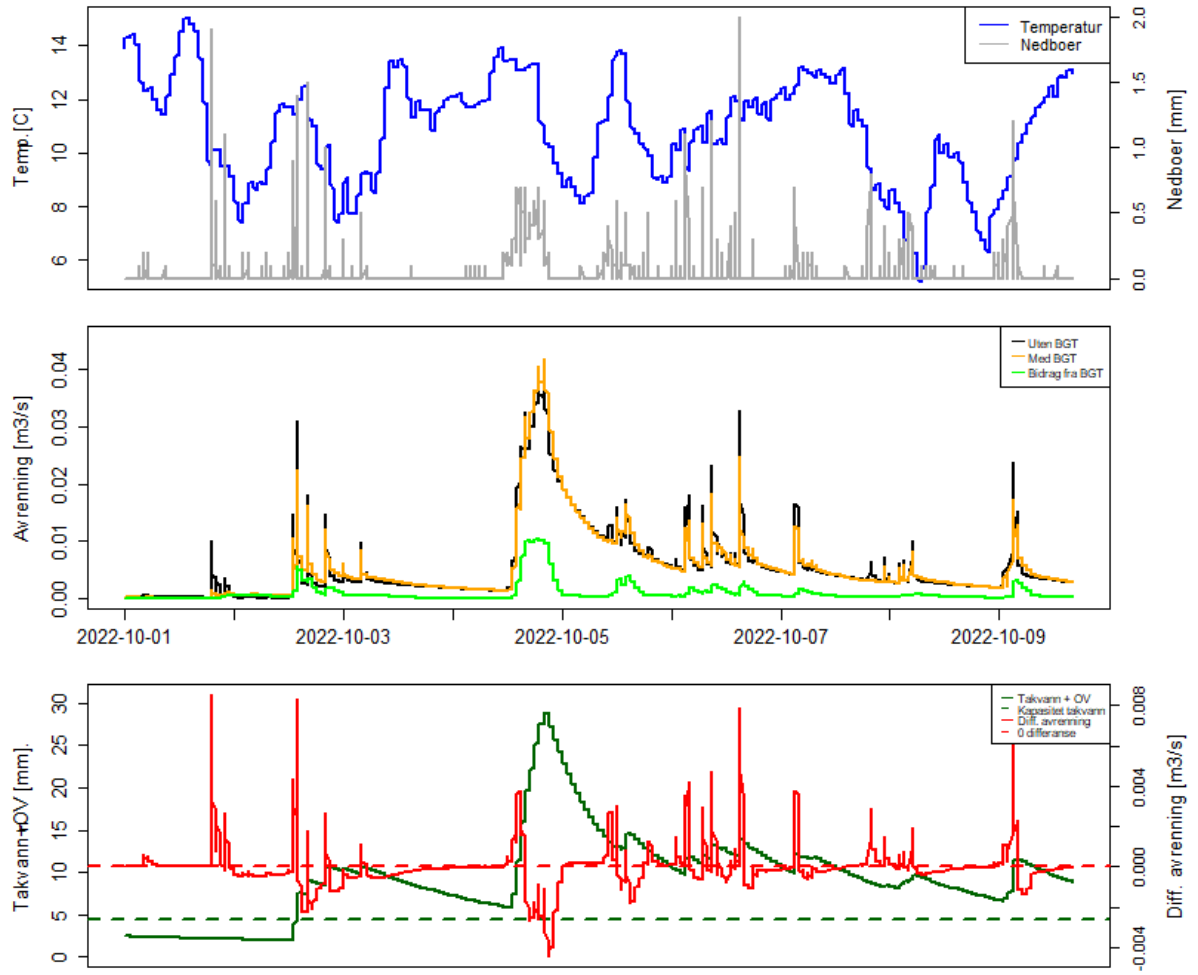
De høyeste flomtoppene finner vi om sommeren, når nedbørverdiene også er høyest. Det er også for disse flomtoppene at den positive differansen i vannføring med og uten de blågrønne takene er størst (se rød linje i nederste panel), som betyr at de for disse hendelsene er de blågrønne takene svært effektive.

**FLOMDEMPING FRA BLÅGRØNNE TAK PÅ SANDSLI**




*Figur 8: Øverste panel viser nedbør og temperatur for hele den modellerte perioden januar 2019 til januar 2024. Det midterste panelet viser simulert vannføring fra nedbørsfeltet uten blågrønne tak (svart) og med 10 000 m² blågrønne tak (oransje). Lys grønn graf viser kun avrenning fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de blågrønne takene (mørkegrønt) og avviket mellom hele Sandslis vannføring med og uten blågrønne tak (rødt). Merk at takvann i nederste panelet inkluderer overflateavrenning (OV) som oppstår når vanninnholdet i taket når lagringskapasiteten (stiplet grønn).*

Høsten 2022 er flomdempingen i nedbørfeltet ved Sandsli begrenset (figur 9). De blågrønne takene reduserer toppvannføring under nedbørhendelsen 2. oktober fra om lag 0,03 til 0,025 $m^3/s$. Samtidig er vannføringen ved Sandsli høyere etter hendelsen enn den ville vært uten blågrønne tak, fordi vann som er lagret på takene dreneres gradvis ut. Nedbøren 4. –5. oktober er ikke spesielt stor sammenlignet med hendelsene 2. og 6. oktober, men den jevne nedbøren fyller opp lagringskapasiteten til takene og gjør dem mettet. Som følge av dette er flomtoppen 4. oktober noe større med blågrønne tak. Den 6. oktober er nedbørmengden totalt sett noe mindre enn 2. oktober, men de blågrønne takene bidrar igjen til å redusere toppvannføringen fra om lag 0,03 til 0,025 $m^3/s$.




*Figur 9: Detaljer av figur 8 for Sandsli høsten 2022. De blågrønne takene fører til en høyere vannføring ved Sandsli 4. oktober, enn uten de blågrønne takene. Merk at takvann i nederste panelet inkluderer overflateavrenning (OV) som oppstår når vanninnholdet i taket når lagringskapasiteten (stiplet grønn). Der den røde linjen har negative utslag er vannføringen med blågrønne tak større enn uten.*

Vi har også simulert vannføring ved Sandsli hvor 5 000 $m^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 43 % av de tette flatene, er erstattet med blågrønne tak. Flomdempingen ble mindre sammenlignet med når 10 000 $m^2$ av de tette flatene (figur 8) ble erstattet med blågrønne tak. Se vedlegg D for detaljer om vannføringen når 5 000 $m^2$ av de tette flatene er erstattet med blågrønne tak.

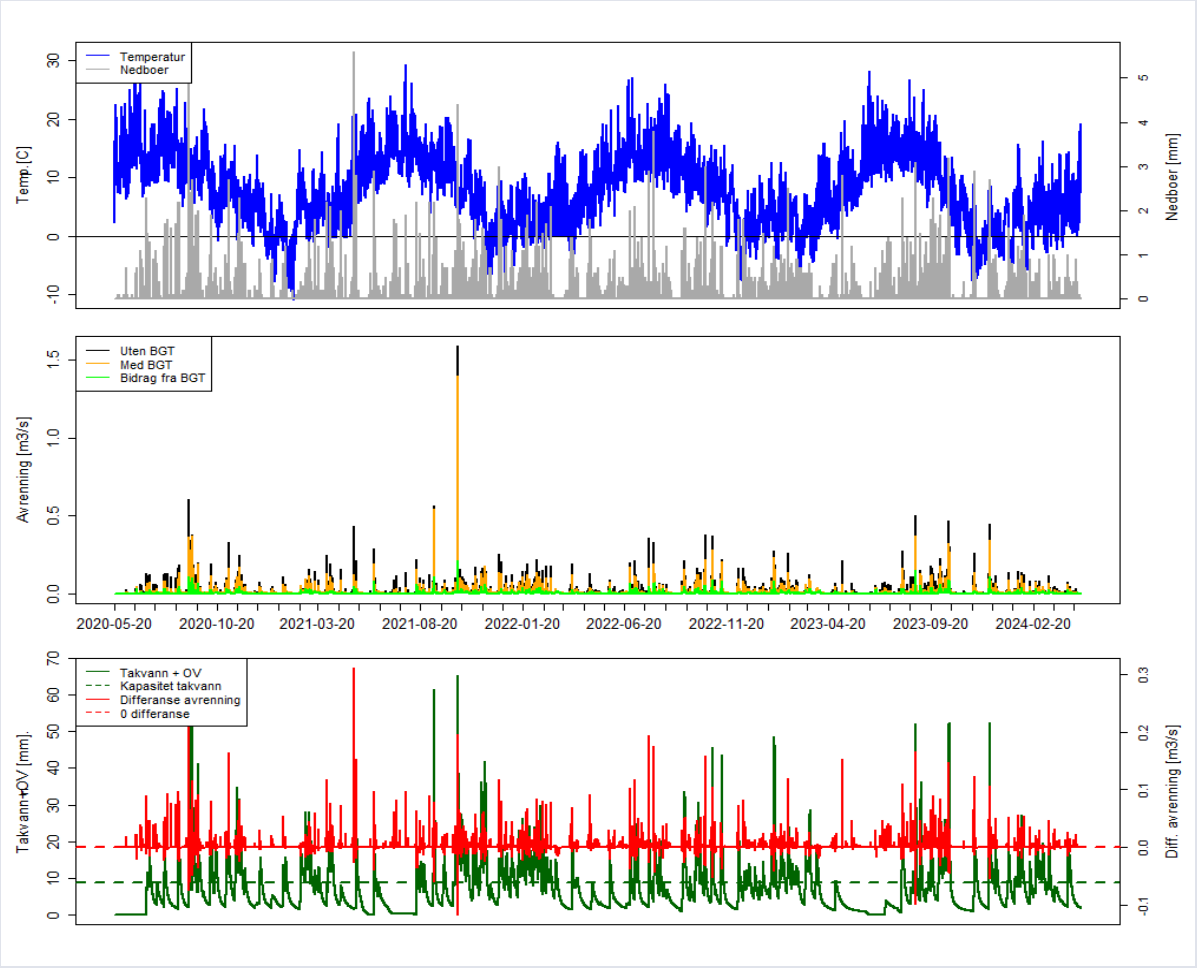
## 5.3 Karihola

I feltet til Karihola er 50 000 $m^2$ av de tette flatene, som tilsvarer 72 % av de tette flatene, erstattet med blågrønne tak (figur 10).

De blågrønne takene demper også flomtoppene ved Karihola gjennom hele året, slik som for Vestli og Sandsli. Den høyeste flomtoppen på 1,59 $m^3/s$ reduseres til 1,40 $m^3/s$ med de blågrønne takene. Det at flomtoppene dempes betyr ikke at vannet forsvinner, men at vannføringen forskyves i tid. Dette kan gi høyere vannføring ved Karihola i etterkant av nedbørhendelsen. Det kan gjøre nedbørfeltet mer sårbart for intense nedbørhendelser som kommer raskt etter hverandre.

I fireårsperioden mai 2020 til mai 2024 opptrer de høyeste flomtoppene som oftest i månedene juni til oktober. Enkeltåret 2021 skiller seg ut med en betydelig høyere flomtopp enn de andre årene, og den er nesten tre ganger så stor som den nest høyeste i 2020.

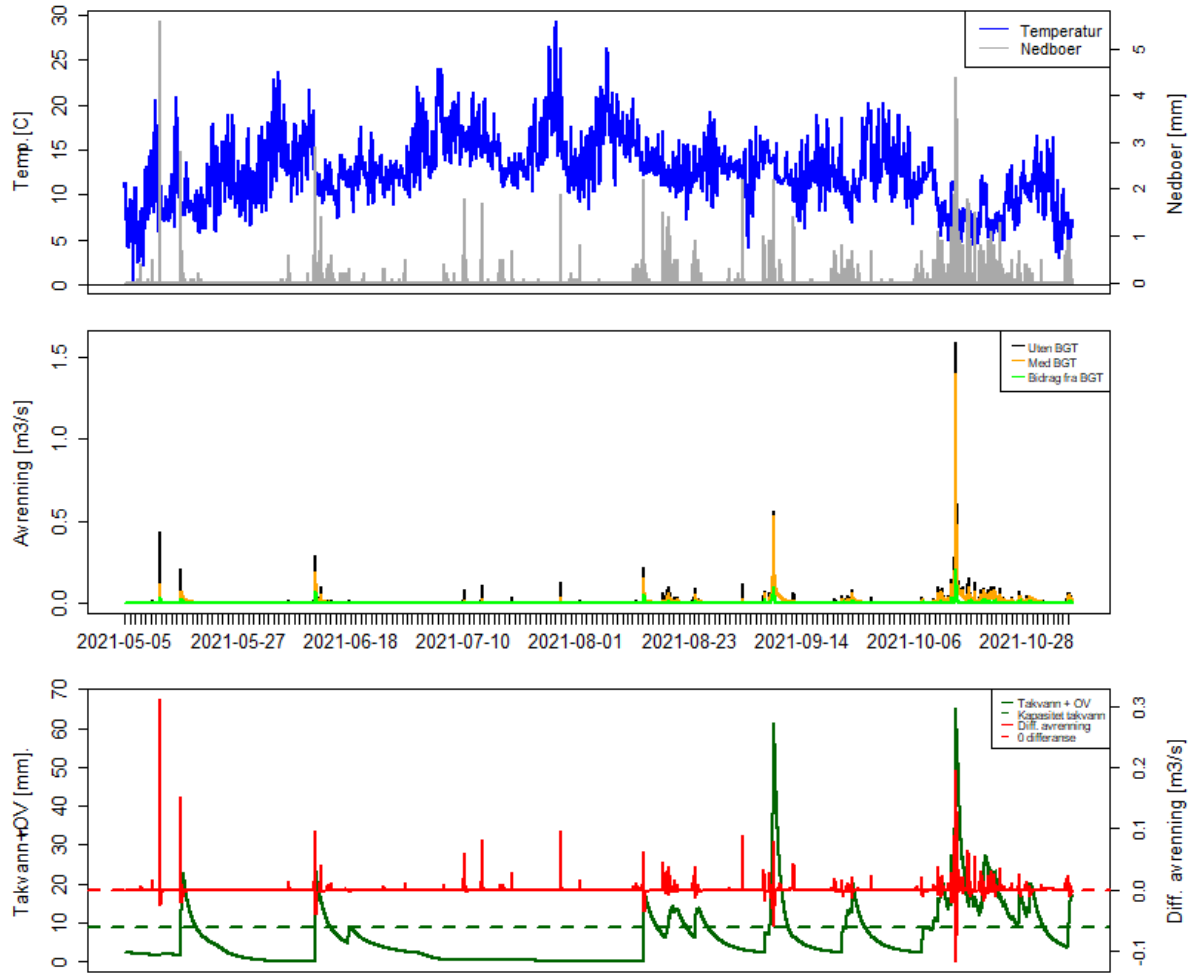
**FLOMDEMPING FRA BLÅGRØNNE TAK PÅ KARIHOLA**




*Figur 10: Øverste panel viser nedbør og temperatur for hele den simulerte perioden mai 2020 til mai 2024. Det midterste panelet viser simulert vannføring fra nedbørsfeltet til Karihola uten blågrønne tak (svart), med 50 000 $m^2$ blågrønne tak (oransje). Lys grønn graf viser avrenning spesifikt fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de blågrønne takene (mørkegrønt), og lagringskapasiteten (stiplet mørk linje) og avviket mellom hele Kariholas vannføring med og uten blågrønne tak (rødt). Merk at takvann i nederste panelet inkluderer overflateavrenning (OV) som oppstår når vanninnholdet i taket når lagringskapasiteten (stiplet grønn).*

Perioden april til november 2021 (figur 11) illustrerer godt at flomdempingen fra takene avhenger av hvor våte takene er forut for ny nedbør. I figur 11 har vi plukket ut to av de mest intense nedbørhendelsene, i mai og oktober 2021. I mai 2021 er det en liten flomtopp ved Karihola, til tross for at en av de mest intense nedbørhendelsene inntreffer. Det skyldes at de blågrønne takene og

nedbørfeltet er ganske tørre før nedbøren treffer, og mesteparten av nedbøren blir fordrøyd på takene og i nedbørfeltet. Det fører til en betydelig flomdemping av nedbøren. I oktober 2021 er nedbøren mer langvarig, og litt mindre intens enn i mai 2021. Flomtoppen i oktober blir mye høyere enn i mai, siden de blågrønne takene og nedbørfeltet allerede er mettet med vann, og dermed kan holde tilbake eller fordrøye mindre vann. Følgelig blir også flomdempingen mindre.




*Figur 11: Detaljer fra perioden april til november 2021 ved Karihola. Øverste panel viser nedbør og temperatur. Det midterste panelet viser simulert vannføring uten blågrønne tak (svart) og med 50 000 m² blågrønne tak (oransje). Grønn linje viser avrenning kun fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de grønne takene (mørkegrønt) og avviket i avrenning med og uten blågrønne tak for Karihola.*

Flomdempingen er mer beskjeden når kun 14 % av de tette flatene, tilsvarende 10 000 m² takflater, erstattes med blågrønne tak. Se vedlegg D for detaljer om vannføringen når 10 000 m² av de tette flatene er erstattet med blågrønne tak.

# 6 Flomdempingen avhenger av andelen blågrønne tak

Når 58–86 % av de tette flatene erstattes med blågrønne tak tilsvarende taket på Vega Scene ser vi en betydelig flomdemping på 12–33 % i urbane nedbørfelt. Det er kun på Vestli at vi også ser at de blågrønne takene forsinker flomtoppen med ett tidssteg. Når en mindre andel av de tette flatene erstattes med blågrønne tak, er flomdempingen mer beskjeden. Videre finner du detaljerte resultater for hvert av de urbane nedbørfeltene Vestli, Sandsli og Karihola.

## 6.1 Vestli

Flomdempingen på Vestli øker med andelen blågrønne tak. Når 50 000 $m^2$, tilsvarende 58 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 0,64 $m^3/s$ til 0,46 $m^3/s$ (tabell 2). Dette tilsvarer en flomdemping på 28 %. Flomtoppen forsinkes samtidig med 10 minutter (ett tidssteg).

Når 10 000 $m^2$, tilsvarende 12 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 0,64 $m^3/s$ til 0,60 $m^3/s$. Dette tilsvarer en flomdemping på 6 %. For dette scenarioet observeres ingen forsinkelse av flomtoppen.

*Tabell 2: Den største simulerte flomtoppen med og uten blågrønne tak for Vestlis nedbørfelt. Resultatene er hentet ut når 50 000 $m^2$ og 10 000 $m^2$ av de blågrønne takene erstatter de tette flatene i feltet.*

| Resultat Vestli | Blågrønne tak | |
|---|---|---|
| | **50 000 $m^2$** | **10 000 $m^2$** |
| Flomtopp **uten** blågrønne tak | 0,64 $m^3/s$ | 0,64 $m^3/s$ |
| Flomtopp med blågrønne tak | 0,46 $m^3/s$ | 0,60 $m^3/s$ |
| Reduksjon flomtopp med blågrønne tak | 0,18 $m^3/s$ | 0,04 $m^3/s$ |
| Prosentvis reduksjon i flomtopp med blågrønne tak | 28 % | 6 % |
| Tid flomtopp **uten** blågrønne tak | 07.08.2022 11:20 | 07.08.2022 11:20 |
| Tid flomtopp med blågrønne tak | 07.08.2022 11:30 | 07.08.2022 11:20 |
| Forsinkelse i flomtopp med blågrønne tak (min) | 10 min | 0 min |
| Prosent blågrønne tak av totalt areal tette flater | 58 % | 12 % |

## 6.2 Sandsli

Flomdempingen på Sandsli øker med andelen blågrønne tak. Når 10 000 m², tilsvarende 86 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 0,09 m³/s til 0,06 m³/s (tabell 3). Dette tilsvarer en flomdemping på 33 %. Det observeres ingen målbar forsinkelse av flomtoppen.

Når 5 000 m², tilsvarende 43 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 0,09 m³/s til 0,08 m³/s. Dette tilsvarer en flomdemping på 11 %. Tidspunktet for flomtoppen er uendret.

*Tabell 3: Den største simulerte flomtoppen med og uten blågrønne tak for Sandslis nedbørfelt. Resultatene er hentet ut når 10 000 m² og 5 000 m² av de blågrønne takene erstatter de tette flatene i feltet.*

| Resultat Sandsli | Blågrønne tak | |
|---|---|---|
| | 10 000 m² | 5 000 m² |
| Flomtopp **uten** blågrønne tak | 0,09 m³/s | 0,09 m³/s |
| Flomtopp med blågrønne tak | 0,06 m³/s | 0,08 m³/s |
| Reduksjon flomtopp med blågrønne tak | 0,03 m³/s | 0,01 m³/s |
| Prosentvis reduksjon i flomtopp med blågrønne tak | 33 % | 11 % |
| Tid flomtopp **uten** blågrønne tak | 08.07.2021 20:25 | 08.07.2021 20:25 |
| Tid flomtopp med blågrønne tak | 08.07.2021 20:25 | 08.07.2021 20:25 |
| Forsinkelse i flomtopp med blågrønne tak (min) | 0 min | 0 min |
| Prosent blågrønne tak av totalt areal tette flater | 86 % | 43 % |

## 6.3 Karihola

Flomdempingen på Karihola øker med andelen blågrønne tak. Når 50 000 m², tilsvarende 72 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 1,59 m³/s til 1,40 m³/s (tabell 4). Dette tilsvarer en flomdemping på 12 %.

Når 10 000 m², tilsvarende 14 % av de tette flatene, erstattes med blågrønne tak reduseres den høyeste flomtoppen fra 1,59 m³/s til 1,55 m³/s. Dette tilsvarer en flomdemping på 3 %.

Tidspunktet for flomtoppen er uendret for begge scenarioene.

*Tabell 4: Den største simulerte flomtoppen med og uten blågrønne tak for Kariholas nedbørfelt. Resultatene er hentet ut når 50 000 m² og 10 000 m² av de blågrønne takene erstatter de tette flatene i feltet.*

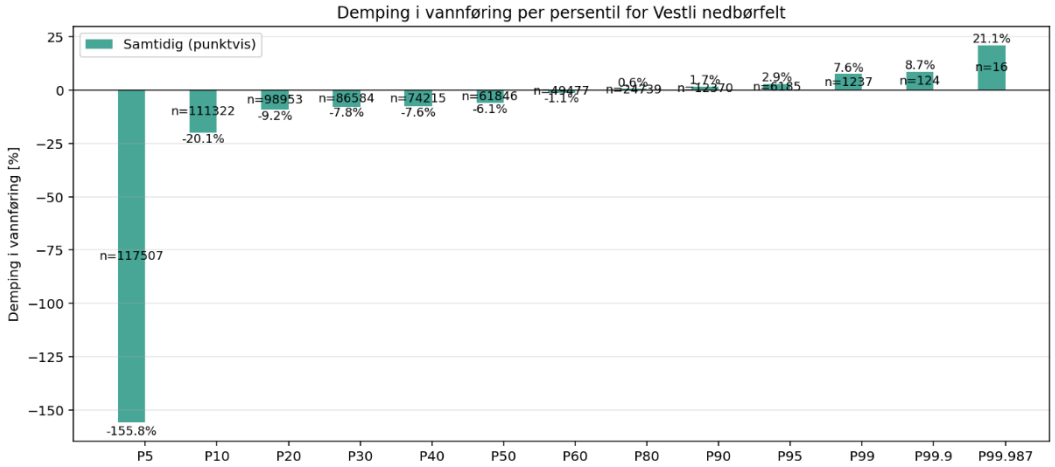
| Resultat Karihola | Blågrønne tak | |
|---|---|---|
| | 50 000 m² | 10 000 m² |
| Flomtopp **uten** blågrønne tak | 1,59 m³/s | 1,59 m³/s |
| Flomtopp med blågrønne tak | 1,40 m³/s | 1,55 m³/s |
| Reduksjon flomtopp med blågrønne tak | 0,19 m³/s | 0,04 m³/s |
| Prosentvis reduksjon i flomtopp med blågrønne tak | 12 % | 3 % |
| Tid flomtopp **uten** blågrønne tak | 14.10.2021 15:30 | 14.10.2021 15:30 |
| Tid flomtopp med blågrønne tak | 14.10.2021 15:30 | 14.10.2021 15:30 |
| Forsinkelse i flomtopp med blågrønne tak (min) | 0 min | 0 min |
| Prosent blågrønne tak av totalt areal tette flater | 72 % | 14 % |

# 7 Blågrønne tak demper de høyeste flomtoppene

Analysene viser at blågrønne tak påvirker vannføringen ved urbanstasjonene forskjellig avhengig av om vannføringen er høy eller lav. De høyeste vannføringene og flomtoppene dempes gjennomgående. Når vannføringen er lav kan de blågrønne takene i noen tilfeller øke vannføringen ved urbanstasjonen, som følge av forsinket avrenning fra de blågrønne takene.

## 7.1 Vestli

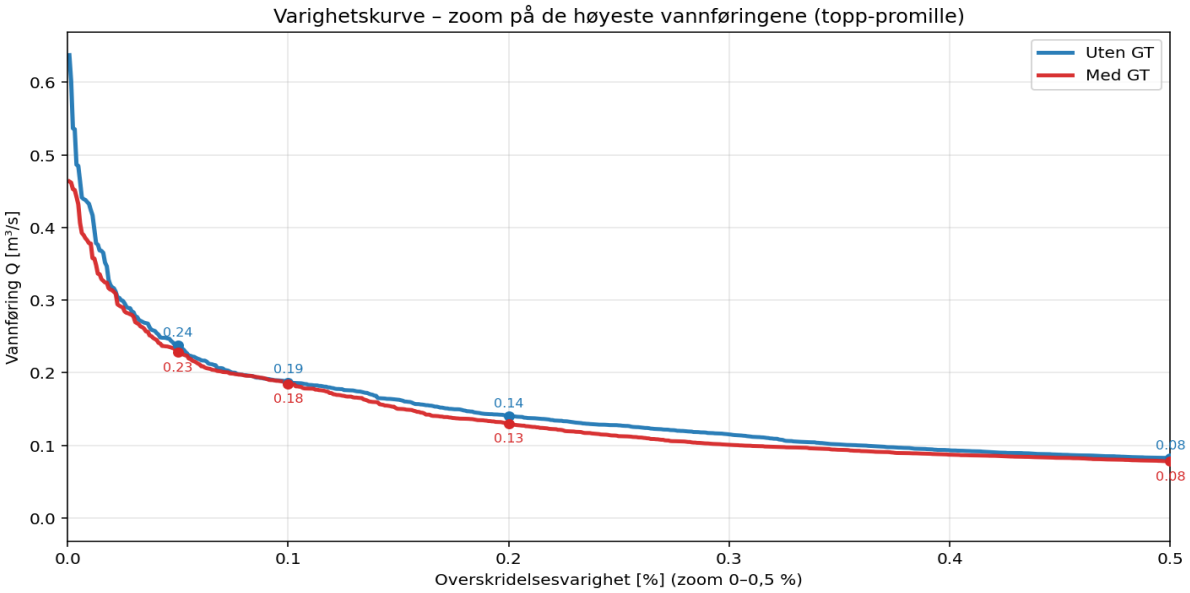
Demping i vannføring varierer med vannføringsnivået (figur 12). Når også lavere vannføringer inngår i utvalget, er dempingen liten eller negativ, mens de høyeste vannføringene dempes betydelig. De blågrønne takene er flomdempende fra omtrent 90-persentilen, det vil si de 10 % høyeste vannføringene, og høyere.




*Figur 12: Viser demping i vannføring i % med 50 000 m² blågrønne tak. Hver søyle viser gjennomsnittlig prosentvis demping for alle tidssteg med vannføring over den angitte persentilgrensen, beregnet fra scenarioet uten blågrønne tak. Vi sammenligner vannføringen for det samme tidspunktet med og uten blågrønne tak. Det er en klar økning i flomdemping for de høyeste flomtoppene. Ved liten vannføring kan de blågrønne takene øke vannføringen. Antall observasjoner (n) i figuren viser hvor mange tidssteg som ligger til grunn for resultatene.*

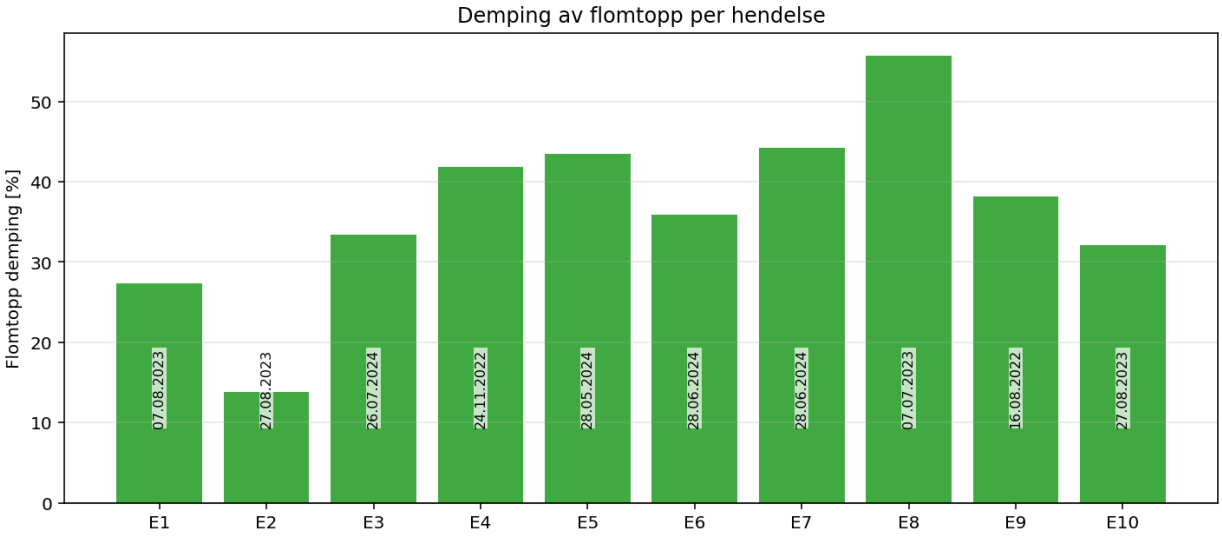
For utvalget over P5 er dempingen −155,8 %. Dempingen nærmer seg null når persentilgrensen økes til P80. Fra P90 og oppover er dempingen positiv og øker mot de høyeste vannføringene. Resultatene viser dermed at blågrønne tak primært reduserer de største vannføringene. Vannet omfordeles i tid ved at flomtoppene reduseres, mens vannføringen kan være høyere ved lave og middels vannføringer etter nedbørhendelsen. Resultatene for de høyeste persentilene er basert på et begrenset antall observasjoner.

Figur 13 viser varighetskurven for de 0,5 % høyeste vannføringene ved Vestli med og uten blågrønne tak. Kurven med blågrønne tak ligger hovedsakelig under kurven uten blågrønne tak, noe som viser at de høyeste vannføringene reduseres. Forskjellen mellom kurvene er størst for de aller høyeste vannføringene, noe som indikerer at effekten av de blågrønne takene er størst for de største flomtoppene.




*Figur 13: Varighetskurve, men med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Vestli nedbørfelt med blågrønne tak (50 000 m²) og uten blågrønne tak. Figuren viser at vannføringen er størst uten blågrønne tak.*

Vi har hentet ut de ti største enkeltstående simulerte flomhendelsene ved Vestli og sett på den prosentvise forskjellen i flomtoppene med og uten blågrønne tak. Som vist i tabell 2 kan de blågrønne takene forsinke tidspunktet for flomtoppene, og derfor har vi sammenlignet de høyeste flomtoppene i en flomhendelse, uavhengig av tidspunktet for når flomtoppen inntreffer. I figur 14 ser vi at de blågrønne takene demper alle de ti høyeste flomtoppene i simuleringsperioden mai 2022 til september 2024. Dempingen varierer fra omtrent 12 % til nesten 55 %. Gjennomsnittlig flomdemping for de ti hendelsene er ca. 36 %. For å undersøke om resultatene også er representative for et større antall hendelser, ble analysen utvidet til de 100 største hendelsene i simuleringsperioden. Også for dette utvalget ble det funnet betydelig demping, med en gjennomsnittlig reduksjon i vannføring på om lag 32 %.

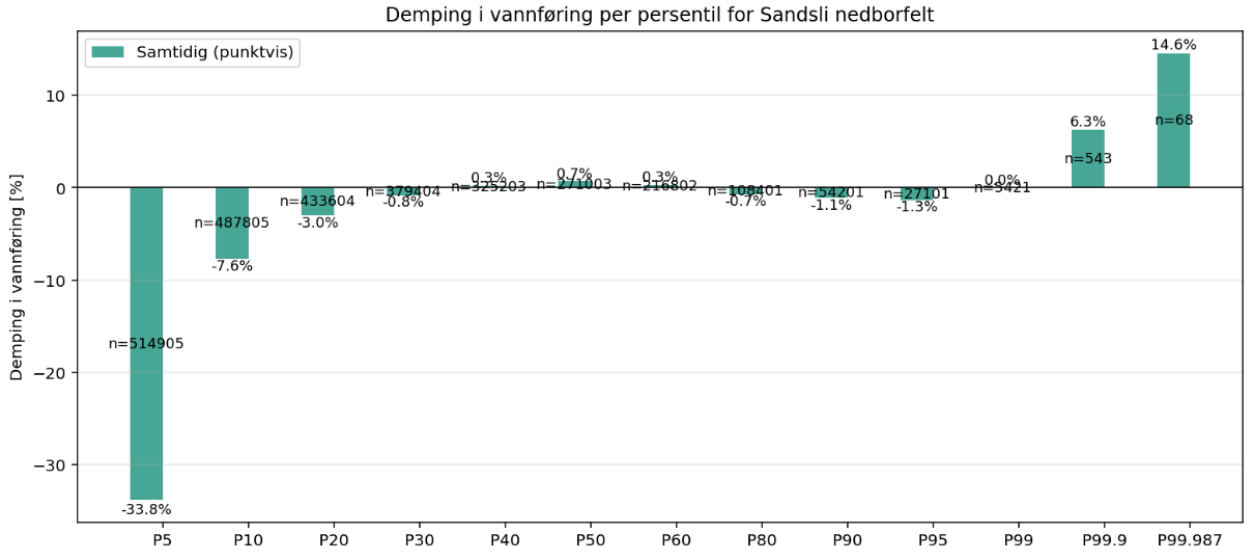



*Figur 14: Viser flomdemping med 50 000 m² blågrønne tak for de 10 største flomhendelsene ved Vestli. E1 er den største flomhendelsen og E10 den minste. Alle hendelsene har betydelig flomdemping.*

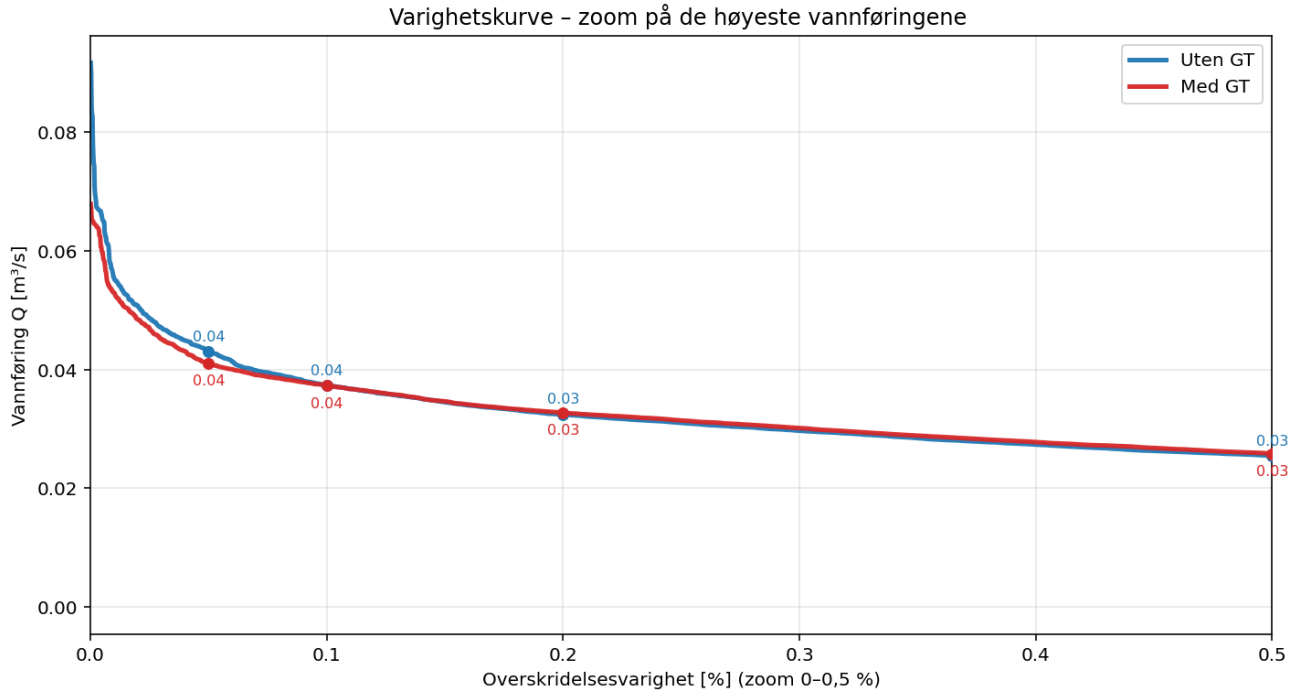
Tilsvarende analyser som i figur 12, figur 13 og figur 14 for Vestli er også gjort med 10 000 m² blågrønne tak. Disse resultatene finner du i vedlegg D.

## 7.2 Sandsli

Figur 15 viser prosentvis demping i vannføring per tidsskritt ved ulike persentiler for Sandsli nedbørfelt, beregnet som forskjellen mellom simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. For alle persentiler under P99 er dempingen negativ eller nær 0, noe som indikerer en liten økning i vannføring med blågrønne tak. Ved de aller høyeste persentilene (P99.9 og høyere) er dempingen positiv, med størst demping ved de høyeste vannføringene. Samlet viser figuren at blågrønne tak demper de største vannføringene, men kan øke vannføringen etter nedbørhendelser.

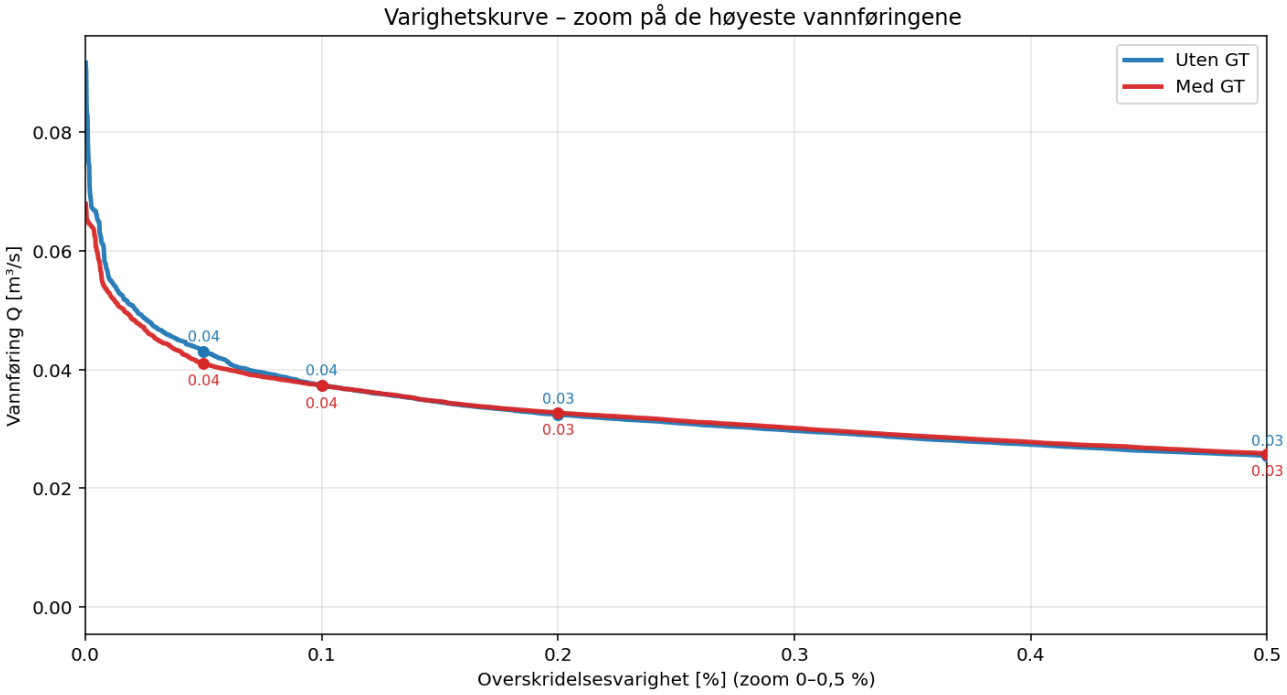



*Figur 15: Viser demping i vannføring i % med 10 000 m² blågrønne tak ved Sandsli. Vi sammenligner vannføringen for det samme tidspunktet med og uten blågrønne tak. Det er en klar økning i flomdemping for de høyeste flomtoppene. Ved liten vannføring kan de blågrønne takene øke vannføringen.*



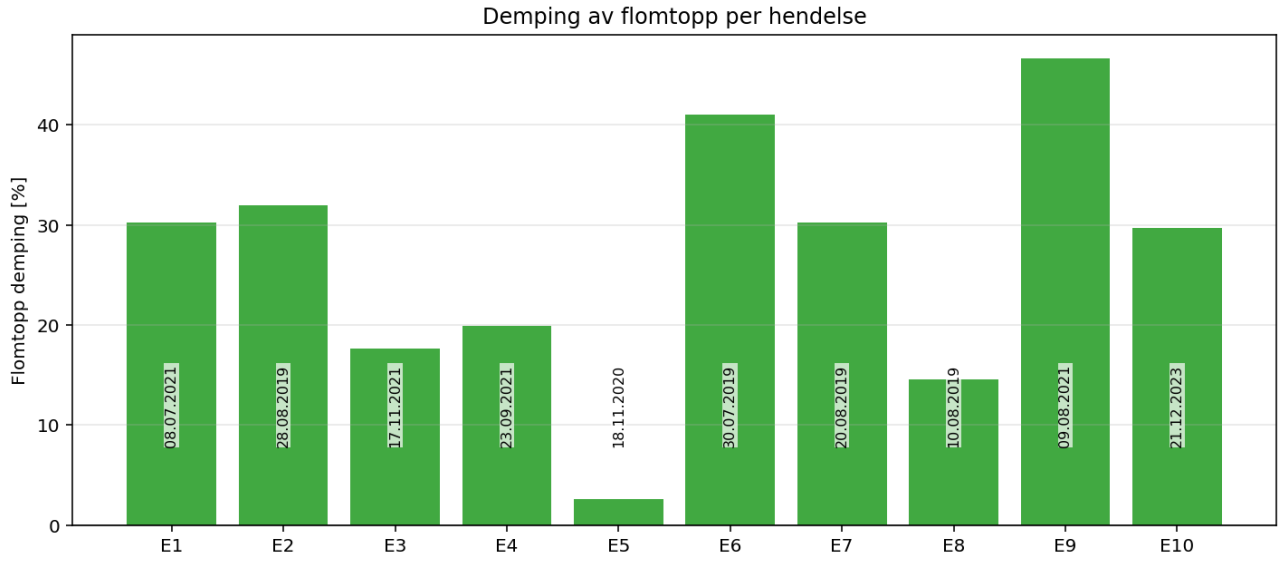

Figur 16 viser varighetskurver for de høyeste vannføringene i Sandsli nedbørfelt, med zoom på området 0-0,5 % overskridelsesvarighet, for simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. Kurvene ligger tett gjennom hele intervallet, men for de aller høyeste vannføringene ligger kurven

uten blågrønne tak over kurven med blågrønne tak. Dette viser at de største vannføringene reduseres når blågrønne tak inkluderes i modellen, og at flomdempingen er størst for de kraftigste hendelsene.




*Figur 16: Varighetskurve, men med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Sandslis nedbørfelt med blågrønne tak (10 000 m²) og uten blågrønne tak. Figuren viser at vannføringen er størst uten blågrønne tak.*

Figur 17 viser flomdemping i flomtoppen for de ti største hendelsene ved Sandsli, beregnet som prosentvis forskjell i flomtopp mellom simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. Alle hendelsene viser flomdemping, og flere av hendelsene har en reduksjon i flomtoppen på over 40 %. Samtidig viser én hendelse nesten ingen flomdemping, noe som illustrerer at effekten varierer betydelig mellom hendelsene. Gjennomsnittlig flomdemping for de 10 hendelsene er om lag 27 %. For å undersøke om resultatene også er representative for et større antall hendelser, ble analysen utvidet til de 100 største hendelsene i simuleringsperioden. Også for dette utvalget ble det funnet betydelig demping, med en gjennomsnittlig reduksjon i vannføring på om lag 12 %.

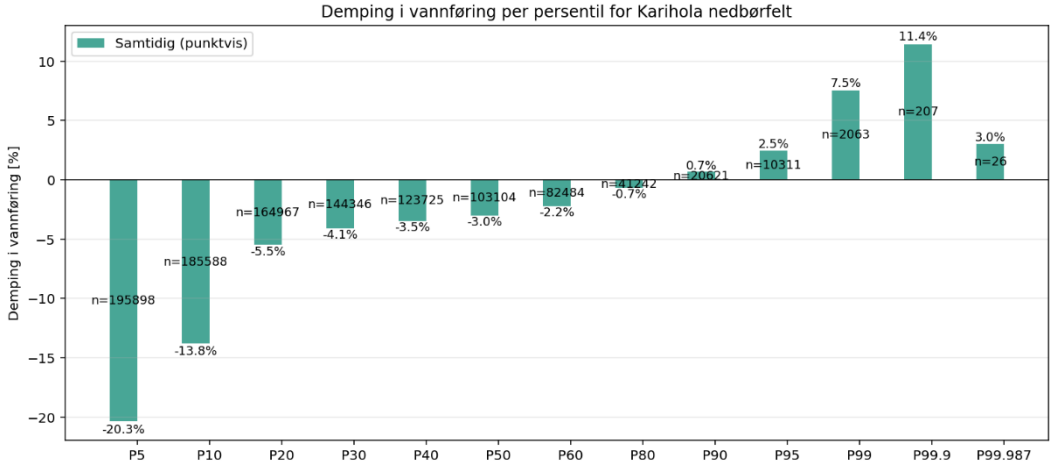



*Figur 17: Viser flomdemping med 10 000 m² blågrønne tak for de 10 største flomhendelsene ved Sandsli. E1 er den største flomhendelsen og E10 den minste. Alle hendelsene, utenom én 18. november 2020, har betydelig flomdemping.*

## 7.3 Karihola

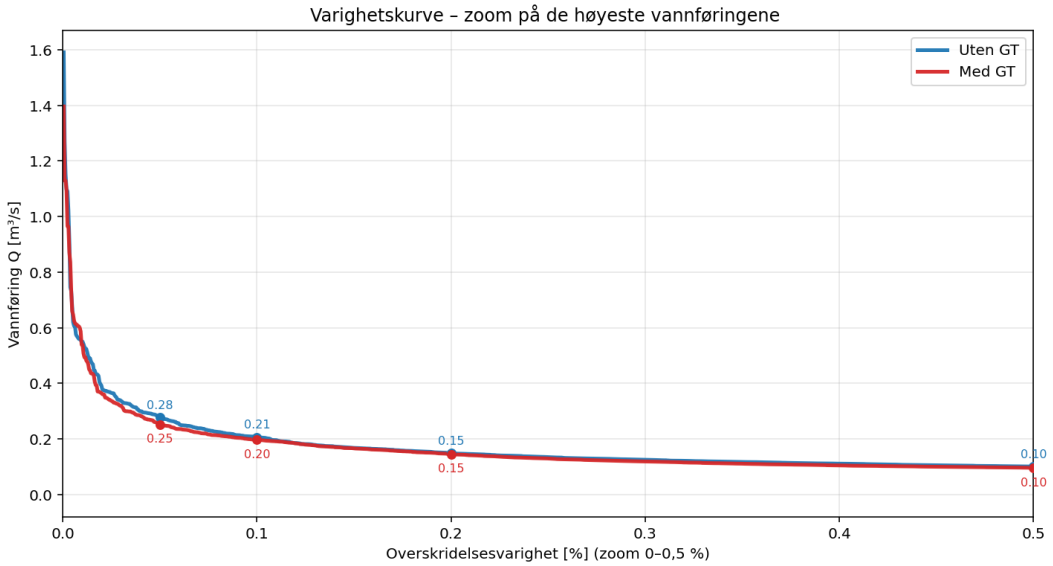
Figur 18 viser prosentvis demping i vannføring ved ulike persentiler for Karihola nedbørfelt, beregnet som forskjellen mellom simuleringer med og uten 50 000 m² blågrønne tak. For lave persentiler (P5-P80) er dempingen negativ, noe som indikerer økt vannføring med blågrønne tak. Effekten avtar mot høyere persentiler, og rundt P80-P90 er endringen liten og nær null.

For høye persentiler (P95 og høyere) er flomdempingen positiv og øker mot de høyeste vannføringene. Ved P99,987 er den beregnede dempingen noe lavere, men resultatet er basert på et svært begrenset antall observasjoner. Samlet viser figuren at 50 000 m² blågrønne tak reduserer de høyeste vannføringene i Karihola, mens dempingen er negativ når også lavere vannføringer inngår i utvalget.



*Figur 18: Prosentvis endring i modellert vannføring med 50 000 m² blågrønne tak ved ulike persentiler. Flomdempingen øker med økende vannføring. Ved lave vannføringer kan vannføringen være høyere med blågrønne tak, mens de høyeste vannføringene dempes.*

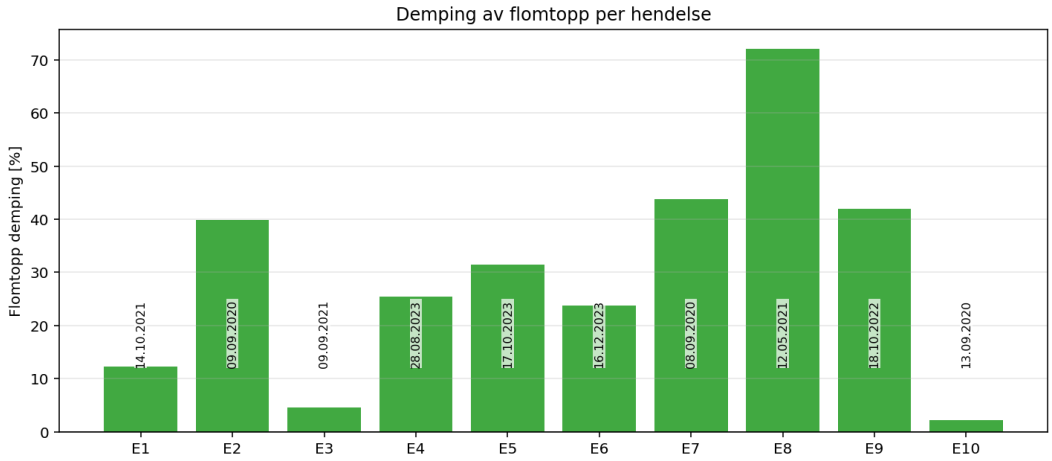
Figur 19 viser varighetskurver for de høyeste vannføringene i Karihola nedbørfelt, med zoom på området 0-0,5 % overskridelsesvarighet, for simuleringer med og uten 50 000 m² blågrønne tak. Kurven med blågrønne tak ligger gjennomgående under kurven uten blågrønne tak for de høyeste vannføringene. Forskjellen mellom kurvene er størst ved de høyeste vannføringene og avtar gradvis mot lavere, men fortsatt høye vannføringer. Resultatene viser at blågrønne tak reduserer de største vannføringene i Karihola.




*Figur 19: Varighetskurver med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Karihola nedbørfelt med og uten 50 000 m² blågrønne tak. Forskjellen mellom scenarioene er størst for de høyeste vannføringene, hvor vannføringen er lavere med blågrønne tak*.

Figur 20 viser demping i flomtopp per hendelse for Karihola nedbørfelt for de 10 største hendelsene, beregnet som prosentvis forskjell i flomtopp mellom simuleringer med og uten 50 000 m² blågrønne tak. For samtlige hendelser er dempingen positiv, og flere hendelser viser en betydelig reduksjon i flomtoppen. Den største dempingen observeres i hendelse E8, med en reduksjon på i overkant av 70 %.

For de øvrige hendelsene varierer dempingen fra noen få prosent til over 40 %. Figuren viser dermed en gjennomgående reduksjon i flomtopp på hendelsesnivå ved bruk av blågrønne tak, med betydelig variasjon i effekt mellom hendelser. Gjennomsnittlig flomdemping for de 10 hendelsene er ca. 30 %. For å undersøke om resultatene også er representative for et større antall hendelser, ble analysen utvidet til de 100 største hendelsene i simuleringsperioden. Også for dette utvalget ble det funnet betydelig demping, med en gjennomsnittlig reduksjon i vannføring på om lag 33 %.




*Figur 20: Viser flomdemping med 50 000 m² blågrønne tak for de 10 største modellerte flomhendelsene. E1 er størst og E10 minst. De fleste hendelsene har betydelig flomdemping.*

# Del 3 – Diskusjon og konklusjon

Denne delen diskuterer hvilke forhold som påvirker flomdempingen og oppsummerer hovedfunnene fra studien.

# 8 Diskusjon

Resultatene viser at blågrønne tak demper flomtoppene i alle de tre urbane nedbørfeltene, men effekten varierer mellom nedbørfeltene, årstider og nedbørhendelser. Flomdempingen påvirkes særlig av hvor våte takene og nedbørfeltene er før nedbøren starter. Ved enkelte hendelser kan forsinket avrenning fra takene sammenfalle med avrenningen fra resten av feltet og gi høyere vannføring ved utløpet av nedbørfeltet enn uten blågrønne tak. I dette kapitlet diskuterer vi hva som påvirker den flomdempende effekten, og hvilke begrensninger som ligger i analysene.

## 8.1 Flomdempingen avhenger av hvor våte takene er

Alle nedbørfeltene er simulert over flere år, slik at analysene omfatter mange nedbørhendelser med ulik varighet og intensitet. På den måten får vi også simulert hvordan de blågrønne takene responderer på både korte og intense nedbørhendelser, og for mer langvarige nedbørhendelser.

Om høsten ser vi flere eksempler på at flomtoppen ikke blir redusert like mye som om sommeren. Den simulerte metningsgraden på de blågrønne takene tyder på at takene i perioder om høsten allerede inneholder mye vann når ny nedbør kommer. Figur 7, figur 9 og figur 11 (kapittel 5) viser detaljer fra episoder hvor de blågrønne takene allerede er mettet med vann for henholdsvis Vestli, Sandsli og Karihola. Eksemplene viser at for Vestli er det ingen flomdemping, og vannføringen kan i perioder bli høyere med blågrønne tak enn uten. For Sandsli viser én hendelse økt flomtopp, mens flere andre viser noe flomdemping. Fordrøyningen fra de blågrønne takene fører til økt vannføring i nedbørfeltet etter nedbørhendelsene. Økt vannføring etter en nedbørhendelse kan redusere den flomdempende effekten dersom en ny intens nedbørhendelse inntreffer før takene har drenert tilstrekkelig for å gjøre plass til nytt vann. Andre modellstudier som ser på effekt av overvannstiltak, har sett lignende resultater.

Skaugen m.fl. (2020) simulerte vannføringen i et urbant nedbørfelt på Kjelsås i Oslo med DDDUrban (DDDUrban er nå integrert i DDD). De erstattet ulike andeler av de tette flatene i nedbørfeltet med regnbed. Ved to nedbørhendelser tett etter hverandre, økte flomtoppen i nedbørfeltet etter den andre nedbørhendelsen. Det skyldtes at regnbedene var mettet etter den første nedbørhendelsen, og den forsinkede avrenningen ga en høyere vannføring etter den første nedbørhendelsen enn den ville vært uten regnbedene. Tilsvarende kan flomdempingen fra blågrønne tak reduseres når flere intense nedbørhendelser inntreffer tett etter hverandre.

Paus & Braskerud (2024) har også sett at vanninnholdet i grønne tak før et ekstremregn har mye å si for hvor stor avrenning blir fra grønne tak. De analyserte 31 ekstremhendelser og fant ut at ikke alle situasjoner med ekstremnedbør ga ekstremavrenning, men at omtrent alle situasjoner med ekstremavrenning skyldtes ekstremnedbør. Dette arbeidet viser også at vanninnholdet på takene før nedbørhendelsene i stor grad styrer flomdempingen.

Oppsummert tyder resultatene på at de blågrønne takene har størst flomdemping når det er god tid mellom nedbørhendelsene slik at takene rekker å frigjøre lagringskapasitet før neste nedbørshendelse. Hvor våte takene er før nedbøren starter ser ut til å være en av de viktigste faktorene for hvor stor flomdempingen blir.

## 8.2 Flomdemping om vinteren

Resultatene i figur 5, figur 8 og figur 10 (kapittel 5) viser også at takene kan ha en flomdempende effekt under vinterforhold. Vi ser ganske tydelig på Vestli at de blågrønne takene også demper flomtoppene i vintermånedene. I snøsmelteperioden (mars-april) er takene i perioder fulle av vann, til tross for at det er lite nedbør (figur 5), og har følgelig liten kapasitet til å dempe vannføringen fra ny nedbør. Også for Sandsli ser vi redusert flomdemping om vinteren, men det skyldes vedvarende regn og beskjeden fordampning som opprettholder høy metning i takene (figur 8). For Karihola ser vi god flomdemping også i vintermånedene (figur 10), selv om vår tidsserie ikke dekker svært kalde perioder. At flomdempingen om vinteren også er god stemmer godt med Braskerud & Paus (2023) som fant en volumreduksjon på 16–31 % i observert avrenning fra et ekstensivt grønt tak i Oslo, i den snødekte perioden fra år 2009 til 2020. Resultatene tyder dermed på at blågrønne tak også kan bidra til flomdemping om vinteren, men at effekten varierer med metningsgrad, fordampning og snøforhold.

## 8.3 Variasjon mellom nedbørfelt i flomdemping fra blågrønne tak

De urbane nedbørfeltene viser ulik grad av flomdemping for alternativet med høyest andel av blågrønne tak (tabell 5). Forskjellene mellom feltene er imidlertid relativt små, og varierer avhengig av om flomdempingen vurderes for de 10 eller 100 største hendelsene. Vestli har høyest gjennomsnittlig flomdemping mens Sandsli har lavest hvis man ser på gjennomsnittet av flomdemping for de 10 største vannføringene. For de 100 største hendelsene er den gjennomsnittlige dempingen høyest for Karihola, tett fulgt av Vestli, mens Sandsli fortsatt har lavest demping.

Vestli viser ganske god flomdemping spesielt om sommeren, men de blågrønne takene demper mindre når vannmetningen i takene allerede er høy (figur 7). Sandsli viser ganske god flomdemping om sommeren med bygepreget nedbør og høy fordampning, men en ganske beskjeden effekt etter tilfeller med langvarige nedbørstilfeller spesielt om høsten (figur 9). Karihola viser god flomdemping med de blågrønne takene selv for nedbørhendelser med vedvarende regn og varierende intensitet.

For å kunne gi konkrete anbefalinger om bruk av blågrønne tak som flomreduserende tiltak, trenger vi å forstå hva som forklarer variasjonen i flomdemping mellom nedbørfeltene. I tabell 5 har vi listet opp noen nedbørfeltkarakteristikker som muligens kan forklare hvorfor flomdempingen varierer mellom nedbørfeltene.

*Tabell 5: Nedbørfeltkarakteristikk som er målt og beregnet for Vega Scene, Vestli, Sandsli og Karihola for scenario 1. *Middelavrenning er beregnet fra observerte vannføringsdata og angir gjennomsnittlig avrenning fra nedbørfeltet i analyseperioden, uttrykt i mm/døgn.*

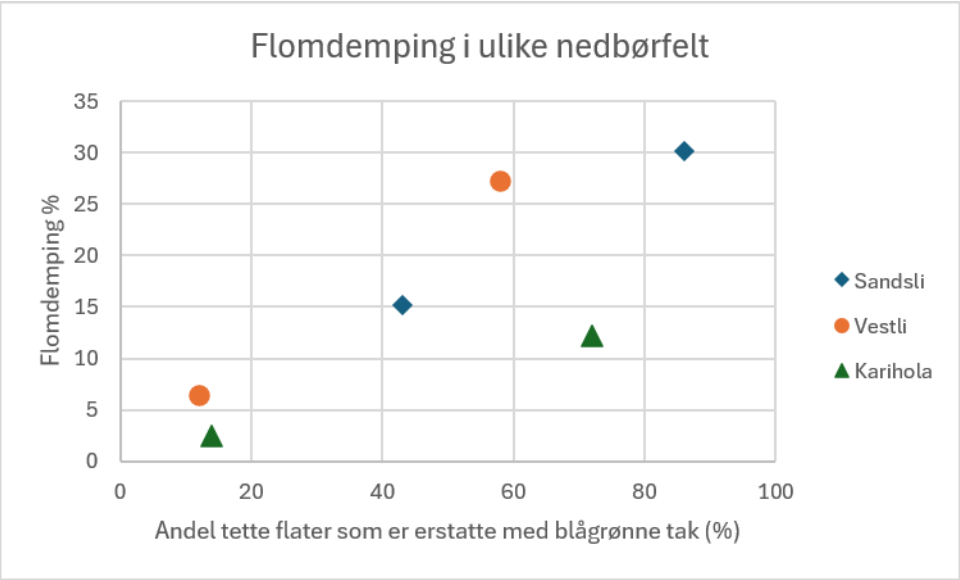
| | Vega Scene | Vestli | Sandsli | Karihola |
|---|---|---|---|---|
| | Areal BGT | 50 000 $m^2$ | 10 000 $m^2$ | 50 000 $m^2$ |
| Gjennomsnittlig flomdemping for de 10 største flomhendelsene | | 36 % | 27 % | 30 % |
| Gjennomsnittlig flomdemping for de 100 største flomhendelsene | | 32 % | 12 % | 33 % |
| Middelhastighet grunnvann/takvann i nedbørsfelt/blågrønt tak [m/s] | $1{,}1*10^{-5}$ | $7{,}1*10^{-5}$ | $25*10^{-5}$ | $12*10^{-5}$ |
| Forhold hastighet nedbørfelt/blågrønne tak | 1 | 6,4 | 22,7 | 10,9 |
| Prosent av totalt areal tette flater i feltet de blågrønne takene utgjør | | 58 % | 86 % | 72 % |
| Prosent av blågrønne tak i forhold til nedbørfeltarealet | | 12 % | 17 % | 20 % |
| Middelavrenning [mm/døgn]* | | 0,92 | 4,95 | 2,28 |

Det er ingen tydelig sammenheng mellom flomdempingen og andelen blågrønne tak mellom nedbørfeltene. Vestli har lavest fraksjon blågrønne tak i forhold til totalt areal tette flater, men viser likevel god flomdemping. Tilsvarende ser vi at Karihola har noe høyere gjennomsnittlig flomdemping enn Vestli når de 100 største hendelsene legges til grunn. Resultatene tyder derfor på at lokale hydrologiske forhold i nedbørfeltet kan være vel så viktige som andelen blågrønne tak. Både middelavrenning og vannets hastighet i nedbørfeltet viser mønstre som kan være relevante for å forklare forskjeller i flomdemping mellom feltene. En mulig forklaring er at forhold som gir høy middelavrenning, også kan føre til at de blågrønne takene oftere er helt eller delvis mettet ved starten av nye nedbørhendelser. Dette reduserer tilgjengelig lagringsvolum og dermed den flomdempende effekten. Datagrunnlaget er imidlertid begrenset til tre nedbørfelt, og sammenhengene bør derfor betraktes som indikasjoner heller enn generelle konklusjoner.

## 8.4 Betydning av omfanget av blågrønne tak

Flomdempingen fra blågrønne tak i urbane nedbørfelt øker med økende andel blågrønne tak i nedbørfeltet. For Vestli økte flomdempingen fra 6 % til 28 % for den høyeste flomtoppen når andelen blågrønne tak som erstattet de tette flatene økte fra 12 % til 58 % (tabell 2). Tilsvarende ser vi også en økning i flomdempingen for Sandsli og Karihola for den største flomtoppen når andelen blågrønne tak øker (tabell 3 og tabell 4).

Resultatene viser at økt andel blågrønne tak gir økt flomdemping i alle de undersøkte nedbørfeltene (figur 21). Samtidig varierer størrelsen på flomdempingen mellom feltene. Dette tyder på at flomdempingen ikke bare styres av arealet med blågrønne tak, men også av hydrologiske forhold i takene og nedbørfeltene. Analysene i kapittel 8.3 viser tilsvarende at forskjellene mellom feltene ikke kan forklares av arealandel alene.




*Figur 21: Flomdemping fra den største simulerte flomtoppen fra de urbane nedbørfeltene. Flomdempingen øker når andel tette flater erstattes med blågrønne tak.*

Ved Vestli ser vi en variasjon i flomdempingen mellom de største flomtoppene (figur 14) fra omtrent 12 til 55 % flomdemping for samme andel blågrønne tak. Ved Sandsli nedbørfelt gir de blågrønne takene en tydelig reduksjon i flomtoppen for ni av de 10 største flomtoppene (figur 17). Flomdempingen varierer fra omtrent 3 til 45 %. Ved Karihola varierer flomdempingen for de 10 største flomtoppene fra noen få prosent til over 70 % for samme andel blågrønne tak, og dette er feltet hvor vi observerer den største spredningen og variasjonen i dempingen. Variasjonen mellom hendelsene tyder på at flomdempingen påvirkes av både nedbørens varighet og intensitet, samt hvor våte takene og nedbørfeltet er før nedbørhendelsen.

Vestli er det eneste nedbørfeltet hvor det observeres en forsinkelse i tidspunktet for den største flomtoppen. Manglende observert forsinkelse ved Sandsli og Karihola kan delvis skyldes valgt tidsoppløsning. En finere tidsoppløsning kunne muligens avdekket mindre tidsforsinkelser.

Resultatene fra persentilanalyser og varighetskurver viser at flomdempingen primært er knyttet til de høyeste vannføringene for alle de urbane nedbørfeltene. Ved lavere vannføringer kan vannføringen med de blågrønne takene være høyere enn uten. Dette skyldes at avrenningen forskyves i tid ved at flomtoppene reduseres og vann lagres midlertidig, før det senere dreneres ut.

Flomdempingen avhenger både av hvor stor andel av nedbørfeltet som dekkes av blågrønne tak, og av hvor våte takene og nedbørfeltet er før en nedbørhendelse. Særlig har metningsgraden i både de blågrønne takene og resten av nedbørfeltet stor betydning for hvor mye vann som kan holdes tilbake. Resultatene viser likevel tydelig at et større omfang av blågrønne tak som regel gir økt flomdemping.

## 8.5 Restriktor øker flomdempingen ytterligere

Når vi har simulert de blågrønne takene i de urbane nedbørfeltene har vi basert det på hvordan det blågrønne taket på Vega Scene oppfører seg. Vi har analysert vannføringsdataene for Vega Scene med og uten restriktor (vedlegg B.2). Resultatene fra analysen indikerer at restriktoren bidrar til en større flomdemping enn kun de blågrønne takene alene. Mens vegetasjons- og substratlag på takene bidrar til midlertidig lagring og fordamping, gir restriktoren en ytterligere forsinkelse ved å strupe utløpet fra taket.

Effekten av restriktoren er størst ved de høyeste flomtoppene (figur 31, vedlegg B.2.), der den eksisterende lagringskapasiteten kan utnyttes i større grad. Restriktoren bidrar til å redusere flomtoppene og jevne ut vannføringen etter en nedbørhendelse. Samtidig viser resultatene at restriktoren gir liten gjennomsnittlig demping når også lavere vannføringer inngår i utvalget, noe som tyder på at restriktorens betydning først og fremst er knyttet til høye vannføringer. Dette indikerer at restriktor kan være et målrettet tiltak for flomdemping under mye nedbør, forutsatt at de blågrønne takene ikke allerede er mettet.

Det totale simulerte vannvolumet fra taket er noe lavere med restriktor (figur 32, vedlegg B.2.). Dette kan skyldes økt fordamping som følge av lengre oppholdstid på taket.

## 8.6 Usikkerheter og begrensninger

**REPRESENTATIVITET AV NEDBØRFELTENE**

Analysene er basert på tre urbane nedbørfelt. Selv om feltene representerer ulike typer urbane områder, gir det begrensede antallet felt en usikkerhet knyttet til hvor godt resultatene kan generaliseres til andre urbane nedbørfelt med andre egenskaper.

**BEGRENSNINGER I DEN HYDROLOGISKE MODELLEN**

De permeable og impermeable flatene blir i DDD-modellen behandlet som en arealfraksjon av det totale arealet. For hver arealfraksjon blir det beregnet en fordeling av avstander til elvenettverket. Denne avstandsfordelingen og vannets hastigheter beskriver avrenningsdynamikken til nedbørsfeltet. Det vil si at den geografiske plassering av de permeable og impermeable flatene innad i nedbørfeltet ikke blir tatt hensyn til utover avstandsfordelingene. Videre vil sluk, veikanter, grøfter eller lokale forsenkninger som ikke er tatt hensyn til via avstandsfordelingene ikke bli fanget opp av modellen, selv om de kan påvirke vannføringen.

**ERSTATNING AV TETTE FLATER MED BLÅGRØNNE TAK**

I alle nedbørfeltene blir tette flater som hustak og veier erstattet av blågrønne tak. Andelen av de tette flatene som erstattes med blågrønne tak er opptil 58 % for Vestli, 72 % for Karihola og 86 % for Sandsli. Å erstatte mesteparten av de tette flatene med blågrønne tak er lite realistisk, og vi har derfor også sett på et mer realistisk scenario hvor de tette flatene erstattes med blågrønne tak tilsvarende 12 % for Vestli, 43 % for Sandsli og 14 % for Karihola. Flomdempingen ble følgelig også mer beskjeden. Scenarioene med høy andel blågrønne tak illustrerer potensialet for flomdemping ved bruk av blågrønne tak eller tiltak med tilsvarende funksjon på andre tette flater som f.eks. veier, gangveier osv.

**NEDBØRFELTAVGRENSING OG MÅLEDATA**

Det er usikkerhet knyttet til nedbørfeltgrensen, nedbørfeltarealet og måledataene fra urbanstasjonene. Dette påvirker usikkerheten i absolutte vannføringer. Vi vurderer at dette har mindre betydning for de relative forskjellene mellom scenarioene med og uten blågrønne tak, som har vært grunnlaget for analysene i denne rapporten.

**VALG AV SIMULERINGSPERIODE KAN PÅVIRKE RESULTATENE**

Simuleringsperiodene for feltene Vestli, Sandsli og Karihola varierer fra 28 måneder til fem år. Vestli er nedbørfeltet med kortest simuleringsperiode på 28 måneder, mai 2022 til september 2024, og har kun tre sommersesonger, hvor de mest intense regnbygene inntreffer (Dyrrdal m.fl., 2025, s. 82). Det kan påvirke resultatene. Generelt vil en kortere tidsserie medføre større usikkerhet og svekke styrken i konklusjonene vi trekker fra arbeidet.

# 9 Konklusjon

Blågrønne tak kan være et nyttig supplement i overvannshåndtering ved å redusere de høyeste flomtoppene i urbane nedbørfelt. Effekten avhenger imidlertid både av omfanget av blågrønne tak og av de hydrologiske forholdene i takene og nedbørfeltet. Tiltaket alene kan derfor ikke forventes å gi stor flomdemping i alle nedbørfelt eller for alle nedbørhendelser.

### BLÅGRØNNE TAK DEMPER DE STØRSTE FLOMTOPPENE

Denne studien viser at blågrønne tak kan bidra til å dempe flomtopper i urbane nedbørfelt. Effekten er størst ved høye vannføringer og de største flomhendelsene. For de ti største flomhendelsene varierer flomdempingen fra nær 0 % til over 70 % i de tre undersøkte nedbørfeltene.

### BLÅGRØNNE TAK DEMPER IKKE ALLE FLOMHENDELSER

Selv om blågrønne tak gjennomgående reduserer de største flomtoppene, viser resultatene at effekten varierer mellom hendelser. I enkelte situasjoner kan flomtoppen bli like høy eller høyere enn uten blågrønne tak. Dette skjer når takene allerede er mettet, samtidig som forsinket avrenning fra takene sammenfaller med avrenningen fra resten av nedbørfeltet.

### FLOMDEMPINGEN AVHENGER AV HVOR VÅTE TAKENE ER

Hvor våte takene er før en nedbørhendelse starter ser ut til å være en av de viktigste faktorene for hvor stor flomdempingen blir. Tak med tilgjengelig lagringskapasitet kan holde tilbake og forsinke mer vann enn tak som allerede er mettet. Flomdempingen er derfor som regel størst når det er tilstrekkelig tid mellom nedbørhendelsene til at takene rekker å frigjøre lagringskapasitet.

### BLÅGRØNNE TAK OMFORDELER VANNET I TID

Persentilanalyser og varighetskurver viser at blågrønne tak påvirker vannføringen forskjellig avhengig av hvor stor vannføringen er. Ved lave og moderate vannføringer er vannføringen ofte høyere med blågrønne tak som følge av forsinket avrenning. Ved høye vannføringer er effekten motsatt, og flomtoppene reduseres. Resultatene viser dermed at blågrønne tak i stor grad omfordeler vannet i tid.

### AREALET MED BLÅGRØNNE TAK ER VIKTIG

Innen hvert nedbørfelt øker flomdempingen med økende andel blågrønne tak. Samtidig viser sammenligningen mellom Vestli, Sandsli og Karihola at arealandelen alene ikke forklarer forskjellene mellom feltene. Lokale hydrologiske forhold ser også ut til å ha betydning for hvor stor flomdempingen blir. Resultatene indikerer at når mer enn halvparten av de tette flatene erstattes med blågrønne tak, kan det gi betydelig flomdemping. Samtidig kan en så stor andel med blågrønne tak i allerede utbygde områder være lite realistisk, og resultatene må derfor tolkes som et uttrykk for potensialet snarere enn faktisk gjennomførbare løsninger.

### RESTRIKTOR GIR ØKT FLOMDEMPING

Restriktor på blågrønne tak gir ytterligere flomdemping utover effekten av takets vegetasjons- og substratlag. Effekten er størst ved høye vannføringer, hvor restriktoren bidrar til å forsinke avrenningen fra de blågrønne takene og redusere flomtoppene.

### RESULTATENE MÅ TOLKES MED NOEN FORBEHOLD

Resultatene er basert på modellering av tre urbane nedbørfelt med ulike simuleringsperioder og klimatiske forhold. Det er også usikkerhet knyttet til modellstruktur, nedbørfeltavgrensning og måledata. Selv om dette påvirker størrelsen på de beregnede effektene, vurderes hovedresultatene

som solide. Modelldataene viser gjennomgående at blågrønne tak reduserer de høyeste flomtoppene, at effekten øker med andelen blågrønne tak, og at metningsgraden i takene har stor betydning for hvor stor flomdempingen blir.

# 10 Referanser


Aanderaa, T., Amundsen, S., Paus, K., Møen, K., Hanslin, H.M., Gjerde, R., Myhr, I., Amin, S. (2023). Blågrønne tak - Case: Vega Scene, Blågrønne overvannsløsninger, Oslo kommune. https://www.oslo.kommune.no/get-file/282447/7f4c3ffe53d1a3da45d635cdcc68efe7bc054dd2452c9700edfc178c4950fa19/

Braskerud, Bent. (2014). Grønne tak og styrtregn - Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo. NVE rapport 65/2014. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_65.pdf

Braskerud, B. & Paus, K. (2023). Avrenning fra ekstensive grønne tak i snødekte perioder. Vann 01/2023. Side 71-76. https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2023/06/Braskerud.pdf

Dören, L., Ree, B. L., Pedersen, A. I. & Vatne, A. (2026). Urbanstasjonsrapport : Gjennomgang av urbanstasjonsnettet og historiske data. NVE rapport 5/2026. https://publikasjoner.nve.no/rapport/2026/rapport2026_05.pdf

Dyrrdal, A.V., Bakke, S.J., Hanssen-Bauer, I., Mayer, S., Nilsen, I.B., Nilsen, J.E.Ø., Paasche, Ø., Saloranta, T., Årthun, M. [redaktører] (2025) Klima i Norge – kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2025, NCCS-rapport 1/2025, doi:10.60839/4rgq-nn84.

Gupta, H. V., Kling, H., Yilmaz, K. K., and Martinez, G. F. (2009). *Decomposition of the mean squared error and NSE performance criteria: Implications for improving hydrological modelling.* Journal of Hydrology, 377, 80–91, doi:10.1016/j.jhydrol.2009.08.003

Hanslin, H. M. & Johannessen, B. G. (2018). Grønne tak som LOD- og miljøtiltak. NIBIO rapport 4(172). https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/m1153/m1153.pdf

Energidepartementet (2024). *Meld. St. 27 (2023–2024) Tryggare framtid – førebudd på flaum og skred*. Energidepartementet.

Nash, J. E. and Sutcliffe, J. V. (1970). River flow forecasting through conceptual models, Part I – a discussion of principles. Journal of Hydrology., 10, 282–290.

Paus, K. & Braskerud, B. (2024). *Vil et 10 års regn gi 10 års-avrenning fra et grønt tak?* Vann 03/2024. Side 196-204. https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2024/10/Paus.pdf

Sivertsen, E., Bruaset, S.,. Maurin, N., Abdalla, E. M. H. & Raspati, G.S. (2023). Overvannshåndtering med fordrøyende tak. Klima 2050 Report No 47. https://nva.sikt.no/registration/0198cc4fb4b3-61110d02-4f26-4644-85d1-c0e7c1ec45dc

Skaugen, T. and C. Onof. (2014). A rainfall runoff model parameterized from GIS and runoff data. Hydrol. Process. 28, 4529-4542, DOI:10.1002/hyp.9968

Skaugen, T., Stavang, A. E., Lawrence, D. and Møen, K. M. (2023). Catchment response times–understanding runoff dynamics from catchment distances and celerities. Hydrol. Sciences Journal, https://doi.org/10.1080/02626667.2023.2201449, 2023

Skaugen, T., Lawrence, D. og Ortega R. Z. (2020). A parameter parsimonious approach for catchment scale urban hydrology – Which processes are important? Journal of Hydrology X, 8, https://doi.org/10.1016/j.hydroa.2020.100060

Skaugen, T., Mengistu, Z., Peerebom, I.O. and Wong, W.K. (2026). HYDROLOGICAL SIMULATION FOR EVERYWHERE, NVE rapport 23/2026. ISBN: 978-82-410-2563-1, ISSN: 2704-0305, Case number: 202614660, 2026.

Storteig, I., Skaugen, T. og Ortega, R. (2023). Simulering av NVEs urbanfelt med urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell (DDDUrban). NVE rapport 34/2023.
https://publikasjoner.nve.no/rapport/2023/rapport2023_34.pdf

Viker-Walsøe, A. og J-S. Valle. (2020). Grønne tak med magasinerende sjikt: hydrologisk effekt og avrenningsmodellering med DDD-modellen, masteroppgave NMBU https://hdl.handle.net/11250/2681575

# Vedlegg A – detaljer om dataene

## A.1. Historikk måledata fra grønne tak

NVE begynte allerede i 2009 å samle inn måledata fra grønne tak, og i dag mottar NVE måledata fra fem grønne og blågrønne tak. Formålet med målingene er å forstå de hydrologiske prosessene som skjer på takene.

I 2009 ble det første taket i Oslo (Langmyrgrenda) instrumentert, og det samles fortsatt inn data fra dette taket i dag.

I 2014 ble ytterligere tre forsøksanlegg etablert i Sandnes, Bergen og Trondheim. Disse besto av ulike typer små ekstensive grønne tak og ble oppført i samarbeid med de respektive kommunene. Forsøkstakene i Sandnes og Trondheim ble nedlagt tidlig på 2020-tallet. Anlegget i Bergen er fortsatt i drift av Bergen kommune, mens NVE har ansvar for datainnsamlingen.

I 2018 ble det etablert et forsøksanlegg på NMBUs campus i Ås, bestående av tre parallelle takflater på 50 $m^2$ hver. To av takene er utformet som semi-intensive blågrønne tak, mens det tredje fungerer som et svart referansetak. Denne forsøksinstallasjonen er fortsatt i drift. For tiden blir takene oppgradert med styrt avrenning for å optimalisere fordrøyningskapasiteten og den flomdempende effekten.

I 2019 instrumenterte NVE det første fullskala taket ved Vega Scene. Dette er et semi-intensivt blågrønt tak med et areal på ca. 800 $m^2$, lokalisert i Oslo sentrum. Senere i 2023 fulgte instrumenteringen av taket på Storbylegevakten nord i Oslo, som på dette tidspunktet var under oppføring. Her overvåkes pågående hydrologiske prosesser på en takflate på ca. 2 000 $m^2$.

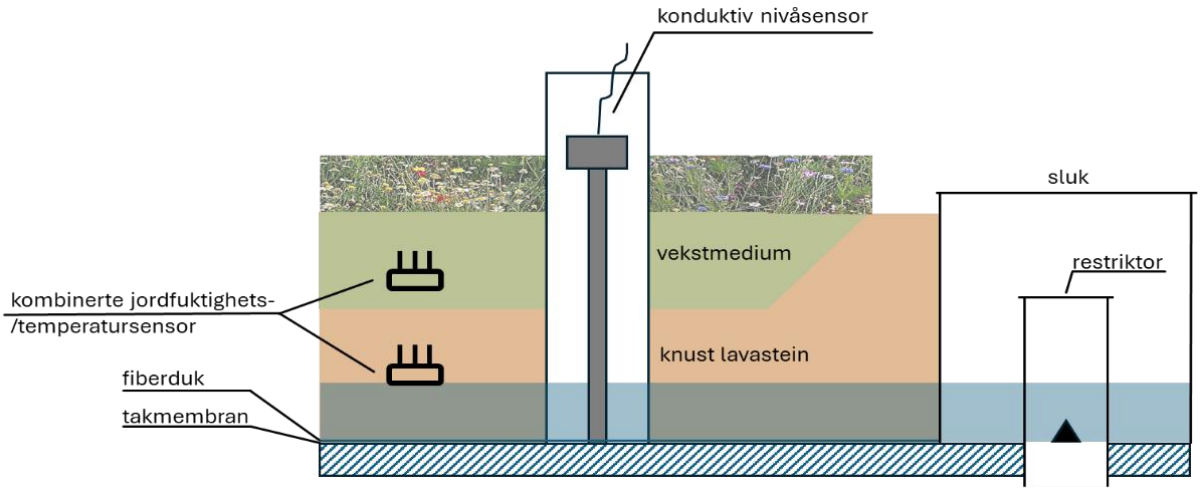
Fullstendig oversikt over de grønne og blågrønne takene som NVE måler finner du i tabell 6.

*Tabell 6: Blågrønne og grønne tak instrumentert av NVE – data tilgjengelig på Sildre.nve.no*

| *Instrumenterte tak* | *Etablert* | *Nedlagt* | *Type* |
|---|---|---|---|
| Oslo - Langmyrgrenda | 2009 | i drift | ekstensive forsøkstak |
| Bergen | 2014 | i drift | ekstensive forsøkstak |
| Sandnes | 2014 | 2023 | ekstensive forsøkstak |
| Trondheim – Risvollan | 2014 | 2020 | ekstensive forsøkstak |
| Ås – NMBU campus | 2018 | i drift | semi-intensive forsøkstak |
| Oslo – Vega Scene | 2019 | i drift | semi-intensivt blågrønt tak |
| Oslo - Storbylegevakt | 2023 | i drift | semi-intensivt blågrønt tak |

## A.2. Detaljert informasjon om Vega Scene

Det blågrønne taket på Vega Scene i Hausmannsgata i Oslo ble etablert i 2019 med et areal på 801 m². Taket var opprinnelig planlagt som et to-lags semi-intensivt tak uten skillelag mellom det øverste jordlaget og dreneringslaget av knust lavastein. Taket har en totaltykkelse på 10-30 cm (figur 22). Graveprøver fra 2023 viser at jord og drenslag ikke lenger er skilt, men lagene har blandet seg over tid (figur 23). Taket er beplantet med plantearter fra naturtypen åpen kalkmark og åpen, grunnlendt kalkmark, som hører hjemme i Oslofjordområdet (Aanderaa, m.fl., 2023).




*Figur 22: Takoppbyggingen av Vega Scene med sluk og restriktor*

Restriktoren som skal begrense avrenning ble fjernet i januar 2022 for å sammenlikne endringen i avrenningen med og uten restriktor. Taket er utstyrt med ulike sensorer for registrering av hydrologiske data (figur 24). Taket dreneres via tre sluk, som samles i et felles avløp under taket. Avrenningen fra taket registreres ved hjelp av en vannføringsmåler. Restriktor som nå er fjernet vises i figur 25.

*Figur 23: Bilder fra jordprøvetaking på Vega Scene i 2023, Foto: NVE*





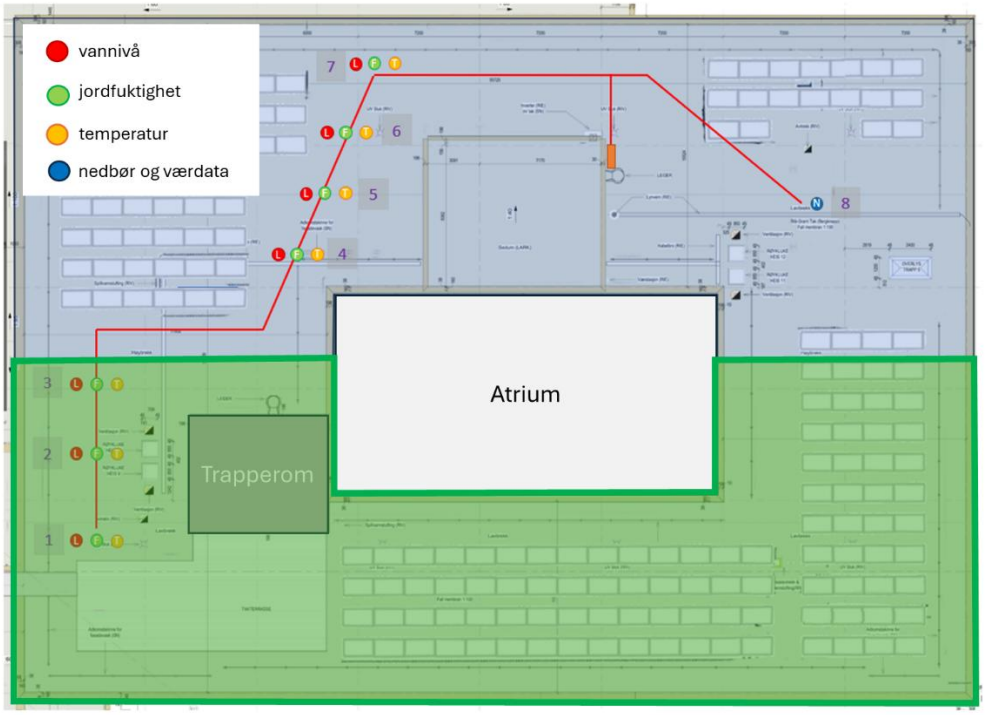

*Figur 24: Taket på Vega Scene med sensorplassering til nedbørmåler, vannivå i jordlaget og jordfuktighetssensorer.*



*Figur 25: Bilde av restriktoren ved Vega Scene, som skal begrense avrenning, særlig ved store vannmengder på taket. Foto: Lothar Dören/NVE*

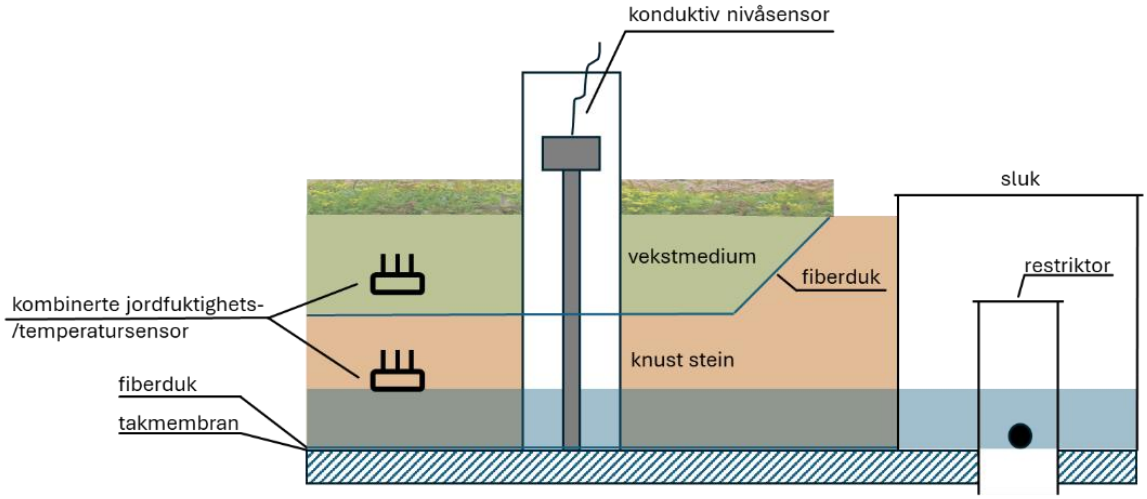
## A.3. Detaljert informasjon om Storbylegevakt

Taket på Oslo legevakt, Storbylegevakten, er utformet som et semi-intensivt grønt tak. Den østlige delen av bygningskomplekset er utstyrt med en rekke sensorer (figur 26) for overvåking av hydrologiske prosesser. Det instrumenterte taket er delt inn i en nordlig og en sørlig del. I denne rapporten benyttes måledata fra den sørlige delen. Det undersøkte takarealet er 937 $m^2$. Av dette utgjør 57 $m^2$ et trapperom med ekstensivt grønt tak. Dette arealet dreneres via det blågrønne taket. Hele det undersøkte takarealet dreneres gjennom fire sluk som samles i et felles avløp under taket. Avrenningen fra taket registreres ved hjelp av en vannføringsmåler.




*Figur 26: Taket på Storbylegevakt med sensorplassering – undersøkt takareal i grønt*

Taket på Storbylegevakten er utelukkende beplantet med sedumarter og har en samlet tykkelse på omtrent 10–30 cm. Det består av to lag, med et vekstmedium øverst og et dreneringslag nederst, atskilt av en tekstilduk (figur 27, figur 28 og figur 29). På deler av taket er det installert solcellepaneler, mens en annen del brukes som takterrasse.




*Figur 27: Takoppbyggingen på Storbylegevakten med sluk og restriktor.*



*Figur 28: Drenslag og vekstmedium med duk mellom lagene. Foto: Lothar Dören/NVE*



*Figur 29: Avløp fra taket på Storbylegevakten med restriktor. Foto: Lothar Dören/NVE*

# Vedlegg B – simulering av blågrønne tak

I dette vedlegget finner du resultater som viser at det blågrønne taket på Vega Scene ikke avviker stort fra Storbylegevaktens blågrønne tak (kap. B.1) og at bruk av restriktor i utløpet reduserer avrenning fra de blågrønne takene ytterligere (kap. B.2).

## B.1. Sammenligning av simulert avrenning fra andre blågrønne tak

Det blågrønne taket på Vega Scene i Oslo er det blågrønne taket med flest år med data. Derfor brukte vi hovedsakelig de dataene. Siden det også finnes data for det blågrønne taket på Storbylegevakten kunne vi se på hvor følsom DDD-modellen var for valget av blågrønt tak. Derfor kalibrerte og simulerte vi også det blågrønne taket for Storbylegevakten. Videre ble DDD-modellen for det urbane nedbørfeltet Vestli (se kap. 3.1 for detaljer om Vestli) simulert med blågrønne tak som hadde egenskapene til det blågrønne taket for Storbylegevakten.

Resultatene fra DDD-modellen for Storbylegevakten er vist i tabell 7. Det modellerte blågrønne taket basert på Storbylegevakten demper også flomtoppene, og effekten øker med arealet blågrønne tak.

*Tabell 7: Simulert vannføring fra Vestli ved bruk av blågrønt tak med egenskaper fra Storbylegevakten for 10 000 m² og 50 000 m² blågrønne tak.*

| *Metrikk* | *10 000 m²* | *50 000 m²* |
|---|---|---|
| Maksimal flomverdi (uten blågrønne tak) | 0,26 $m^3/s$ | 0,26 $m^3/s$ |
| Maksimal flomverdi (modell med blågrønne tak) | 0,25 $m^3/s$ | 0,21 $m^3/s$ |
| Reduksjon maksimal flomverdi | 0,01 $m^3/s$ | 0,05 $m^3/s$ |
| Reduksjon maksimal flomverdi (%) | 4 % | 19 % |
| Tid maksimal flomverdi (basismodell) | 26.07.2024 18:50 | 26.07.2024 18:50 |
| Tid maksimal flomverdi (modell med blågrønne tak) | 26.07.2024 18:50 | 26.07.2024 18:50 |
| Forsinkelse maksimal flomverdi (min) | 0 min | 0 min |

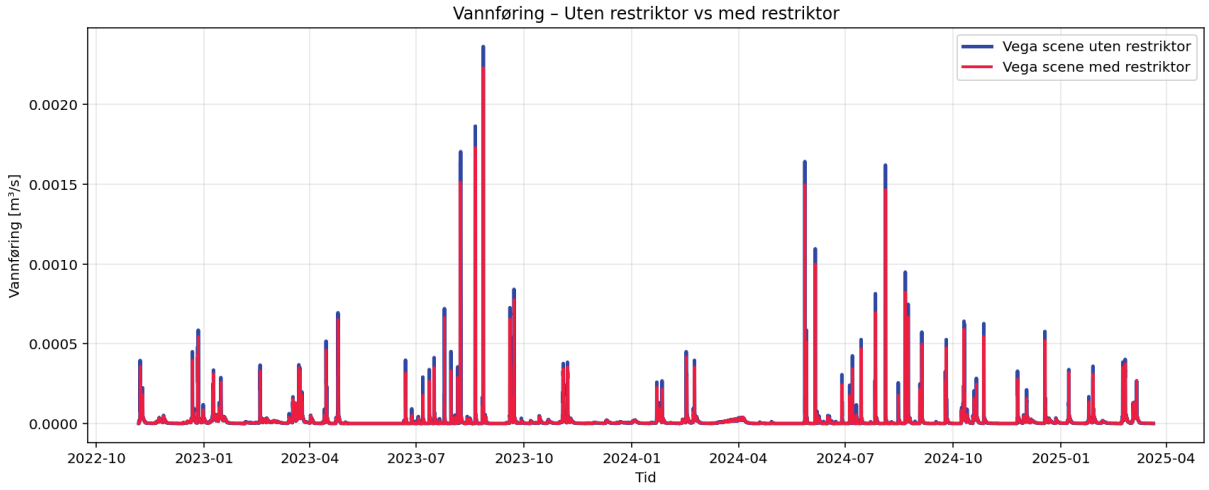
Sammenligner vi flomdempingen fra taket på Vega Scene med Storbylegevakten så ser vi at flomdempingen er omtrent lik for de to takene (tabell 8).

*Tabell 8: Simulert vannføring fra Vestli med bruk av 50 000 m² blågrønne tak fra Vega Scene og Storbylegevakten. Begge scenarioene er kjørt med restriktor og for perioden november 2023 til februar 2025*

| *Metrikk* | *BG tak fra Vega Scene* | *BG tak fra Storbylegevakten* |
|---|---|---|
| Maksimal flomverdi (uten blågrønne tak) | 0,26 $m^3/s$ | 0,26 $m^3/s$ |
| Maksimal flomverdi (modell med blågrønne tak) | 0,22 $m^3/s$ | 0,21 $m^3/s$ |
| Reduksjon maksimal flomverdi | 0,04 $m^3/s$ | 0,05 $m^3/s$ |
| Reduksjon maksimal flomverdi (%) | 15 % | 19 % |
| Tid maksimal flomverdi (basismodell) | 26.07.2024 18:50 | 26.07.2024 18:50 |
| Tid maksimal flomverdi (modell med blågrønne tak) | 26.07.2024 19:00 | 26.07.2024 18:50 |
| Forsinkelse maksimal flomverdi (min) | 10 min | 0 min |

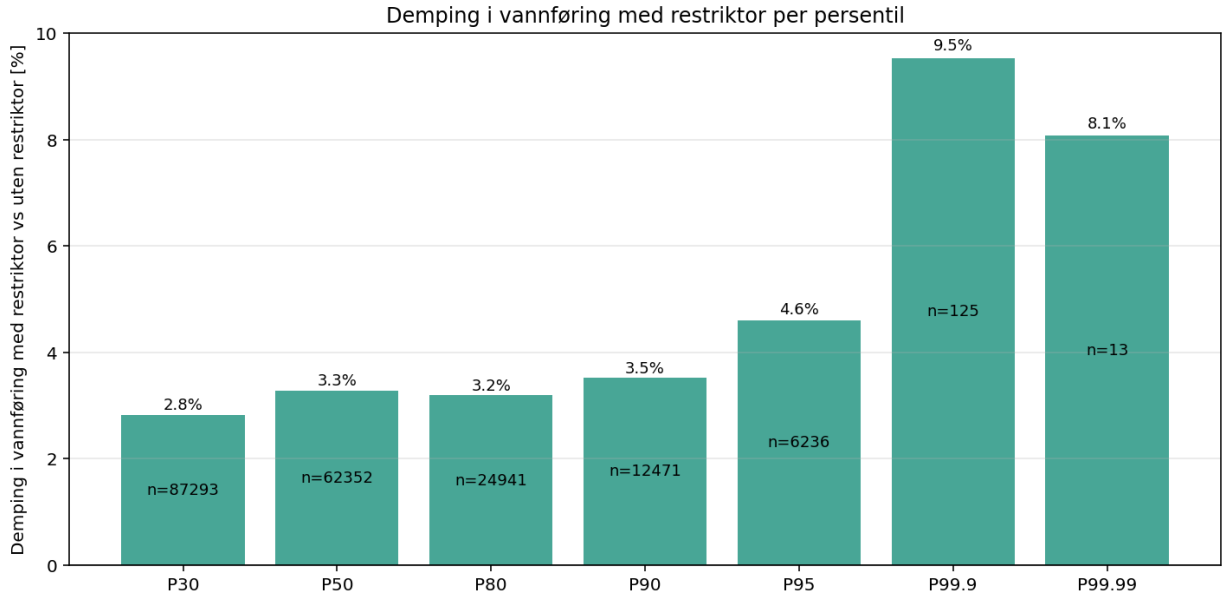
## B.2. Flomdempingseffekt av restriktor på avrenning fra blågrønt tak – Vega Scene

Vega Scene er simulert både med og uten restriktor i avløpet fra det blågrønne taket (figur 30). Ved lave og moderate vannføringer er forskjellene mellom simuleringene små, mens de høyeste avrenningstoppene reduseres når restriktoren er inkludert. Dette indikerer at restriktoren bidrar til å forsinke og fordele avrenningen over et lengre tidsrom.



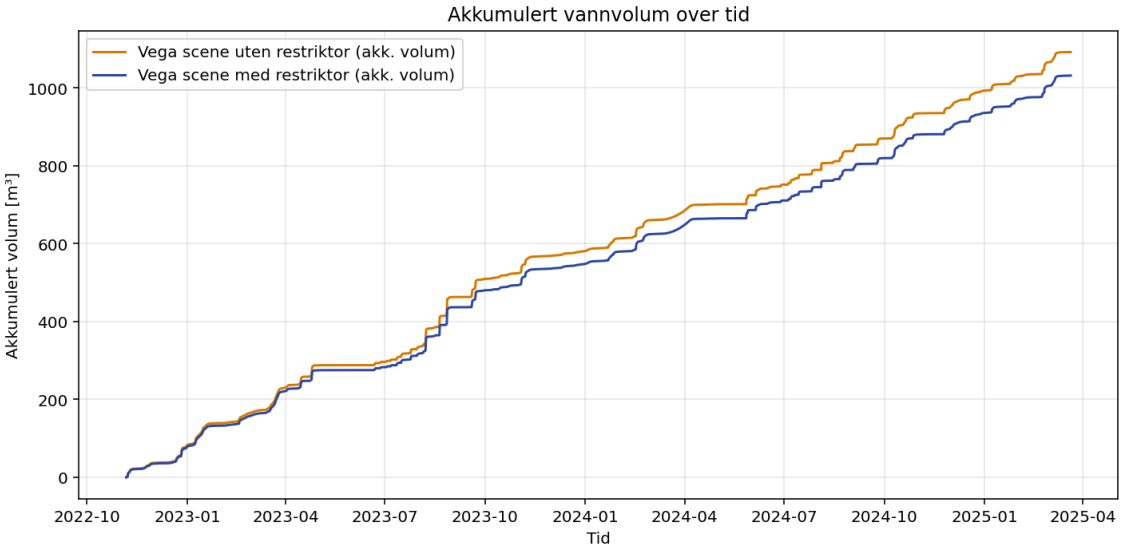

*Figur 30: Viser modellert vannføring med og uten restriktor for Vega Scene sitt blågrønne tak.*

Persentilanalysen i figur 31 viser at effekten av restriktoren øker med vannføringen. Når også lavere vannføringer inngår i utvalget, er dempingen liten, mens flomdempingen øker markant for de høyeste vannføringene. Resultatene tyder derfor på at restriktoren har størst betydning ved intense nedbørhendelser og høye avrenningstopper. At flomdempingen avtar noe for den høyeste persentilen skyldes trolig at analysen er basert på svært få observasjoner.




*Figur 31: Viser demping i vannføring på det blågrønne taket på Vega Scene i % med restriktor sammenlignet med uten restriktor for det samme tidssteget. Det er en klar økning i flomdemping for de største vannføringene. Et unntak er 99.99 persentilen som har litt mindre flomdemping enn 99.9 persentilen.*

Figur 32 viser akkumulert simulert avrenning fra taket med og uten restriktor. Totalt avrenningsvolum er noe lavere når restriktor benyttes. Dette kan skyldes at vannet får lengre oppholdstid i taket, noe som gir større mulighet for fordamping før vannet forlater taket.

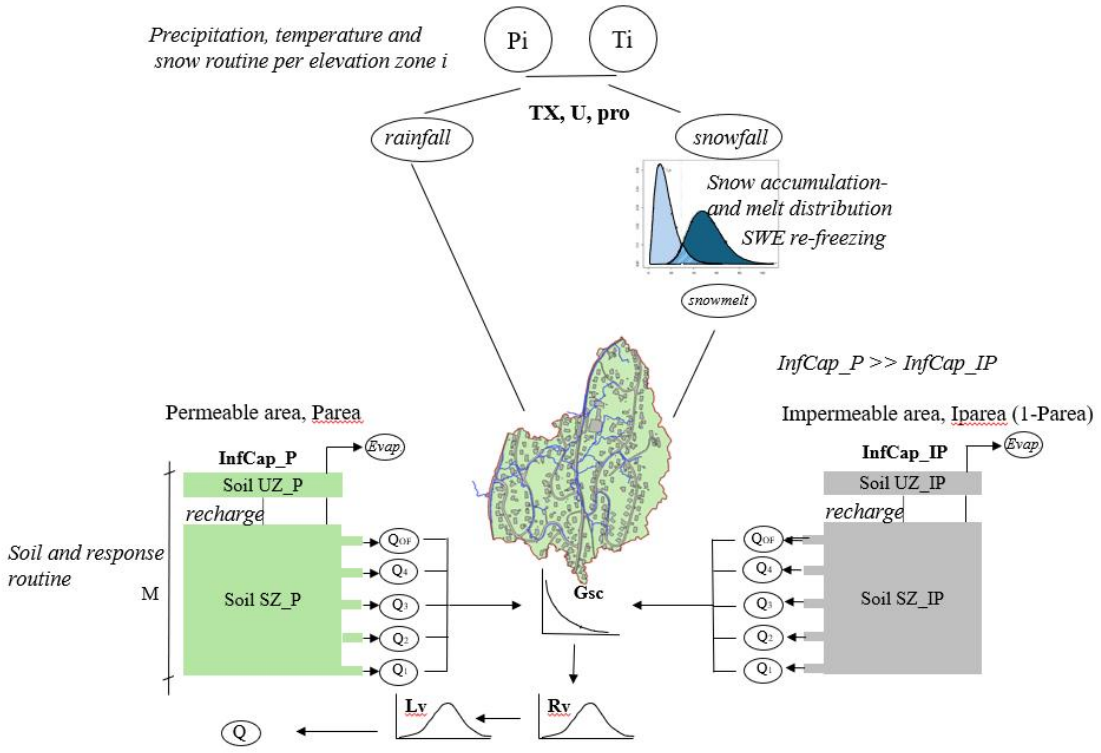



*Figur 32: Totalt simulert vannmengde fra det blågrønne taket på Vega Scene med og uten restriktor. Akkumulert er vannmengden ut fra taket større uten restriktor.*

# Vedlegg C – modellering med DDD

## C.1. Detaljer om DDD

DDD-modellen er bygd opp med tette, impermeable flater (IP-arealer), permeable flater (P-arealer) og elvenettverk (figur 33). Når nedbøren faller ned i nedbørfeltet eller snøen smelter beveger vannet seg til et elvenettverk som frakter det til utløpet. Når vannet først har kommet seg til et elvenettverk transporteres det raskt ut. Det er avstandene til elvenettverket og hastighetene til vannet før det kommer til elvenettverket som er utgangspunktet for å beskrive avrenningsresponsen fra nedbør eller snøsmelting.




*Figur 33: Oversikt over modellstrukturen til DDD-modellen. Den består av to DDD-modeller som representerer henholdsvis de permeable flatene (grønne) og de impermeable flatene (grå). Parameterne i fet skrift er de som kalibreres. Gsc, Lv og Rv beskriver hastighetene i henholdsvis terreng, elvenettverk og innsjø.*

Hastighetene til vannet før det når elvenettverket kalibreres. Sammen med avstandene til elvenettverket får vi en fordeling av responstider (se Skaugen m.fl. 2023). Vannet vil bevege seg raskest på overflaten, og saktere jo lenger ned i bakken vannet kommer fra.

Modellen bruker energibalanse for å beregne fordampning og snøsmelting, dette er prosesser man i liten grad kan manipulere når man kjører modellen. En av parametrene man kan variere er gjennomsnittlig vindstyrke, som har effekt på de turbulente fluksene i energibalansen.

Du kan laste ned en versjon av modellen fra https://github.com/NVE/DDDmodels. I Skaugen m.fl. (2026) er det henvist til mye litteratur som beskriver modellens simulering av de forskjellige hydrologiske prosessene.

## C.2. Simulere blågrønne tak med DDD

DDD-modellen er ikke tilpasset blågrønne tak. Derfor måtte vi teste ut hvordan vi best kunne representere de blågrønne takene med DDD-modellen, med og uten restriktor.
Dette ble gjort ved å tilpasse parametere som i hovedsak styrer hvor raskt vannet transporteres fra taket.

Parameterne ble kalibrert mot målte avrenningsdata fra Vega Scene. Effekten av restriktoren ble modellert ved at vi, i modellen, lot vannet passere en tenkt innsjø, som forsinker og demper avrenningstoppene.

## C.3. Modellevalueringskriterier til kalibrering og validering

For å få et objektivt mål på hvor godt DDD-modellen simulerer det vi observerer, bruker vi modellevalueringskriterier når vi kalibrerer og validerer.

### VALG AV MODELLEVALUERINGSKRITERIER

I denne rapporten har vi brukt modellevalueringskriterier Kling-Gupta Efficiency criterion (KGE; Gupta m.fl., 2009). Vi har også hentet ut Nash-Sutcliffe Efficiency criterion (NSE; Nash og Sutcliffe, 1970) og bias for å komplementere KGE. Hovedvekten er derimot lagt på KGE og kun KGE rapporteres i denne rapporten. Bias er et uttrykk for vannbalansen, ved at en bias lik 1 tilsvarer perfekt vannbalanse. NSE kan være god selv om bias er dårlig, mens KGE tar hensyn til både korrelasjon, variasjonsspredning og vannbalanse.

### NEDBØRFELT – KALIBRERING OG VALIDERING

Nedbørfeltene Vestli, Sandsli og Karihola er tidligere kalibrert og validert i DDD-urban i NVE rapport 34/2023. I denne rapporten brukes de samme parameterverdiene som i NVE rapport 34/2023 for de tre urbanstasjonene. Parameterfilen ser noe annerledes ut for denne studien fordi modellstrukturen er endret fra 2023.

Feltene kan være endret med hensyn til andel permeable og impermeable flater og at nye og bedre data har kommet til. Siden hensikten i denne rapporten er å studere den *relative endringen* i simulert vannføring med og uten blågrønne tak, vurderer vi bruken av tidligere tidsserier og parametere som egnet til det formålet.

**6.12 Vestli** er ikke spesielt godt simulert. Etter kalibrering har modellen en KGE-verdi på 0,84, men etter to valideringsserier har modellen KGE på 0,38 og 0,56. Det er stor usikkerhet knyttet til hva arealet til nedbørsfeltet er, og om arealet kan variere avhengig av metningsgrad. Ved spesielt intense nedbørhendelser så kan deler av overvannet som vanligvis går ned til urbanstasjonen føres ut av nedbørfeltet gjennom et overløp. Det er ikke kjent hvor hyppig dette forekommer. Ved stor flom i Tokerudbekken er det antatt at oppstuving kan påvirke målingene ved urbanstasjonen 6.12 Vestli. Etter 2018 er det installert vannstandssensor nedstrøms urbanstasjonen for å se når stasjonen er påvirket. Det er kun funnet to[1] hendelser i august 2023 hvor stasjonen ble påvirket. Du kan lese mer om stasjonen og det måletekniske i NVE rapport 5/2026.

**56.1 Sandsli** er godt simulert for kalibreringsserien med en KGE-verdi på 0,92, og for de fire valideringsseriene varierer KGE-verdien mellom 0,68 og 0,93. Nedbøren må reduseres betydelig (32 %) i simuleringene for at vannbalansen skal være riktig. Det kan tyde på at det for Sandsli er utfordrende å definere areal.

[1] 07.08.2023 «ekstremværet Hans» og 27.08.2023 «lille Hans»

**110.1 Karihola** er godt simulert. Etter kalibrering er KGE-verdien på 0,85, og etter to valideringsserier på 0,79 og 0,86. Dette til tross for at den gjennomsnittlige vannføringen for kalibrering- og valideringsseriene varierer.

#### TIDSOPPLØSNING

Noen nedbørfelt responderer raskt og trenger en mindre tidsoppløsning for å fange opp endringene i vannføring og flomtoppene. Dette avhenger ofte av størrelsen til nedbørfeltet og hvor raskt vannet transporteres til elvenettverket. Vestli og Karihola er kjørt med 10 minutters oppløsning, mens Sandsli som er et mindre og raskt felt kjøres med 5 minutters oppløsning.

#### BLÅGRØNNE TAK – KALIBRERING OG VALIDERING

DDD-modellen er kalibrert for å få så godt samsvar mellom målt og modellert avrenning fra blågrønne tak som mulig.

Vega Scene er kalibrert mot en tidsserie med restriktor og deretter evaluert mot en uavhengig tidsserie uten restriktor. KGE-verdiene er henholdsvis 0,89 og 0,85 for situasjonene med og uten restriktor. Det gode samsvaret i begge tilfeller gir økt tillit til modellens evne til å beskrive avrenningsforholdene under ulike hydrauliske betingelser.

Storbylegevakta sør er kalibrert mot en tidsserie med restriktor. Det foreligger ikke måledata fra en situasjon uten restriktor som kan benyttes til tilsvarende evaluering. KGE etter kalibrering er 0,82, noe som vurderes som et godt samsvar mellom målt og modellert vannføring.

## C.4. Modellparametere fra urbane nedbørfelt

#### VESTLI

DDD-modellen trenger et «elvenettverk» for å simulere avstandene og hastighetene til vannet i feltet. For å lage et «elvenettverk» har vi valgt et tilrenningsareal på 5 000 $m^2$ før det genereres en dreneringslinje eller avrenningslinje.

#### SANDSLI

For å lage et «elvenettverk» har vi valgt et tilrenningsareal på 40 000 $m^2$ for Sandsli før det genereres en dreneringslinje eller avrenningslinje.

#### KARIHOLA

For å lage et «elvenettverk» har vi valgt et tilrenningsareal på 5 000 $m^2$ før det genereres en dreneringslinje eller avrenningslinje i feltet til Karihola.

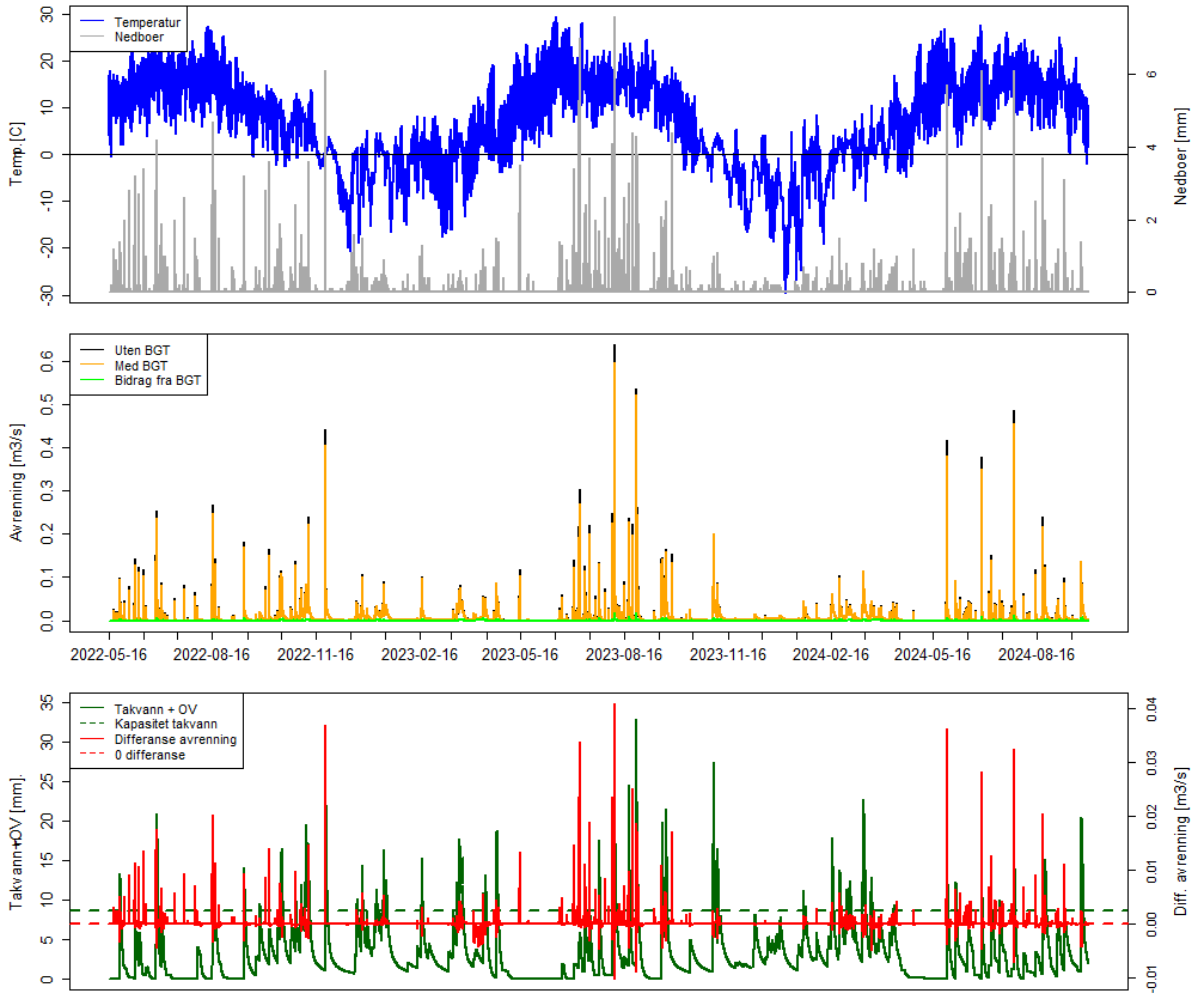
For alle tre nedbørfelt er både valg av feltparameterne og tilrenningsareal det samme som ble brukt i Simulering av NVEs urbanfelt med urbanhydrologisk nedbør-avløpsmodell (DDDUrban) (NVE rapport 34/2023).

# Vedlegg D – resultater fra scenario 2

## D.1. Vestli

I scenario 2 ble 10 000 m² av de tette flatene erstattet med blågrønne tak. Flomdempingen er mer beskjeden enn for scenario 1 hvor 50 000 m² ble erstattet av blågrønne tak. Denne delen oppsummerer resultatene fra scenario 2 på Vestli.

### SIMULERT VANNFØRING

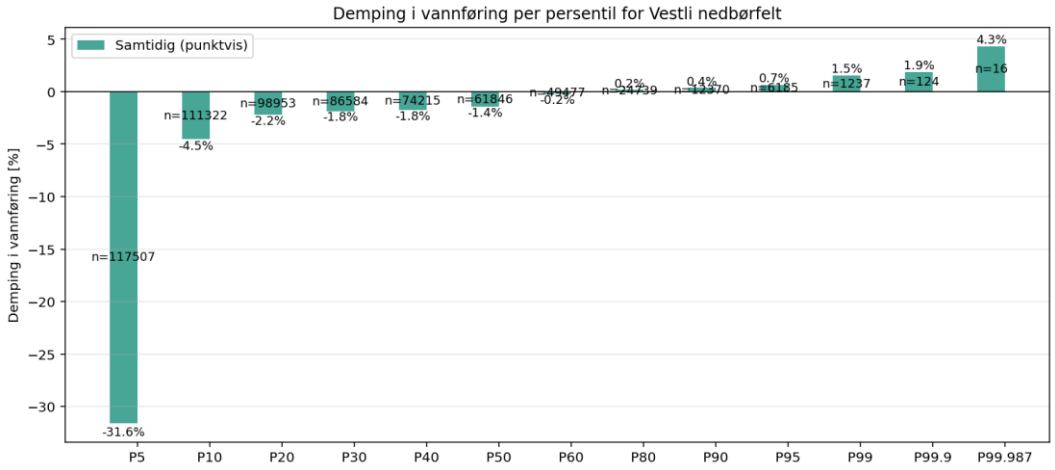



*Figur 34: Øverste panel viser nedbør og temperatur for hele den modellerte tidsserien ved Vestli. Midterste panel viser simulert vannføring uten blågrønne tak (svart), og med 10 000 m² blågrønne tak (oransje). Grønn linje viser avrenning spesifikt fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de blågrønne takene (mørkegrønt) og avviket mellom hele Vestlis avrenning med og uten blågrønne tak markert med rødt. Merk at takvann i nederste figur inkluderer overflateavrenning som ses når kapasiteten overskrides.*

### FLOMDEMPING

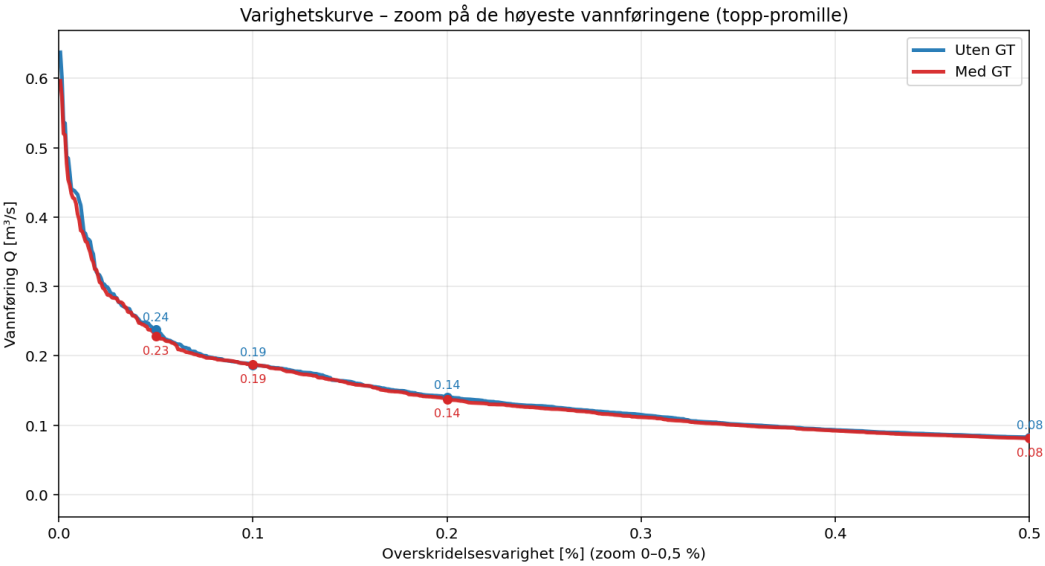
Figur 35 viser prosentvis demping i vannføring ved ulike persentiler for Vestli nedbørfelt, beregnet som forskjellen mellom simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. For lave persentiler (P5–P60) er dempingen negativ, noe som indikerer noe høyere vannføring med blågrønne tak. Effekten avtar gradvis mot høyere persentiler, og rundt P80 er endringen tilnærmet null. For høye persentiler (P90 og høyere) er dempingen positiv, og øker svakt mot de aller høyeste persentilene. Dette

indikerer at blågrønne tak gir en moderat reduksjon i vannføring ved høye avrenningsnivåer også ved et relativt begrenset takareal. Resultatene for de høyeste persentilene er imidlertid basert på et begrenset antall tidssteg, slik antall observasjoner (n) i figur 35 viser.



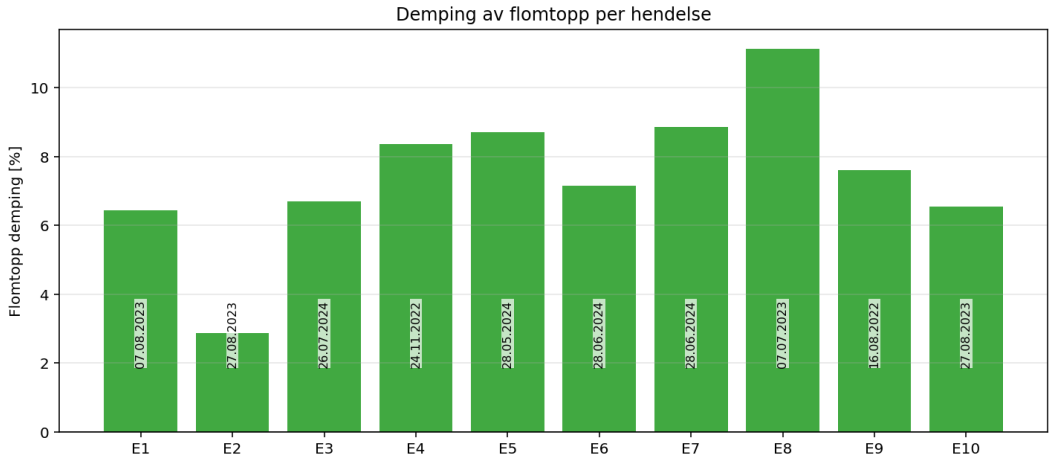

*Figur 35: Viser demping i modellert vannføring i % med 10 000 m² blågrønne tak pr. samtidige tidssteg. Det er en økning i flomdemping for tidsskritt med større vannføring. Ved lave vannføringer kan vannføringen være høyere med blågrønne tak. Reduksjon av blågrønne tak til 10 000 m² gir lavere flomdemping enn scenario med 50 000 m².*

Figur 36 viser varighetskurver for de høyeste vannføringene i Vestli nedbørfelt, med zoom på de høyeste vannføringene (0–0,5 % overskridelsesvarighet), for simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. Kurven med blågrønne tak ligger generelt svakt under basiskurven, noe som indikerer en liten reduksjon i de høyeste vannføringene.
Forskjellen mellom kurvene er størst for de aller høyeste vannføringene, og avtar mot lavere, men fortsatt høye vannføringer. Dette viser at blågrønne tak også ved et relativt begrenset areal bidrar til å dempe flomtopper, men med en moderat effekt sammenlignet med scenarioer med større samlet takareal.




*Figur 36: Varighetskurver med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Vestli nedbørfelt med og uten blågrønne tak for scenario med 10 000 m² blågrønne tak. Figuren viser at scenario uten blågrønne tak (basis) har de største vannføringene. Differansen er mindre enn for scenario med 50 000 m² blågrønne tak.*

Figur 37 viser demping i flomtopp per hendelse for simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. For alle hendelsene gir blågrønne tak en positiv, men relativt moderat demping av flomtoppen, med reduksjon i flomtopp på opptil rundt 11 %.
Effekten varierer mellom hendelser, og samlet indikerer figuren at blågrønne tak med et begrenset samlet areal kan gi noe demping av flomtopper på hendelsesnivå, men at effekten er mindre enn for scenarier med større andel blågrønne tak.

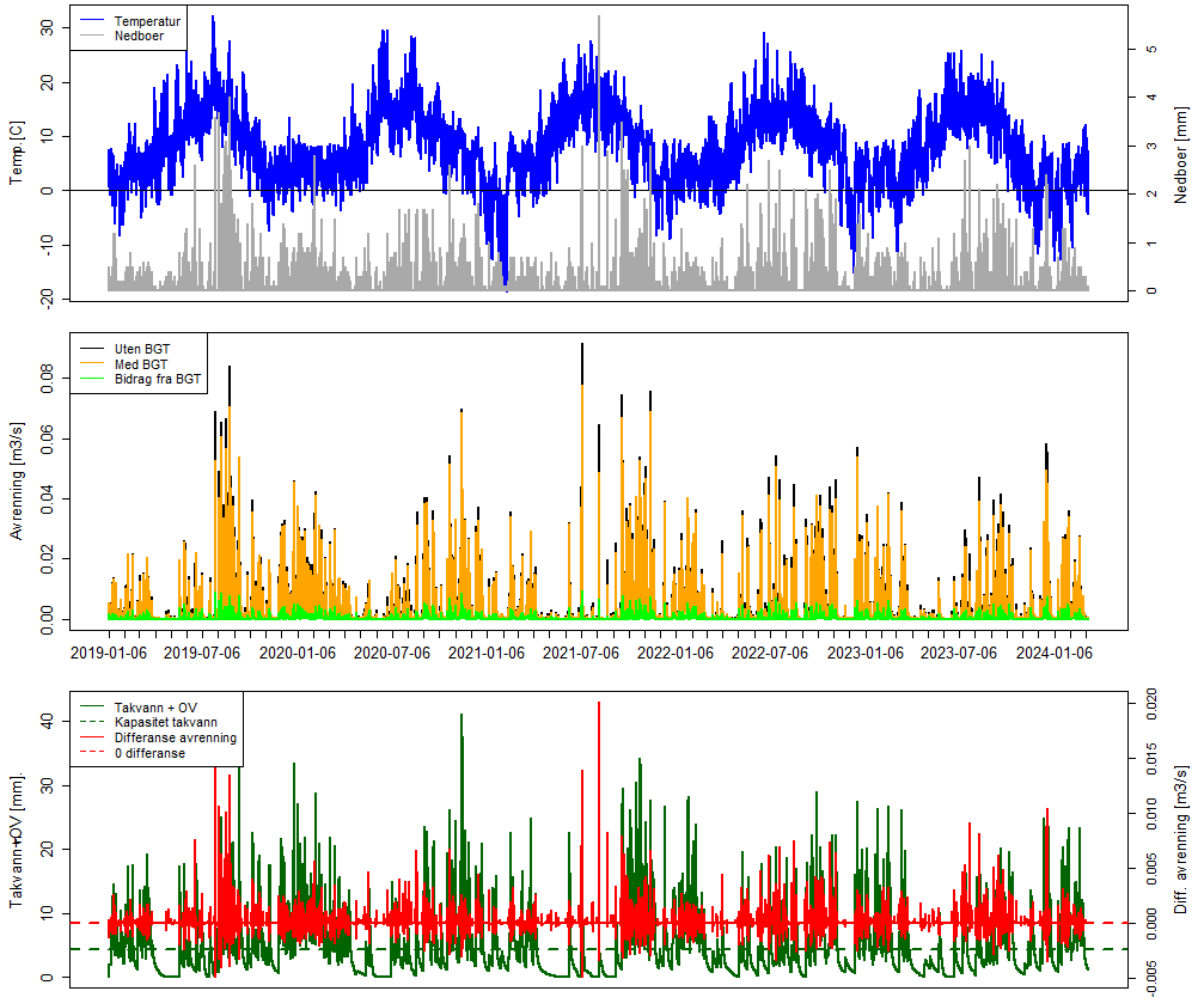



*Figur 37: Viser flomdemping med 10 000 m² blågrønne tak for de 10 største flomhendelsene. E1 er størst og E10 minst. Alle hendelsene har noe flomdemping, men det varierer.*

## D.2. Sandsli

I scenario 2 ble 5 000 m² av de tette flatene erstattet med blågrønne tak. Flomdempingen er mer beskjeden enn for scenario 1 hvor 10 000 m² ble erstattet av blågrønne tak. Resultatene fra scenario 2 på Sandsli er oppsummert i denne delen.

### SIMULERT VANNFØRING

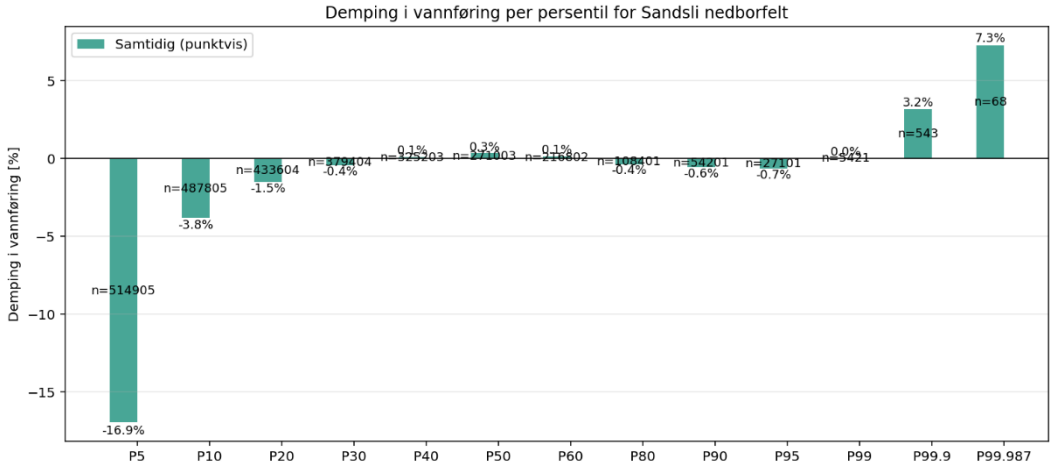



*Figur 38: Øverste panel viser nedbør og temperatur for hele den modellerte tidsserien. Panel 2 viser simulert avrenning uten blågrønne tak (svart) mens oransje viser avrenning fra nedbørfeltet når 5 000 m² tette flater er erstattet med blågrønne tak. Grønn linje viser avrenning kun fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de blågrønne takene (mørkegrønt) og avviket i avrenning med og uten blågrønne tak for Sandsli med rødt. Merk at takvann i nederste figur inkluderer overflateavrenning som ses når kapasiteten overskrides.*

### FLOMDEMPING

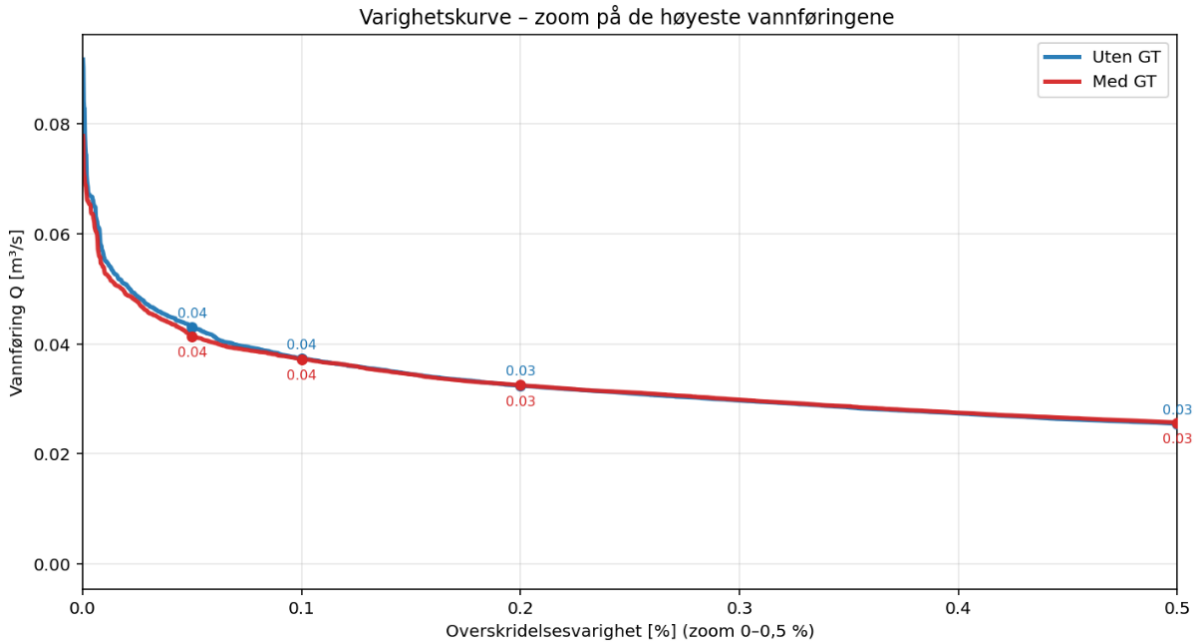
Figur 39 viser prosentvis demping i vannføring ved ulike persentiler for Sandsli nedbørfelt, beregnet som forskjellen mellom simuleringer med og uten 5 000 m² blågrønne tak. For alle persentiler under P99.9 er dempingen negativ eller nesten lik 0, og indikerer en økning i vannføring sammenlignet med referanseløsningen. Ved de aller høyeste persentilene (P99.9 og høyere) er dempingen positiv med

størst demping på de høyeste vannføringene. Samlet viser figuren at effekten av blågrønne tak er en demping av de største vannføringene, mens dempingen er negativ når også lavere vannføringer inngår i utvalget.




*Figur 39: Viser demping i modellert vannføring i % med 5 000 m² blågrønne tak pr. samtidige tidssteg. Det er en klar økning i flomdemping for tidsskritt med størst vannføring. Ved lave vannføringer kan vannføringen være høyere med blågrønne tak.*

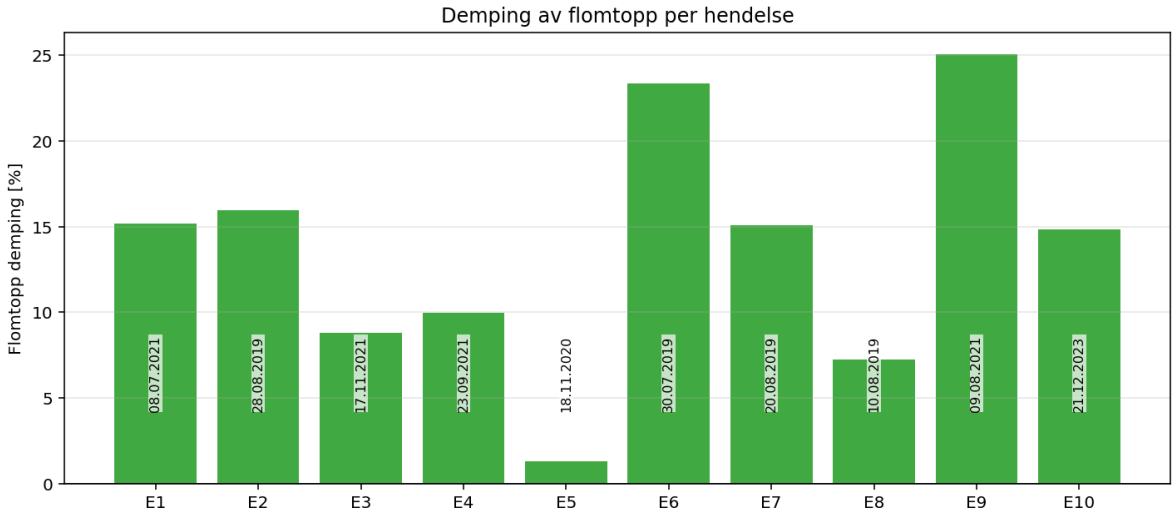
Figur 40 viser varighetskurver for de høyeste vannføringene i Sandsli nedbørfelt, med zoom på området 0–0,5 % overskridelsesvarighet, for simuleringer med og uten 5 000 m² blågrønne tak. Kurvene for de to scenarioene ligger tett, men for de aller høyeste vannføringene ligger kurven med blågrønne tak under basiskurven. Dette indikerer lavere vannføring når 5 000 m² blågrønne tak er inkludert i modellen for de kraftigste nedbørhendelsene, og dermed positiv flomdemping på disse nivåene.




*Figur 40: Varighetskurver med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Sandsli nedbørfelt med og uten blågrønne tak for scenario med 5 000 m² blågrønne tak. Figuren viser at scenario uten blågrønne tak (basis) har de største vannføringene, men ikke så stor differanse som for scenario med 10 000 m².*

Figur 41 viser demping i flomtopp per hendelse for Sandsli nedbørfelt, beregnet som prosentvis forskjell i flomtopp mellom simuleringer med og uten 5 000 m² blågrønne tak. For hendelsene er

flomdempingen positiv, med størst reduksjon i flomtopp for hendelsen E9, der dempingen er ca. 25 %.
For øvrige hendelser varierer flomdemping mellom å være nær null og opp mot over 20 %. Samlet viser figuren at blågrønne tak på 5 000 m² gir tydelig, men varierende flomdemping.

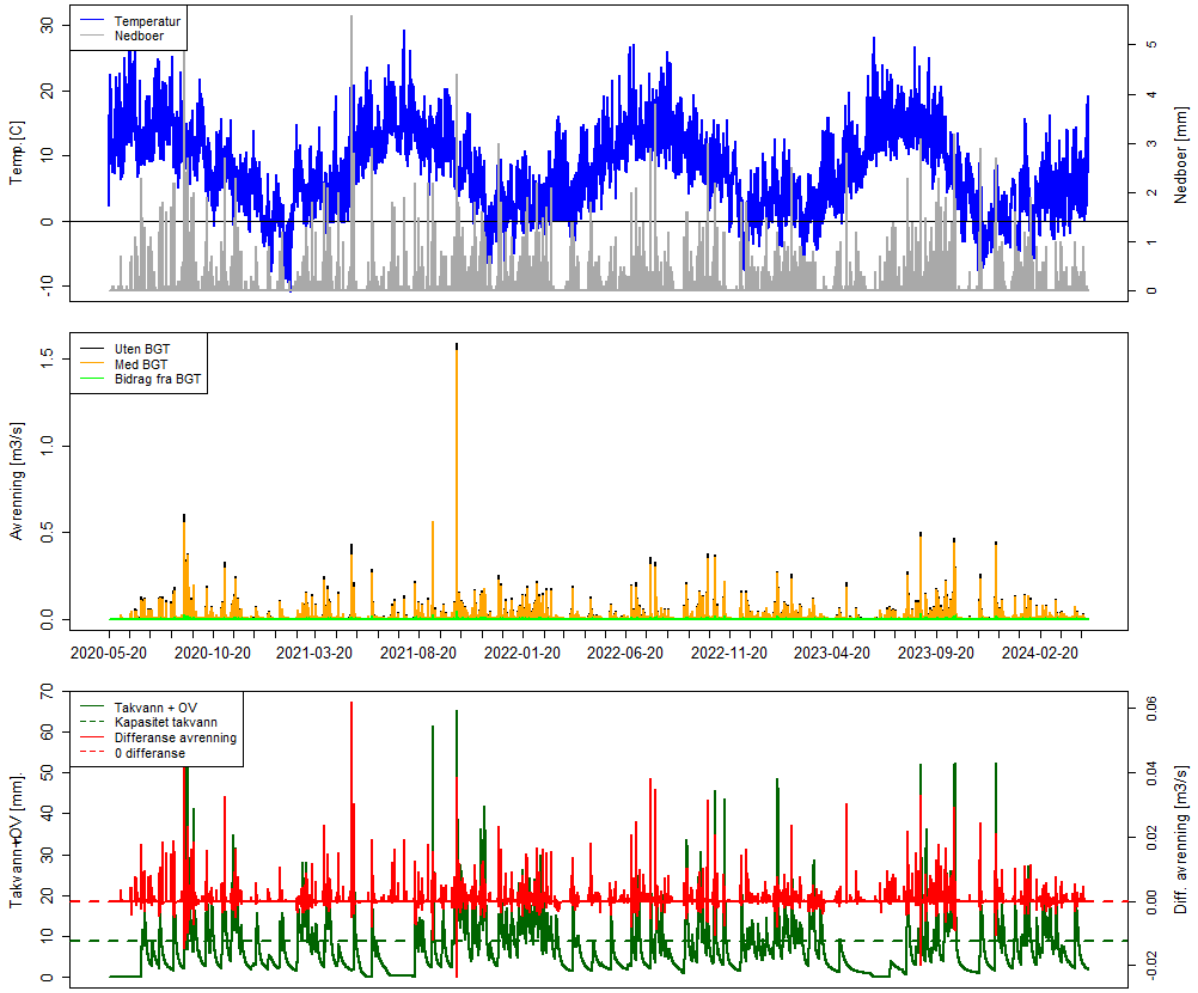



*Figur 41: Viser flomdemping med 5 000 m² blågrønne tak for de 10 største flomhendelsene. E1 er størst og E10 minst. Alle hendelsene har flomdemping, to av hendelsene har en flomdemping på over 20 %.*

## D.3. Karihola

I scenario 2 ble 10 000 m² av de tette flatene erstattet med blågrønne tak. Flomdempingen er mer beskjeden enn for scenario 1 hvor 50 000 m² ble erstattet av blågrønne tak. Resultatene fra scenario 2 på Karihola er oppsummert i denne delen.

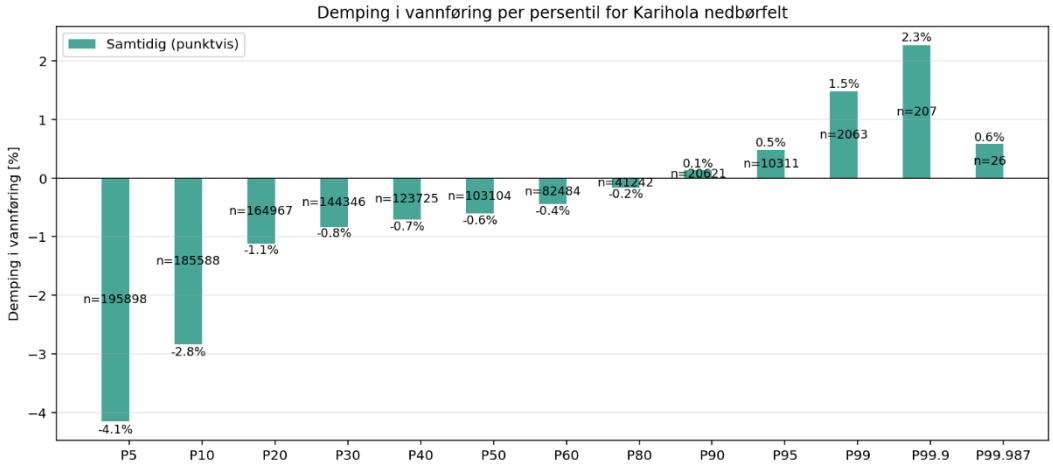
### SIMULERT VANNFØRING




*Figur 42: Øverste panel viser nedbør og temperatur for hele den modellerte tidsserien. Panel 2 viser simulert avrenning uten blågrønne tak (svart) mens oransje viser avrenning fra nedbørfeltet når 10 000 m² tette flater er erstattet med blågrønne tak. Grønn linje viser avrenning kun fra de blågrønne takene. Nederste panel viser takvann i de blågrønne takene (mørkegrønt) og avviket i avrenning med og uten blågrønne tak for Karihola markert med rødt. Merk at takvann i nederste figur inkluderer overflateavrenning som ses når kapasiteten overskrides.*

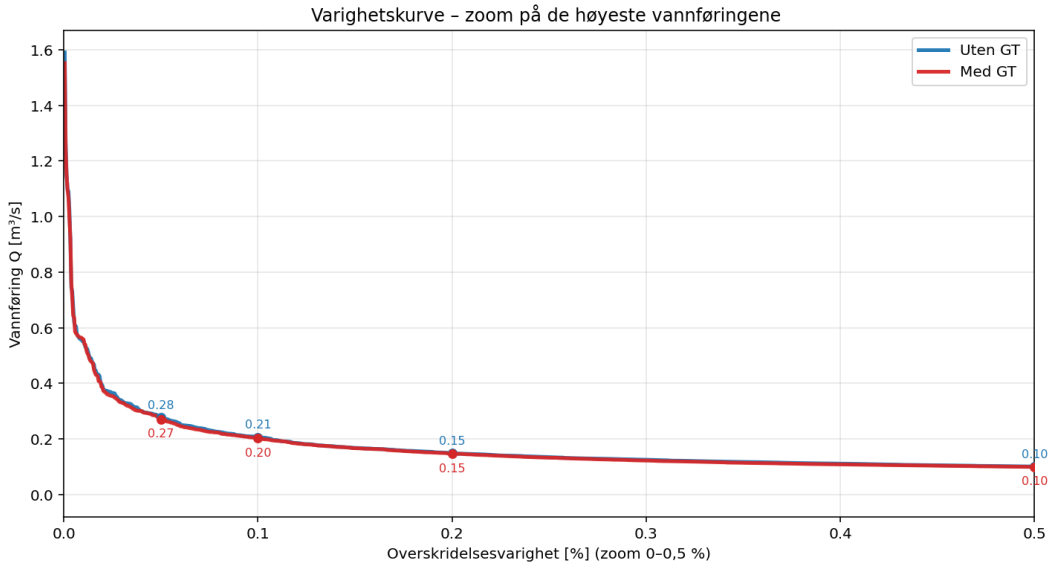
### FLOMDEMPING

Figur 43 viser prosentvis demping i vannføring ved ulike persentiler for Karihola nedbørfelt, beregnet som forskjellen mellom simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. For lave persentiler (P5–P80) er dempingen negativ, noe som indikerer økt vannføring med blågrønne tak. For høye persentiler (P90 og høyere) er dempingen positiv, og øker mot de aller høyeste persentilene. Unntaket er for den høyeste persentilen hvor flomdempingen blir mindre, men disse resultatene er basert på et svært begrenset antall tidssteg, slik antall observasjoner (n) i figuren viser. Samlet viser figuren at 10 000 m² blågrønne tak gir redusert vannføring ved høye avrenningsnivåer i Karihola nedbørfelt, mens dempingen er negativ når også lavere vannføringer inngår i utvalget.




*Figur 43: Viser demping i modellert vannføring i % med 10 000 m² blågrønne tak pr. samtidige tidssteg. Det er flomdemping for tidsskritt med større vannføring. Ved lave og normale vannføringer kan vannføringen være høyere med blågrønne tak. Det er betydelig mindre flomdemping for scenario med 10 000 m² blågrønne tak enn for 50 000 m² blågrønne tak.*

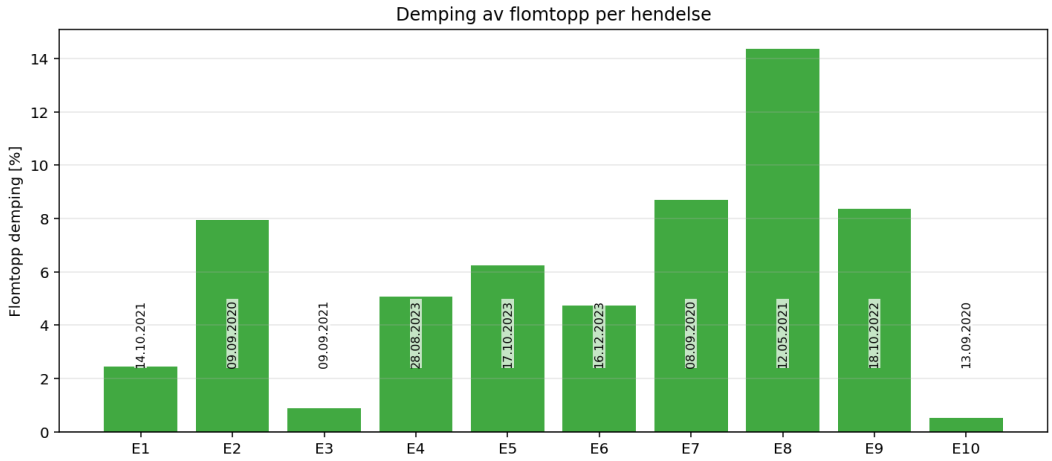
Figur 44 viser varighetskurver for de høyeste vannføringene i Karihola nedbørfelt, med zoom på området 0–0,5 % overskridelsesvarighet, for simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. Kurvene for de to scenarioene ligger gjennomgående tett, men kurven med blågrønne tak ligger svakt under basiskurven for de aller høyeste vannføringene.




*Figur 44: Varighetskurver med zoom på de 0,5 % høyeste modellerte vannføringene for Karihola nedbørfelt med og uten 10 000 m² blågrønne tak. Figuren viser at scenario uten blågrønne tak har de største vannføringene, men differansen mellom scenarioene er mindre enn for scenario med 50 000 m² blågrønne tak.*

Figur 45 viser demping i flomtopp per hendelse for Karihola nedbørfelt, beregnet som prosentvis forskjell i flomtopp mellom simuleringer med og uten 10 000 m² blågrønne tak. For samtlige hendelser er det flomdemping med blågrønne tak.

Størst demping observeres for hendelse E8, med en reduksjon på i overkant av 14 %. For øvrige hendelser varierer dempingen fra rundt 1 % til ca. 9 %. Figuren viser dermed en gjennomgående, men moderat reduksjon i flomtopp på hendelsesnivå for Karihola nedbørfelt ved bruk av 10 000 m² blågrønne tak, med variasjon i effekt mellom hendelser. Sammenlignet med scenario 1 med 50 000 m² blågrønne tak er flomdempingen betydelig redusert.




*Figur 45: Viser flomdemping med 10 000 m² blågrønne tak for de 10 største modellerte flomhendelsene. E1 er størst og E10 minst. Alle hendelsene har flomdemping, men effekten er moderat og betydelig lavere enn i scenario 1 med 50 000 m² blågrønne tak.*

**Norges vassdrags- og energidirektorat**

Middelthuns gate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0310 Oslo

Telefon: (+47) 22 95 95 95

https://www.nve.no