



Norges miljø- og  
biovitenskapelige  
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp  
Institutt for matematiske realfag og teknologi

## **Separering av overvann med åpen lokal overvannsdiskonering (LOD)**

- Redusere overløpsdrift til Akerselva fra  
Grefsen/Kjelsås i Oslo

Separation of stormwater with open Sustainable  
drainage systems (SuDS)

- Reduction of overflow to Akerselva from  
Grefsen/Kjelsås in Oslo

Marthe Christine Ingebrigtsen  
Vann- og miljøteknikk

# Forord

Denne masteroppgaven er skrevet i forbindelse med avsluttende arbeid på sivilingeniørutdanningen i Vann- og miljøteknikk ved Institutt for matematiske realfag og teknologi (IMT) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) i Ås. Oppgaven er fullført våren 2017, og tilsvarer 30 studiepoeng.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten, i seksjon for utredning. Fokuset er rettet mot reduksjon av overløpsdrift ved å benytte separering ved hjelp av åpne og lokale løsninger for håndtering av overvann. På grunn av manglende forkunnskaper har arbeidet til tider vært frustrerende og krevende for å implementere tiltakene i modellen. Det ligger dermed mye arbeid bak resultatene. Utfordringene har til gjengjeld ført til en fantastisk mestringsfølelse, og jeg sitter igjen med mye kunnskap og motivasjon for videre arbeid. Det har vært gøy å kunne benytte kunnskap som har vært tilegnet tidligere i studiet.

Jeg vil takke til mine veiledere, Professor Lars John Hem (NMBU) og sjefingeniør Bent C. Braskerud (Oslo VAV), som har vært med på å definere oppgaven og veiledet meg i arbeidet. En ekstra stor takk til Bent C. Braskerud som har motivert meg, gitt gode og konstruktive tilbakemeldinger og engasjert seg i arbeidet mitt.

Jeg vil takke Samatar Muhamud Abdi (VAV) for innføring i programvarene som ble brukt i oppgaven, god veiledning gjennom hele perioden og diskusjon tilknyttet tilpasning av tiltakene i modellen.

Jeg vil takke VAV som har stilt med nødvendig utstyr og kontorplass til rådighet.

Jeg vil takke masterkollegaer fra NMBU, Phan Åge Haugård og Milna Bosnjakovic, for et godt studentmiljø ved arbeidsplassen hos VAV.

Jeg vil takke mamma og pappa for god støtte gjennom studietiden.

Tilslutt vil jeg takke min forlovede, Emmanuel Bergstrøm for god støtte og forståelse for både glede og frustrasjon.

Ås, 12.mai 2017

---

Marthe Christine Ingebrigtsen

# Sammendrag

Prognosen for befolkningsvekst i Oslo er 800 000 personer innen år 2030. Vekst, fortetning og klimaframskrivninger tyder på en fremtid med hyppige og intense nedbørshendelser, og en følge av dette er reduserte infiltrasjonsmuligheter. Tette overflater som blant annet tak og vei, gjør at nedbøren ikke finner veien ned i grunnen. I stedet ledes vannet til avløpsnett, der kapasiteten er begrenset. Mer nedbør fører til skader på infrastruktur, bygg og miljø. En viktig komponent i et fullkomment avløpssystemet, er overløpet. Overløpet har som funksjon å frigjøre nedstrøms ledning eller renseanlegg for de vannmengdene ledningsnett ikke har kapasitet til å føre. Vannmengdene som går i overløp påvirker byvassdraget, på grunn av forurensninger i avløpsvannet. Derfor ønsker Oslo kommune å redusere denne driften til det minimale. Håndtering av overvannet lokalt vil redusere avrenning til avløpsnett og redusere driften i overløpet.

I denne oppgaven er virkningsgraden for åpne og lokale overvannstiltak studert, for overløpsdrift i et felt ved Øvre Akerselva, på Grefsen/Kjelsås i Oslo. Dette er gjort ved hjelp av modellering. Overløpet som har tilknytning til feltet i oppgaven går ofte i overløp, som følge av store overvannsmengder som renner til avløpsnett ved nedbør. Det er et mål i *Hovedplan for avløp og vannmiljø* i Oslo kommune å minimere driften av hvert enkelt overløp. Denne oppgaven vil se på nødvendig tiltak for å imøtekomme dette målet ved nedbørshendelse med 5-års gjentaksintervall i overløpet kalt AK52. I tillegg testes tiltakene for et kraftigere regn, nedbørshendelse med 5-års gjentaksintervall og klimafaktor. Denne regnintensiteten tilsvarer dagens 30-årsregn. Tiltakene som implementeres er frakobling av taknedløp, regnbed, grønne tak og permeable dekker. Oppgaven går også ut på å finne gode løsninger på hvordan tiltakene best mulig kan implementeres i avløpsmodellen.

Resultatet av å implementere åpne og lokale overvannsløsninger førte til betraktelige reduserte vannmengder i overløpet AK52. De ulike tiltakene ble tilført i modellen av ulik grad. Tiltaket som ga best reduksjon var frakobling av taknedløp, både på grunn av tiltakets reduksjonsgrad og hvor stort omfang tiltaket fikk i feltet. Resultatet av beste simulering med alle tiltakene, ga 99 % reduksjon av vannmengder som gikk i overløp. Dette viser hvor enkelt overvannsproblematikken kan legges over på tomt nivå.

Hvordan overvannsproblematikken kan løses ved å implementere tiltak som både reduserer avrenning til avløpsnett og tilfører bybildet er blågrønn faktor, fremgår av resultatene i denne oppgaven.

# Abstract

The prognosis for population growth in Oslo is 800 000 people by year 2030. Growth, urbanisation and climate changes indicate a future with more frequent and intense precipitation events, and as a result, reduced opportunities for infiltration. Impervious surfaces such as roof and road, lead the precipitation to the sewer system, instead of to the ground. The sewer system has limited capacity, and more precipitation can lead to damage to infrastructure, buildings and the environment. An important component to a well-working sewer system is the overflow. The overflow has the function of releasing downstream pipes or the treatment plant for the amounts of wastewater that the sewage system has no capacity to conduct. The amounts of wastewater that is released to the recipient, affects the quality of the waterways in the city. Therefore, the municipality of Oslo wishes to reduce the quantities of wastewater from overflow to the minimum. To treat the storm water locally, will reduce drainage to the sewage system and the amount of overflow.

In this study, the efficiency of open and local stormwater treatment has been studied for overflow activity in a field at Upper Akerselva, at Grefsen/Kjelsås in Oslo. This is done by modelling. The specific overflow in this study is often in operation, due to large amounts of water to the sewer system during precipitation. In the *Main plan for Sewer and Water Environment* in the municipality of Oslo (Oslo\_kommune 2014), the goal is to minimize the quantities of overflow for each overflow in the city. This study will look at the necessary measures for stormwater management to meet this, for precipitation events with 5-years repeat for the overflow called AK52. In addition, the measures are tested for a more intense rainfall, 5-year rainfall with factor for future climate change. This rain intensity corresponds to the current 30-year rainfall. The measures for stormwater management (Sustainable drainage systems (SuDS)) implemented in the model, is disconnection of downspouts, rain gardens, permeable pavement and green roofs. The study will also try to find a good solution to how best to implement the measures in the model.

The result of implementing open and local stormwater management led to considerably reduces amount of water in the overflow AK52. The different SuDS were introduced to the model of different degrees. The SuDS with the best reduction was the disconnection of downspouts, due to both the reduction efficiency for the measure and the extent of the measure in the field. The result for best simulation with all SuDS implemented to the model,

gave 99 % reduction of water in the overflow. This shows how easy the stormwater can be transferred to the site level for treatment.

How implementing measures that both reduce drainage to the sewer system and adds a “blue-green” factor to the city can solve the stormwater problem, can be seen from the results of this study.

# Innholdsfortegnelse

Forord .....	I
Sammendrag .....	II
Abstract .....	III
Liste over forkortelser .....	VIII
1 Innledning .....	1
1.1 Bakgrunn for oppgaven .....	1
1.1.1 Problemstilling .....	2
1.2 Urban hydrologi .....	3
1.3 Klima og klimaendringer .....	5
1.3.1 Klimafaktor .....	6
1.4 Avløpssystemet .....	7
1.4.1 Fellessystem og separatsystem .....	8
1.4.2 Overløp .....	9
1.5 Overvannshåndtering (Lokal overvannsdiskonering) .....	10
1.5.1 Tretrinnsstrategien .....	12
1.6 Oversikt over LOD – løsninger .....	13
1.6.1 Frakobling av taknedløp .....	13
1.6.2 Regnbed .....	17
1.6.3 Grønne tak .....	21
1.6.4 Permeable dekker .....	26
1.7 Hydrologiske modeller .....	29
1.7.1 ArcGIS .....	29
1.7.2 Rosie .....	29
1.7.3 MOUSE .....	29

1.7.4	MOUSE Runoff.....	30
1.7.5	MOUSE Pipe Flow.....	33
1.7.6	MOUSE RDI.....	34
1.8	Overløp AK52 – Grefsen/Kjelsås, Oslo kommune.....	34
1.8.1	Beskrivelse av feltet.....	35
2	Metode.....	37
2.1	Metode for innsamling av informasjon.....	37
2.1.1	Planlegge frakobling av taknedløp.....	37
2.1.2	Konseptvalgutredning (KVU).....	37
2.1.3	Infiltrasjonsmålinger.....	38
2.2	Modell for AK52.....	39
2.2.1	Klargjøring av modell.....	39
2.2.2	Regnhyetogram.....	40
2.2.3	Kjøring av modell.....	44
2.3	Metode for simulering av tiltak.....	45
2.3.1	Dagens situasjon.....	45
2.3.2	Metode frakobling av taknedløp i modell.....	45
2.3.3	Metode implementering av regnbed i modell.....	46
2.3.4	Metode implementering av grønne tak i modell.....	51
2.3.5	Metode implementering av permeable dekker i modell.....	52
2.3.6	Klimafaktor.....	54
3	Resultater.....	55
3.1	Resultater fra simulering for dagens tilstand.....	55
3.2	Resultater for ett tiltak: frakobling av taknedløp.....	56
3.3	Resultater for to tiltak: regnbed.....	58
3.4	Resultater for tre tiltak: permeable dekker.....	60
3.5	Resultater for fire tiltak: grønne tak.....	62

3.6	Resultater for alle tiltak kombinert.....	64
3.7	Resultater alle tiltak: med klimafaktor .....	67
4	Diskusjon.....	72
4.1	Vurdering av benyttet verktøy.....	72
4.1.1	Programvare .....	72
4.1.2	Regndata.....	72
4.2	Vurdering av LOD-tiltakene .....	73
4.2.1	Bestemmelse utforming av LOD-tiltak .....	73
4.2.2	Plassering av LOD-tiltakene .....	75
4.3	Vurdering av resultater .....	76
5	Konklusjon .....	78
5.1	Personlige refleksjoner av oppgaven og videre arbeid.....	79
	Kilder.....	80
	Vedlegg A: Beregningene tilknyttet utforming av de 16 regnbedene og plassering .....	i
	Vedlegg B: Samletabell over resultater fra simuleringene.....	xvii



## Liste over forkortelser

AF	Forkortelse for fellesledninger som frakter spillvann og overvann
AK52	Navn på overløpet definert i oppgaven
DHI	Danish Hydraulic Institute
EPANET	Environmental Protection Agency NET
ESRI	Environmental Systems Research Institute
FN	De Forente Nasjoner
GIS	Geographic Information Systems
IT	Information Technology
IVF	Intensitet, Varighet, Frekvens
KF	Klimafaktor
KVU	Konseptvalgutredning
LOD	Lokal overvannsdiskonering
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
MET	Meteorologisk institutt
MOUSE	Model for Urban Sewers
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
NTNU	Norges teknisk-vitenskapelige universitet
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
OV	Forkortelse for separatledning som transporterer overvann
RCP	Representative Concentration Pathways
RDI	Rainfall Dependent Inflow
SP	Forkortelse for separatledning som transporterer spillvann

US EPA	United States Environmental Protection Agency
VA	Vann og Avløp
VAV	Vann- og avløpsetaten
WMO	Verdens meteorologior organisasjon



# 1 Innledning

Overvann<sup>1</sup> er i dag ofte forbundet med utfordringer. Økt befolkningsvekst og mer ekstreme nedbørshendelser skaper store utfordringer, når overvannet ikke finner naturlige steder å infiltrere i grunnen og kapasiteten på ledningsnett er nådd. På bakgrunn av klimaframskrivninger kan vi forvente hyppigere og kraftigere nedbørshendelser. Store deler av avløpsnett i byer er ikke dimensjonert for slike mengder.

Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune (VAV) er et kommunalt organ som arbeider med vannforsyning, avløpshåndtering og tilsyn av vassdragene i Oslo by.

Overvann skaper utfordringer i et urbant område, og skader med enorme kostnader kan oppstå hvis det ikke tilrettelegges for god håndtering av overvannet. Lokal håndtering av overvannet kan redusere nedbørsmengdene som renner til avløpsnett. Tradisjonelt føres overvannet til avløpssystemet og videre til renseanlegg. Dette er kostbart og unødvendig. Ved å bruke overvannet som en ressurs og ikke se på det som et problem, kan løsninger på overflaten håndtere overvannet på en måte som også gir et mer mangfoldig bybilde.

Denne oppgaven tar for seg overvannsproblematikk i et område i Oslo. Nedbørsfeltet tilknyttet overløpskum AK52 på Grefsen/Kjelsås med overløp til Øvre Akerselva er et aktivt overløp. Overløpets oppgave er å hindre overbelastning nedstrøms ledningsnett og renseanlegg. Oslo kommune ønsker å redusere denne overløpsdriften ved å benytte åpne løsninger for lokal overvannsdisponering (LOD). Det vil simuleres for ulike tiltak i en avløpsmodell, med implementering av ulike LOD-tiltak, der virkningsgraden på overløpet registreres. Programvaren som benyttes er i utgangspunktet ikke egnet for de ulike overflatetiltakene. Derfor er en stor del av oppgaven å finne metoder for implementeringen, på best mulig måte. Målet er å nå null overløp for et regn med 5-års gjentaksintervall. Det vil ved denne situasjonen også simuleres for et regn med 5-års gjentaksintervall med klimafaktor, for å se hvor godt tiltakene ville holdt i fremtiden. Dette regnet tilsvarer dagens 30 års regn.

## 1.1 Bakgrunn for oppgaven

Utfordringer med håndtering av overvann er noe Oslo opplever, i likhet med mange andre byer i Norden og Europa. Infiltrasjonskapasiteten minker i takt med utbyggelse og vannet forhindres å sige ned i grunnen, sammen med mer intense og økte nedbørsmengder

---

<sup>1</sup> Overvann er vann som renner på overflaten

<sup>2</sup> Klimamodellene baserer seg på blant annet befolkningsvekst, klimapolitikk, økonomi,

(klimaendringer). Dette fører til at Oslo by kan oppleve flere oversvømmelser og skader på bygninger og infrastruktur i dag og i fremtiden.

Å separere overvannet fra fellessystemet og håndtere vannet i åpne LOD-tiltak er høyt prioritert i nordiske land. I *Oslo kommuneplan Smart, Trygg og Grønn* (Oslo\_kommune 2015a) ble åpen LOD og en strategi for håndtering overvann tatt inn. Det kreves også at nye bygg fortrinnsvis skal håndtere overvannet som faller på tomten lokalt og åpent, gjennom infiltrasjon i grunnen, som tilsvarer ledd 1 i strategien. I *Hovedplan for avløp og vannmiljø* (Oslo\_kommune 2014) ble det foreslått at fokuset på overløpsdrift bør være å minimere utslippet maksimalt for hvert enkelt overløp. Tidligere har Oslo kommune operert med 3-årsregn som dimensjonerende regnhendelse for overløpsdrift.

Ved å separere med bruk av åpne LOD-tiltak, vil overvannsproblematikken legges bedre til rette for. I forbindelse med et pilotprosjekt på området for oppgaven, er et ønskelig å implementere tiltakene i en avløpsmodell for å se virkningen av dem.

### 1.1.1 Problemstilling

Denne oppgaven har to problemstillinger:

- Foreslå tiltak og vurdere/beregne effekten av disse for å redusere mengder og hyppighet fra overløpet AK52, som mottar vann fra fellesledninger i boligområdet på Grefsen/Kjelsås. Kan overvann separeres fra fellesledningen ved å benytte åpne LOD-tiltak på overflaten fremfor å legge ny overvannsledning?
- Finne en god nok metode for å beregne virkningen av LOD-tiltak med modellverktøyene som brukes i oppgaven.

## 1.2 Urban hydrologi

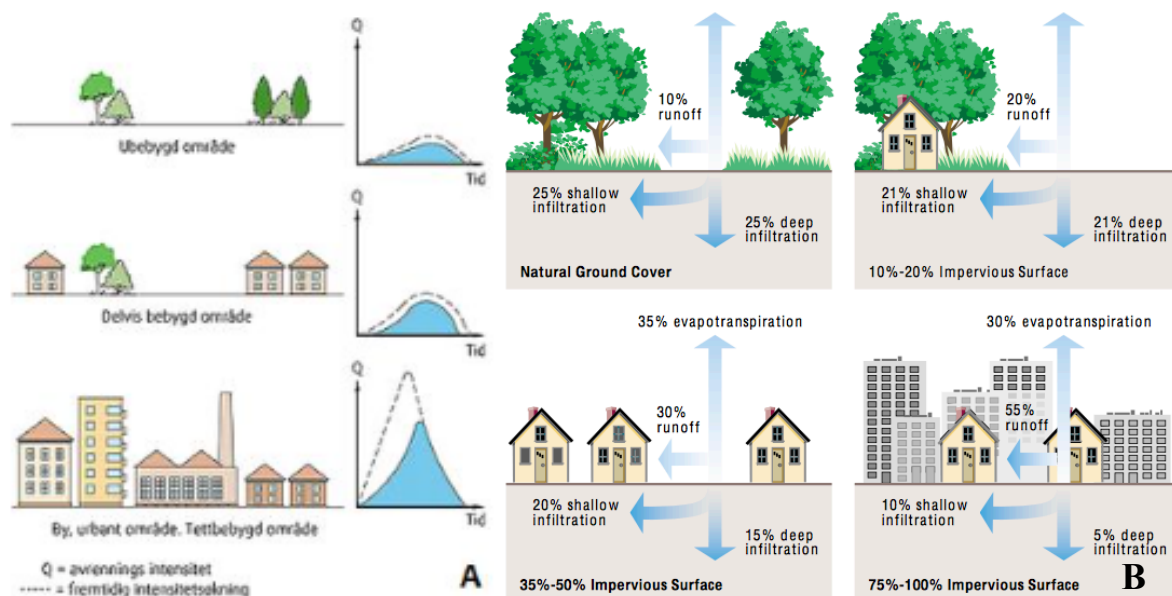
*Hydrologi* er et geofysisk fag som omhandler alt vann på jorda (NVE 2016a). Fordeling, sirkulasjon, kjemiske prosesser, fysiske egenskaper og relasjon til levende organismer, inngår i det faget. Vannets kretsløp kan beskrives med vannbalanselikningen:

$$P = R + E + I + \frac{\Delta S}{\Delta t} \quad (1.1)$$

der	P	=	Regnintensitet	[L <sup>3</sup> /T]
	R	=	Avrenning	[L <sup>3</sup> /T]
	E	=	Evapotranspirasjon	[L <sup>3</sup> /T]
	I	=	Infiltrasjon	[L <sup>3</sup> /T]
	$\Delta S$	=	Magasinvolument	[L <sup>3</sup> ]
	$\Delta t$	=	Tid	[T]

*Urbanhydrologi* defineres som den delen av vannets kretsløp som er knyttet til områder med byutvikling (Ødegaard et al. 2014). Ved utbygging øker andelen impermeable flater (tak og asfalt) på bekostning av naturlige og grønne overflater, som fører til endringer i den naturlige vannbalansen for området, fordi vannet hindres i å infiltrere i grunnen. Overflateavrenningen øker både i intensitet og volum (Nie et al. 2011; Skaaras et al. 2015), og avrenningsmønsteret endres. (Ødegaard et al. 2014)

Andre hydrologiske effekter av urbanisering er redusert fordamping og senkning av grunnvannstanden (NVE 2016b). Praktiske konsekvenser som følge av urbaniseringen er fare for oversvømmelse og setningskader på bygg, anlegg og infrastruktur, i tillegg til at resipienter kan få økt påkjenning både volum- og forurensningsmessig (NVE 2016b).



Figur 1.1 A: Urbanisering og effekt på avrenningen mengde og intensitet (SINTEF 2012). En nedbørshendelse får større konsekvenser for avrenningen, desto mer utbygd området er. Effekten av urbanisering vises på hydrografen, mengde per tid. Den heltrukne linjen viser hydrografen før urbanisering, og den stiplede linjen viser hydrografen etter urbanisering. B: Eksempel på urbaniseringens påvirkning på infiltrasjon og avrenning (FISRWG 2001; SINTEF 2012)

Figur 1.1 A viser utviklingen for den hydrologiske vannbalansen ved urbanisering. Intensiteten på avrenningen øker og flomtoppene inntreffer tidligere i områder med tettbebyggelse. På grunn av større andel tette flater, vil infiltrasjonen minke, hastigheten på avrenningen vil øke (som følge av mer glatte og friksjonsfrie flater) og den totale avrenningen vil inntreffe raskere og med større mengde enn før utbygging (Pazwash 2011). Som Figur 1.1 B illustrerer, vil mulighet til infiltrasjon være en avgjørende faktor til økt avrenning.

Forståelsen av den hydrologiske syklusen og påvirkningen urbanisering har på den, er viktig for å forstå utfordringene som oppstår. Håndteringen av overvannet er, som i mange andre land, et stort problem både for mennesker og bygg. På grunn av klimaendringer og stadig byvekst er det ikke lenger gunstig å løse dette ved den tradisjonelle overvannshåndteringen (føre vannet i rør og tunneler under bakken). Det er kostbart å oppgradere rørdimensjonene til ledningsnett. I tillegg kan utfordringer oppstå når viktig infrastruktur ikke kan vike for gravingen. Mye nedgravd infrastruktur og behov for fremkommelighet i by, gir behov for å tenke nytt. Ved å ta i bruk løsninger på overflaten med vegetasjon, vil vannet infiltreres, forsinkes og fordampe fra de grønne overflatene, og avrenningen reduseres. Dette kan gjøres

ved å etablere parkområder og bevare naturlig terreng. Fordi grunnvannets nivå er viktig for bygg og infrastruktur, vil påfylling ved hjelp av infiltrasjon balansere grunnvannsstrømningen (Ødegaard et al. 2014).

### 1.3 Klima og klimaendringer

*Klima* er en beskrivelse av gjennomsnittsværet over tid for et sted eller et område (MET 2017a). Det vil si gjennomsnittlig temperatur, nedbør og vind. *Klimaendring* vil si at ”gjennomsnittsværet” forandrer karakter over tid (MET 2017a). Det kan for eksempel være mer eller mindre nedbør, høyere eller lavere temperatur, mer eller mindre vind osv.

Globalt har klimaet endret seg siden forrige normalperiode (1961-1990). En *normalperiode* er normale meteorologiske verdier over en 30 års periode (MET 2017b). Disse normalverdiene brukes som referanseverdier som kan brukes til å sammenlikne normalverdier fra andre normalperioder. Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) mener vi i dag er i en normalperiode som strekker seg fra 1991 til 2020 (MET 2017b).

Observasjoner i nyere tid viser forandring i klima globalt. FN's klimapanel (IPCC) er en organisasjon som arbeider med å formidle klimaets status og forandringene som forventes (MET 2017a). På bakgrunn av disse framskrivningene<sup>2</sup> og observasjonene, er det i Norge lagd nasjonale klimaframskrivninger (Hanssen-Bauer et al. 2015). I IPCCs siste rapport *Climate Change* (2013) indikeres mindre is i de arktiske områdene, at isbreene trekker seg tilbake, økning i kraftige regn, havnivåets økning og flere varme dager og netter på endringer i klima (Stocker et al. 2014).

I Norge varierer klimaet mye med årstid og geografisk plassering (Ødegaard et al. 2014).

Normalt er våren den tørreste, og høst og vinter har mest nedbør.

Klima i Norge 2100 rapporten (Hanssen-Bauer et al. 2015) trekker frem observasjoner i klimaendringer som:

- Temperaturøkning: de siste 115 årene har temperaturen økt i gjennomsnitt 1 °C, og det forventes en ytterligere økning på 4,5 °C frem mot år 2100.
- Nedbør: 18 % økning frem mot år 2100 er forventet i forhold til år 1900. Antall kraftige styrtregnhendelser forventes økt. Det forventes økt vannføring, men mindre nedbør i form av snø.

---

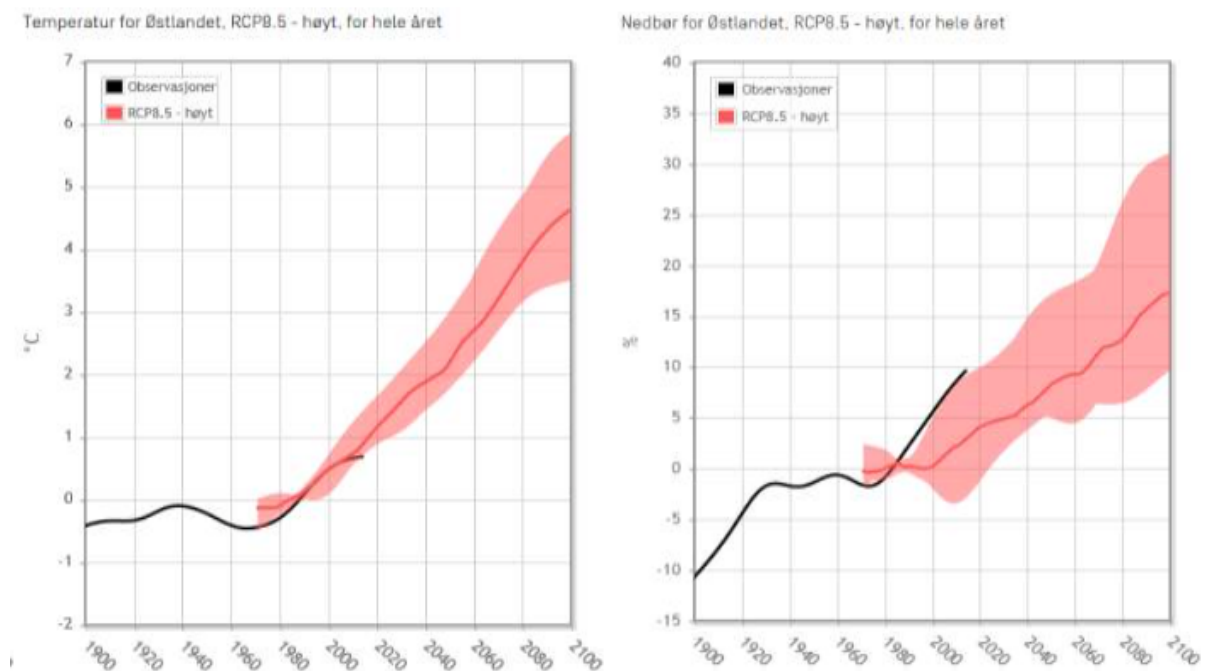
<sup>2</sup> Klimamodellene baserer seg på blant annet befolkningsvekst, klimapolitikk, økonomi, livsstil, energiforbruk og teknologi.



- Havnivå: økning på mellom 15 cm og 55 cm avhengig av lokalitet innen år 2100.

Klimaendringen som vil gi størst utfordring for Norge, er endringen i nedbør. Ved økt hyppighet, kraftigere intensiteter og større mengder nedbør, vil håndteringen av overvannet bli utfordrende.

Fordi oppgaven omhandler et område i Oslo, vil de lokale klimaframskrivningene for Østlandet være av interesse. Figur 1.2 viser hvordan henholdsvis temperatur og nedbør er forventet å utvikle seg med tiden for utslippsscenario RCP8.5.



Figur 1.2 Figurene viser avvik i temperatur (°C) og nedbør (%) i forhold til perioden 1970-2000 og videre for perioden 1900-2100 dersom utslippsscenario RCP8.5 skulle inntreffe på Østlandet. Kurvene viser medianverdien, med rødt areal som spredning mellom 10 – 90 persentil. (Hanssen-Bauer et al. 2015)

### 1.3.1 Klimafaktor

Som følge av klimaendringer er *klimafaktor* er en forventet relativ endring i nedbørintensitet (Skaaras et al. 2015). Ved å benytte seg av klimafaktor ( $K_f$ ) tar man høyde for tilnærmet klimaforandring i femtiden. Klimafaktoren multipliseres med nedbørintensitetene. Faktoren er avhengig av flere variabler og avhenger av dagens nedbørintensitet. Metoden for å beregne klimafaktoren i andre land varierer og dermed varierer også størrelsen på faktoren.

Klimafaktoren kan defineres ved formel (Paus et al. 2014):

$$K_f(GI, t + \Delta t, T, Z, S) = \frac{I(GI, t + \Delta t, T, Z, S)}{I(G, I, t, T, Z)} \quad (1.2)$$

der	$K_f$	=	Klimafaktor
	$I$	=	Dimensjonerende nedbørintensitet under gitte forhold
	$GI$	=	Gjentaksintervall
	$T$	=	Regnvarighet
	$Z$	=	Geografisk plassering
	$t$	=	Referanseperiode eller nåtid
	$\Delta t$	=	Varigheten på framskrivingsperioden
	$S$	=	Klimascenariet som legges til grunn for beregningene

Fordi klimafaktoren kan gi høye verdier for dimensjonerende nedbørintensitet, er det viktig at det ikke velges en for høy *sikkerhetsfaktor* (Paus et al. 2014). Ekstrakostnadene kan bli høye. Likevel må faktoren analyseres i forhold til området det skal dimensjoneres for (Paus et al. 2014). Steder med for eksempel kritisk infrastruktur bør tildeles en høyere sikkerhetsfaktor enn for eksempel et hyttefelt. Skadekonsekvensene er derfor avgjørende faktor for hvor god sikkerhet klimafaktoren skal få.

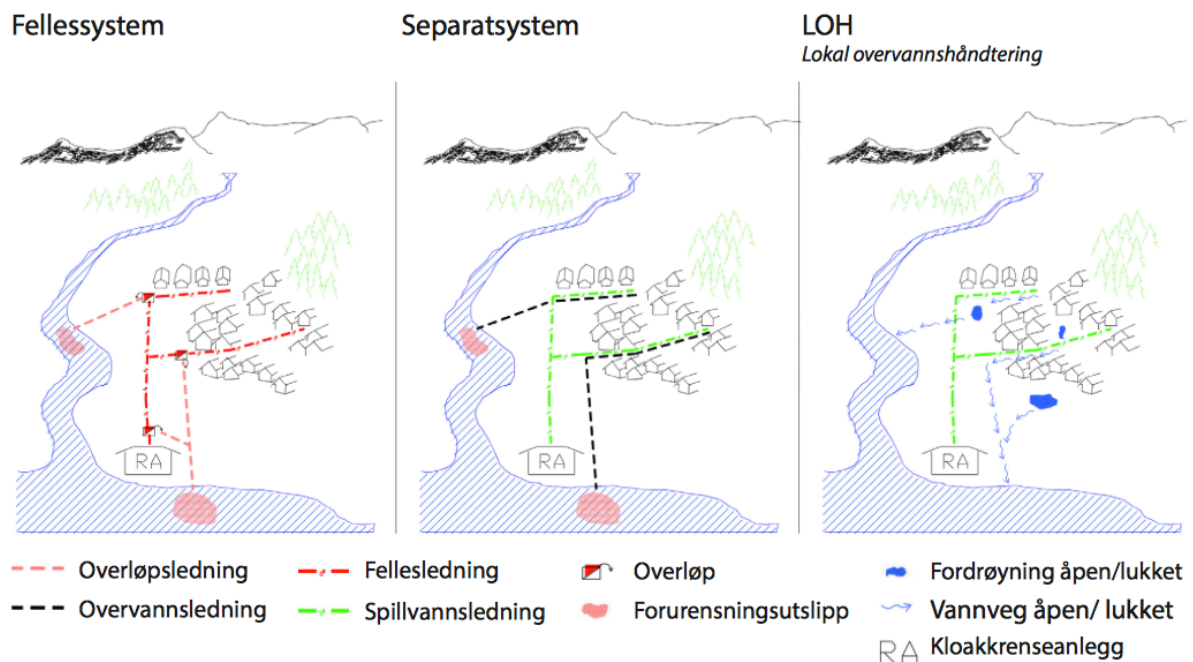
Kommuner opererer med ulike klimafaktorer. Dette er fordi statlige myndigheter har anbefalt kommunene å benytte seg av en klimafaktor (Norsk\_Klimaservicesenter 2017). Oslo kommune benytter seg av klimafaktor 1,5 for nye ledningsanlegg eller oppdimensjonering av gamle rør som har forventet levetid på 100 år (VAV 2013).

## 1.4 Avløpssystemet

*Avløpsvann* er betegnet som sanitært og industrielt spillvann og overvann (Skaaras et al. 2015), samt infiltrasjonsvann og nedbørsavhengige innlekkingsvann, som må renses før det slippes ut til naturen igjen (Ødegaard et al. 2014). *Overvann* er vann fra nedbør som ikke infiltrerer i grunnen, men renner av på overflater (NGU 2017a; Skaaras et al. 2015). For å transportere spillvannet og overvannet til rensenanlegg og resipient, har det tradisjonelt vært vanlig å frakte det gjennom et rørsystem. Det finnes to forskjellige rørsystemer: fellessystem og separatsystem.

### 1.4.1 Fellessystem og separatsystem

Et *fellessystem* transporterer spillvann og overvann (avløpsvann) i samme ledning (AF), mens et *separatsystem* består av to ulike ledninger der spillvannet (SP) og overvannet (OV) transporteres separat (Skaaras et al. 2015; Ødegaard et al. 2014). Separatledninger har vært anlagt i Oslo fra 50- og 60-tallet (VAV 2013).



Figur 1.3 Illustrasjon av fellessystem, separatsystem og lokal overvannshåndtering.

(Fredrikstad\_kommune 2007)

Den konvensjonelle behandlingen av overvann er å benytte fellessystem. Ledningene som benyttes i dag er gamle, og befolkningsveksten og urbaniseringen som har skjedd siden de ble anlagt gjør at ledningene i dagens situasjon er underdimensjonert i forhold til mengdene som oppstår ved nedbør. Dette fører til oppstuvninger i avløpsnett og problemer som kjelleroversvømmelser og direkte utslipp av avløpsvann til vassdrag. Derfor blir flere og flere fellessystemer byttet ut med separatsystemer i dag.

Utfordringer knyttet til fornyelse av ledningsnett i by er tilgjengelighet. Muligheten for å stenge av veger for å grave opp og legge nye ledninger kan ha store konsekvenser for trafikkavvikling ol. og være kostbart. Dette gir rom for å tenke nytt. En løsning som stadig øker i popularitet i både Norge og Europa er å separere fellessystemet uten å grave. Ved å

benytte ”no-dig”<sup>3</sup> metode for å fornye kvaliteten på eksisterende ledning i bakken og håndtere overvannet på overflaten, vil dette være besparende.

Avløpsvannets sammensetning for fellessystem og separatsystem er forskjellig, og utfordringene knyttet til økte overvannsmengder blir tydelig ved å se på dette (Ødegaard et al. 2014):

- Fellessystem:  $Q_T = Q_S + Q_O + Q_i + Q_{ind}$  (1.3)

- Separatsystem:

a)  $Q_T = Q_S + Q_i + Q_{ind}$  (1.4)

b)  $Q_T = Q_O + Q_i$  (1.5)

der	$Q_T$	=	Total vannmengde	$[L^3/T]$
	$Q_S$	=	Spillvann	$[L^3/T]$
	$Q_O$	=	Overvann	$[L^3/T]$
	$Q_i$	=	Infiltrasjons- og innlekkingsvann	$[L^3/T]$
	$Q_{ind}$	=	Industrielt avløpsvann	$[L^3/T]$

#### 1.4.2 Overløp

*Overløp* er viktig for et velfungerende avløpssystem. Oppgaven til overløpet er å hindre overbelastning av nedstrøms ledningsnett og avløpsreanseanlegg under regn og snøsmelting (Ødegaard et al. 2014). Dersom den totale mengden av spillvann og overvann blir større enn reanseanlegget kan behandle eller ledningsnettet kan transportere, vil dette gå i et overløp og bli ledet ut i nærmeste resipient. Overløp i fellessystemer er nødvendig for å gi avlastning i regn- og smelteperioder.

Funksjonskravene overløpet skal tilfredsstillende er (VA-miljøblad 2007):

- Videreføre mest mulig forurensning til avløpsreanseanlegg
- God hydraulisk kontroll
- Lav drift og vedlikehold
- Trygg arbeidsplass

---

<sup>3</sup> Gravefrie løsninger hvor eksisterende ledning benyttes for innføring av nytt.

I et avløpssystem er det to typer overløp (Ødegaard et al. 2014): regnvannsoverløp og nødoverløp. *Regnvannsoverløpet* benyttes for å avlaste nedstrøms ledning eller renseanlegg ved store nedbørmengder eller snøsmelting. *Nødoverløpet* skal hindre oversvømmelser under spesielle forhold og er plassert ved anlegg, basseng eller ledninger. Selv om overløp særlig er aktuelt for fellessystem, kan det også benyttes for separatsystem. Overløp i et separatsystem benyttes hvis det er behov for avlastning på renseanlegget. Dette kan skje ved svært høye belastninger og vannmengden overstiger maksimal dimensjonerende vannføring for renseanlegget. I tillegg brukes overløp som sikkerhet ved driftsuhell (pumpestopp, blokkeringer i ledninger).

Årsaken til ønskelig redusert vannmengde i overløp, er problemet med forurensning av resipient (Ødegaard et al. 2014). Overløp fra fellessystem fører urensset, fortynnet spillvann ut i vassdrag som forurenses.

I Oslo kommunes *Hovedplan for avløp og vannmiljø* (Oslo\_kommune 2014) har overløpsdriften for regnvannsoverløp tidligere hatt et mål om kun et overløp per tredje år. I nyeste hovedplan foreslås det at man går bort i fra dette målet, og fokuserer på å minimere overløpsdriften for hvert enkelt overløp frem mot 2030.

## 1.5 Overvannshåndtering (Lokal overvannsdiskonering)

*Overvann* er den delen av nedbøren som ikke infiltrerer ned til grunnen eller fordamper, men som renner av fra tak, vegger eller andre impermeable og permeable overflater (Lindholm et al. 2008; Ødegaard et al. 2014). *Lokal overvannsdiskonering* (LOD) er et begrep som brukes for håndtering av overvann. Det skilles mellom åpne og lukkede LOD-tiltak, hvor åpne løsninger har som hovedmål å gjenskape områdets opprinnelige hydrologi. Denne metoden for å håndtere overvann er en mulighet der ledningsnettets ikke lenger har kapasitet nok til å håndtere overvannsmengdene (Ødegaard et al. 2014).

Fordi overvannet er i kontakt med overflaten, er kvantiteten og kvaliteten av overvannet påvirket av karakteristikken til regnfallet og området (Becker 2016). Lokal håndtering av overvann er en beskyttelse mot skader fra oversvømmelse og naturkatastrofer, samtidig som det gir byer en grønn faktor som kan brukes som ressurs når det er forsvarlig og praktisk. Det

er ønskelig at overvannet behandles eller holdes tilbake på overflaten for å avlaste renseanleggene, særlig ved de kraftigste nedbørene (Ødegaard et al. 2014).

Overvannshåndtering er et felt som kontinuerlig er i utvikling og behovet for nye løsninger øker stadig (Møller-Pedersen 2015). Ved å bruke vann i form av åpne bekkeløp, renner, vannspeil og dammer, aktivt, kan byen sikres mot oversvømmelse. Samtidig vil byens mikroklima forbedres, biologisk mangfold fremmes, og nye grønne rom og rekreasjonsarealer skapes for folk i byen (AsplanViak 2016). For at løsningene skal gi miljøgevinst og redusere kostnader tilknyttet infrastruktur, er det viktig at de er enkle og håndterbare vedlikeholdsmessig samtidig som at de oppfyller LOD-tiltaket (AsplanViak 2016). I urbaniserte områder må overvann håndteres på en kontrollert måte. Forskjellen på avrenning fra naturlig terreng sammenliknet med tette flater som tak, veier og plasser, er stor (se Figur 1.1).

Tette flater genererer større avrenning, i tillegg til at overvannet kan være sterkt forurenset av biltrafikk, salting og strøing. Åpne LOD-løsninger håndterer overvann etter naturens egne prinsipper og reduserer utslipp av forurensninger. Tradisjonelt har man ledet overvann i bebygde områder bort via sluk og ledninger til renseanlegg eller vassdrag. Negative følger av dette vil være at vannet fjernes fra sitt naturlige kretsløp så fort som mulig, og at lukkede systemer er kapasitetsbegrenset ved flomsituasjoner og har liten eller ingen renseeffekt (Faafeng & Roseth 1993). Ved å benytte åpne LOD-løsninger kan vannet bli en resurs for opplevelse, lek og biologisk mangfold. Slike naturlige løsninger kan være forsenkninger og regnbed, åpne bekker og renner, kanaler og dammer (AsplanViak 2016).



*Figur 1.4 Flerfunksjonelle lekeområder kan implementeres for å holde overvann tilbake midlertidig. (AsplanViak 2016; Gabriel & Fiil 2016)*

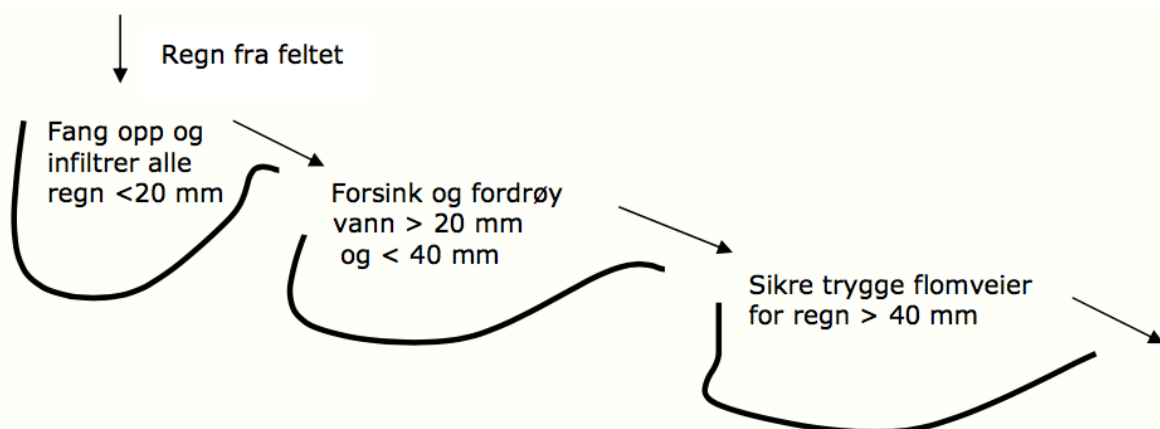
Selv om hovedformålet med LOD er å håndtere overvannet, kan det være ønskelig å ha en merverdi på anleggene. En slik merverdi er knyttet til opplevelse, rekreasjon, biologisk mangfold og rensing, eksempelvis (AsplanViak 2016).

Figur 1.4 viser til høyre Musicon skateanlegg i Roskilde, hvor regnvann ledes gjennom skateanlegget til et regnvannsbasseng. Ved ekstremregn er skateboardanlegget innlagt som magasineringsvolum (Gabriel & Fiil 2016). Til venstre vises en dam nederst i skolegården på Byåsen skole i Trondheim, som har blitt en populær lekeplass (AsplanViak 2016). Disse to eksemplene er god eksempel på hvordan LOD-løsninger kan kombineres med opplevelse og lek.

Fokuset på åpne LOD-løsninger kontra lukkede systemer er sterk i dag. Åpne løsninger gir økt trivsel, økt flomsikkerhet og reduserte utslipp av forurensninger (AsplanViak 2016). Fordi klimaendringene, mest sannsynlig, vil føre til mer og kraftigere nedbørshendelser i Norge, er det viktig å ta i bruk og legge til rette for vannet på best mulig måte.

### 1.5.1 Tretrinnsstrategien

Det er utviklet en strategi for håndtering av overvann, *tretrinnsstrategien*, som går ut på at regnvannet som fallet på feltet håndteres i tre trinn ut i fra intensitet og mengde på nedbøren (Figur 1.5). Ved å ta i bruk denne strategien, med tilpassede nedbørsmengder, vil overvannet bli behandlet på en trygg måte og bebyggelsen vil nå en meget god sikkerhet mot skade ved ekstremnedbør.



Figur 1.5 Tretrinnsstrategien. Illustrasjon på strategi for håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt. (Lindholm et al. 2008)

## 1.6 Oversikt over LOD – løsninger

Anlegg som håndterer overvann bygger på forskjellige prinsipper: infiltrasjon, magasinering, transport, transpirasjon og fordrøyning. Oppgaven tar for seg åpne LOD-løsninger fra trinn 1 og trinn 2 i tretrinnsstrategien, og i dette kapittelet vil de relevante løsningene beskrives.

Reduksjonen av avrenning fra privat tomt er ofte ikke så stor, men samlet effekt kan ha stor betydning (Lindholm et al. 2008). Å utnytte mulighetene for LOD på hver enkelt tomt bør det derfor bli mer fokus på.

Tiltakene presenteres først med en beskrivelse, hvor hovedprinsipp og utforming forklares. Deretter diskuteres fordeler og ulemper med tiltaket. Tilslutt presenteres grad av reduksjon, som vil si resultater fra forsøk på hvor gode tiltakene er i praksis.

### 1.6.1 Frakobling av taknedløp

#### **Beskrivelse**

*Frakobling av taknedløp* er en løsning for å redusere vannmengdene i ledningsnett, på en rimelig og enkel måte. Vannet ledes ut mot baken fra nedløpet, gjerne mot gressflater eller andre permeable overflater som lar vannet infiltrere i grunnen (Braskerud & Skallebakke 2013).

Vannet som faller på tak (hus og bygninger) kan føres direkte til avløpssystemet eller overvannssystemet via taknedløp. Dette gir rask avrenning og store mengder vann til ledningsnett, særlig i et område med mye takareal og andre impermeable flater. For å redusere vannmengden og tilbakeholde vannet, kan taknedløpene frakobles og vannet ledes ut mot permeable, infiltrasjonsegnete områder (som for eksempel gressplen). Dette kan gjøres med et ”nedløpsrøutkast” nederst på nedløpsrøret. Derfra kan overvannet ledes til gressplenen direkte eller via et fleksibelt rør, en renne av betong, naturstein etc. Hvor vannet blir ledet er det viktig å kartlegge, da utslipp for nære husets grunnmur kan gi fuktskader. Det er anbefalt (Braskerud & Skallebakke 2013) at avstand mellom utkast og bygg er 1-2 m avhengig av om huset har kjeller eller ikke.





*Figur 1.6 Eksempel på frakoblede taknedløp. Bildet til venstre viser hvordan nedløpet kan frakobles avløpsnett. Vannet renner derfra via et fleksibelt rør til et infiltrasjonsvennlig område på overflaten. Et eksempel på utløp er vist på bildet til høyre. Steinen foran utløpet hindrer erosjon og gjengroing foran utløpet. (Foto: Bent C. Braskerud)*

Figur 1.7 viser to bilder av frakoblede taknedløp på feltet for oppgaven. Bildet til venstre tar i bruk renner fra utløpet for å føre vannet ut fra husveggen til gressplen. Selv om denne håndteringen står i stil med tiltakets beskrivelse, ser det ut til at rennene ligger i veien for ferdsel og kan bli et irritasjonsmoment for beboer som stadig kan snuble borti rennene. Slike løsninger er en av grunnene til at folk kobler taknedløpene sine til drensledningen, i tillegg til å bli kvitt ”våt plen”. Bildet til høyre viser et taknedløp som er støpt inn i terrassetrappen for å unngå våt plattning.



*Figur 1.7 Eksempler på kreative frakoblede taknedløp på området Grefsen/Kjelsås tatt sommeren 2016. (Foto: Marthe C. Ingebrigtsen)*

## **Fordeler og ulemper ved frakobling av taknedløp (fra et urbanhydrologisk standpunkt)**

Listene baserer seg på erfaringer fra (Becker 2016; Becker et al. 2016; Braskerud & Skallebakke 2013; Lindholm et al. 2008):

### **Fordeler**

- Intensiteten på avrenningen i avløpsnettet reduseres.
- Forurensning som går i overløp reduseres.
- Enkel og rimelig metode.
- Gir god oversikt over vannvei i terrenget (til motsetning av nedgravde ledninger der kontrollen på vannet er uoversiktlig).
- Redusert behov for vanning av gressplen.
- Grunnvannsnivået opprettholdes via infiltrasjon.

### **Ulemper**

- Nødvendig overflateareal kan være for lite, slik at vann renner på overflaten. (For eksempel ut på vei til nærmeste veisluk eller inn til nabo.)
- Plassering av utløpsrør kan gi utfordringer for ferdsel i hagen. For eksempel ved klipping av gressplen.
- Nedgravd utløpsrør kan fryse, og blokkere avrenningen.
- Erosjonsskader ved høye vannføringer ved utløp.

### **Grad av reduksjon/demping av avrenning**

Hvor godt vannet infiltrerer avhenger av evnen jorden har til å frakte vannet ned i grunnen. I et område med mye leirholdig jord vil for eksempel mindre vann kunne trenge ned i grunnen enn for grovkornet, sandig jord. Likevel har nye forsøk vist at selv plen på leirjord infiltrerer og tilbakeholder mye vann (Becker 2016; Solheim 2017).

Det finnes lite dokumentasjon på effekten av tiltaket i litteraturen. Becker (2016) tok for seg i hvilken grad frakobling av taknedløp med utkast på terreng tilfredsstillende første trinn i tretrinnsstrategien og nødvendig infiltrasjonsareal. En oversikt over hvor stor andel av et 5-årsregn med varighet 2 timer (27,4 mm) terrenget holdt tilbake i forhold til infiltrasjonsareal og mettet hydraulisk konduktivitet ( $k_{sat}$ ) i forsøket er vist i Tabell 1.1. Medianverdien for områdene med lettleire og 0,25 av takets areal er 70 %. Det vil si 70 %, eller 19,18 mm nedbør, infiltrerte plenen.

Tabell 1.1 Resultater fra forsøk på Ekeberg. Tilbakeholdent nedbør (%) er vist med hensyn på infiltrasjonsareal i forhold til takareal og infiltrasjonskapasitet i jord (Becker et al. 2016).

Med tilbakeholdent nedbør menes hvor mye vann som reduseres fra avrenningen.

Område	Jordtype	K <sub>sat</sub> -verdi (cm/t)	Andel infiltrasjonsareal i forhold til takareal [%]				
			0,25	0,5	1	2	3
B20	Lettleire	12,1	66	83	96	100	100
B28	Siltig mellomleire	15,3	86	100	100	100	100
B30	Lettleire	10,5	58	77	90	98	100
B65	Lettleire	15,2	75	92	100	100	100
E14	Lettleire	15,2	75	92	100	100	100
L34	Sandig lettleire	35,0	79	92	100	100	100
R5	Lettleire	6,3	51	70	85	94	98
R29	Lettleire	18,4	70	87	98	100	100
R44	Siltig sand	46,0	84	95	100	100	100
S10	Lettleire	2,5	31	46	59	71	75
S75 (bcde)	Lettleire	18,8	84	99	100	100	100
S75 (a)	Siltig sand	30,0	86	99	100	100	100

Vannet som ikke infiltrerer i grunnen, overskuddsvannet, må det legges til rette for. Disse vannmengdene kan behandles videre ved hjelp av andre LOD-tiltak, eller renne til overvannsnett eller avløpsnett via en kum. Det er viktig at vannet ikke eroderer eller renner inn til nabotomten, andre bygninger eller infrastruktur. Nødvendig infiltrasjonsareal bør være 1-2 ganger større enn takarealet for å håndtere overvannet i følge *Norsk vann rapport Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* (Lindholm et al. 2008). Som Tabell 1.1 viser, har forsøket vist at selv leirholdig jord reduserer store deler av avrenningen med lavere infiltrasjonsareal (Becker 2016; Becker et al. 2016).

Urban jord er ofte sterkt modifisert og sammenpakket (Becker 2016). Hvor godt leirholdig jord kan redusere avrenning fra nedbør, har masteroppgaven *Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering* (Solheim 2017) sett på. Resultatene fra oppgaven viste at leirholdig jord faktisk kan infiltrere en god del vann. Ofte kunne jorda håndtere et 200-års regn fra 9 min eller mer (Solheim 2017). I Tabell 1.2 presenteres resultater fra Jupiter jordet. K<sub>sat</sub>-verdier i dypet ga medianverdi på 5,7 cm/h.

Tabell 1.2 Resultater etter Solheim (2017). Infiltrasjonsmålinger fra Jupiter jordet. Målinger ble gjennomført på to ulike steder (blokker), derav A/B. Verdiene er matlabkorrigererte for sideveis vanntransport.

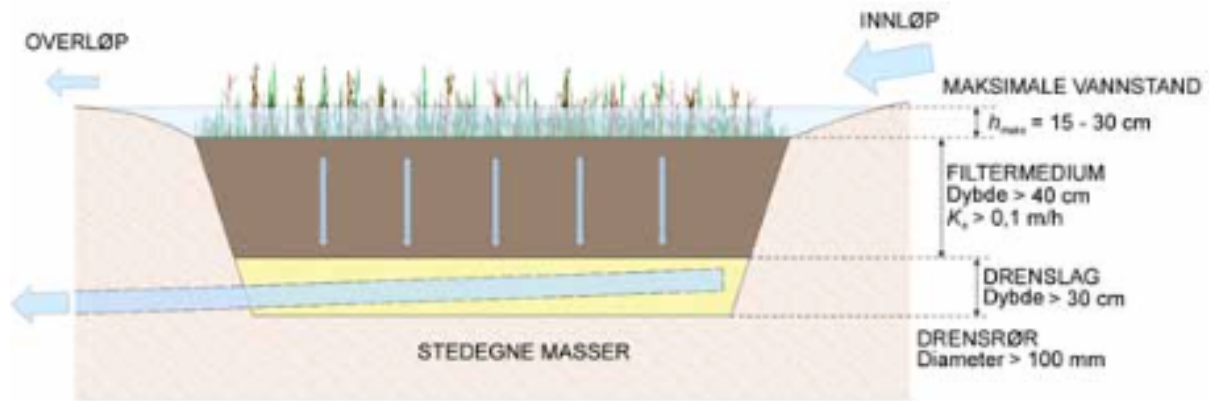
Metode	$K_{sat}$
MPD (A)	7,2
MPD (B)	6,3
MPD i dypet (A)	6,0
MPD i dypet (B)	5,4

## 1.6.2 Regnbed

### Beskrivelse

*Regnbed* er et beplantet anlegg med forsenkning i terrenget, hvor hensikten er å holde tilbake overvann fullstendig eller midlertidig (Paus & Braskerud 2013). Overvannet lagres på overflaten og infiltrerer til grunnen eller ledes til overvannsnett/avløpsnett via et drensør. Overvannet kan komme fra hustak, gårdsplasser, parkeringsareal og veger.

Oppbygningen av regnbedet avhenger av stedegne masser. Er forholdene gode, vil det ikke være nødvendig med utskifting av masser og drenering. Hvis jorda er leirholdig er det vanlig å drenere regnbedet til overvannsnett/avløpsnett. Figur 1.8 viser en skisse av et generelt regnbed med drenering. Utformingen av regnbedet må tilpasses til hver lokasjon, men oppbygningen er generell, med forsenkning i terrenget og beplantning.



Figur 1.8 Illustrasjon av regnbed. Generell oppbygning av et regnbed med drenering. (Paus & Braskerud 2013)

Ved dimensjonering krever anleggene et overflateareal på ca. 5-10 % av det aktuelle nedbørfeltet etter generelle retningslinjer (Paus & Braskerud 2013).

Formelen for å beregne nødvendig overflateareal til et regnbed, benytter sammenhengen mellom en nedbørmengde som faller konstant intensitet over en gitt regnvarighet (Paus & Braskerud 2013):

$$A_{\text{regnbed}} = A_{\text{felt}} * c * \frac{P}{(h_{\text{maks}} + K_h * t_r)} \quad (1.6)$$

der	$A_{\text{regnbed}}$	=	Overflateareal	$[L^2]$
	$A_{\text{felt}}$	=	Nedbørfeltets størrelse	$[L^2]$
	$c$	=	Nedbørfeltets gjennomsnittlige avrenningskoeffisient	$[-]$
	$P$	=	dimensjonerende nedbørmengde	$[L]$
	$h_{\text{maks}}$	=	Maksimal vannstand på overflaten før overløp	$[L]$
	$K_h$	=	Filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet	$[L/T]$
	$t_r$	=	Dimensjonerende varighet på tilrenningen til regnbedet	$[T]$

### Fordeler og ulemper ved regnbed (fra et urbanhydrologisk standpunkt)

Listene baserer seg på litteratur fra (Paus & Braskerud 2013).

#### Fordeler

- Tilbakeholder vann lokalt.
- Etterfyller grunnvannet.
- Kan rense forurenset vann (Paus 2016).

- Øker blågrønn faktor ved å bevare vann i det urbane miljøet og forsterke grønnstruktur og biodiversitet.
- Godt egnet til å redusere flomtopper i et gammelt avløpssystem.
- Kan ettermonteres og oppdimensjoneres i nedbørsfeltet.

### **Ulemper**

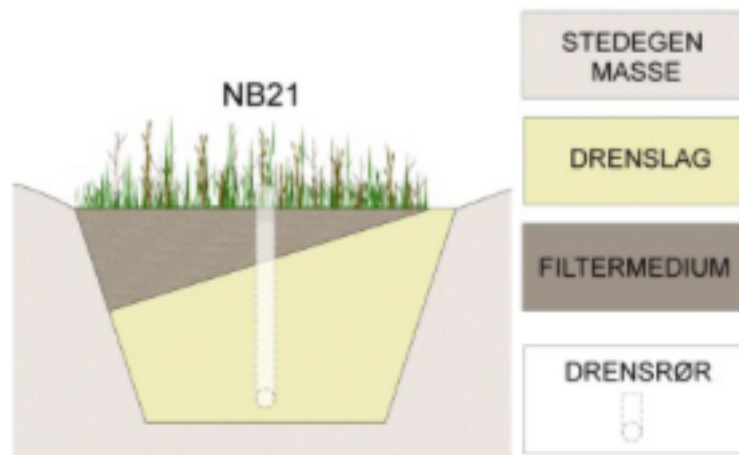
- Anleggene krever overflateareal.
- Krever vedlikehold.
- Ved tette stedegne masser, må disse skiftes ut med infiltrasjonsegnete masser og regnbedet må dreneres. Dette øker kostnadene.

### **Grad av reduksjon/demping av avrenning**

Regnbed som LOD-tiltak faller under trinn 1 og 2 i tretrinnsstrategien, ved å fange opp og infiltrere (trinn 1) og forsinke og fordrøye (trinn 2). I hvilken grad avhenger av regnbedets overflateareal, den maksimale vannstanden på overflaten og infiltrasjonskapasiteten (Paus & Braskerud 2013) .

Tiltaket er ikke like utbredt i Norge på grunn av manglende erfaring og usikkerhet i virkningsgrad for kaldere klima. De fleste internasjonale forskningene og erfaringene rundt regnbed forekommer i varmere klima enn det vi har i Norge. Det første regnbedet i Norge ble anlagt i 2006, med påfølgende tre nye i løpet av 2009 og 2010, som er brukt til forskning og legger grunnlaget for utforming og dimensjonering for regnbed i Norge (Paus & Braskerud 2013; Paus et al. 2016).

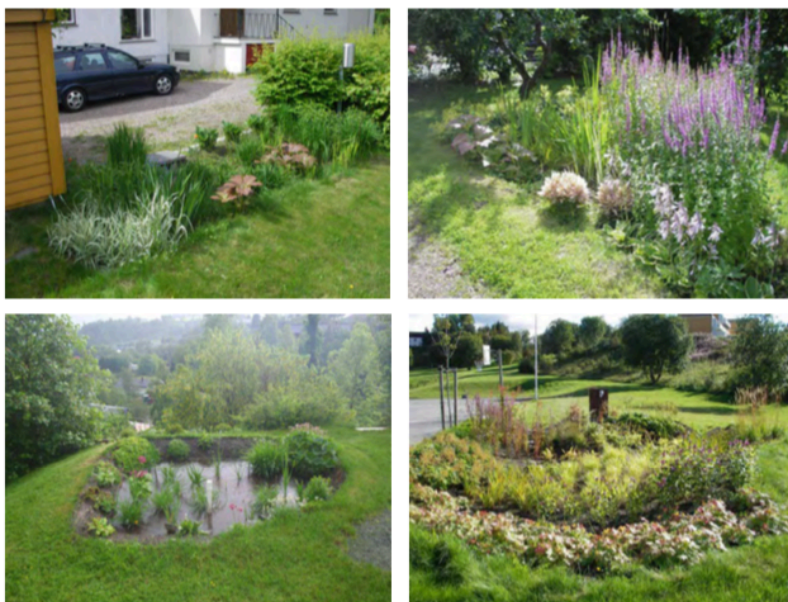
(Saksæther & Kihlgren 2012) beskriver ytelsesgraden fra et av regnbedene i Oslo, som ligger på leirjord. Utformingen av dette regnbedet er vist i Figur 1.9, og Tabell 1.3 viser resultatet av kunstig tilført nedbør i et forsøk.



Figur 1.9 Illustrasjon av regnbedet NB21. (Paus & Braskerud 2013)

Tabell 1.3 Resultatene er hentet fra tabell 13 i (Saksæther & Kihlgren 2012), hvor mengde tilbakeholdt nedbør, forsinkelse og flomtoppreduksjon er presentert. Forsinkelsen er regnet til å gjelde for start nedbør til avrenning starter. Flomtoppreduksjon tilsvarer hvor mye vann som er redusert til avrenning. Nedbør tilbakeholdt sier noe om hvor stor vannmengde som er tatt opp i regnbedet.

Gjentaksintervall	Forsinkelse	Flomtoppreduksjon	Nedbør tilbakeholdt
5-10 år 20,4 mm på 30 min	12 min	82 %	9 mm
25-50 år 24,1 mm på 20 min	11 min	77,2 %	10,4 mm



Figur 1.10 Regnbred anlagt i Norge. Øverst til høyre er regnbredet NB21. (Foto: Bent C. Braskerud, Rolf Grande og Arvid Ekle)

### 1.6.3 Grønne tak

#### Beskrivelse

Et vegetasjonsdekket tak, *grønt tak*, er et LOD-tiltak som ikke opptar verdifull byggegrunn i by, med et tynt jordlag og planter (Braskerud 2014b) som demper og fordrøyer avrenning etter nedbør (Hanslin & Johannessen 2016). Grønne tak kan anlegges på alle tak. Moderne grønne tak kan deles inn i tre hovedgrupper (Braskerud 2014b; Dahl 2012): Ekstensive tak, intensive tak (takhager) og hybride tak (semi-intensive) tak.

- *Ekstensive tak* er ofte dominert av sedumarter som tåler mye tørke og næringsfattig jord. Vekten i vannmettet tilstand kan variere fra 50-130 kg/m<sup>2</sup> og tykkelse på opp til 10 cm på vekstmediet. Denne hovedgruppen grønne tak krever lite vedlikehold, med 1 til 2 ganger ettersyn årlig.
- *Intensive tak* krever mer vedlikehold, fordi de fleste arter kan i prinsippet benyttes ved denne gruppen. Taket fremstår som en hage, på lik linje med en park eller hage på bakkenivå. Vekten varierer ved artene som benyttes, men kan beregnes til å ligge på 240-900 kg/m<sup>2</sup>. Et slikt tak vil kun anlegges på nye bygg på grunn av tilpasningen til bruk og vekt.



- *Semi-intensive* tak har som karakteristikk en mellomting mellom de to andre hovedgruppene. Tykkelsen på vekstmediet ligger på 10-20 cm. Mangfoldet i arter er større enn på ekstensive tak. Torvtak som har blitt brukt i norsk byggeskikk i århundrer ligger innenfor denne hovedgruppen.



Figur 1.11 Et anlagt grønt tak på kjøpesenteret Emporia i Malmö. (Plaanja 2015)

Tabell 1.4 Beskrivelse av de ulike typene grønne tak oppsummert: (bærekraftig landskap = grønne tak som er mer rettet mot økologisk nytte enn menneskelig bruk) (Braskerud 2014b; Dahl 2012)

Egenskaper	Ekstensive tak	Hybrid tak	Intensivt tak
<b>Bruk</b>	Bærekraftig landskap, noe rekreasjon	Hager eller bærekraftig landskap	Takhager eller parker for ferdsel, bærekraftig landskap
<b>Vegetasjonstype</b>	Tørketolerante sedumarter (bergknappfamilien) dominerer, moser, urter, gressarter	Gressarter, urter, ville stauder, kratt, busker	Gressplen, flerårige planter eller stauder, kratt, busker, trær
<b>Tykkelse på vekstmedium</b>	40-100 mm	100-200 mm	150-500 mm
<b>Vannmettet vekt</b>	50-130 kg/m <sup>2</sup>	120-200 kg/m <sup>2</sup>	240-900 kg/m <sup>2</sup>
<b>Vedlikehold</b>	Minimalt	Moderat	Vanligvis mye
<b>Vann holdt tilbake</b>	Lite	Varies	Mye
<b>Kostnad</b>	Lav	Middels	Høy

Formålet med grønt tak som LOD-tiltak er at nedbøren som faller på taket vil sige ned i jordlaget i konstruksjonen, og deretter vil vannet ved hjelp av solen fordampe over tid, oppsamles og gjenbrukes hvis det er aktuelt, eller avrenne og ledes i avløpsnett (Braskerud & Ødegård 2014).

Ekstensiv tak kan ettermonteres på eksisterende bygg, og de letteste konstruksjonene veier ikke mer enn vanlig takstein. Intensiv og semi-intensiv tak vil kreve mer tilpasning til bygget på grunn av vekten og formålet, slik at det i denne oppgaven vil fokuseres på ekstensiv tak (Braskerud & Ødegård 2014).

Et grønt tak vil gi bygningen et unikt utseende, og byens estetikk og kvalitet vil øke. Fordi vegetasjon forsvinner til fordel for infrastruktur og bygg i et urbant område, vil mulighetene for å fange opp og holde vannet tilbake i jord og vegetasjon avta. Et grønt tak vil kunne imøtekomme dette behovet, til en viss grad (Braskerud 2014b).

I mange byer i hele verden er grønne tak et økende tiltak. I Norge har ikke utviklingen kommet like langt, men i de største byene har det blitt anlagt både grønne tak og takhager (NGU 2017a).

### **Fordeler og ulemper med grønne tak (fra et urbanhydrologisk standpunkt)**

Listene baserer seg på litteratur fra (Braskerud 2014b; Hanslin & Johannessen 2015; Locatelli et al. 2014).

#### **Fordeler**

- Tilbakeholder nedbør og reduserer avrenning til avløpsnett.
- Forurensning som går i overløp reduseres.
- Øker den blågrønne faktoren til bymiljøet.
- Forlenger takets levetid (beskytter mot UV-stråler).
- Virker avkjølende på bygg på varme dager og isolerer ved kalde.
- Fanger svevestøv og gir renere luft.
- Øker det biologiske mangfoldet (tilrettelegger for "røddlistearter").
- Minker fare for snøras på grunn av friksjon fra vegetasjon.
- God utnyttelse av overvannshåndterbart areal.

#### **Ulemper**

- Høyere anleggskostnader enn ved bruk av takpapp/shingel.
- Vedlikehold.

- Lekkasje kan føre til en mer krevende jobb enn på et ”vanlig” tak.
- Dreneringen (sluket) må holdes åpen, hvis ikke kan vegetasjonen dø på grunn av drukning ved nedbør.

### Grad av reduksjon/demping av avrenning

Selv om Tabell 1.4 oppsummerer at tilbakeholdt vann fra ekstensive tak er lite i forhold til de to andre typene grønne tak, vil ekstensive tak bidra med demping og forsinkelse av avrenning (Braskerud 2014b; Locatelli et al. 2014; Noreng et al. 2012). Grønne tak fungerer som grønne arealer på bakken, men med et tynnere jordlag. Store deler av vannet som faller om sommeren reduseres ved fordamping. Evnen taket har til å holde på vannet avhenger av tykkelsen på jordlaget. Ved langvarige regn vil jordlaget mettes og reduksjonen på avrenningen minker (Åstebøl et al. 2013).

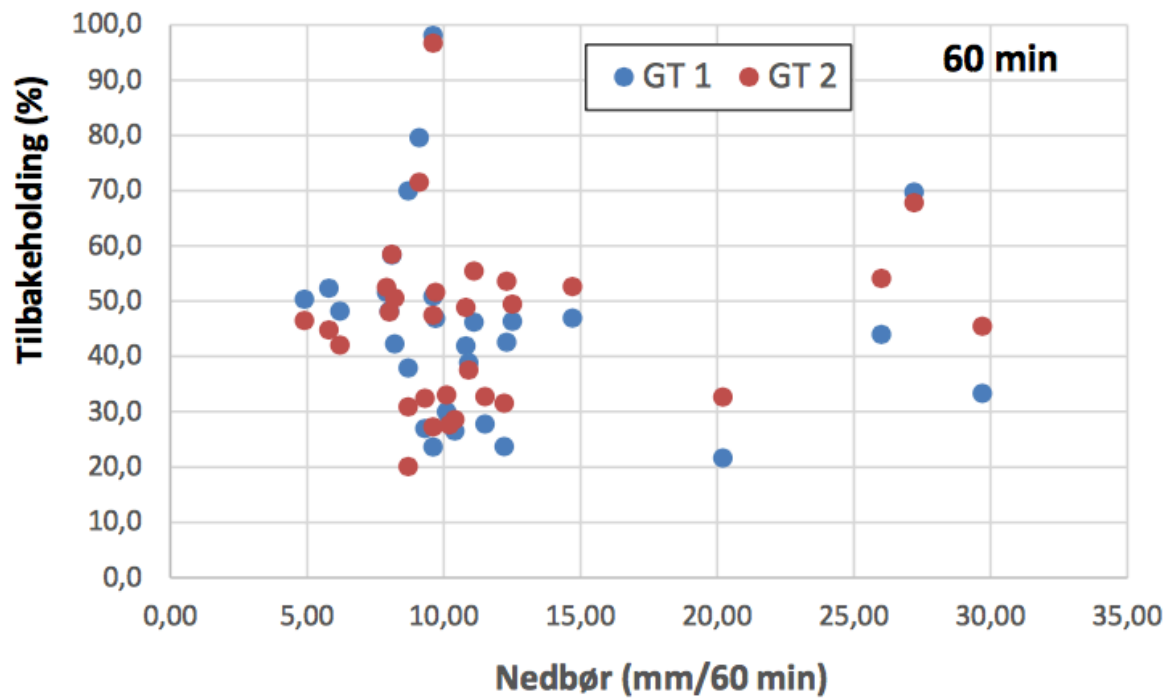
I Norge ble det i perioden 2009 til 2014 gjort et forsøk (Braskerud 2014b) for å måle tilbakeholdt nedbør på ekstensive tak i Oslo. Resultatene viste at tilbakeholdt nedbør kan variere fra 20 % til 80 %, avhengig av dimensjoneringen, årstid og regnintensitet.

Forsinkelsen kunne være på 5 – 15 minutter.

Gjennomsnittlig relativ tilbakeholdent nedbør er i (Braskerud 2014a) presentert i Tabell 1.5 ut i fra forskjellig varighet og Figur 1.12:

*Tabell 1.5 Presenterte resultater fra forsøk. GT1 representerer konstruksjonen til venstre i Figur 1.13. GT2 representerer konstruksjonen til høyre i Figur 1.13. Tallene viser gjennomsnittlig relativ tilbakeholdent nedbør fra de 30 mest intensive regnhendelsene i forsøket +/- st. dev.. (Braskerud 2014a)*

	5 min		10 min		20 min		30 min		60 min	
GT 1	56	±21	53	±21	50	±21	49	±20	45	±17
GT 2	64	±18	59	±20	55	±18	51	±19	46	±16



Figur 1.12 Tilbakeholding av vann i % av tilførte vannmengder ved nedbørsvarighet på 60 minutter på to grønne tak, GT1 og GT2.



Figur 1.13 Eksempel på oppbygning av ekstensive grønne tak. (Foto: Bent C. Braskerud)

## 1.6.4 Permeable dekker

### Beskrivelse

Fordi et urbanisert område består av store deler impermeable flater, med store overvannsmengder og fare for oversvømmelse og flom, er porøse flater et tiltak for håndtering av overvann. Et *permeabelt dekke* transporterer overvannet ned i grunnen, til drenering eller til magasinering (Møller-Pedersen 2015). Infiltrasjonsevnen til massene under dekket har stor betydning for dimensjonering og utforming av anlegget. Om stedegne masser ikke er infiltrasjonsvennlig, vil det være nødvendig med drenering ut fra det permeable dekket. Et permeabelt dekke er bygd opp av ulike lag: et permeabelt slitelag som drengasfalt eller belegningsstein, et ubundet lag som velges ut i fra overliggende lag, og et fundament eller dreneringslag som sikrer at vannet siger ned til undergrunnen eller ledes bort.



*Figur 1.14 Permeabelt dekke med belegningsstein som slitelag (VA-forum 2015).*

### Fordeler og ulemper ved permeable dekker fra et urbanhydrologisk standpunkt

Listene baserer seg på (Myhr & Lippestad 2016) vurderinger.

#### Fordeler

- Utnytter ledig magasin i steinfyllingsmassen under overflaten.
- Kan bidra til behandling av overvann på egen tomt uten rør og kum.
- Isdannelse ved vekslende frysing/tinging er lav.
- Levetiden er lang.

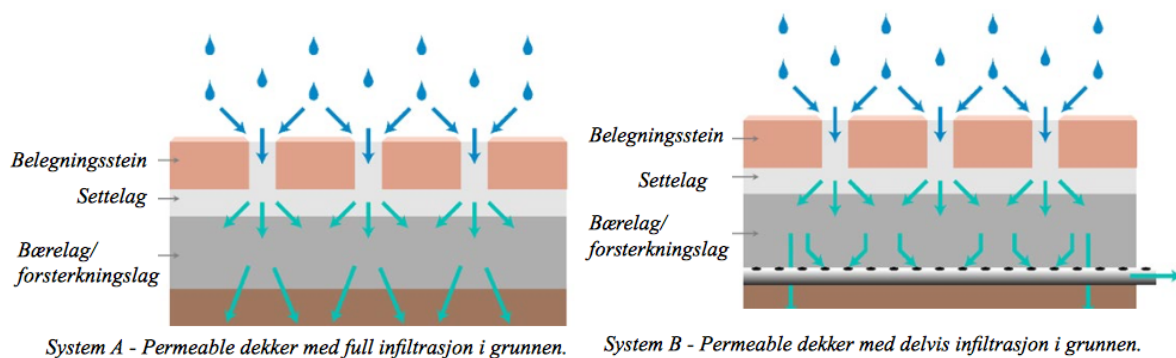
## Ulemper

- Vedlikehold.

## Grad av reduksjon/demping av avrenning

I oppgaven vil permeabelt dekke med belegningsstein benyttes i tiltakene. Belegningsstein i betong er tette, men fugene gjør dekket infiltrasjonsvennlig. Dreneringskapasiteten til dekket avhenger av andel åpent areal i overflaten. For permeabelt dekke med belegningsstein er dimensjonerende infiltrasjon 200 l/s/ha over tid, forutsatt at utførelse og vedlikehold foregår riktig. Rett etter bygging vil kapasiteten til dekket være mye høyere (Myhr & Lippestad 2016).

Er infiltrasjonskapasiteten til massene lav, vil delvis (system B Figur 1.15) drenering av dekket være nødvendig. Er infiltrasjonskapasiteten god (system A Figur 1.15) under dekkekonstruksjonen er det ikke behov for drenering.



Figur 1.15 Illustrasjon av to ulike prinsipper for utforming av et permeabelt dekke med belegningsstein (Myhr & Lippestad 2016).

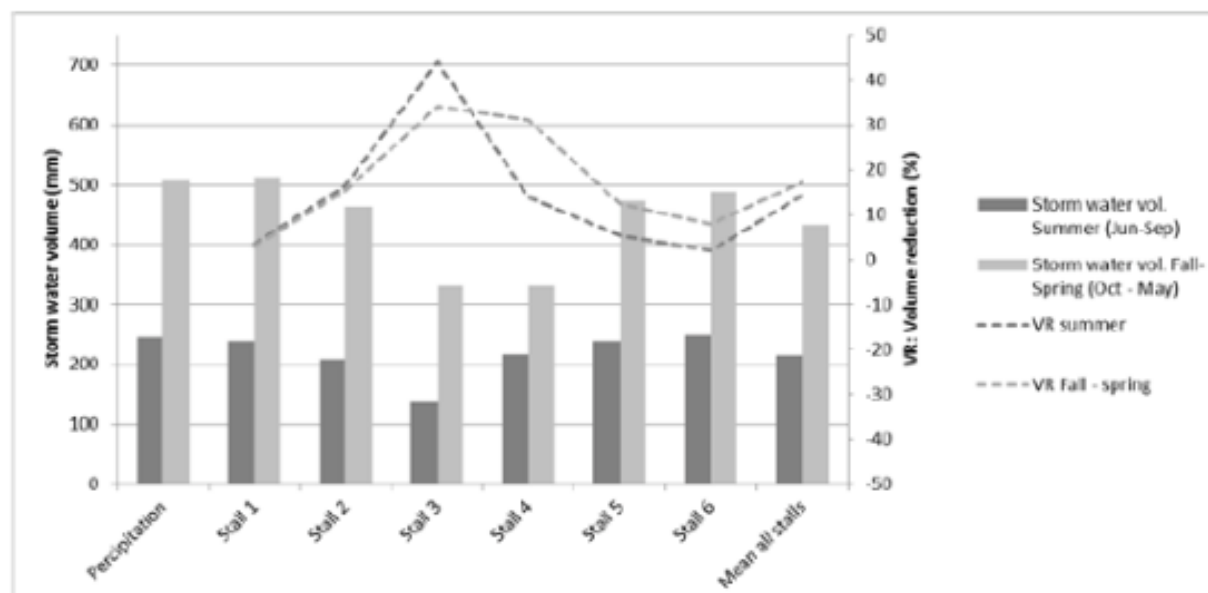
Selv om infiltrasjonskapasiteten til de stedege massene er lav, vil infiltrasjonskapasiteten til det permeabelt dekket være stor. Pukkmassene under belegningssteinen kan magasinere mye vann og kan dempe flomtopper ved å fungere som et fordrøyningsbasseng (Myhr & Lippestad 2016).

Levetiden til permeabelt dekke påvirkes av gjengroing av belegningen. Levetiden varierer ut i fra materialvalg og anvendelse, belastning og vedlikehold. I England, USA og Tyskland, blant annet, er det i de senere årene lagt mye permeable dekker, som har like god levetid som asfaltert belegning, men som avhenger av korrekt dimensjonering og vedlikehold.

I Rapport fra studietur til København og Malmø (Braskerud et al. 2017) presenteres et forsøk for ulike typer permeable dekker av Jan Støvring ved København Universitet (upubliserede data). Resultatene fra rapporten viser tilbakeholdt nedbør på permeable belegningsstein, med resultater som viser over 30 % reduksjon over en tre måneders periode:



Figur 1.16 Sammensetning av ulike materialer i konstruksjonene til ulike permeable dekkene i forsøket; overflate dekke (øverst), settelag og bærelag (Braskerud et al. 2017).



Figur 1.17 Resultat av tilbakeholdt nedbør (%) og nedbør for alle testfeltene i Figur 1.15 fra Jan Støvring (Braskerud et al. 2017).

## 1.7 Hydrologiske modeller

Hydrologiske modeller blir brukt til å modellere et tilnærmet bilde av den virkelige verden. En IT-basert avrenningsmodell bør benyttes for større områder (Ødegaard et al. 2014), fremfor manuelle beregningsmetoder. Manuelle beregningsmetoder vil det ikke gås mer inn på i denne oppgaven.

I dette avsnittet presenteres de ulike modelleringsverktøyene benyttet i oppgaven: ROSIE i et ArcGIS-miljø, med MOUSE motor for analyse.

### 1.7.1 ArcGIS

ArcGIS er et geografisk informasjonssystem (GIS) utviklet av Environmental Systems Research Institute (ESRI) for arbeid med geografisk informasjon og kartdata (Esri 2017). Applikasjoner som ArcMap er integrert i systemet (Esri 2008). ArcMap er et verktøy som lar deg lage og visualisere ulike type geografisk data, som kart og kartegenskaper. En av de mest verdifulle egenskapene ved ArcMap er evnen verktøyet har til å tilpasse seg for spesifikke, unike typer analyser via sitt brukervennlige brukersnitt.

### 1.7.2 Rosie

ROSIE er et tilleggsprogram utviklet av Aqua ROSIM AS, for planlegging, dimensjonering og modellering av vandndistribusjon og avløpssystemer. Dette gjøres gjennom et ArcGIS brukergrensesnitt. ROSIE består av: ROSIE Mouse (Avløps/overvann) fra DHI og ROSIE EPANET (Vannforsyning) fra US EPA. I denne oppgaven er det MOUSE – motoren som er aktuell.

ROSIE er tilpasset et norske VA-miljø, og legger til rette for at data fra Gemini VA kan importeres. I modelloppbygningen kan det legges det inn eller fjernes data fra nedbørmålere, vannføringsmålere, overvannsloggere, ledningsdata fra Gemini, terrengmodeller, hus, vei, befolkningsdata og data fra rørinspeksjon. Resultatene presenteres i et brukergrensesnitt utviklet for å gjøre prosessen effektiv (ROSIM 2017).

### 1.7.3 MOUSE

MOUSE (Model Urban Sewers) er utviklet av DHI (Danmarks Hydrologiske Institutt) og er en simuleringsmotor som modellerer avrenning og rørstrømning og brukes for analyse av det urbane avløpssystemet. MOUSE er tilgjengelig gjennom modelleringsprogrammet MIKE URBAN. Brukerområdene til MOUSE er: overflateavrenning, åpen kanalstrømning, rørstrømning, vannkvalitet og sedimentmodellering for drenerings-, overvann-, og



spillvannssystemer. MOUSE kombinerer kompleks hydrologi, hydraulikk, vannkvalitet og sedimenttransport i et grafisk brukervennlig grensesnitt. Avhengig av hva man ønsker å analysere, tar man i bruk ulike moduler. De modulene som er viktigst med tanke på avrenning er (DHI 2009):

- MOUSE Runoff: Overflateavrenningsmodell for urbane felt.
- MOUSE HD/Pipe Flow: Hydrodynamisk nettverksmodell.
- MOUSE RDI: Regnavhengig infiltrasjonsmodul.

#### 1.7.4 MOUSE Runoff

MOUSE Runoff beregner overflateavrenning i fire modeller (DHI 2008b):

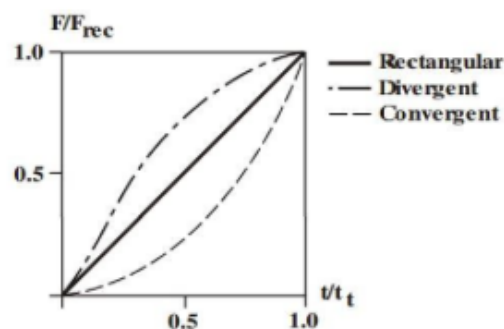
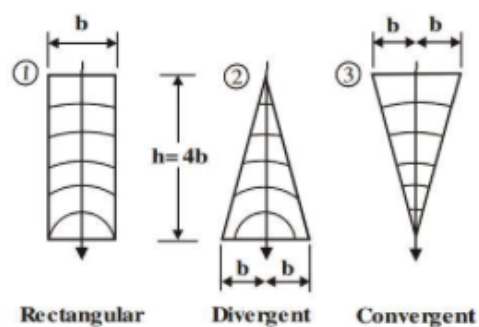
- Model A: Tid/Areal metoden.
- Model B: Ikke-lineær reservoar (kinematisk bølgebevegelse) metoden.
- Model C: Lineær reservoar metode i to ulike delvarianter:
  - Hollansk avrenningsmodell
  - Fransk avrenningsmodell
- UHM: Unit hydrograph model/Enhetshydrogram.

Overflateavrenning kan i MOUSE beregnes basert på hvilken som helst av de nevnte modellene, forutsatt at all nødvendig data er registrert. Det er ikke mulig å kombinere de ulike metodene i samme situasjon. Fordi inngangsparametere og beregningsmetoder er ulike i de forskjellige modellene, vil beregninger i samme situasjon gi forskjellige resultater i de ulike modellene (DHI 2008b).

Det er Model A (T/A metoden) som benyttes i denne oppgaven. I Norge er denne modellen den mest brukte på grunn av tilgjengelige data. Konseptet med denne metoden er at formen på hydrogrammene avhenger av konsentrasjonstiden og T/A-kurven. Dette vil videre definere feltets form og reaksjonshastighet (DHI 2008b).

Data som er nødvendig for avrenningsberegning er (DHI 2008b):

- Felldata:
  - Felt-ID – unik identifikasjon av delfeltet.
  - Lokasjon – definerer koblingspunktet med avløpssystemet i hvert felt.
  - X- og Y-koordinater – feltkoordinater brukt i forbindelse med større felt der regnet må interpoleres.
  - Ekstra avrenning – konstant ekstra tilførsel av avrenning i tillegg til beregnet hydrogram.
- Modellsesifikke data:
  - Impermeable flater – andel av delfeltets areal som ikke bidrar til avrenning.
- Hydrologiske parametere:
  - Initialtap – definert ved maksimal mm nedbør som må til før avrenning oppstår. Første del av nedbøren blir magasinert på overflaten. Default-verdien er satt til 0,0006.
  - Hydrologisk reduksjon – avrenningsreduksjonsfaktor på grunn av evapotranspirasjon og uperfekt permeabilitet på flatene som bidrar til avrenning. Default-verdien er satt til 0,9.
  - Konsentrasjonstid – tiden det tar fra en dråpe som faller ytterst i feltet bruker til utløpet. Default-verdien er satt til 7 min.
  - T/A-kurve – tar hensyn til formen på delfeltet. Felt med irregulær form kan egen defineres. Det finnes tre ferdig definerte typer i programmet (figur 1.18):
    1. Rektangulært felt
    2. Divergent felt
    3. Konvergent felt



Figur 1.18 Illustrasjon av tre ulike former på felt. Rektangulær, divergent og konvergent. Konsentriske sirkler deler feltet opp i celler. Grafene i koordinatsystemet viser hvor stor del av feltet som bidrar til avrenning. (DHI 2008b)

Avrenningsberegningene baserer seg på konstant avrenningshastighet. Modellen bruker gitt tidssteg og konsentrasjonstid for å finne antall celler i hvert felt. Antall celler tilsvarer:

$$n = \frac{t_c}{\Delta t} \quad (1.7)$$

der  $n$  = Antall celler [-]  
 $t_c$  = Konsentrasjonstid [T]  
 $\Delta t$  = Tidssteg [T]

### 1.7.5 MOUSE Pipe Flow

Modulen MOUSE Pipe Flow beregner turbulent vannføring i rørsystemer. Inngangdataene fra MOUSE Runoff benyttes i denne modulen. Beregningene blir gjort ved bruk av Saint Venants likning for massebevaring og momentbevaring for dynamisk strømning i rørsystemet, som løses numerisk. Saint Vernants likning er gitt ved to dellikninger:

- Kontinuitetslikningen

$$\frac{dQ}{dx} + \frac{dA}{dt} = 0 \quad (1.8)$$

- Momentlikningen

$$\frac{dQ}{dt} + \frac{d(\alpha \frac{Q^2}{A})}{dx} + gA \frac{dy}{dx} + gAI_f = gAI_0 \quad (1.9)$$

der	Q	=	Vannføring	[L <sup>3</sup> /T]
	A	=	Tverrsnittareal	[L <sup>2</sup> ]
	y	=	Strømningsdybde	[L]
	g	=	Gravitasjonskonstant	[L/T <sup>2</sup> ]
	x	=	Distanse i strømningsretningen	[L]
	t	=	Tid	[T]
	$\alpha$	=	Hastighet distribusjonskoeffisient	[-]
	$I_f$	=	Friksjonshelning	[L/L]
	$I_0$	=	Bunnhelning	[L/L]

Hvor mange ledd det velges å ta med i likning 1.9, avhenger av om det ønskes å simulere for kinematisk, diffusiv eller dynamisk bølge. Det anbefales å regne med dynamisk bølge, men da antas det at strømmingen er underkritisk og ikke overkritisk.

### 1.7.6 MOUSE RDI

MOUSE Rainfall Dependent Infiltration Modul (RDI) gir detaljert og kontinuerlig modellering av det hydrologiske kretsløpet (DHI 2008a). MOUSE RDI tar hensyn til at regnvannet kan samles i magasiner som snø, grunnvann, markvann og på overflaten. Dermed gir denne modulen en mer realistisk hydrogram for avrenning på overflaten, fordi det kan simuleres for å sjekke reaksjoner i avløpssystemet i lange våte og tørre perioder. Uten denne modulen vil det i prinsippet simuleres for korte intensive nedbør.

## 1.8 Overløp AK52 – Grefsen/Kjelsås, Oslo kommune

Vann- og avløpsetaten har ansvar for vannrelaterte oppgaver i kommunen, både innen vannforsyning og avløpshåndtering. Seksjon for utredning arbeider overløpsvis, som vil si at feltene er delt inn etter overløpene i avløpssystemet. AK52 er et slikt felt og er valgt ut i denne oppgaven fordi overløpet er et av de mest aktive overløpene i Øvre Akerselva i dag, som bidrar med forurensning og dårlig vannkvalitet til elven. Det er ønskelig å se på en løsning som ikke inkluderer oppgraving eller oppdimensjonering av avløpsnett, da dette er kostbart og lite fremtidsrettet med tanke på videre utbygging og oppgradering i byen. Oslo Kommunes hovedplan for avløp har hatt et krav om maksimalt en overløpshendelse hvert tredje år. Ny hovedplan fokuserer på å minimere overløpsdriften for hvert enkelt overløp i Oslo. Ved å benytte åpne og lokal overvannshåndtering og treleddsstrategien, vil oppgaven se om dette er mulig.

Fjernovervåkningssystemet har vist at det er høy overløpsdrift ved AK52. I tillegg er det registrert kjelleroversvømmelser i området. Overløpsdata fra 2011, 2012 og 2013 viser hvor mange minutter overløpet har vært i drift. Hvordan Oslo kommune prioriterer de ulike overløpene, baserer seg på overløpsdata og risiko for overløpet. AK52 har utløp til øvre Akerselva, hvor sårbarheten er høy. Risikoklassen for AK52 er 6, som betyr at området er prioritert for kommunen.

Tabell 1.6 Overløpsdata fra AK52, fjernovervåkningssystemet. Viser tid overløpet har vært i drift gjennom året (min).

	2011	2012	2013
<b>Overløp AK52</b>	439	439	235

### 1.8.1 Beskrivelse av feltet

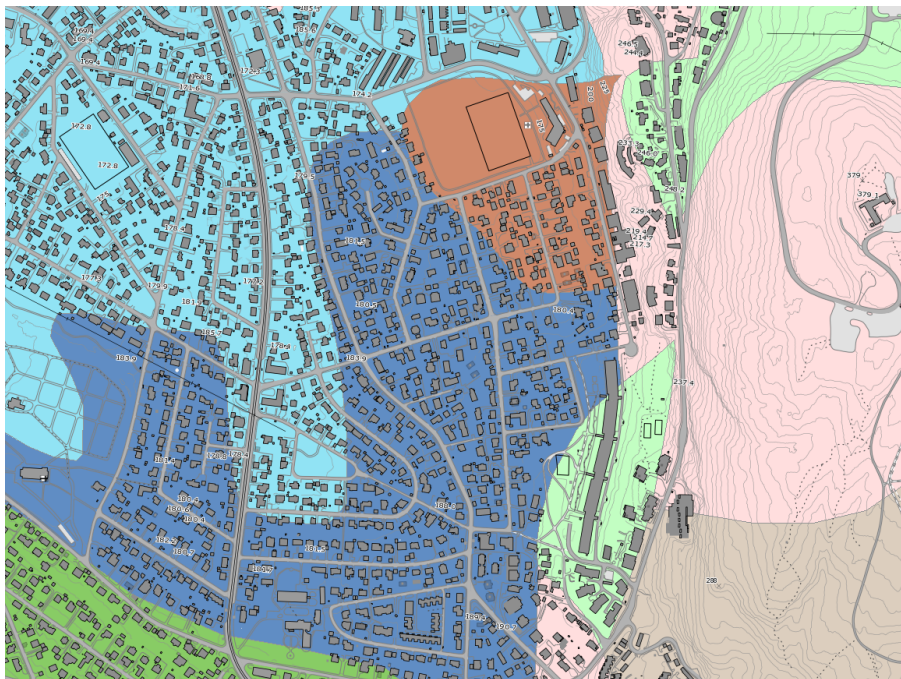
Feltet ligger på Grefsen/Kjelsås i Oslo, vist i Figur 1.19. Totalt areal for området er 908 265 m<sup>2</sup>, med 4604 innbyggere og 773 registrerte adresser (hvorav 530 har tilknytning til fellessystemet). Feltet i modellen består av 197 delfelt, der 90 av disse er koblet til fellessystemet. Andel takflater utgjør 24 % av totalt areal. Av delfeltene som er tilkoblet fellessystemet (ca. 60 ha), utgjør takarealene 18 %.

Feltet har topografi med ca. 15 meter differanse i kotehøyde, 171 til 186 m.o.h., og maksimal lengdedistanse ca. 770 meter til overløpet.

Området domineres av villa strøk og bolighus med gresskledde områder, med noe fortettede tomter, kiosk, arbeidslokaler og leiligheter. Det er også en åpen plass, Jupiter jordet, hvor det er lekeplass og fotballbane. Oversikt over feltets løsmasser er vist i Figur 1.20.



Figur 1.19 Oversiktskart over feltområdet. Delfelt i rødt viser fellessystemet. De grønne og blå delfeltene viser separertsystem (grønn spillvann og blå overvann).



Figur 1.20 Løsmassekart over feltet. Mørk og lys blå farge indikerer havavsetning i ulike tykkelse. (NGU 2017b)

## 2 Metode

I denne delen av oppgaven vil metodene som er brukt i forbindelse med beregning av avrenning gjennom avløpsnettet forklares. Beskrivelsen av åpne LOD-tiltak i modellen legges det særlig vekt på.

### 2.1 Metode for innsamling av informasjon

Informasjonen som har lagt grunnlaget for forfatterens arbeid blir i dette avsnittet presentert gjennom arbeid i sommerjobb med planlegging av frakobling av taknedløp, informasjon fra tidligere analyse av området og infiltrasjonsmålinger i feltet.

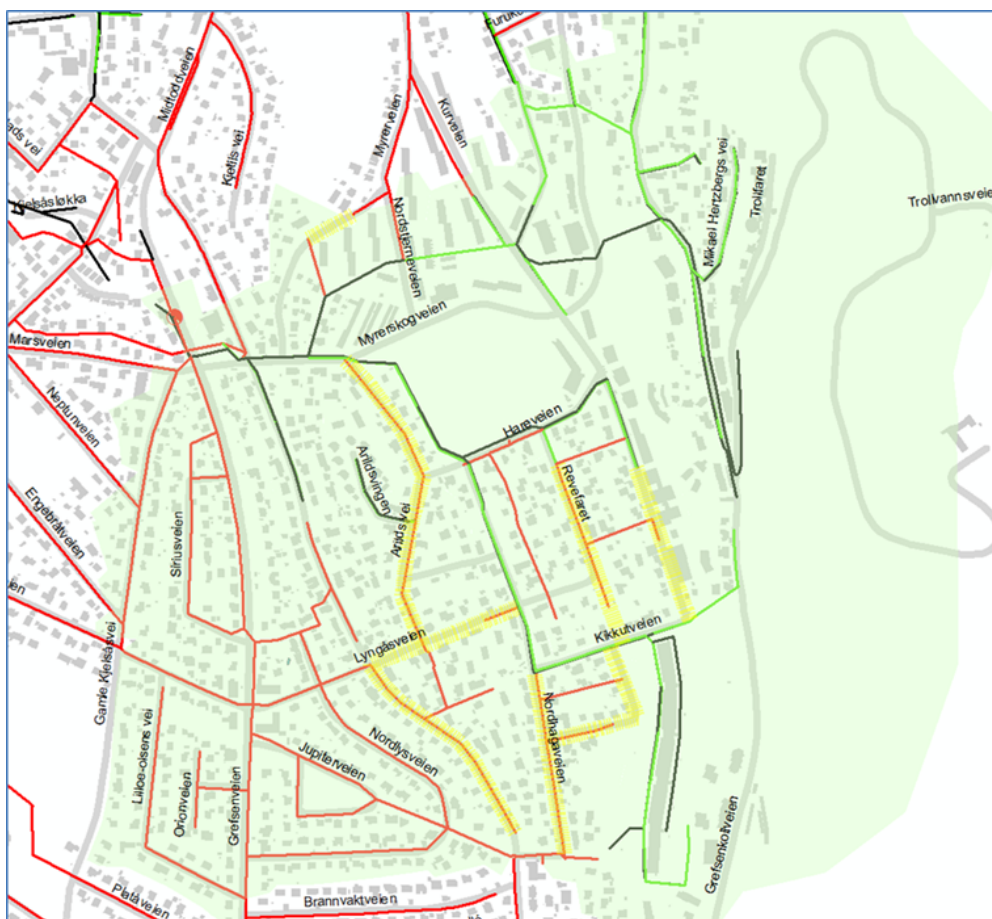
#### 2.1.1 Planlegge frakobling av taknedløp

Sommeren 2016 foregikk feltarbeid for oppgaven gjennom sommerjobb for VAV. Arbeidet ble gjort i samarbeid med en VA-student fra NTNU, hvor det i fem uker ble jobbet med et pilotprosjekt om frakobling av taknedløp fra det offentlige avløpsnett på Grefsen/Kjelsås, der målet var å redusere overløpsdriften til Akerselva. Arbeidet gikk ut på å kartlegge området og få oversikt over topografi, dreneringslinjer, problemområder og informasjon fra tidligere sommervikarer om registrerte frakoblede taknedløp. Brev om varsling ble levert til beboere om arbeidet som kom til å pågå på området, og deretter ble hver eiendom befart og gitt en vurdering med hensyn på mulige overvannsutfordringer, og løsning for frakobling ble foreslått. Det ble også registrert om innkjørsel var asfaltert eller steinbelagt.

#### 2.1.2 Konseptvalgutredning (KVU)

Oslo kommune avdeling Plan og prosjekt utarbeidet i 2015 en KVU for overløpet AK52. Der ble det presentert 6 ulike alternativer for mulige tiltak, der et alternativ ble valgt og gjennomføres i 2018. På bakgrunn av dette, vil denne oppgaven ta med valget deres i betraktning ved gjennomføring av modellering til en viss grad. Alternativet som ble valgt (for et 3 års regnhendelse), var delvis separering av 1500 meter fellesledning kombinert med et fordrøyningsbasseng på 100m<sup>3</sup>. Ledningsstrekene som skal separeres vil ikke tas hensyn til i oppgaven, men tiltakene vil til best mulig grad ikke plasseres i tilknytning til ledningene. Figur 2.1 viser hvilke ledninger som separeres.





Figur 2.1 Kart over området tilknyttet AK52, hvor markerte ledninger separeres i 2018 på bakgrunn av KVU.

### 2.1.3 Infiltrasjonsmålinger

Tidligere har to masteroppgaver i regi av VAV gått på infiltrasjonsmålinger. En av masteroppgavene (Solheim 2017) tok feltmålinger i feltet for denne oppgaven, på Jupiter jordet. Dette er et grønt område sentralt i feltet, med lekeplass og gressbane. Verdiene fra infiltrasjonsmålingene benyttes i oppgaven ved utforming av LOD-tiltakene i modellen.

Den andre masteroppgaven (Becker 2016), som handler om frakobling av taknedløp på Ekeberg, har målinger som blir brukt i for å bestemme reduksjonsfaktor for avrenning ved frakobling av taknedløp. Selv om områdene Grefsen/Kjelsås og Ekeberg ligger på ulike kotehøyder, ligger begge områdene under den marine grensen, med tilsvarende løsmasser.

## 2.2 Modell for AK52

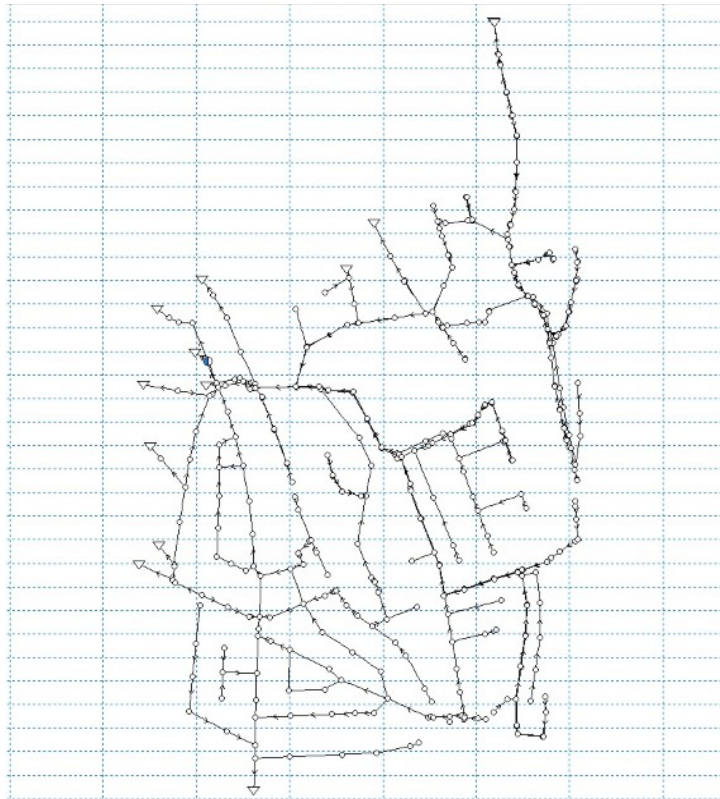
Oppgaven går ut på å implementere ulike LOD-tiltak i en avløpsmodell for området knyttet til AK52 for å redusere overløpsdriften. Verktøyet som er brukt i oppgaven er: MIKE Urban med deres motor MOUSE og tilleggsprogrammet ROSIE i et ArcGIS map. Data er hentet fra GEMINI VA.

Feltet knyttet til AK52 er et prioritert område, der det allerede er gjennomført vannføringsmålinger i to kummer oppstrøms overløpskum, og observasjoner i avløpsnett og på tomtenivå. Modellen er kalibrert i 2014 i forbindelse med konseptvalgutredningen utarbeidet av Vann- og avløpsetaten.

Området er delvis separert, men oppgaven fokuserer på andelen fellesledninger og tiltakene vil plasseres i tilknytning til dem. Det er noen registrerte kjelleroversvømmelser i området, men denne oppgaven tar for seg overløpsdriften.

### 2.2.1 Klargjøring av modell

Modellen hadde hele avløpsnett i Oslo til disposisjon. Fordi det i denne oppgaven fokuseres på felt AK52, ble dette feltet hentet ut fra resten av Oslos avløpsnett. I denne prosessen ble alle ledninger, kummer og delfelt som har tilrenning til AK52 tatt med i modellen (Figur 2.2). Denne prosessen inkluderer også å fjerne alle ledninger, kummer og delfelt som fører vann ut av området. Metoden for dette er å studere profilen til alle ledninger i ytterkant av feltet. Utløp ble plassert der helningen på ledningen førte til at vannet renner ut av feltet. I modellen symboliseres utløp ved rød trekant i kum nedstrøms ledningen. Det er ikke mulig å plassere utløp i en kum med et tilkoblingspunkt ("connection point"). I denne kummen registrerer alt bidrag fra delfeltet. Etter at området er fullstendig isolert, er modellen klar.



*Figur 2.2 Utklipp av ledningssystemet for feltet. Overløpet er markert nord i figuren. Utklipp fra MIKE View.*

I forbindelse med kalibreringen utført i sammenheng med KVVU-en, er parametere i delfeltene tilpasset målt vannføring. Fastsatte og variable parametere i delfeltene:

Konsentrasjonstid	7,0 min
Ekstra avrenning	0,000307
Reduksjonsfaktor	0,9
Initialtap	0,0006
T/A-kurve	Rektangulært felt (1)
Hydrologisk reduksjon tak	Variable
Hydrologisk reduksjon vei	Variable

### 2.2.2 Regnhyetogram

Enkeltregn for 5-års gjentaksintervall med 60 minutters varighet er valgt å brukes i simuleringen. Oslo kommune opererer vanligvis med enkeltregn for en 3-års hendelse ved optimalisering av overløp. I KVVU er det benyttet regn med 3-års gjentaksintervall i simuleringene. I *Hovedplan for avløps og vannmiljø* (Oslo\_kommune 2014) ble det foreslått å

gå bort i fra målet om null overløpsdrift for en 3-årsregnhendelse. Derfor er regnhendelse med 5-års gjentaksintervall valgt for simuleringene i denne oppgaven.

Oslo kommune benytter symmetriske hyetogrammer. Data med IVF-kurver fra Blindern (MET 2016) er benyttet i oppgaven. Figur 2.3 viser IVF-kurvene for 2-års gjentaksintervall og opp til 200-års gjentaksintervall. I modellen benyttes regnintensitet med enhet mikrometer/sekund og ikke liter/hektar/sekund. Tabell 2.1 og 2.2 viser nedbørsum (mm) for returperiode (år) og varighet (min), og nedbørintensitet (l/s/ha) for returperiode (år) og varighet (min) fra målinger på Blindern fra 47 sesonger.



Figur 2.3 IVF-kurver fra nedbørstasjonen på Blindern. Regnvarighet på x-aksen (min) og akkumulert regnvolum på y-aksen (mm) (MET 2016).

Tabell 2.1 Målinger fra Blindern over perioden 1968 – 2015, 47 sesonger. Tabellen viser nedbørsummen for returperioden og nedbørsvarighet (MET 2016).

**(mm)** Returperioder(år); Nedbørsum (mm)

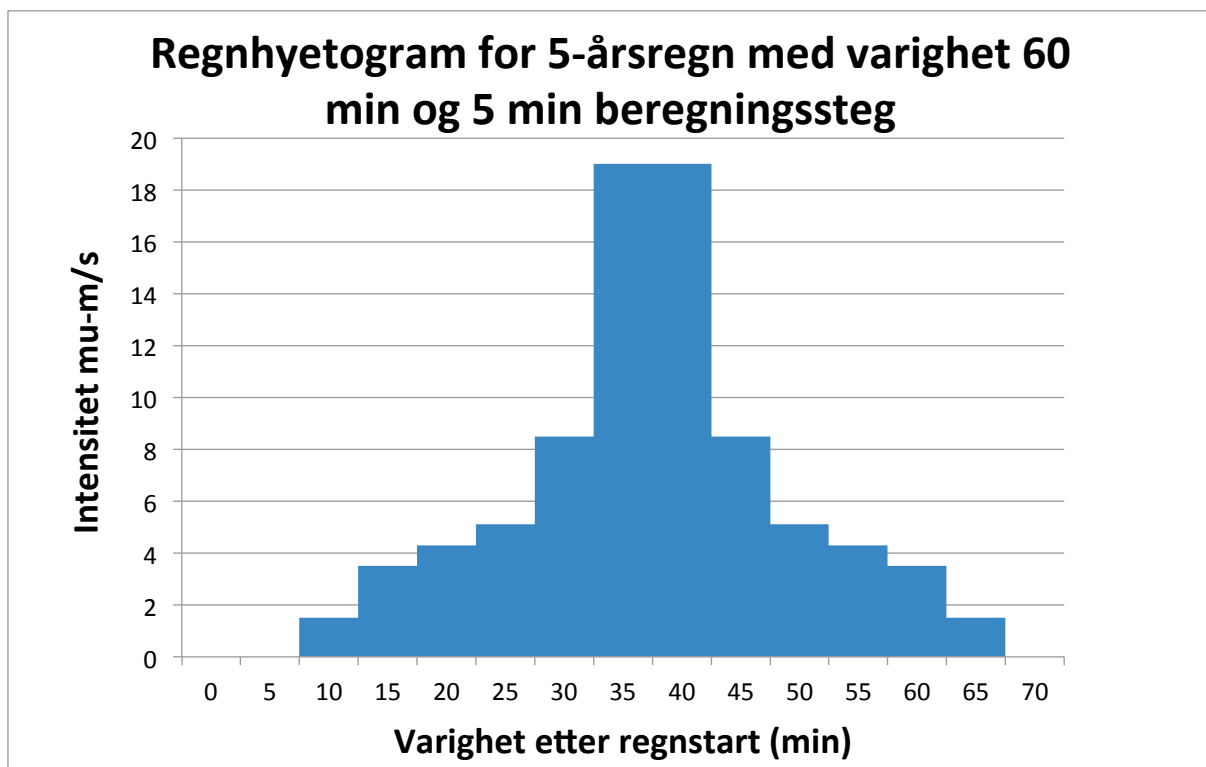
År	Varighet (minutter)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	180	360	720	1440
2	5,7	8,4	10,3	11,9	14,1	16,4	17,8	20,2	23,1	26,4	35,9	43,2
5	7,6	11,4	14,2	16,6	19,7	23,4	25,3	27,4	30,7	34,8	44,5	51,8
10	8,9	13,3	16,8	19,7	23,4	28	30,3	32,1	35,6	40,4	50,5	57,9
20	10,1	15,1	19,3	22,6	27	32,4	35,1	36,6	40,4	45,6	56,2	63,1
25	10,5	15,7	20,1	23,6	28,2	33,8	36,6	38,1	41,9	47,3	57,9	64,8
50	11,7	17,5	22,5	26,5	31,6	38,2	41,3	42,5	46,7	52,5	63,5	70
100	12,9	19,3	24,9	29,4	35,1	42,5	45,9	46,9	51,3	57,5	69,1	75,2
200	14,1	21,1	27,3	32,2	38,6	46,8	50,5	51,3	55,8	62,6	74,7	81,2

Tabell 2.2 Målinger fra Blindern over perioden 1968 – 2015, 47 sesonger. Tabellen viser nedbørintensitet (l/s/ha) for returperioden og nedbørsvarighet (MET 2016).

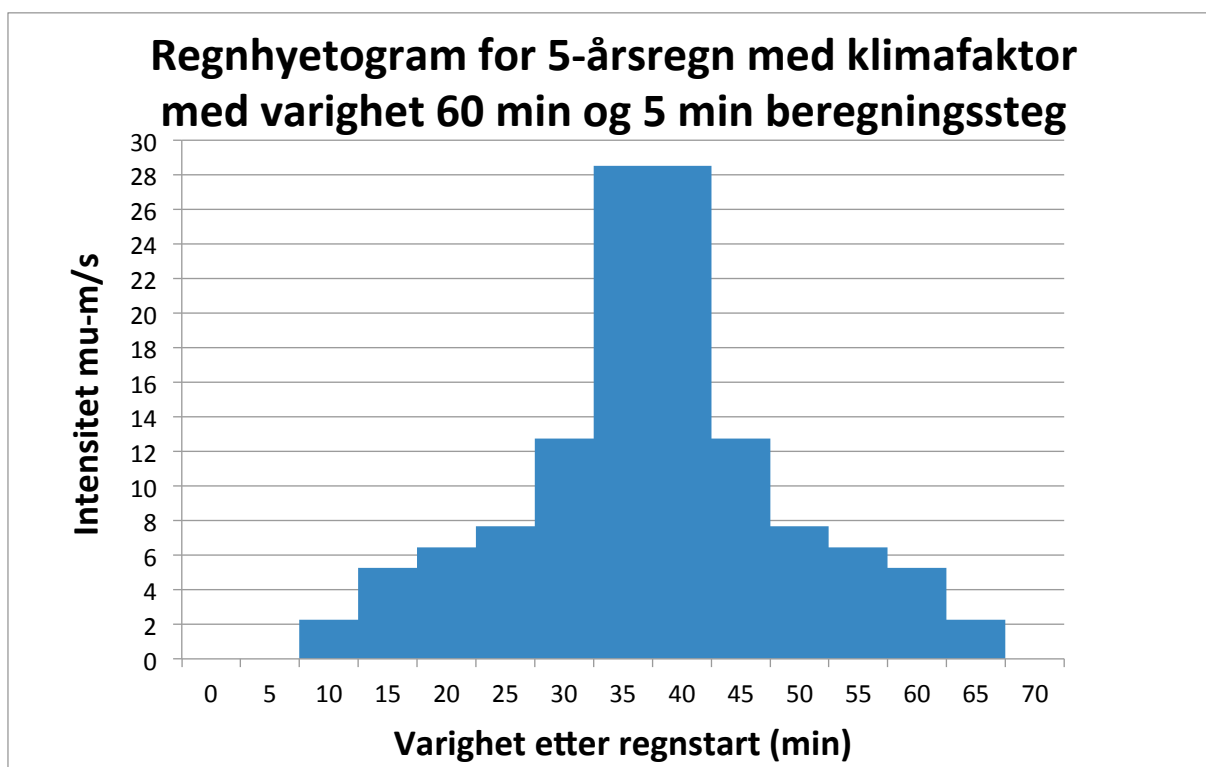
**(l/s\*ha)** Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar (10 000m<sup>2</sup>)

År	Varighet (minutter)											
	5	10	15	20	30	45	60	120	180	360	720	1440
2	189	140,8	114,8	99	78,3	60,6	49,4	28,1	21,4	12,2	8,3	5
5	253,4	189,4	158,3	138	109,5	86,5	70,3	38	28,4	16,1	10,3	6
10	296	221,5	187	163,8	130,2	103,6	84,1	44,6	33	18,7	11,7	6,7
20	336,8	252,4	214,6	188,6	150,1	120	97,4	50,9	37,4	21,1	13	7,3
25	349,8	262,2	223,4	196,5	156,4	125,3	101,6	52,9	38,8	21,9	13,4	7,5
50	389,7	292,3	250,3	220,7	175,8	141,3	114,6	59	43,2	24,3	14,7	8,1
100	429,3	322,2	277,1	244,7	195	157,3	127,5	65,1	47,5	26,6	16	8,7
200	468,9	352,1	303,8	268,7	214,2	173,2	140,4	71,2	51,7	29	17,3	9,4

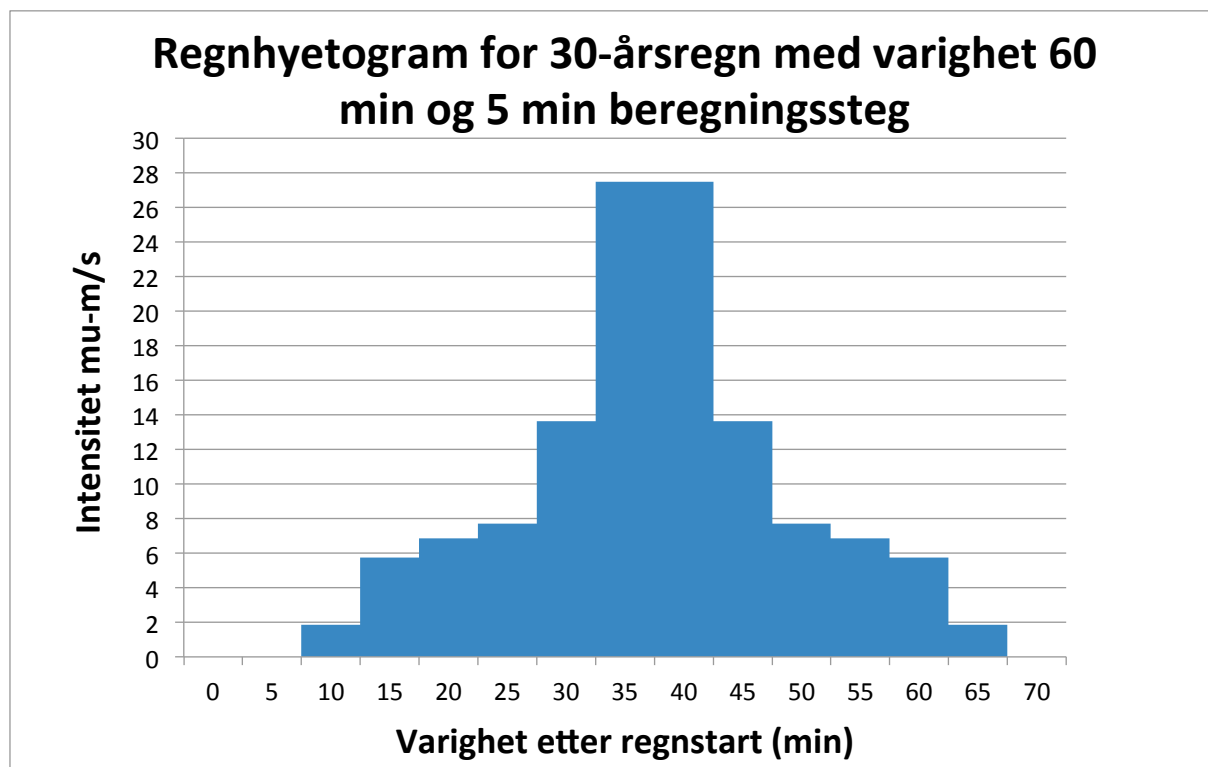
Regnhyetogrammene for regnhendelsene 5-år og 30-år ble utdelt av VAV. 5-årsregnet med klimafaktor er generert på egen hånd. Det ble gjort ved å multiplisere nedbørintensitetene med 1,5 (klimafaktor). De tre regnhyetogrammene er presentert i Figur 2.4, 2.5 og 2.6.



Figur 2.4 Regnhyetogram for 5-årsregn med 60 minutter varighet og beregningssteg 5 minutter.



Figur 2.5 Regnhyetogram for 5-årsregn med klimafaktor på 1,5, med 60 minutter varighet og beregningssteg 5 minutter.



Figur 2.6 Regnhyetogram for 30-årsregn med 60 minutter varighet og beregningssteg 5 minutter.

### 2.2.3 Kjøring av modell

MOUSE er beregningsmotoren som brukes i simuleringen. Modulene, som er brukt i oppgaven, i MOUSE er MOUSE RDI, MOUSE Runoff og MOUSE Pipe Flow.

For å generere sluttresultater for hver simulering, kjører modellen en RDI-hotstart. Med RDI-hotstart stabiliseres initialbevegelsen seg for de ulike vannmagasinene i feltet før avrenningen starter. Regndata, regnhyetogram, er nødvendig for kjøringen. For at modellen skal stabilisere initialbevegelsen i feltet, blir de konstruerte regnhyetogrammene lest inn som tekstfil og mot slutten av kjøringen lagt inn. Fra start kjøres regndata for et gjennomsnittlig hydrologisk år bestemt fra meteorologisk institutt til å være fra år 1993.

Deretter kjøres MOUSE Runoff for å generere hydrogrammer i delfeltene i modellen.

Tilslutt kjøres MOUSE Pipe Flow, som henter data fra Runoff-modulen. Resultatet fra Pipe Flow-modulen i avløpsnett, viser overløpsdata, hastighet i ledninger og oppstuvninger mm..

## 2.3 Metode for simulering av tiltak

Dette avsnittet fokuserer på fremgangsmåte og antakelser som ble gjort i forbindelse med implementering av de ulike LOD-tiltakene (frakobling av taknedløp, regnbed, grønne tak, permeable dekker) i avløpsmodellen.

Fordi programvaren ikke er tilpasset for å se på avrenningen på overflaten, måtte de tilgjengelige verktøyene brukes så god som mulig, med antakelser for å tilføre modellen LOD-tiltakene. Fremgangsmetoden for å finne den beste løsningen for modellens ulike tiltak var ved ”prøving og feiling”. Metoden for implementering av LOD-tiltakene blir en del av oppgavens resultat.

### 2.3.1 Dagens situasjon

For å få et bilde av hvor store overvannsmengder tiltakene måtte håndtere, ble en simulering med den aktuelle dimensjonerende regnhendelsen gjort. Fra resultatfilen kan utslipp fra overløpet visualiseres. Det var også interessant å få oversikt over ledninger med dårlig kapasitet. Det ble gjort ved å se på ”Pipe: Max flow (relative)”. Disse ledningene kan ha dårlig kapasitet på grunn av dårlig kapasitet nedstrøms og opptrer som flaskehalser. Det er slike ledninger som kan forårsake kjelleroversvømmelser, og i modellen vises de som sorte ledninger. Oppdimensjonering av disse ledningene er en løsning hvis det hadde vært aktuelt med oppgraving og utskiftning av ledningsnett. I denne oppgaven er det i stedet forsøkt å plassere LOD-tiltakene i tilknytning til ledninger med mindre kapasitet, for å redusere vannmengdene som når ledningene.

Det er heller ikke sett på utforming av overløpet i kum AK52 for å redusere overløpsmengdene.

### 2.3.2 Metode frakobling av taknedløp i modell

Ved å frakoble taknedløp i et delfelt, vil tiltaket gjelde for alle takarealer registrert i modellen i delfeltet. Det deles altså ikke opp for hver takflate i modellen. Det betyr at et delfelt med for eksempel fem husstander, vil frakobling av taknedløp gjelde for alle fem husstandene. Det skilles heller ikke mellom tak på hus, garasje eller andre bygninger.

Tiltaket implementeres for alle tak som gir bidrag til fellesledninger i feltet for å se hvor mye vann som reduseres ved gjeldene regnhendelse. Vannet som kobles fra avløpssystemet regnes som borte i modellen og vil aldri finne vei til ledningsnett. Vannet går til infiltrasjon.



Hvordan tiltaket er implementert i modellen er ved å endre hydrologisk reduksjonsfaktor for avrenningsbidrag fra hustak. I modellen heter denne faktoren ”Roof Factor”. Faktorene ved oppstart er gitt ut i fra observasjoner og målinger i KVVU-en.

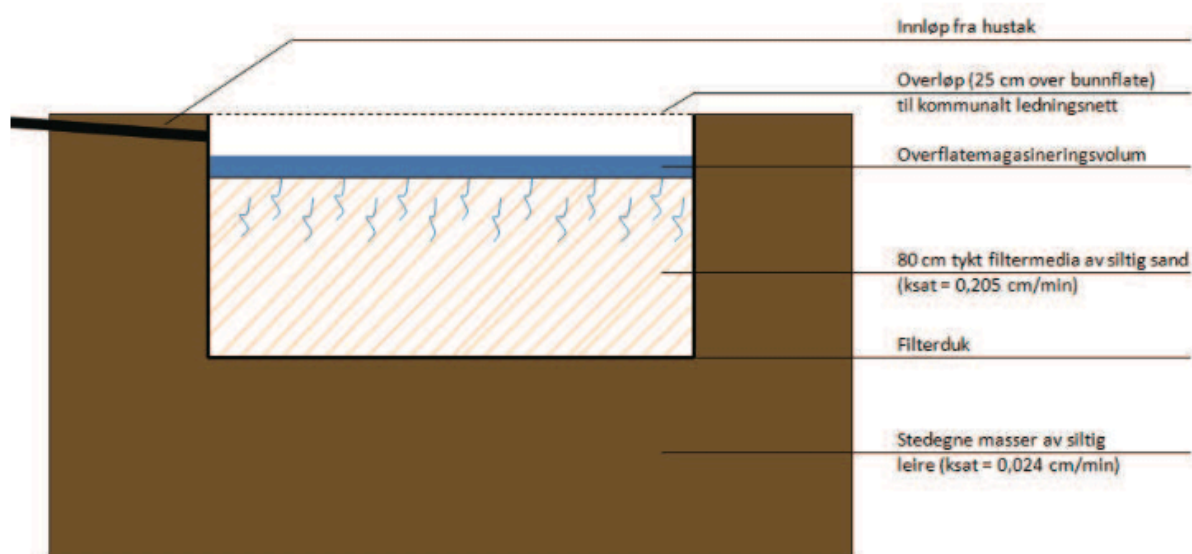
For å frakoble de resterende taknedløpene er det valgt å redusere faktorene med tall hentet fra målingene på Ekeberg, Tabell 1.1. Det ble valgt den minste andelen infiltrasjonsareal i forhold til takareal på bakgrunn av sikkerhetsmargin og fortetning, og medianverdi for reduksjon på lettleire. Resultatene fra Jupiter jordet (Solheim 2017) viste lettleire i overflaten, derfor er reduksjonsverdiene for lettleire valgt. Det ble videre valgt å operere med et intervall fremfor medianverdi, derfor ble 15 % lagt til og trukket fra medianverdien. Denne fremgangsmåten bidrar til å vise modellens robusthet.

En ofte brukt metode for modellering med dette tiltaket, er å anta at null vann fra tak bidrar til avrenning i ledningsnett. På bakgrunn av feltarbeidet (observasjoner ved befarings), vil ikke dette holde mål i forhold til virkeligheten. Derfor er det valgt å la noe vann gi bidrag til avrenning i avløpsnett. Verdiene som er brukt til å redusere bidraget fra tak er 58 % og 78 %. Heretter refereres disse reduksjonsfaktorene for frakobling av taknedløp (FT) som: FT 58 % og FT 78 %.

For å endre ”Roof Factor” effektivt for alle delfeltene med samme faktor, ble gruppeeditering brukt. Dette er en funksjon gjennom ”Attribute Tabel” og ”Edit toolbar” hvor delfelt med like verdier kan redigeres samtidig.

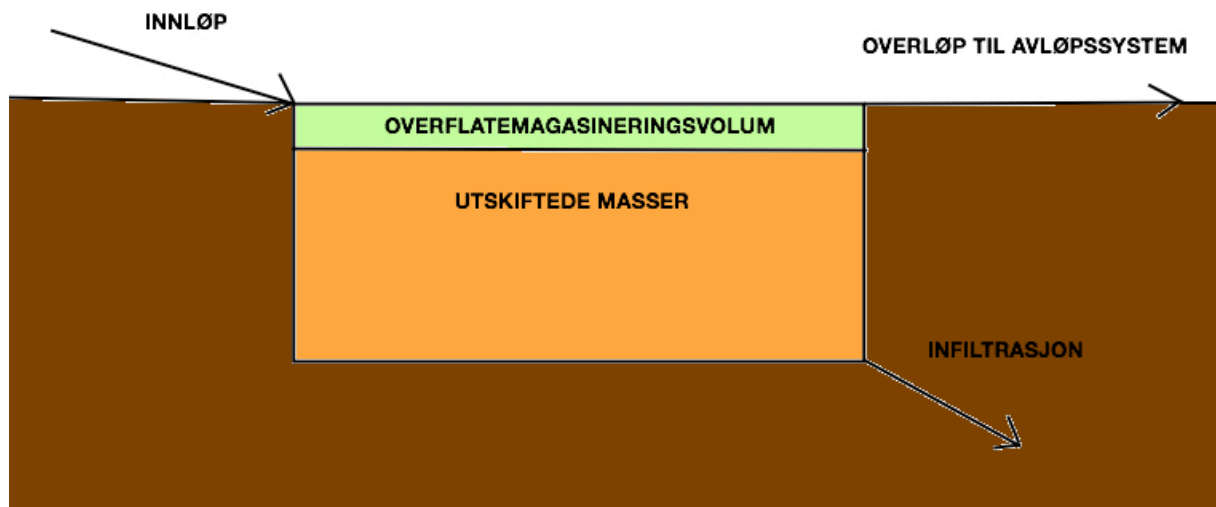
### 2.3.3 Metode implementering av regnbed i modell

Fordi programvaren benyttet i denne oppgaven ikke tar hensyn til overflateavrenning, ble implementering av regnbed utført ved bruk av kumløsning. Metoden er inspirert av Saksæther og Kihlgren (2012) med utforming vist i Figur 2.7.



Figur 2.7 Skisse av kumløsning som "regnbed fra" (Saksæther & Kihlgren 2012).

Regnbedene i denne oppgaven har delvis lik utforming som Figur 2.7, men verdier fra Jupiter jordet, Tabell 1.2 benyttes for regulering av infiltrasjon ( $k_{\text{sat}}$ -verdi = 5,7 cm/h = 0,00001583 m/s). Visuelt er regnbedene oppbygd med utskiftede masser på grunn av for lav  $k_{\text{sat}}$ -verdi tilsvarende 80 cm (med egenskaper som massene i Figur 2.7). Fordi simuleringene kjøres for 60 minutters regnhendelse, tilsvarer  $k_{\text{sat}}$ -verdi 10cm/h, 10 cm nedbør. På grunn av manglende funksjon for en slik utbygging i programmet, tilsvarer 80 cm utbytende masser 10 cm tomrom i kum i denne oppgaven.



Figur 2.8 Skissetegning av regnbedene som implementeres i modellen.

For å anlegge et regnbed i modellen var det nødvendig med enkle beregninger for å finne inngangsdata. På lik linje med frakobling av taknedløp, er det kun mulig i modellen å tilføre et regnbed med størrelse tilsvarende alle takarealene per delfelt. Det betyr at alle hus i delfeltet får regnbed. For eksempel får delfeltet med 6 hus, 6 regnbed, selv om modellen viser en kum på størrelse med alle 6 regnbedene.

#### Bestemte verdier og beregninger per regnbed:

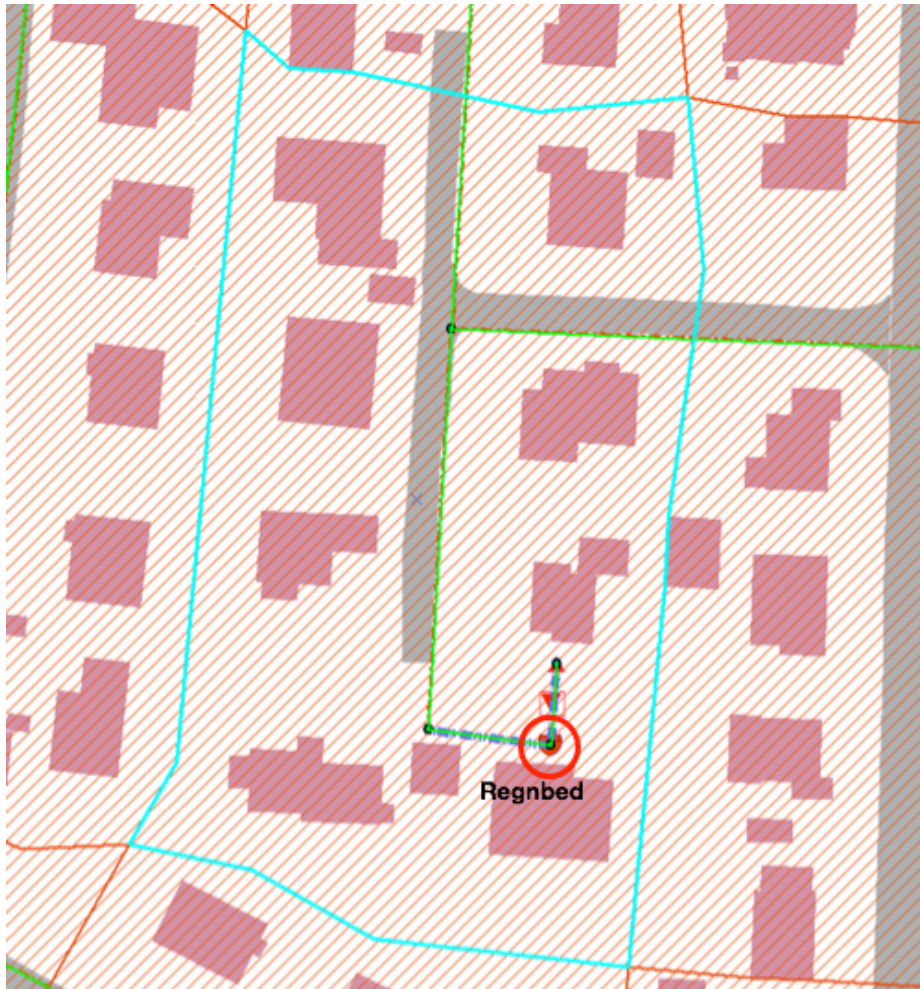
Nødvendig overflateareal:	6 % av totalt takareal
Nødvendig diameter:	$(\text{Nødv. overflateareal} * 4) / \pi$
Dybde utskiftede masser:	80 cm / 10 cm i modell
Overflatemagasineringvolum (høyde):	25 cm
$K_{\text{sat}}$ -verdi:	0,00001583 m/s
Infiltrasjonsverdi:	$K_{\text{sat}} * \text{Nødvendig overflateareal}$

#### To ulike typer regnbed ble tegnet i modellen:

1. I begynnelsen av en ledning:

To kummer ble plassert ovenfor tilrenningspunkt/”connection point” i delfeltet regnbedene skal legges. Verdier tilpasset høyde i eksisterende kum og ledning og terreng velges for de to nye kummene (høyde i kum = 35 cm). Kummen som skal virke som regnbedet, får diameter tilsvarende beregnet diameter. Tilrenningspunktet i

delfeltet flyttes til regnbedet ved å benytte verktøylinjen "Area". Deretter legges ledninger mellom nytt tilrenningspunkt til ny kum og nytt tilrenningspunkt til gammelt tilrenningspunkt. Den nye kummen tildeles egenskapen "utløp" og ledningen inn til kummen får en regulering/"Regulation" med verdi lik beregnet infiltrasjonsverdi.

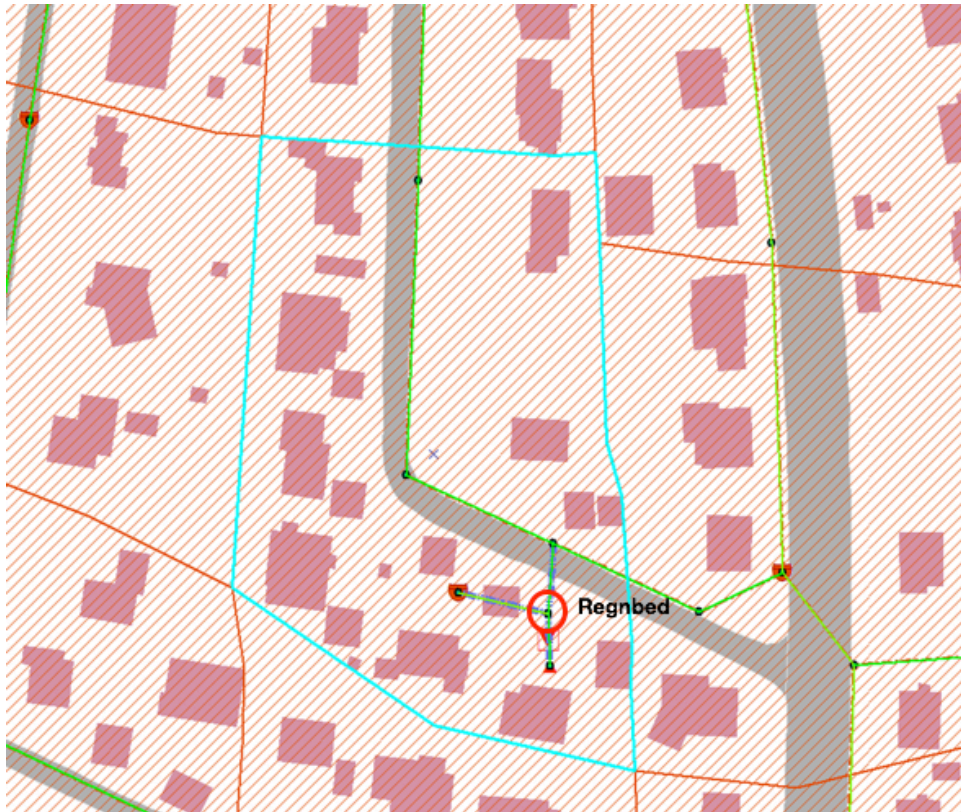


*Figur 2.9 Utklipp av et område i modellen. Markert område tilsvarer et delfelt, der regnbed er tegnet inn nederst på bildet. "Regnbedet" er kummen med rødt merke (som indikerer tilrenningspunkt) markert med rød sirkel. "Utløpet" til infiltrasjon er koblet til "regnbedet" med ledning med regulering (rød firkant med pil). Ledningen som går horisontalt ut fra "regnbedet" er overløpsledningen med tilrenning til ledningsnett.*

2. På gjennomgående ledning:

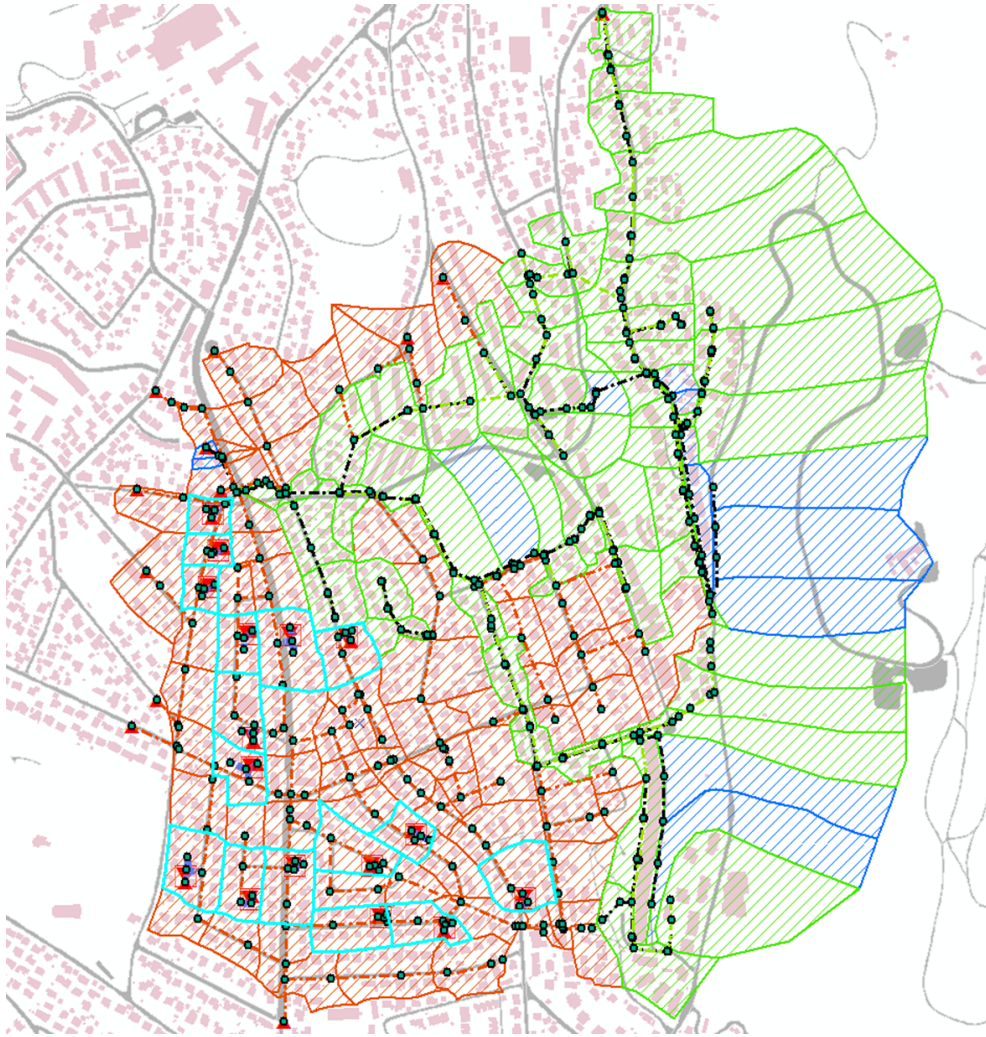
Tre kummer plasseres utenfor tilrenningspunktet i delfeltet og høyder angis slik som i punktet over. Nytt tilrenningspunkt defineres i høytliggende kum, med ledning til kum som tilsvarer delfeltets regnbed. Ut fra regnbedet går en ledning til utløpskum med regulering, og en ledning i overløp ut til avløpssystemet.

3.



*Figur 2.10 Utklipp av modellen med implementering av regnbed på gjennomgående ledning i et delfelt. Området marker i blått viser delfeltet regnbedet tilhører. Kum med tilrenningspunkt samler opp vannet i delfeltet, som viderefører vannet i ledning til "regnbedet" markert med rød sirkel. "Utløpet" er vist som nederste komponent med rør trekant, og ledningen fra regnbedet har en regulering tilsvarende mengde infiltrasjon som forsvinner til grunnen. Fra "regnbedet" renner vannet til avløpsnettet.*

Fordi alt vannet fra tilrenningspunktet renner inn i regnbedet, vil regnbedet også motta spillvann fra delfeltet. Det antas at dette ikke vil ha store konsekvenser for resultatet, fordi spillvannsmengdene er små i forhold til den intense nedbøren. Oppgaven tar ikke hensyn til økonomiaspektet for anleggelse av regnbed. Det er satt en grense ved at inntil  $\frac{1}{4}$  av husene tilknyttet fellessystemet anlegger tiltaket. Det tilsvarer 133 regnbed.



Figur 2.11 Markerte delfelt i blått fikk regnbed i modellen.

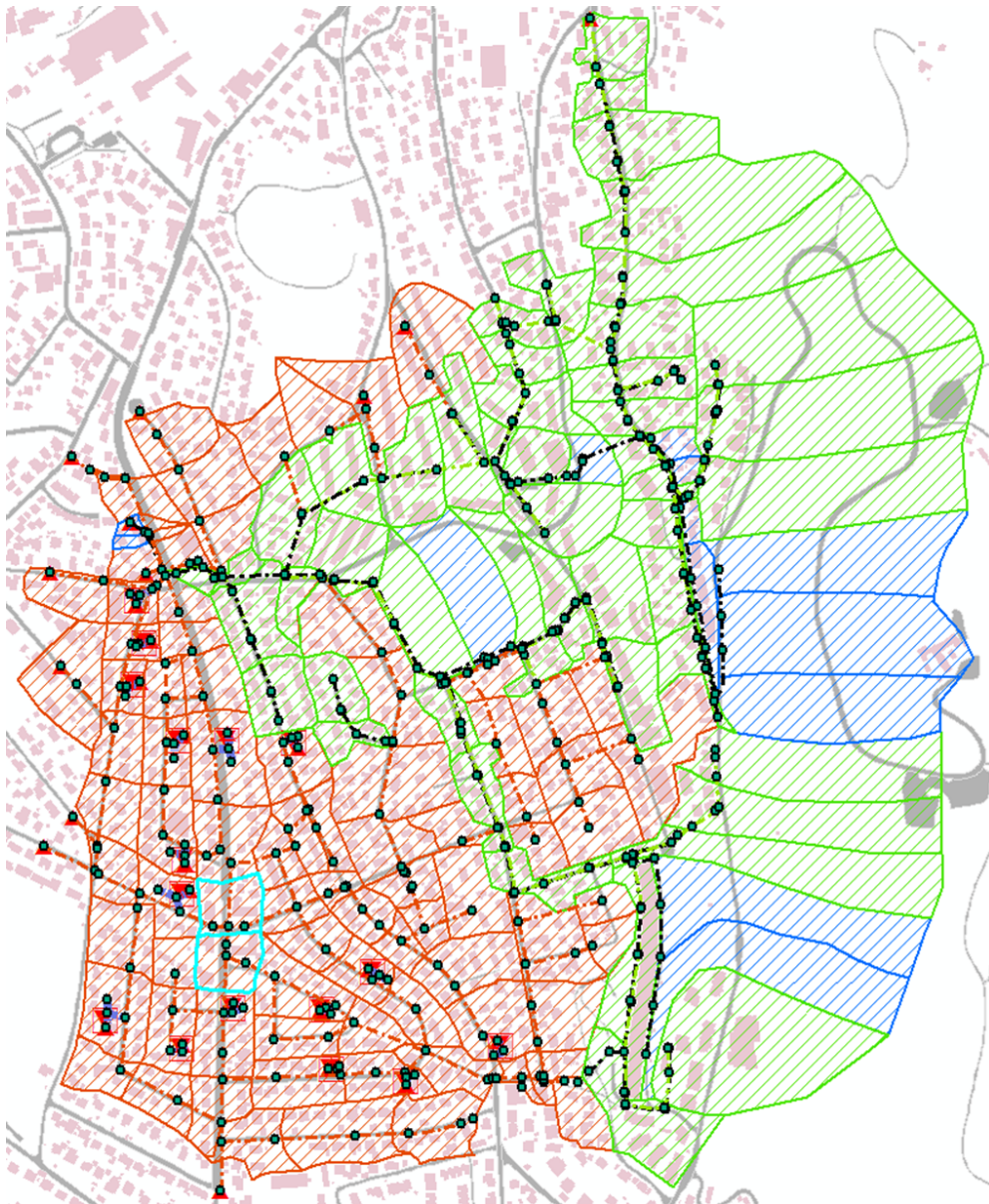
I Vedlegg 1 er alle regnbedene presentert med beregnede verdier og plassering i feltet.

### 2.3.4 Metode implementering av grønne tak i modell

Grønne tak ble anlagt i to delfelt. Bygningene ble valgt ut på bakgrunn av feltarbeidet sommeren 2016. Det var et ønske om å legge grønne tak på alle garasjer (med helning egnet grønne tak) i feltet. Fordi det kun er mulig å endre avrenning fra totalt takareal i delfeltene, ble det bestemt at dette ikke ville gi gode resultater ved gjennomføring. Plasseringen av de grønne takene ble derfor vurdert ut i fra takflatenes størrelse og beliggenhet, og ble besluttet å plasseres i tilknytning til Grefsenveien.

Verdiene som ble brukt for å redusere takfaktoren, er hentet fra forsøket beskrevet i beskrivelsen for grønne tak som LOD-tiltak, Tabell 1.5, der medianverdien er 45,5. Også her er det valgt å arbeide med intervall for å vise robusthet, slik at 15 % ble trukket fra og lagt på medianverdien fra Tabell 1.5. Det ble redusert med verdiene 35 % og 43 % i modellen for

simuleringen med grønne tak. Heretter refereres disse verdiene som GT 35 % og GT 43 % i simuleringene.

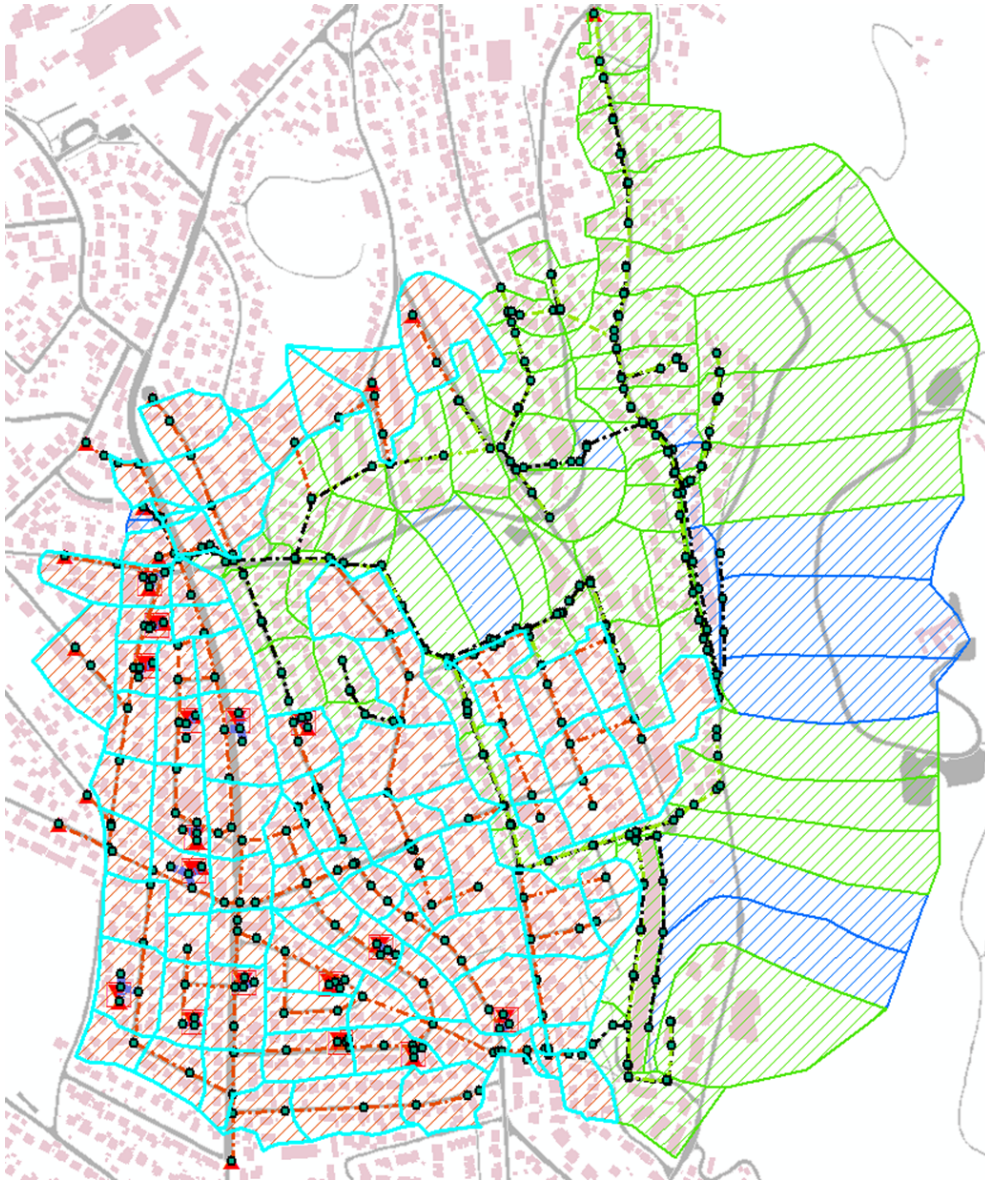


Figur 2.12 Markerte delfelt med grønne tak i modellen. Utklipp fra ArcMap.

### 2.3.5 Metode implementering av permeable dekker i modell

Innhentet data fra GEMINI VA i modellen viser ikke andel innkjørsler, kun hovedvei. For å implementere permeable dekker med belegningsstein i modellen, ble det bestemt å redusere veifaktoren ("Road Factor") i delfeltene. Verdien som ble valgt på bakgrunn av innkjørselareal i hvert delfelt, ble 15 %. Alle innkjørsler til hus tilknyttet fellesnettet i området AK52, får permeabelt dekke. Delfeltene er markert i Figur 2.13. Fordi et permeabelt dekke

etter flere år kan håndtere 200 l/s/ha (Myhr & Lippestad 2016), antas det at all nedbør som faller på dekket infiltrerer ved et regn med 5-års gjentaksintervall og 5-årsregn med klimafaktor. Årsaken til denne antakelsen er basert på Tabell 2.1 og 2.2, der 200 l/s/ha ved 60 minutter nedbørvarighet tilsvarer > 200-årsregn.



*Figur 2.13 Delfelt som får permeable dekker i modellen. Delfeltene tilsvarer de 90 feltene som er tilknyttet fellessystemet.*



### 2.3.6 Klimafaktor

De åpne LOD-tiltakene har trolig ikke levetid på 100 år, derfor er det ikke fokusert på å dimensjonere tiltakene ut i fra fremtidens 5-års regnhendelse. Men for å se hvor godt tiltakene vil fungere dersom de holder like god funksjonsevne om 100 år, ble det simulert regn for 5-års gjentaksintervall med klimafaktor (1,5), som tilnærmet tilsvarer dagens 30-årshendelse. Dette ble også gjort for å se på kapasiteten til ledningene i Grefsenveien, som etter *Hovedplan for avløp og vannmiljø* i Oslo kommune (Oslo\_kommune 2014), dimensjoneres for 30-årsregn.

De benyttede regnhyetogrammene er vist i Figur 2.4, 2.5 og 2.6.

### 3 Resultater

I dette kapittelet presenteres resultatene fra den hydrauliske analysen. Resultatene er bearbejdet data som er generert under simuleringer av avløpsmodellen med og uten LOD-tiltak, i henhold til oppgavens problemstilling.

Resultatene som er av interesse er overløpets drift og endring av utløpsmengde ved tilføring av de ulike tiltakene. Forholdene som er studert er:

- Avløpet ved dagens tilstand (ved kalibrering) uten tiltak.
- Frakobling av taknedløp ved bruk av bestemt reduksjonsintervall.
- Tilføring av regnbed med bestemte dimensjoneringsverdier.
- Permeable dekker med belegningsstein i alle innkjørsler.
- Grønne tak på forhåndsbestemte bygg.

Deretter er det simulert med hensyn på klimafaktor etter at tiltakene er implementert i modellen.

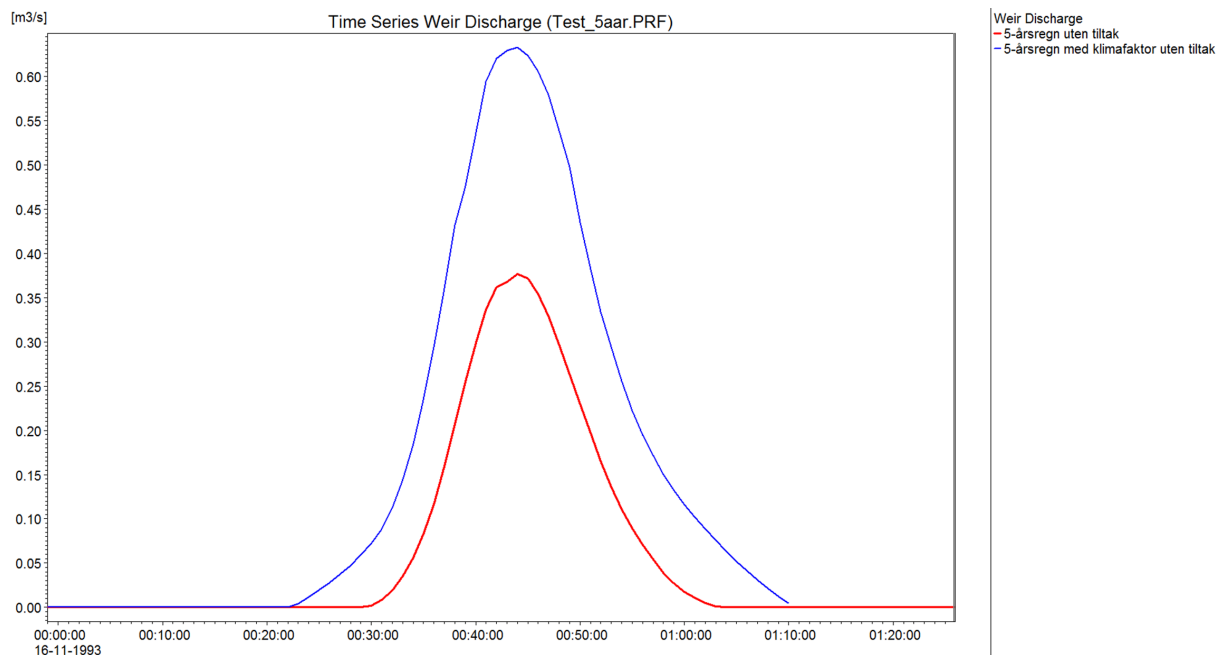
#### 3.1 Resultater fra simulering for dagens tilstand

Simulering for avløpet ved dagens tilstand, ble gjort for regnhendelse med 5-års gjentakintervall og 5-års gjentakintervall med klimafaktor 1,5. Resultatene fra overløpsdriften ved de to hendelsene er vist i Tabell 3.1 og Figur 3.1, med maksimal vannføring<sup>4</sup> og vannmengde i overløpet. Resultatet fra hendelsen 5-årsregn uten tiltak er referanseverdien de videre tiltakene blir dimensjonert for, dvs. 327 m<sup>3</sup> overløpsmengde. Klimafaktoren gir mer enn en fordobling av vannmengdene i overløpet.

*Tabell 3.1 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved dagens situasjon for ulike regnhendelser.*

<b>Regnhendelse/Tiltak</b>	<b>Maks vannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mengde i overløp (m<sup>3</sup>)</b>
5-årsregn, uten tiltak	0,377	327
5-årsregn med klimafaktor, uten tiltak	0,633	699

<sup>4</sup> Maksimal generert vannføring i overløpet. Denne verdien viser vannføringstoppen.



*Figur 3.1 Resultat fra simulering for ledningsnett i dagens tilstand, med regnhendelsene 5-årsregn og 5-årsregn med klimafaktor.*

### 3.2 Resultater for ett tiltak: frakobling av taknedløp

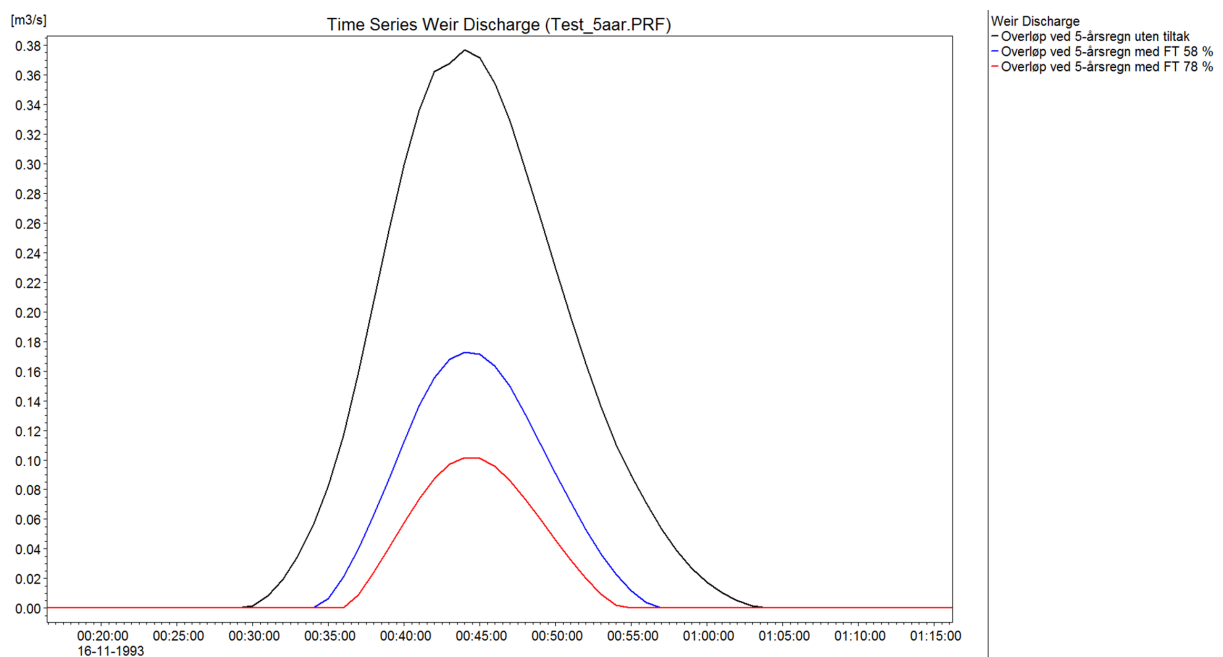
Omfanget av dette tiltaket er å se hvor mye vann som forsvinner ut av modellen ved å redusere bidraget fra takarealene til alle de resterende husene som ikke var frakoblet ved kalibrering.

Nedenfor er resultatene fra overløpsdriften presentert i Tabell 3.2 og Figur 3.2. Verdiene som tilsvarer reduksjon av "Roof factor" for å implementere tiltaket, er hentet fra Tabell 1.1, med medianverdien for infiltrasjonsareal 0,25.

Overløpsmengdene ble redusert med 64 % og 81 % ved å frakoble taknedløpene og redusere bidraget fra takarealene i modellen med de forskjellige virkningsgradene.

Tabell 3.2 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved tiltak: frakoblet taknedløp for 5-årsregn med to forskjellige virkningsgrader. Reduksjon i overløpsmengde (%) har referanseverdi fra Tabell 3.1. FT = Frakobling av taknedløp.

Tiltak	Maks vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Mengde i overløp (m <sup>3</sup> )	Reduksjon i overløp (%)
5-årsregn med FT 58 %	0,173	119	64
5-årsregn med FT 78 %	0,102	61	81



Figur 3.2 Grafisk resultat av overløpsdriften i AK52 ved frakoblede taknedløp for 5-årsregn. X-aksen viser tidsløpet/klokkeslett for regnhendelsen (tid). Y-aksen viser vannføringen i overløpet (m<sup>3</sup>/s). Sort graf viser overløpet uten tiltak, blå graf viser overløpet med frakoblet taknedløp (58 %) og rød graf viser overløpet med frakoblet taknedløp (78 %). Overløpets vannføring reduseres med over 50 % for begge simuleringene med LOD.

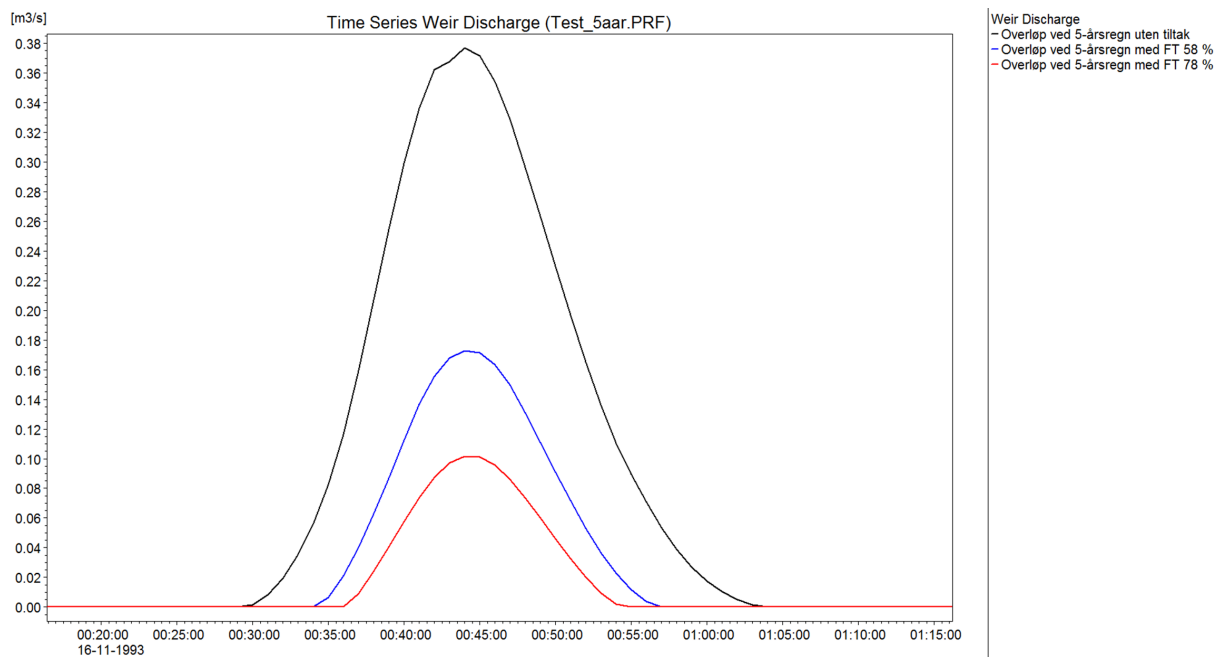
### 3.3 Resultater for to tiltak: regnbed

Omfanget av dette tiltaket er implementering av regnbed i situasjonen fra 3.2, for å se hvor mye vann som reduseres i overløpet ved å kombinere to LOD-tiltak. Simuleringen er gjort for å se hvordan avløpsnettets reagerer på løsningen av tiltaket.

Figur 3.3 viser vannføring over overløpet etter montering av 133 regnbed og frakobling av taknedløp. Tabell 3.3 presenterer vannmengdene som tiltakene har redusert ifølge modellen. Reduksjonen i overløpsmengde i AK52, fra utgangspunktet 5-årsregn uten tiltak, varierte fra 91% til 98% avhengig av virkningsgraden til taknedløpfrakoblingen.

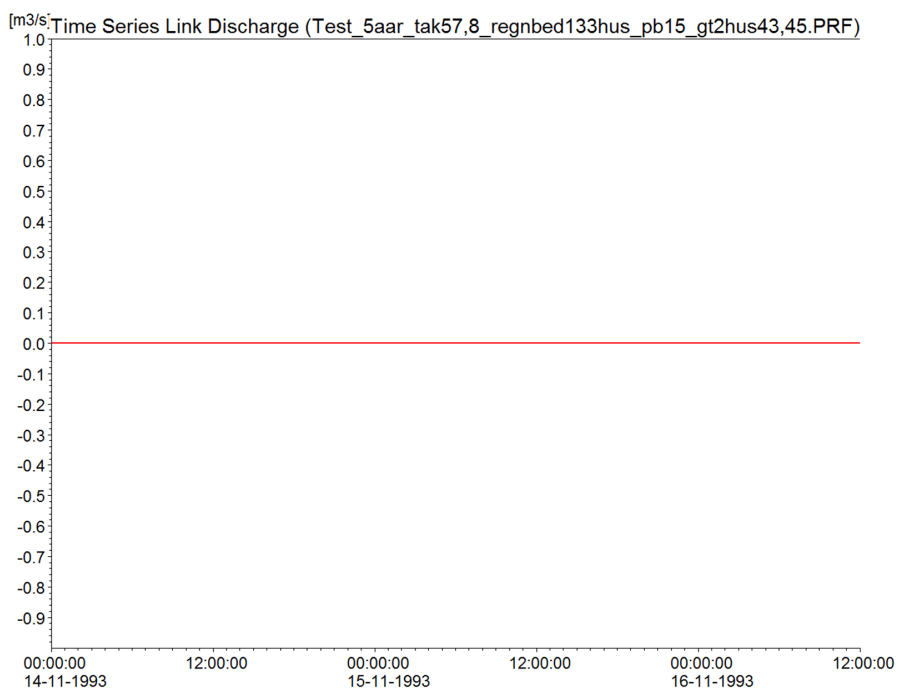
*Tabell 3.3 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved tiltak: frakoblet taknedløp og regnbed for 5-årsregn. FT = Frakobling av taknedløp, RB = regnbed. Reduksjon i overløpsmengde (%) har referanseverdi fra Tabell 3.1 (5-årsregn, dagens tilstand).*

<b>Tiltak</b>	<b>Maks vannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mengde i overløp (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reduksjon i overløp (%)</b>
5-årsregn med FT 58 % + 133 RB	0,057	28	91
5-årsregn med FT 78 % + 133 RB	0,021	7,0	98



Figur 3.3 Grafisk resultat for overløpsdriften med tiltak: frakoblet taknedløp og regnbed. X-aksen viser tidsløpet for regnhendelsen (t). Y-aksen viser vannføringen i overløpet ( $m^3/s$ ).). Sort graf viser overløpet uten tiltak, blå graf viser overløpet med frakoblet taknedløp (58 %) og regnbed, og rød graf viser overløpet med frakoblet taknedløp (78 %) og regnbed. Overløpets vannføring reduseres med over 80 % for begge simuleringene med LOD.

For å illustrere resultatet av implementering av regnbed i modellen, ble det valgt ut et representativt regnbed. Regnbed 13 (Vedlegg 1). Vannføringen ut av regnbedet, som tilsvarer overløpet i regnbedet, er vist i Figur 3.4. Som grafen viser, er det null vannføring ut av regnbedet i delfeltet ved 5-årsregnet. Vannet går 100 % til infiltrasjon fra det aktuelle delfeltet.



*Figur 3.4 Vannføring ut av Regnbed 13 ved FT 58 % og 78 %. Regnbedet tar unna alt vann fra tilrenningspunkt i delfeltet. Rød linje representerer videreført vannmengde for begge virkningsgrader.*

### 3.4 Resultater for tre tiltak: permeable dekker

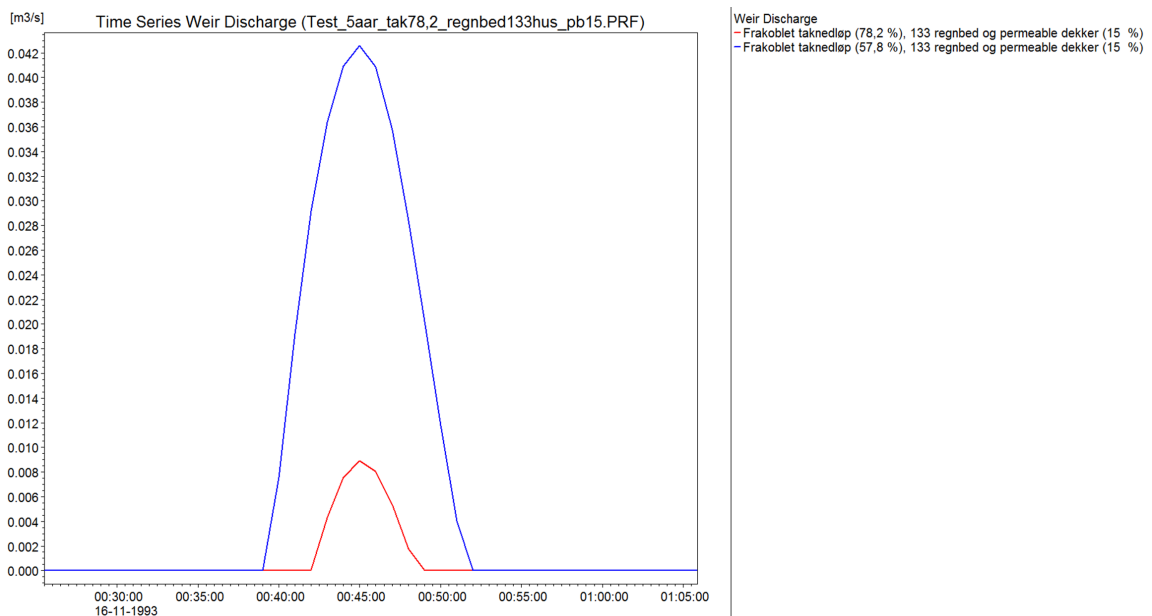
Permeable dekker ble implementert etter beskrivelsen i 2.3.5. i situasjon 3.3, for å se hvor mye vann som reduseres i overløpet ved å kombinere tre LOD-tiltak i modellen. Simuleringen er gjort for å se hvordan avløpsnettets reagerer på løsningen av tiltaket.

Tabell 3.4 presenterer vannmengdene som er redusert ved simuleringen i modellen. Figur 3.5 viser resultatet av tilførselen av permeable dekker, regnbed og frakobling av taknedløp i modellen for overløpet; dvs. bruk av tre LOD-tiltak samtidig. ”Road faktor” er redusert med 15 %, 2.3.5.

Reduksjonen i overløpsmengde i AK52, fra utgangspunktet 5-årsregn uten tiltak, varierte fra 94% til 99% avhengig av virkningsgraden til taknedløpfrakoblingen.

Tabell 3.4 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved tiltak: permeable dekker, regnbed og frakobling av taknedløp for 5-årsregn. FT = Frakobling av taknedløp, RB = regnbed og PD = permeable dekker. Reduksjon i overløpsmengde (%) har referanseverdi fra Tabell 3.1.

Tiltak	Maks vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Mengde i overløp (m <sup>3</sup> )	Reduksjon i overløp (%)
5-årsregn med FT 58 % + 133 RB + PD 15 %	0,043	19,0	94
5-årsregn med FT 78 % + 133 RB + PD 15 %	0,009	2,2	99



Figur 3.5 Grafisk resultat for overløpsdriften med tiltak: permeable dekker, regnbed og frakoblet taknedløp. X-aksen viser tidsløpet for regnhendelsen (t). Y-aksen viser vannføringen i overløpet (m<sup>3</sup>/s). Forskjellen mellom grafene skyldes de ulike virkningsgradene til taknedløpfrakoblingen.



### 3.5 Resultater for fire tiltak: grønne tak

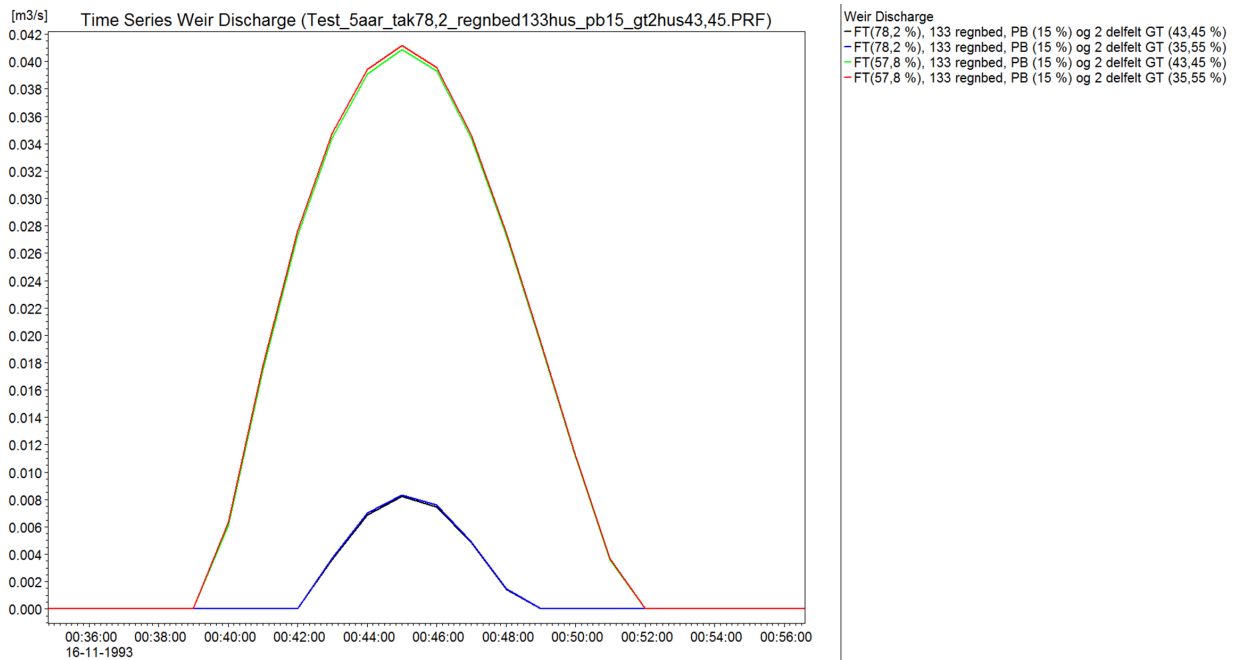
Siste LOD-tiltak som ble implementert i modellen, er grønne tak. Tiltaket er lagt inn etter beskrivelsen fra 2.3.4, med verdiene 35 % og 43 %, fra medianverdien i Tabell 1.5.

Tabell 3.5 presenterer vannmengdene som er redusert ved simuleringen i modellen. Figur 3.6 viser resultatet av tilførselen av grønne tak, permeable dekker, regnbed og frakobling av taknedløp i overløpet; dvs. fire LOD-tiltak.

Reduksjonen i overløpsmengde i AK52, fra utgangspunktet 5-årsregn uten tiltak, gav minimal endring i vannmengder over overløpet sammenliknet med resultatene i Tabell 3.4. Grønne tak andelen i nedbørsfeltet var 1,2 % av totalt takareal i feltene med kobling til fellessystemet.

*Tabell 3.5 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved tiltak: grønne tak, permeable dekker, regnbed og frakobling av taknedløp for 5-årsregn. FT = frakobling av taknedløp, RB = regnbed, PD = permeable dekker og GT = grønne tak. Reduksjon i overløpsmengde (%) har referanseverdi fra Tabell 3.1.*

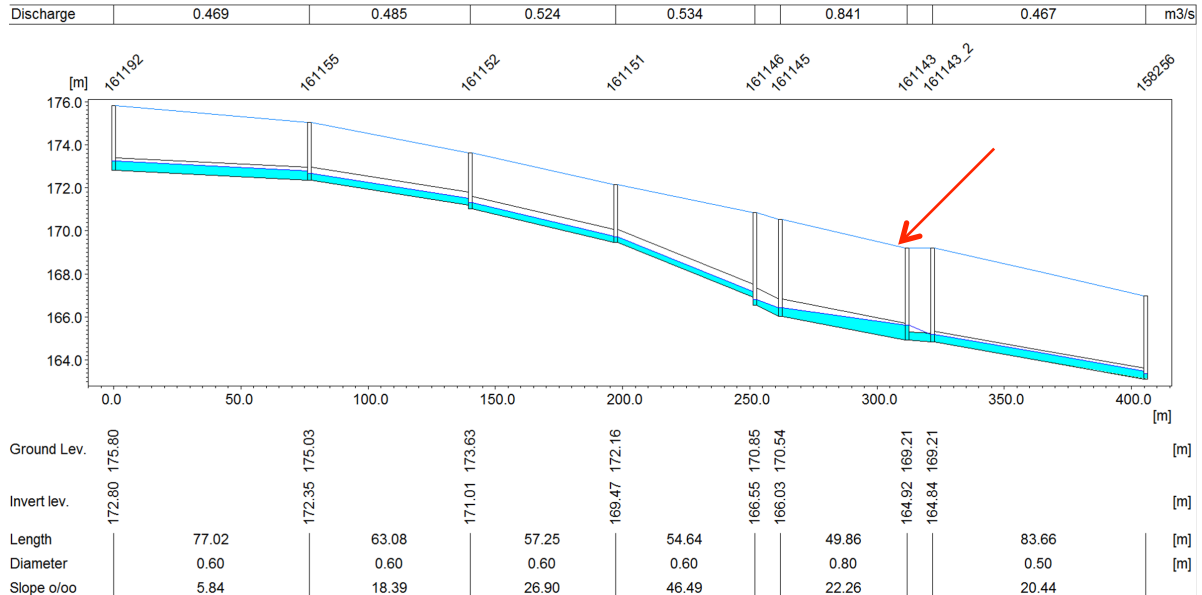
<b>Tiltak</b>	<b>Maks vannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mengde i overløp (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reduksjon i overløp (%)</b>
5-årsregn med FT 58 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,041	18,2	94
5-årsregn med FT 58 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,041	18	94
5-årsregn med FT 78 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,008	2,0	99
5-årsregn med FT 78 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,008	1,9	99



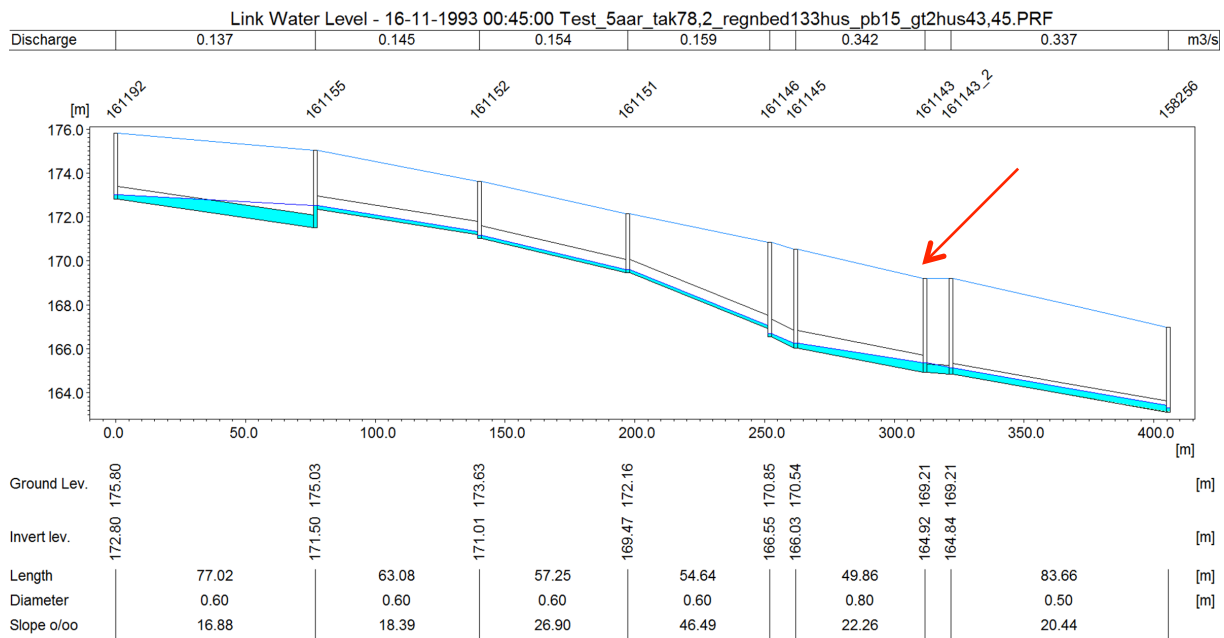
Figur 3.6 Grafisk resultat for overløpsdriften med tiltak: grønne tak, permeable dekker, regnbed og frakoblet taknedløp. X-aksen viser tidsløpet for regnhendelsen ( $t$ ). Y-aksen viser vannføringen i overløpet ( $m^3/s$ ).

### 3.6 Resultater for alle tiltak kombinert

Virkningen av alle LOD-tiltakene er visualisert i Figur 3.7 og 3.8 ved å vise en profiltegning av ledningsstrekket inn mot AK52, med vannets nivå i rørledningen.

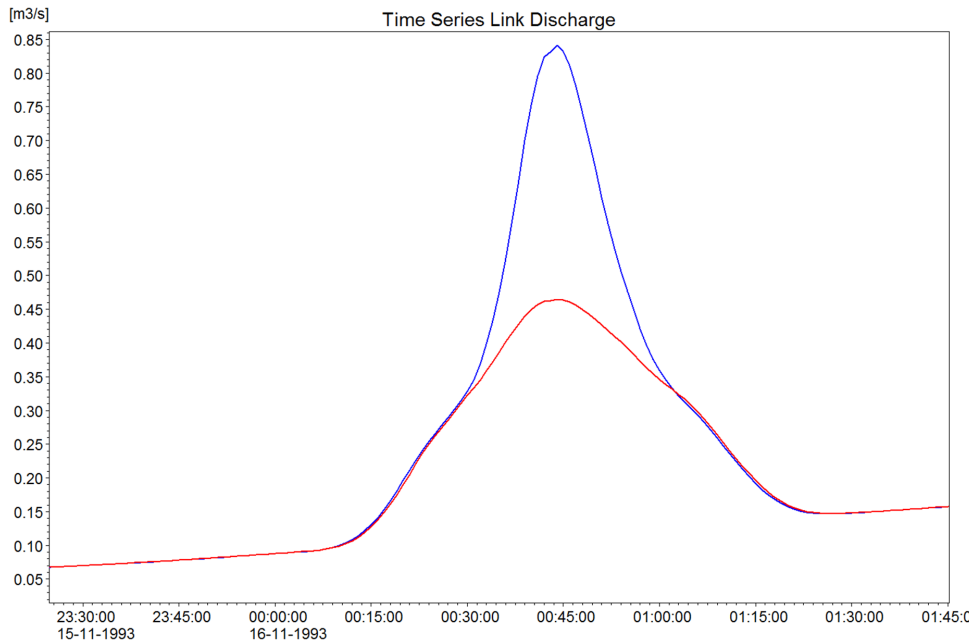


Figur 3.7 Profiltegning for deler av ledningsstrekket i Grefsenveien gjennom AK52, ved simulering for dagens tilstand med 5-årsregn. Resultatet viser vannets nivå i ledningene. Rød pil viser overløpets plassering.

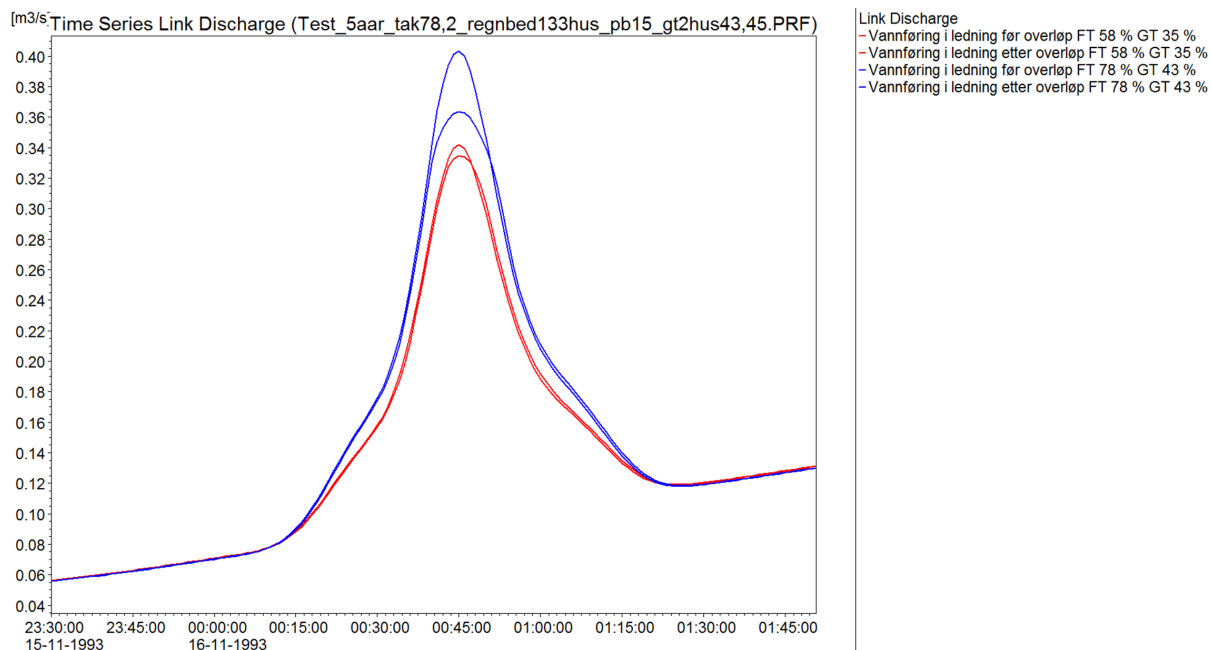


Figur 3.8 Profiltegning for deler av ledningsstrekket i Grefsenveien gjennom AK52, ved simulering for LOD-tiltak ((frakoblet taknedløp, regnbcd, permeable dekker og grønne tak) implementert for å nå minimum overløpsdrift ved et 5-årsregn. Resultatet viser vannets nivå i ledningene. Rød pil viser overløpets plassering.

Redusert vannføringen i ledning ved dagens tilstand og alle implementerte LOD-tiltak for 5-årsregn er presentert i Figur 3.9 og 3.10. Fra grafene kan man se at vannføringen med alle LOD-tiltakene er mer enn halvert i forhold til vannføring uten tiltak inn til overløpet.



*Figur 3.9 Resultat for vannføring i ledningsstrekket inn mot overløp AK52 ved 5-årsregn uten tiltak. Maksimal vannføring før overløpet er 0,84 m<sup>3</sup>/s. Maksimal vannføring etter overløpet er 0,45 m<sup>3</sup>/s. Blå graf viser vannføringen i ledningen før overløpet. Rød viser vannføring etter.*



*Figur 3.10 Resultat for vannføring i ledningsstrekket inn mot overløp AK52 ved implementering av alle LOD-tiltak (frakoblet taknedløp, regnbed, permeable dekker og grønne tak) for 5-årsregn. Før overløpet: maksimal vannføring er 0,41 m<sup>3</sup>/s og 0,34 m<sup>3</sup>/s. Etter overløpet: maksimal vannføring er 0,36 m<sup>3</sup>/s og 0,33 m<sup>3</sup>/s.*

De fire LOD-tiltakene ble ikke vurdert mot hverandre i oppgaven. De ble tilført i modellen etter rekkefølgen; frakobling av taknedløp, regnbed, permeable dekker og grønne tak.

Omfanget av størrelse og antall av hvert tiltak er ikke like for tiltakene. Hvor stort omfang hvert enkelt tiltak har i oppgaven, er vurdert av forfatter basert på teori og egne vurderinger fra observasjoner i feltarbeid. Tabell 3.6 viser hvor mange kubikkmeter tiltakene reduserte hver for seg.

Tabell 3.6 Resultat for de ulike tiltakenes reduksjonsgrad individuelt. Frakobling av taknedløp reduserte størst mengder vann. Tiltakene er ikke implementert i modellen i lik skala. Derfor viser resultatene store forskjeller.

Tiltak	Reduksjonsmengde
Ingen tiltak	-
Frakoblet taknedløp ved to forskjellige virkningsgrader (58 og 78 %)	208
	266
Regnbed (133 stykk plassert mest mulig strategisk i feltet)	90
	54
Permeable dekker av belegningsstein i alle innkjørsler (15 % av veifaktoren i modellen)	9
	5
Grønne tak anlagt i to delfelt, som utgjør XXX av takarealet i nedbørsfeltet, med ulik virkningsgrad (35 og 43 %), for ulike virkningsgrad av taknedløpsfrakobling (58 og 78 %)	0,8
	1
	0,2
	0,3

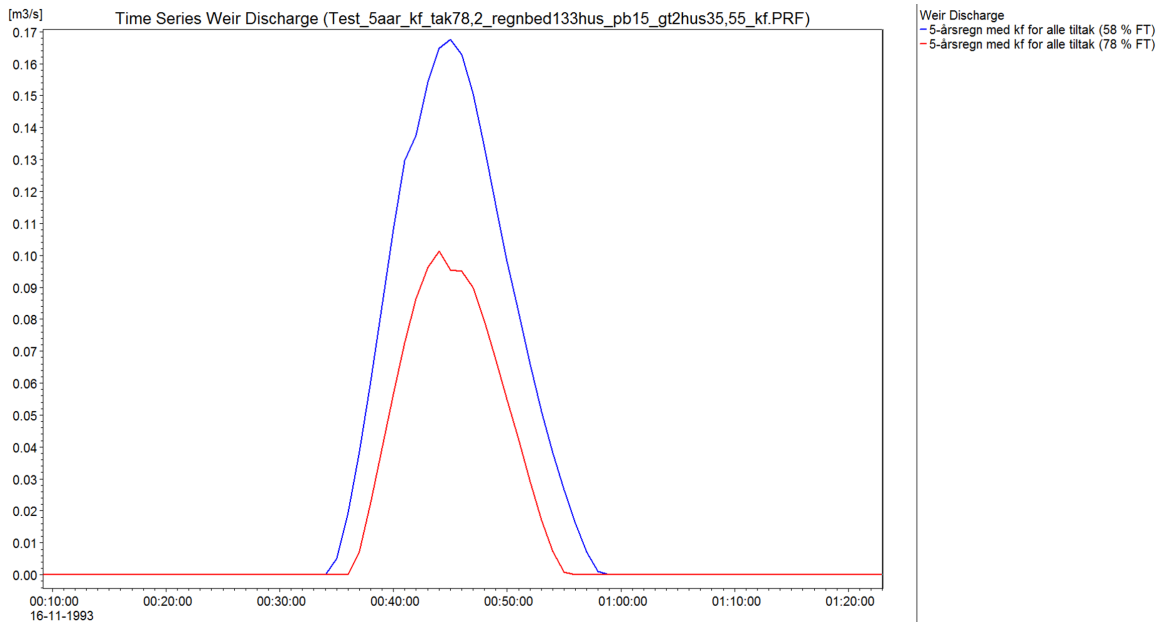
### 3.7 Resultater alle tiltak: med klimafaktor

Det ble også kjørt simulering for 5-årsregn med klimafaktor på 1,5 for å se hvor godt tiltakene vil holde om 100 år og hvordan vannføringen var ved dimensjonerende regn i Grefsenveien (Tabell 3.7 og Figur 3.11), fra resultatet i 3.5/3.6.

Resultatene ga reduksjon i overløpsmengde i AK52, og er presentert i Tabell 3.7. Selv for større nedbørsmengder, viser resultatene fra simuleringen reduksjon i vannmengder til overløpet.

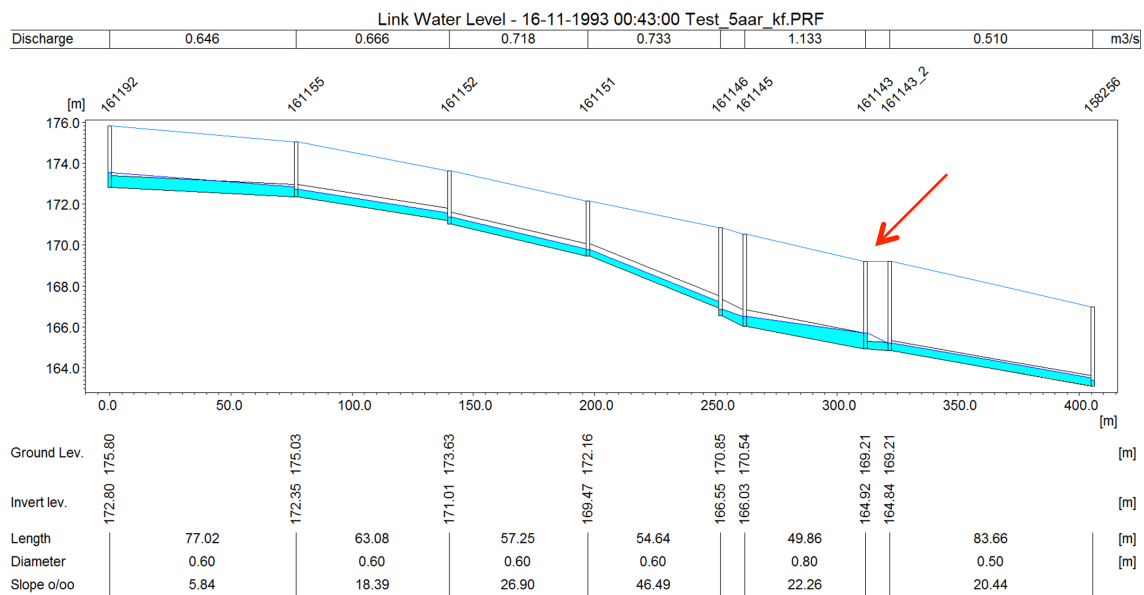
Tabell 3.7 Resultat for maksimal vannføring og vannmengde ut av overløpet ved tiltak: grønne tak, permeable dekker, regnbed og frakobling av taknedløp for 5-årsregn med klimafaktor. FT = frakobling av taknedløp, RB = regnbed, PD = permeable dekker, GT = grønne tak og kf = klimafaktor. Reduksjon i overløpsmengde (%) har referanseverdi fra Tabell 3.1, fra hendelsene 5-årsregn henholdsvis uten og med klimafaktor.

<b>Tiltak</b>	<b>Maks vannføring (m<sup>3</sup>/s)</b>	<b>Mengde i overløp (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Reduksjon i overløp (%) (5-årsregn)</b>	<b>Reduksjon i overløp (%) (5-årsregn +kf)</b>
5-årsregn + kf med FT 58 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,168	121,2	63	83
5-årsregn + kf med FT 58 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,167	120,6	63	83
5-årsregn + kf med FT 78 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,101	63,7	81	91
5-årsregn + kf med FT 78 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,101	63,4	81	91



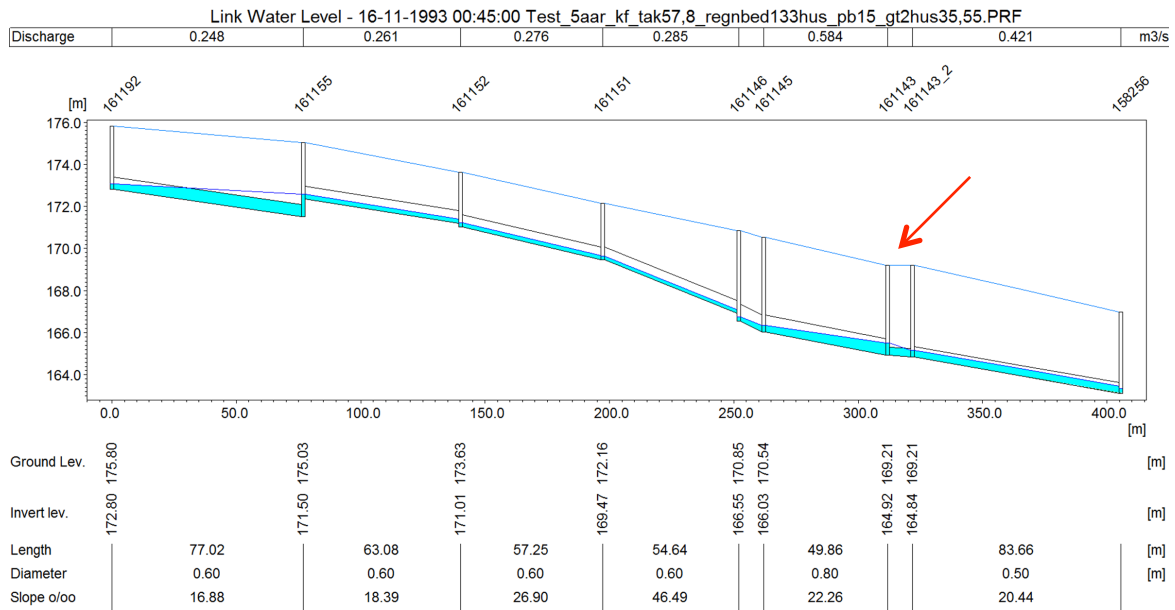
Figur 3.11 Grafisk resultat for overløpsdriften med tiltak: grønne tak, permeable dekker, regnbed og frakoblet taknedløp ved 5-årsregn med klimafaktor. X-aksen viser tidsløpet for regnhendelsen (t). Y-aksen viser vannføringen i overløpet ( $m^3/s$ ).

Figurene 3.12, 3.13 og 3.14 viser vannets nivå i ledningene i Grefsenveien gjennom overløpet. Simuleringene med LOD-tiltak viser reduksjon i vannnivå i ledningene. Figur 3.13 har et vannnivå i ledningene som er litt høyere enn ledningene i Figur 3.14. Dette skyldes de ulike reduksjonsfaktorene for frakobling av taknedløp og grønne tak. Det er valgt å presentere simuleringene fra hendelsene ”worst case” og ”best case”.

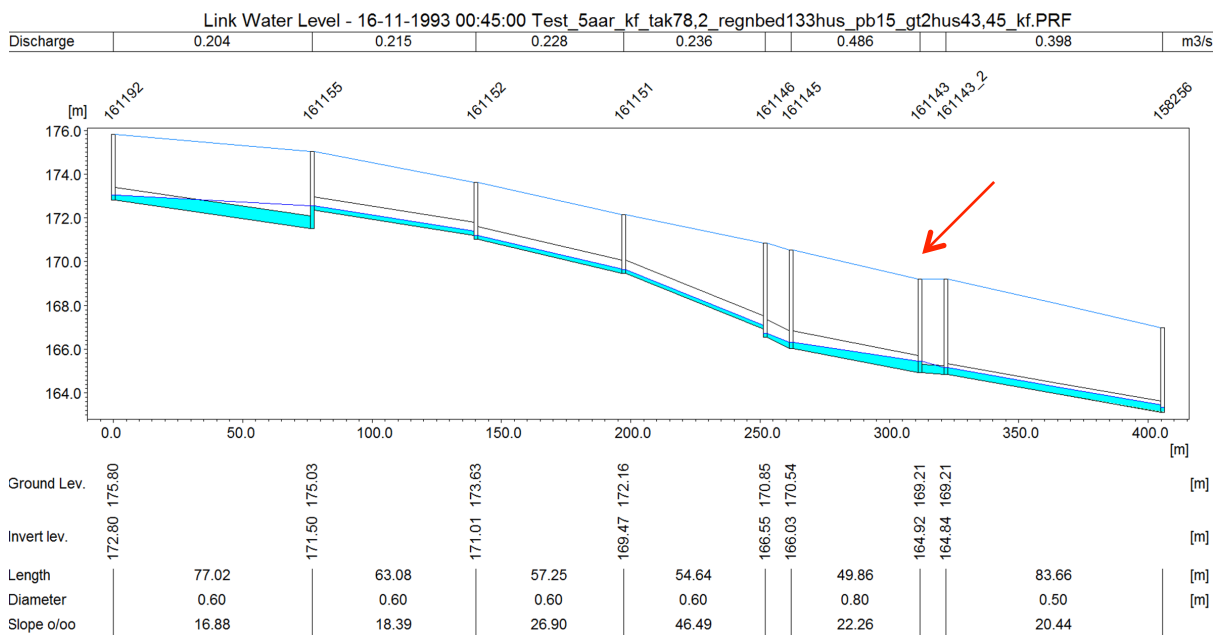


Figur 3.12 Profiltegning for deler av ledningsstrekket i Grefsenveien gjennom AK52, ved simulering for 5-årsregn med klimafaktor. Resultatet viser vannets nivå i ledningene. Rød pil viser overløpets plassering.



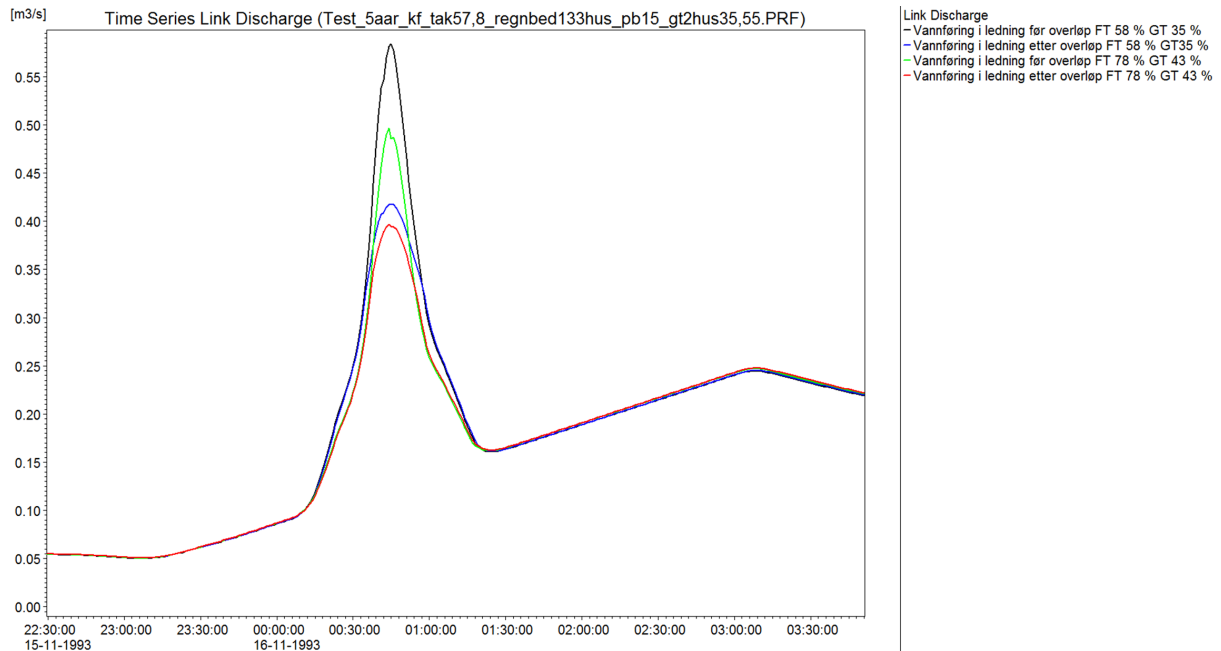


Figur 3.13 Profiltegning for deler av ledningsstrekket i Grefsenveien gjennom AK52, ved simulering for LOD-tiltak (frakoblet taknedløp, regnbed, permeable dekker og grønne tak) implementert for minimum overløpsdrift ved et 5-årsregn med klimafaktor. Hendelsen viser resultat for simulering med lavest reduksjonsfaktor for taknedløpfrakobling og grønne tak. Resultatet viser vannets nivå i ledningene. Rød pil viser overløpets plassering.



Figur 3.14 Profiltegning for deler av ledningsstrekket i Grefsenveien gjennom AK52, ved simulering for LOD-tiltak (frakoblet taknedløp, regnbed, permeable dekker og grønne tak) implementert for minimum overløpsdrift ved et 5-årsregn med klimafaktor. Hendelsen viser resultat for simulering med høyest reduksjonsfaktor for taknedløpfrakobling og grønne tak. Resultatet viser vannets nivå i ledningene. Rød pil viser overløpets plassering.

Vannføringen i ledning før og etter overløpet, vil si noe om hvor mye vann som har gått i overløp. Resultatene er visualisert ved grafene i Figur 3.15. Fra Tabell 3.7 er vannmengdene  $121 \text{ m}^3$  (for simulering med minst reduksjonsfaktor for FT og GT) og  $64 \text{ m}^3$  (for simulering med høyest reduksjonsfaktor for FT og GT).



Figur 3.15 Resultat fra vannføringen i ledning før og etter overløpet ved ulike hendelser med 5-årsregn og klimafaktor. Sort graf er vannføringen i ledning før overløp ved reduksjonsfaktorene frakobling av taknedløp 50 % og grønne tak 35 %. Blå graf viser vannføringen ut av overløpet ved samme hendelse. Grønn graf viser vannføringen før overløpet ved reduksjonsfaktorene frakobling av taknedløp 78 % og grønne tak 43 %. Rød graf er vannføringen etter overløpet ved samme simulering. Arealet mellom grafene for samme simulering, viser vannmengdene som har gått i overløp. Y-aksen viser vannføringen ( $\text{m}^3/\text{s}$ ) og X-aksen viser tidsforløpet/klokkeslett for regnhendelsen (tid).

## 4 Diskusjon

### 4.1 Vurdering av benyttet verktøy

#### 4.1.1 Programvare

Verktøyene benyttet i oppgaven er ArcGIS, med ROSIE og MOUSE motor. I utgangspunktet er bruksområdet i programvaren ikke egnet for tilføring av overflatetiltak. Det ble derfor nødvendig å ta noen antakelser i oppgaven og tilpasse tiltakene etter modellen.

Modellen var kalibrert på forhånd, i forbindelse med KVVU-en gjennomført av VAV. Denne kalibreringen er basert på målinger fra 2014. Feltet har endret seg noe siden da, med blant annet fortettede tomter. Dette gir mer avløpsvann til systemet og utbygningen gir mindre infiltrasjonsvennlige flater i feltet. Etter befaring fra sommeren 2016, ble det observert forandringer i antall påkoblede taknedløp fra tidligere observasjoner i forbindelse med feltarbeid til KVVU-en. Om dette var feilregistreringer eller om flere hus hadde frakoblet i perioden mellom befaringen er usikkert. Disse observasjonene og endringene i feltet er ikke tatt til betraktning i modellen.

For å ha en grad av robusthet i modellen, ble det valgt å operere med et bestemt intervall for tiltakene der det var behov for faktorreduksjon for å tilføre tiltakene. +/- 15 % tar hensyn til parameterusikkerhet for tiltakene. 15 % ble valgt for å inkludere spennet på resultatene fra forsøkene som er brukt som verdier i oppgaven. Taknedløpfrakoblingen viste verdier med medianverdi 70 % i Tabell 1.1, hvor det var målte verdier fra 31 til 86 % reduksjon. For de grønne takene, ble samme fremgangsmetode brukt for å finne en faktor som inkluderte de mest rimelige resultatene, fra Tabell 1.5 og Figur 1.12. For å inkludere både de lave og høye reduksjonsverdiene i simuleringene ble faktoren 15 % brukt for begge tiltakene for å gi likt spenn på robustheten. Det ble også bestemt å gi modellen en grad av robusthet fordi resultatene som er brukt er målte verdier, og ikke virkelige tall. For å gi mer sikkerhet i resultatene vil det være nødt til å ta målinger på hvert sted tiltakene plasseres i feltet.

#### 4.1.2 Regndata

Det ble valgt å benytte regndata i form av konstruerte regnhyetogrammer. Enkeltregn ble simulert til å gjelde for hele feltet. Oslo kommune bruker symmetriske regnhyetogrammer, derfor er det valgt å bruke dette i oppgaven. Enkeltregnet kan sies å tilsvare nedbør som faller i sommerhalvåret (Lindholm 2016). For mindre felt gir korte intensive regn dimensjonerende avrenning (Lindholm 2016). For større felt bør langvarige regnhendelser benyttes, slik som

høstregn eller nedbør som faller på vinterhalvåret. Feltet AK52 er ca. 91 ha. Om dette er et stort felt, kan diskuteres. I denne oppgaven vurderes feltet å være lite.

## 4.2 Vurdering av LOD-tiltakene

### 4.2.1 Bestemmelse utforming av LOD-tiltak

Det ble etter forespørsel fra VAV, valgt å tilføre modellen fire ulike LOD-tiltak som håndterer overvannet åpent. Teorien og resultater fra forsøk omtalt i 1.6 la grunnlaget for hvordan tiltakene er, på best mulig måte, implementert i modellen. Befaring av feltet sommeren 2016 er tatt med når vurdering av tiltakenes plassering i modellen ble tatt. Infiltrasjonsmålingene på Jupiter jordet ble brukt for å beregne infiltrasjonshastigheten til de 16 regnbedene, som representerer 133 regnbed i praksis. Resultatene fra Ekeberg, Tabell 1.1, ble brukt for å bestemme reduksjonsevnen på frakobling av taknedløp. For å gi modellen en robusthet, er det for tiltakene frakobling av taknedløp og grønne tak valgt å arbeide med verdier +/- 15 %. Dette tallet er valgt på bakgrunn av usikkerhet fra modellen og virkeligheten.

Fordi det etter bestemmelse fra KVU-en skal separeres 1500 m fellesledning, viste resultatene av dette ved 3-årsregn et behov for å tilbakeholde ca. 70 m<sup>3</sup> overvann. I KVU-en er det et forslag på at vannet samles i et fordryningsbasseng på 100 m<sup>3</sup>. I denne oppgaven er det ikke tatt hensyn til separeringen og reduksjon av nødvendig tilbakeholdt overvann, med hensikten å se hvor stor grad LOD-tiltak kan håndtere de samme mengdene. Og hvor mange tiltak det må til for å håndtere vannmengdene.

#### **Frakobling av taknedløp**

LOD-tiltaket frakobling av taknedløp, ble vurdert på bakgrunn av befaringen på feltet sommeren 2016 og målingene fra Ekeberg, Tabell 1.1. På feltet ble det observert frakoblede taknedløp som i praksis ikke fungerte som det skulle, dvs. gi null påslipp til avløpsnett. Det ble observert flere boliger som førte det frakoblede takvannet til impermeabel/delvis impermeabel innkjørsel. Impermeable dekker i innkjørsler ga rask avrenning på takvannet, som fant veien til nærmeste sluk. Derfor ble det i denne oppgaven bestemt å redusere takareal som gir bidrag med en faktor som sto i stil med observasjonene. Verdiene 58 % og 78 % ble valgt, som er +/- 15 % av medianverdien funnet for virkningen av taknedløpfrakobling av Becker et al. (2017). Hvorvidt disse reduksjonsfaktorene er reelle for alle delfeltene, er ikke tatt med i betraktning for simuleringene.

Verdiene som er brukt for å implementere tiltaket, har en grad av usikkerhet ved seg. Verdiene er tatt fra målinger med Modified Philip-Dunne–infiltrrometer (MPD), som er en metode for å beregne infiltrasjonsevnen i jorden. Denne metoden tar ikke direkte hensyn til horisontalstrømning i jorden. Derfor ble verdiene ble tillagt en korreksjonsfaktor for å ta hensyn til strømningen av Solheim (2017). Etter denne operasjonen er det usikkerhet ved verdiene.

### **Regnbed**

For å kunne tilføre regnbed som tiltak i modellen, ble løsningen basert på Saksæther og Kihlgren (2012) og infiltrasjonsmålinger på Jupiter jorden fra Solheim (2017). Kumløsningen ble valgt fordi modellen ikke hadde andre gode alternativer. Å redusere ”Roof factor” med verdier fra Paus og Braskerud (2013) ble forkastet, da faktoren for tak allerede var redusert med frakoblet taknedløp. Det var heller ingen god løsning å kombinere reduksjon av ”Roof factor” med økt konsentrasjonstid for delfeltet basert på resultatene i Tabell 1.3. Disse resultatene er basert på kasseregnet, som er et teoretisk regn. Derfor er fordrøyningstiden vanskelig å benytte seg av. Kasseregnet ga ingen klar topp for avrenningen. Kumløsning som regnbed fungerte godt i modellen, noe også forsøkene gjort av Saksæther & Kihlgren (2012) i hovedsak gjorde (Tabell 1.3), selv om intensiteten på nedbøren var større, og derfor ikke helt sammenliknbar.

På grunn av modellens oppbygning, ble alt avløpsvann i delfeltene samlet i tilkoblingspunktet. I simuleringene ble dette punktet både brukt som regnbed og brukt til å føre delfeltets avløpsvann til regnbedet. Resultatet vist i Figur 3.4 viser at vannføringen i ledningen ut fra delfeltet er null. Dette indikerer at regnbedet også håndterte avløpsvannet fra byggene i feltet, som er en svakhet for metoden.

### **Permeable dekker**

Permeable dekker med belegningsstein ble valgt som et tiltak alle innkjørsler i delfelt med tilknytning til fellessystemet fikk. Dette ble gjort med tanke på fremtid og byutvikling. Et permeabelt dekke kan utnytte lagringsplass under overflaten for å behandle store mengder overvann, uten å oppta mer tomteareal. Arealet er allerede i bruk. Derfor er det i oppgaven valgt at alle innkjørsler får permeable dekker, for å optimalisere tomten for overvannshåndtering. I fremtiden blir alle huseiere mest sannsynlig nødt til å håndtere overvannet fra tomten, innenfor tomtegrensen. Med dette, kan permeable dekker i innkjørsel

være et aktuelt tiltak for eksempel ved nybygg der det kreves (Oslo\_kommune 2015a; Oslo\_kommune 2015b) at overvannet håndteres på egen tomt.

Fordi vannmengdene permeabel belegningsstein fra Myhr og Lippestad (2016) kan håndtere 200 l/s/ha etter å ha vært i drift over en lengre periode, ble det valgt å sette "Road Factor" lik null. Denne faktoren bestemmer avrenningsbidraget fra veiareal i feltet. Dette ble gjort på bakgrunn av tabellen over vannmengder og regn i Tabell 2.1 og Tabell 2.2, og fullstendig tilbakeholdelse av all nedbør ved regnhendelsene brukt i simuleringene.

Modellen inkluderte ikke innkjørsler til tomtene, kun hovedveiene i feltet. Det ble besluttet å redusere veifaktoren for disse arealene, tilsvarende antatt areal innkjørsler i feltet. Det ble antatt at 15 % av all vei i modellen, tilsvarte innkjørsler. Dette er det klar usikkerhet ved.

### **Grønne tak**

Grønne tak ble anlagt på "store" bygninger i modellen. Ønsket for oppgaven var egentlig å anlegge grønne tak på mindre garasjetak, men modellen skilte ikke på de ulike takflatene. Selv om det var tilgang til data fra skanning av byen (fra Plan- og bygningsetaten i Oslo) over takflater som kan egne seg for grønne tak, var det ikke nødvendig å tilføre så mange grønne tak i feltet. På bakgrunn av samtaler med beboere på feltet, var det ikke høy entusiasme for grønne tak på egen bolig, derfor ble ikke tiltaket like høyt prioritert i simuleringene. Verdiene som ble brukt for å implementere de grønne takene, baserte seg på målinger fra Braskerud (2014b). Verdiene 35 % og 43 % ble brukt, som er +/- 15 % av medianverdien funnet for tilbakeholdt nedbør i Tabell 1.5. Lite omfang i praksis gav dette tiltaket lite reduksjon i overløpet, sammenliknet med de andre tiltakene.

#### **4.2.2 Plassering av LOD-tiltakene**

I denne oppgaven ble delfeltene tilknyttet fellesledninger studert. Hvor de ulike LOD-tiltakene er plassert i feltet, er vist i 2.3.

Frakobling av taknedløpene ble gjort for alle delfelt, på bakgrunn av tidligere studier som har vist god reduksjon av videreført nedbør for tiltaket (Becker 2016; Becker et al. 2016). Tiltaket fikk førsteprioritet i oppgaven fordi det er et godt og enkelt tiltak å gjennomføre.

Delfeltene som har fått regnbed, er til best grad plassert strategisk for å avlaste hovedledningene i Grefsenveien og ledninger med mindre dimensjon.

Regnbedene ble plassert i delfelt der avløpsvannet ble fullstendig ledet til AK52. Noe

avløpsvann fra delfelt som lå i vannskiller, ble ført ut av nedbørsfeltet. Det ble ikke plassert regnbed i disse aktuelle feltene. Regnbedene ble tilført i modellen som tiltak nr. 2 på grunn av tiltakets gode evne til å håndtere overvann. I tillegg er dette et tiltak som kan tilføre hagen et fint og særegent preg, og en tørrere gressplen ved nedbør.

Permeable dekker ble besluttet til å plasseres i alle innkjørsler for alle delfeltene. Dette ble gjort på bakgrunn av ønsket om å optimalisere overvannshåndteringen for hver tomt.

Permeable dekker med belegningsstein ble valgt på bakgrunn av det estetiske, i forhold til singel eller grus.

De grønne takene som ble tilført i modellen, ble bestemt på bakgrunn av størrelse. Fordi det ble registrert minst interesse for grønne tak ved arbeidet sommeren 2016, ble tiltaket nedprioritert i forhold til de tre andre tiltakene. Takene som fikk grønne tak i modellen var store og flate, og lå nære Grefsenveien. Grefsenveien er en høytrafikkert vei, der også trikken kjører. De grønne takene ble plassert langs veien med hensikt å redusere tilførsel av overvann til veien, i tillegg til å redusere tilførsel av vann til avløpsledningen med kritisk kapasitet som ligger under veien.

### 4.3 Vurdering av resultater

Tiltakene som er tilført i modellen, har alle som mål å redusere videreført overvann til avløpsnett. Det er valgt å fokusere på overløpsdriften i AK52 ved et 5-årsregn. Samtidig er det interessant å se hvor gode tiltakene vil virke i fremtiden, derfor er det i tillegg simulert for 5-årsregn med klimafaktor.

Fordi hensikten med tilføringen av LOD-tiltakene er å redusere overløpsdriften i AK52, er det forsøkt å innføre minimalt med tiltak i feltet, med best reduksjonsevne, for å minimere overløpsmengdene maksimalt. Resultatene er presentert i kapittel 3.

Som forventet ble det redusert store overvannsmengder. Utgangspunktet hadde 327 m<sup>3</sup> vannmengde i overløp og maksimal vannføring på 0,377 m<sup>3</sup>/s. Minste videreført vannmengde ut av overløpet ved best LOD-implementering ble i simuleringene 1,9 m<sup>3</sup>. Dette tilsvarer maksimal vannføring på 0,008 m<sup>3</sup>/s (8 l/s) og 99 % reduksjon. For simuleringene med alle LOD-tiltak og lavest reduksjonsevne for både taknedløpfrakobling og grønne tak ("worst case"), ble resultatet 18 m<sup>3</sup> i overløpsmengde. Dette tilsvarer maksimal vannføring 0,042 m<sup>3</sup>/s (42 l/s) og 94 % reduksjon.

For simuleringene med klimafaktor (1,5), viste resultatene god håndtering av overvann. Vannmengdene som gikk i overløp ble etter tilføring av LOD-tiltak redusert med 83 til 91 % av mengdene vann som gikk i overløp ved simulering med klimafaktor ved dagens tilstand. Fra regnhyetogram i Figur 2.5 og 2.6 ser man at 5-årsregn med klimafaktor omtrent tilsvarende dagens 30-årsregn. Dette viser hvor godt tiltakene virker på større regnhendelser. Området i oppgaven er ikke preget av kjelleroversvømmelser, men 30-årsregn er i Oslo kommune dimensjonerende regn for dette, fordi regnhendelsen er dimensjonerende for hovedledninger. Selv om ingen av simuleringene nådde 0 m<sup>3</sup> i overløp, ser forfatter seg fornøyd med utfallet. Effekten av frakobling av taknedløp var overraskende god. Tiltaket er både enkelt og billig, og burde vært pålagt i kommunen. Det hadde bespart rensesanlegget for unødvendig ressurs av rensing av relativt forurensningsfritt vann, og miljøet i vassdraget. Oslo kommune har ingen fasitsvar på hva som er akseptabel avløpsmengde til vassdrag (Abdi 2017). Det varierer fra sted til sted. Å lenge det er kapasitet i ledningsnett, er dette innenfor grensen på akseptabel vannføring. Samtidig er det krav som sier at ”Maksimal tillatt andel av fremmedvann til rensanlegg må ikke overstige 50 % av den totale mengden som kommer til rensanlegget.” fra (Oslo\_kommune 2014). Hvor stor andel av de 50 % fremmedvannmengdene AK52 genererer er ikke lett å svare på. Overløpsparameteren (3 års grense) er en bedre indikator. For dette er målet nådd i oppgaven.



## 5 Konklusjon

Usikkerheten og svakheten som ligger i modellen og resultatene, gir en delvis usikker konklusjon. Problemstillingene er besvart etter best evne, og gitt potensielt gode resultater. Konklusjonen baserer seg på verdier og observasjoner for feltet i oppgaven, men likevel kan metoden for implementering av LOD-tiltak generaliseres for andre felt. Resultatene i oppgaven antas å være gyldige ved forutsetningene i modellen og feltet.

De viktigste funnene i oppgaven er:

- Vannmengden som må håndteres lokalt og åpent for simulering for dagens tilstand i feltet med 5-årsregn er 327 m<sup>3</sup>.
- Ved å tilføre LOD-tiltak i modellen reduseres overløpsdriften kraftig.
  - Frakobling av taknedløp reduserer overløpsdriften med 64 – 81 %.
  - Frakobling av taknedløp og etablering av regnbed reduserer overløpsdriften med 91 – 98 %.
  - Frakobling av taknedløp, bruk av regnbed og permeable dekker reduserer overløpsdriften med 94 – 99 %.
  - Frakobling av taknedløp, bruk av regnbed, permeable dekker og grønne tak reduserer overløpsdriften med 94 – 99 %.
- Ved simulering med klimafaktor, viste resultatene høy reduksjon i overløpsdriften. Fordelen med åpne LOD-tiltak er at man lettere enn ved nedgravde ledninger, kan utvide tiltakene hvis behovet skulle være der.

## 5.1 Personlige refleksjoner av oppgaven og videre arbeid

- Hvor store vannmengder som kan reduseres ved et enkelt og billig tiltak, er det som fanger mest oppmerksomhet. Dette er et tiltak Oslo kommune kan pålegge, og det virker nødvendig å ikke gjennomføre dette. Det vil, basert på resultatene i oppgaven, spare både byvassdraget mye forurensning og renseanlegget for vann som i utgangspunktet er rent.
- Videre viser resultatene at LOD-tiltak gir stor avkastning på overvannsmengdene som føres til nettet. Dette er noe som bør prioriteres mer fremfor store prosjekter for oppdimensjonering og separering av avløpsnett med for lav kapasitet.
- Oppgaven har ikke sett på det økonomiske aspektet ved tiltakene. Det kan være spennende å se på dette.
- Til videre arbeid kan resultatene i oppgaven verifiseres/falsifiseres ved å gjennomføre nyere målinger og kalibrere modellen til disse målingene. Å gjennomføre et arbeid tilsvarende denne oppgaven i flere områder, vil gi resultatene mer troverdighet. Det hadde også vært interessant å gjennomføre en grundigere hydraulisk analyse av overflatevannets avrenning på overflaten og ikke kun i ledningsnettet, som denne oppgaven har gjort. Da må det brukes et annet program, eller programmet brukt i oppgaven må videreutvikles. Kartlegging av dreneringslinjer vil kunne gi bedre indikasjon på hvor tiltakene bør plasseres på overflaten.

## Kilder

- Abdi, S. M. (2017). Personlig meddelelse 11.05.2017.
- AsplanViak. (2016). *Overvann som ressurs* (p. nr. 535485-01)
- Becker, M. A. (2016). *Assesment of Downspout Disconnection by Modeling Infiltration Potential in Urban Areas*. Masteroppgave NTNU.
- Becker, M. A., Muthanna, T. M. & Braskerud, B. C. (2016). *Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnettene ved å frakoble taknedløp*. VANN 04/2016, 359-369.
- Braskerud, B. C. & Skallebakke, O. P. (2013). *Frakobling av takrenner fra kommunalt nett: Flomdemping i små nedbørsfelt*. Faktaark versjon 1/2013.
- Braskerud, B. C. (2014a). *Grønne tak og styrtregn - Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*. NVE Rapport 65/2014.
- Braskerud, B. C. (2014b). *Styrtregn og avrenning fra grønne tak med sedumvegetasjon*. VANN (04): 451- 464.
- Braskerud, B. C. & Ødegård, I. M. (2014). *Grønne vegetasjonsdekkede tak for flomdemping - Flomdemping i små nedbørsfelt*. Faktaark versjon 1/2014.
- Braskerud, B. C., E. Andersson, M.A. Anker-Nilssen, S.T. Asp, C. Bernhus, A.K. Devik, T.Å. Fergus, B.M. Geleta, B. Haneberg, A. Høifødt, et al. (2017). *Studietur til København og Malmø. Aktuelle tiltak for håndtering av overvann i Oslo*. Rapport nr. 1/3017, Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.
- Dahl, M. G. (2012). *Utforming av grønne tak til tverrfaglig forskningsbruk på den nye veterinærhøgskolen i Ås*. Masteroppgave NMBU.
- DHI. (2008a). MOUSE RDII User Guide.
- DHI. (2008b). MOUSE surface runoff models reference manual.
- DHI. (2009). MOUSE Short Interduction and Tutorial
- Esri. (2008). ArcMap Tutorial  
[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/arcmap\\_tutorial.pdf](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/pdf/arcmap_tutorial.pdf) (lest 09.05.2017).
- Esri. (2017). About ArcGIS <http://www.esri.com/arcgis/about-arcgis> (lest 09.05.2017).
- FISRWG. (2001). *Stream Corridor Restoration: Principles, processes and practices* The Federal Interagency Stream Restoration Working Group.
- Fredrikstad\_kommune. (2007). *Overvannsrammeplan - Veiledning for overvannshåndtering*.

- Faafeng, B. A. & Roseth, R. (1993). *Retention of nitrogen in small streams articially polluted with nitrate*. *Hydrobiologia* (133-122).
- Gabriel, S. & Fiil, L. (2016). *Flerfunksjonelle lekeområder*. Oslo Kommune, BlåGrønne overvannsløsninger 01/2016.
- Hanslin, H. M. & Johannessen, B. G. (2015). *Erfaringer med grønne tak i 7 norske byer i perioden 2014-2015*. NIBIO Rapport nr 40/1.
- Hanslin, H. M. & Johannessen, B. G. (2016). *Oppfølging grønne tak fra Fremtidens byer*. NIBIO Rapport nr.140/2.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Roald, L., Hisdal, H. & Lawrence, D. (2015). *Klima i Norge 2100*. Raport 2/2015.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veilening i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann rapport 162/2008, Norsk Vann.
- Lindholm, O. (2016). *Videregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien*. THT300 Vassdragsplanlegging og VA-systemer, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. Forelesning NMBU.
- Locatelli, L., Mark, O., Mikkelsen, P. S., Arnbjerg-Nielsen, K., Jensen, M. B. & Binning, P. J. (2014). *Modelling of green roof hydrological performance for urban drainage application*. University of Copenhagen.
- MET. (2016). Meteorologisk institutt. Blindern PLU. [https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/ivf-verdier-fra-et-utvalg-m%C3%A5lestasjoner/\\_attachment/10431?\\_ts=1586300c3ae](https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/ivf-verdier-fra-et-utvalg-m%C3%A5lestasjoner/_attachment/10431?_ts=1586300c3ae) (Lest 03.03.2017).
- MET. (2017a). *Klima*. Meteorologisk institutt <https://www.met.no/vaer-og-klima> (lest 12.02.2017).
- MET. (2017b). *Normalperioder*. Meteorologisk institutt <https://metlex.met.no/wiki/Normalperioder> (lest 12.02.2017).
- Myhr, K. & Lippestad, S. L. (2016). *Belegningsstein som håndterer overvann*. Oslo Kommune Glågrønne overvannsløsninger (versjon 1.0).
- Møller-Pedersen, P. (2015). *Permeable dekker*. Testfelt for demonstrasjon og måling av infiltrasjon VANN 01/2015 (88-92).
- NGU. (2017a). Grunnvann i Norge - overvannshåndtering. [http://www.grunnvanninorge.no/geoteknikk\\_overvann.php](http://www.grunnvanninorge.no/geoteknikk_overvann.php) (lest 15.04.17).
- NGU. (2017b). *Løsmasser*. Nasjonal løsmasserdatabase <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.

- Nie, L., Lindholm, O., Åstebøl, S., Sægrov, S. & Thorolfsson, S. (2011). *Integrated Urban Stormwater Management in Norway—Best Management Practices (BMPs) in cold climate*. 12nd Int. Conf. Urban Drainage, Porto Alegre/Brazil, 10-15 September 2011.
- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J., Ødegaard, I., Clewing, C. & Frensh, H. (2012). *Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt*. Prosjektrapport nr. 104 2012 SINTEF Bioforsk.
- Norsk\_Klimaservicesenter. (2017). *Klimaprofil Oslo og Akershus*.
- NVE. (2016a). *Hydrologi*. <https://www.nve.no/hydrologi/> (lest 14.04.2017).
- NVE. (2016b). *Urbanhydrologi*. <https://www.nve.no/hydrologi/urbanhydrologi/> (lest 14.04.2017).
- Oslo\_kommune. (2014). *Hovedplan avløp og vannmiljø. 2014-2030*.
- Oslo\_kommune. (2015a). *Kommuneplan Oslo mot 2030: smart, trygg og grønn*.
- Oslo\_kommune. (2015b). *Overvannshåndtering. En veileder for utbygger*.
- Paus, K. H. & Braskerud, B. C. (2013). *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold*. VANN 48. 01/2013 (54-67).
- Paus, K. H., Førland, E. j., Fleig, A., Lindholm, O. & Åstebøl, S. O. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktor for fremtidig nedbørintensitet*.
- Paus, K. H. (2016). *Toxic Metal Removal and Hydraulic Capacity in Bioretention Cells in Cold Climate Regions*. Doctorial thesis NTNU.
- Paus, K. H., Muthanna, T. M. & Braskerud, B. C. (2016). *The hydrological performace of bioretention cells in regions with cold climates: reasonal variation and implications for design*. Hydrology Research 47.2/2016 (291-304).
- Pazwash, H. (2011). *Urban Storm Water Management*. Taylor and Francis Group: CRC Press.
- Plaanja. (2015). *Grønne tak - Del 2: Kommersielle muligheter*. <http://www.plannja.no/privat-forhandler/lets-tak/2016/juli/gronne-tak-del-2/> (lest 02.05.2017), Plannja AS.
- ROSIM. (2017). *Rosie Modelling av vann- og avløpsnett*. <http://web.rosim.no/index.php/produkter-2/desktop/rosie/> (lest 24.04.2017).
- Saksæther, V. & Kihlgren, K. S. (2012). *Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse*. Masteroppgave NMBU.
- SINTEF. (2012). *311.015 Vann i by - Håndtering av overvann i bebygde områder*: SINTEF Tilgjengelig fra: <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=2562&sectionId=2> (lest 07.02.2017 kl: 12.37).

- Skaaras, H., Hansen, A.-J., Riise, E., Stenersen, J., Refling, D., Johansen, R., Hjelle, H., Ebeltoft, M., Skofteland, H. & Kipperberg, G. (2015). *Overvann i byer og tettsteder - som problem og ressurs*. Norges offentlige utredninger (NOU) 16/2015.
- Solheim, E. (2017). *Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD) - vurdering av metoder for å måle infiltrasjon på lokal tomt*. Masteroppgave NMBU
- Stockler, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (2014). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. IPCC.
- VA-forum. (2015). *Testanlegg for overvannshåndtering*.  
<http://vaforum.no/artikler/158/testanlegg-for-overvannshandtering> (lest 02.03.2017).
- VA-miljøblad. (2007). *Regnvannsoverløp - valg av løsning og utforming*. Nr. 74.
- VAV. (2013). *Hovedplan avløp og vannmiljø*. Vann- og avløpsetaten 2014-2030.
- Ødegaard, H., Heistad, A., Lindholm, O., Østerhus, S. W., Sægvog, S. & Mosevoll, G. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann.
- Åstebøl, S. O., Robba, S., Stenvik, G., Kristoffersen, H. V. & Olsen, S. B. (2013). *Veileder for lokal overvannshåndtering - På lag med regnet*. Rogaland fylkeskommune/Jæren vannområde.

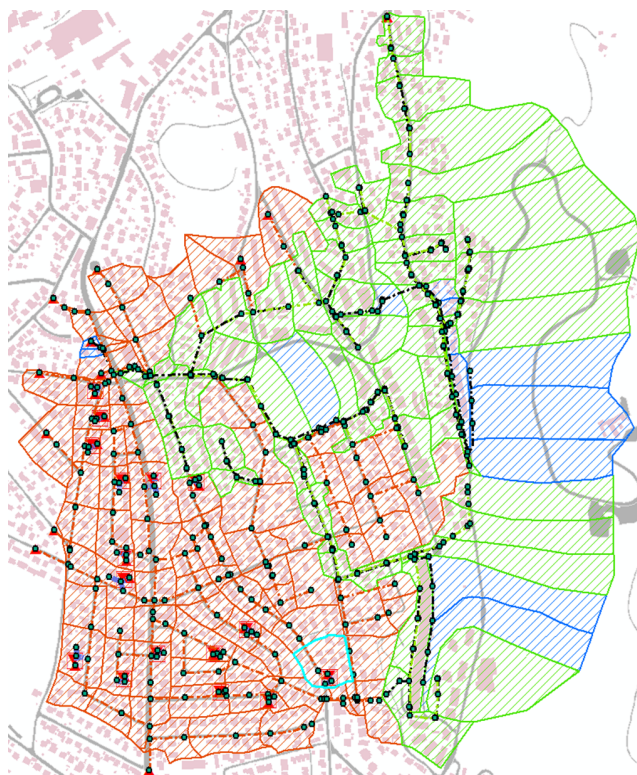


# Vedlegg A: Beregningene tilknyttet utforming av de 16 regnbedene og plassering

## Regnbed 1:

Tabell 0.1 Verdier for regnbed 1.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,22013
<b>Antall hus</b>	13
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>)</b>	123,1
<b>Diameter regnbed</b>	168,3
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00209



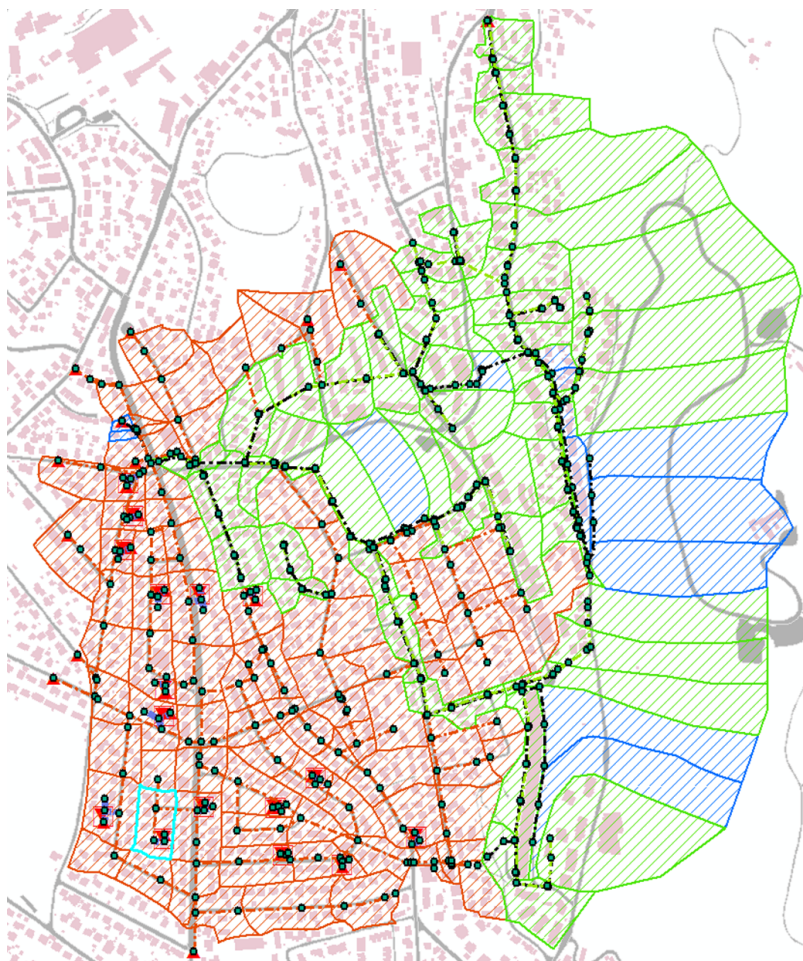
Figur 0.1 Plassering av regnbed 1. Delfeltet er markert i blått.



## Regnbed 2:

Tabell 0.2 Verdier for regnbed 2.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,14939
<b>Antall hus</b>	8
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	89,6
<b>Diameter regnbed</b>	114,1
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00142

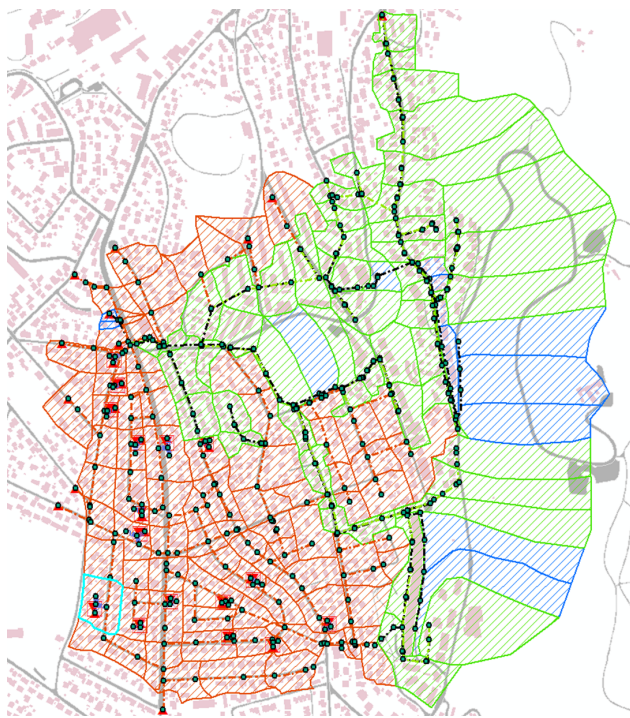


Figur 0.2 Plassering av regnbed 2. Delfeltet er markert i blått.

### Regnbed 3:

Tabell 0.3 Verdier for regnbed 3.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,23607
<b>Antall hus</b>	14
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	141,6
<b>Diameter regnbed</b>	180,4
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00224

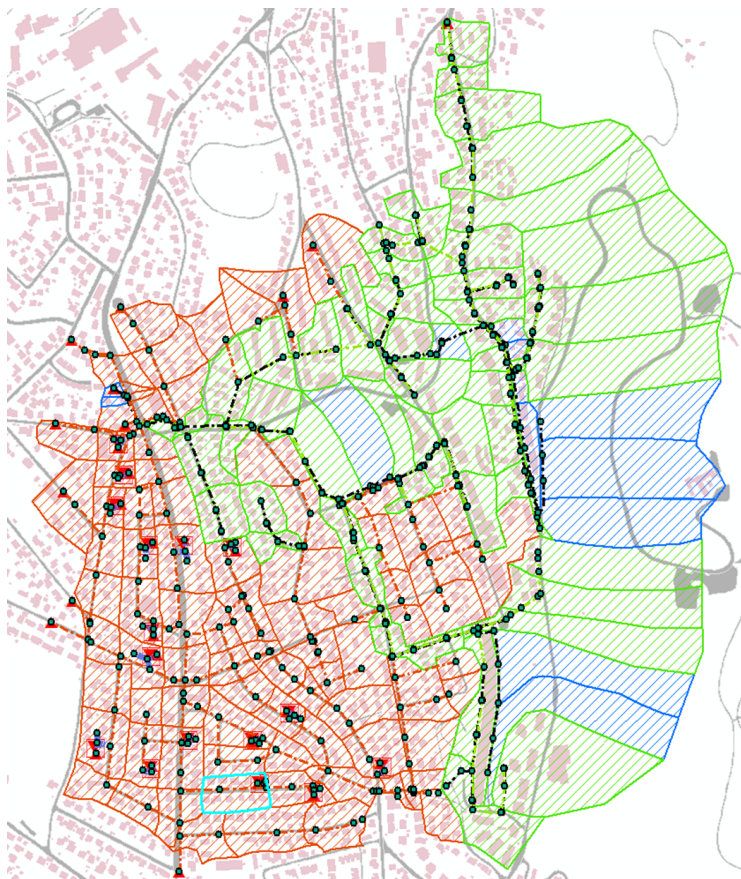


Figur 0.3 Plassering av regnbed 3. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 4:

Tabell 0.4 Verdier for regnbed 4.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,17424
<b>Antall hus</b>	11
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	104,5
<b>Diameter regnbed</b>	133,2
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00165

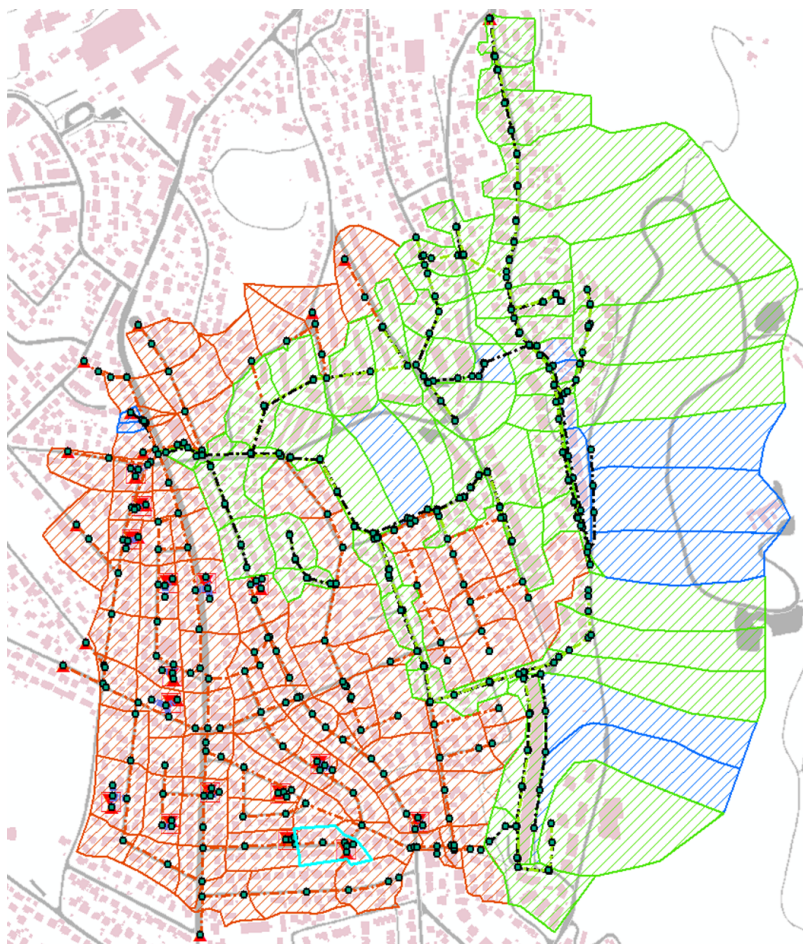


Figur 0.4 Plassering av regnbed 4. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 5:

Tabell 0.5 Verdier for regnbed 5.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,15926
<b>Antall hus</b>	8
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	95,56
<b>Diameter regnbed</b>	121,7
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} \cdot \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00089

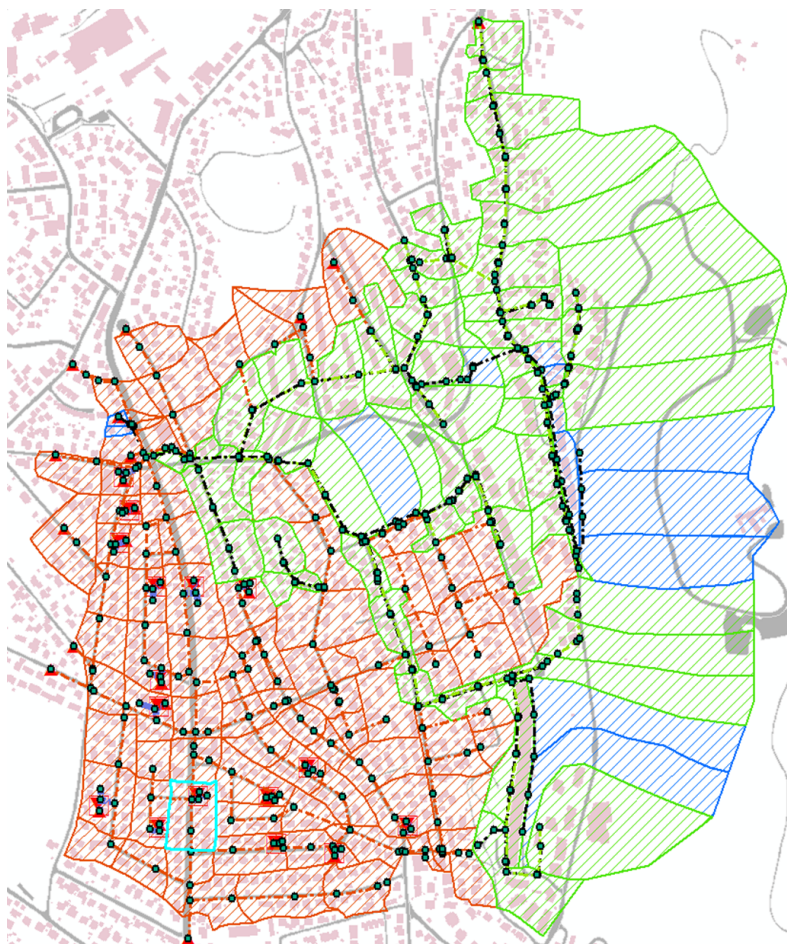


Figur 0.5 Plassering av regnbed 5. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 6:

Tabell 0.6 Verdier for regnbed 6.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,196
<b>Antall hus</b>	10
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	117,6
<b>Diameter regnbed</b>	149,8
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00188

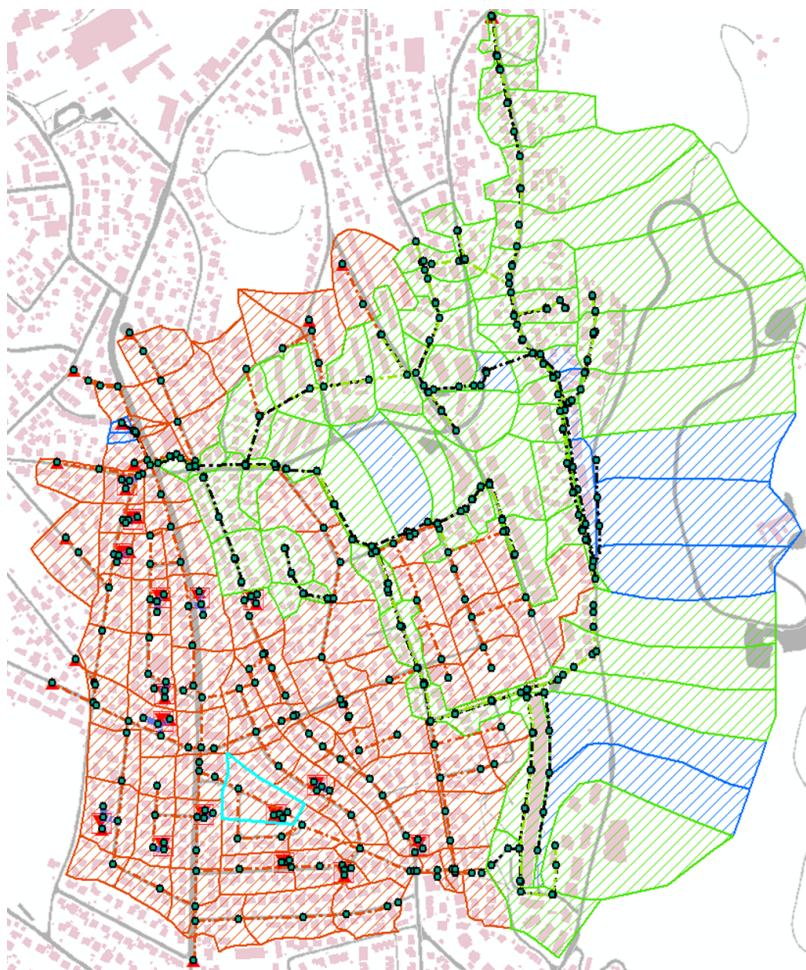


Figur 0.6 Plassering av regnbed 6. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 7:

Tabell 0.7 Verdier for regnbed 7.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,13201
<b>Antall hus</b>	7
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	79,2
<b>Diameter regnbed</b>	100,9
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00125

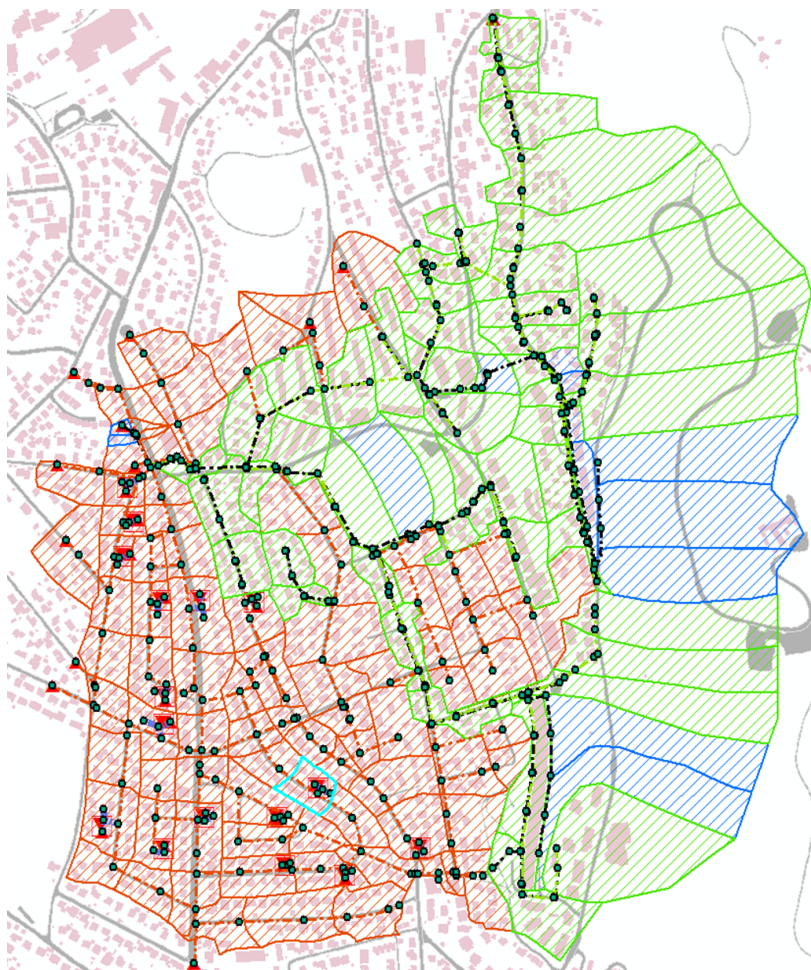


Figur 0.7 Plassering av regnbed 7. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 8:

Tabell 0.8 Verdier for regnbed 8.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,1099
<b>Antall hus</b>	7
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	65,9
<b>Diameter regnbed</b>	84
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00104

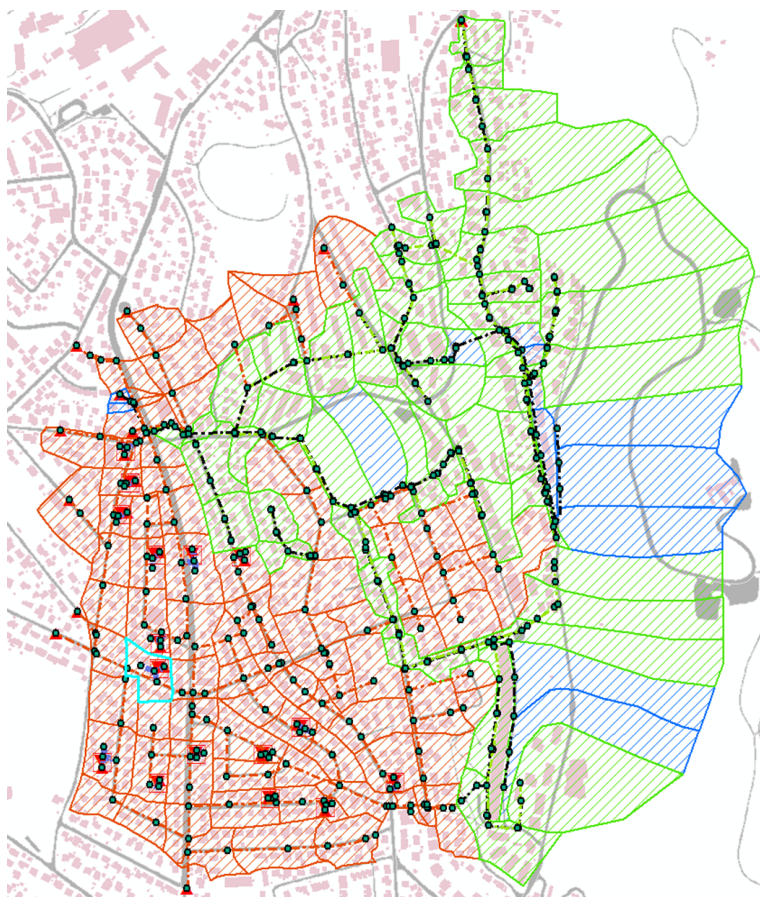


Figur 0.8 Plassering av regnbed 8. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 9:

Tabell 0.9 Verdier for regnbed 9.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,14414
<b>Antall hus</b>	7
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	86,5
<b>Diameter regnbed</b>	110,2
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00137



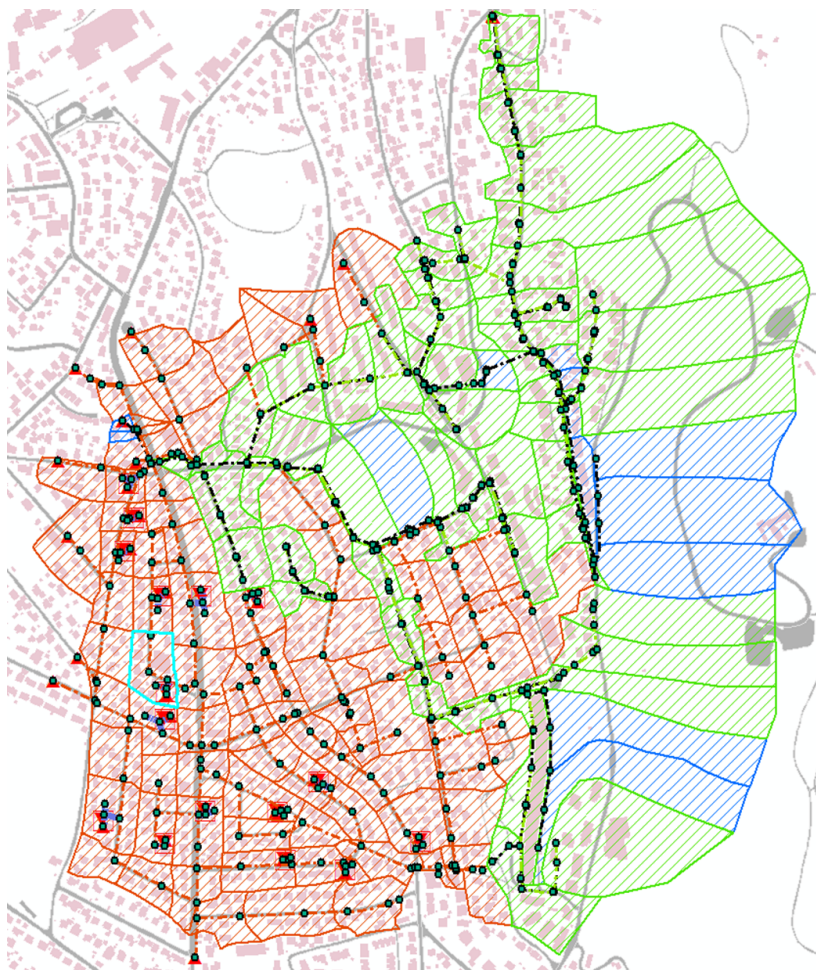
Figur 0.9 Plassering av regnbed 9. Delfeltet er markert i blått.



## Regnbed 10:

Tabell 0.10 Verdier for regnbed 10.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,25316
<b>Antall hus</b>	8
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	151,9
<b>Diameter regnbed</b>	193,5
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0024

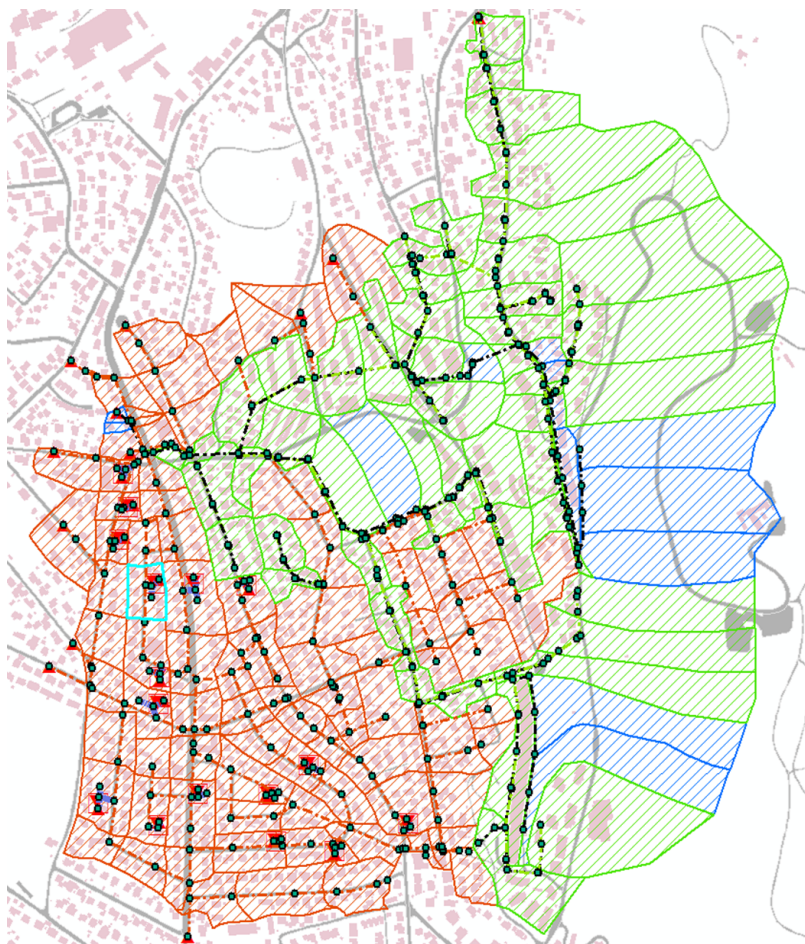


Figur 0.10 Plassering av regnbed 10. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 11:

Tabell 0.11 Verdier for regnbed 11.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,12529
<b>Antall hus</b>	7
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	75,2
<b>Diameter regnbed</b>	95,8
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,00119

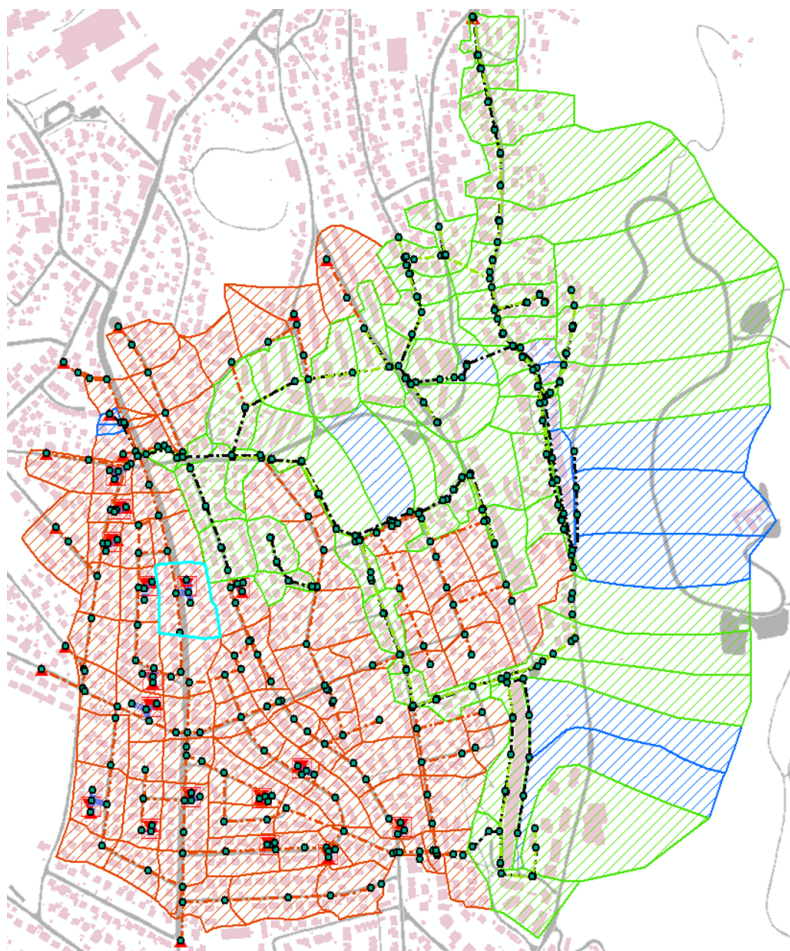


Figur 0.11 Plassering av regnbed 11. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 12:

Tabell 0.12 Verdier for regnbed 12.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,19919
<b>Antall hus</b>	12
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	119,5
<b>Diameter regnbed</b>	152,2
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} \cdot \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0019

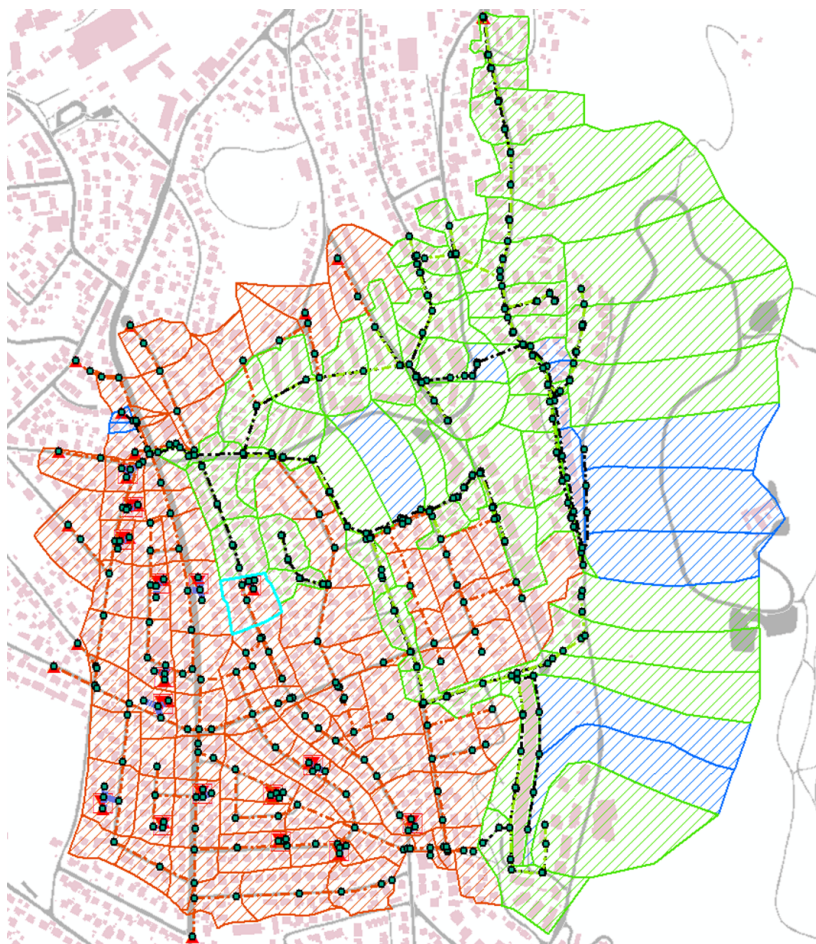


Figur 0.12 Plassering av regnbed 12. Delfeltet er markert i blått.

### Regnbed 13:

Tabell 0.13 Verdier for regnbed 13.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,16396
<b>Antall hus</b>	7
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	98,4
<b>Diameter regnbed</b>	125,3
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0016

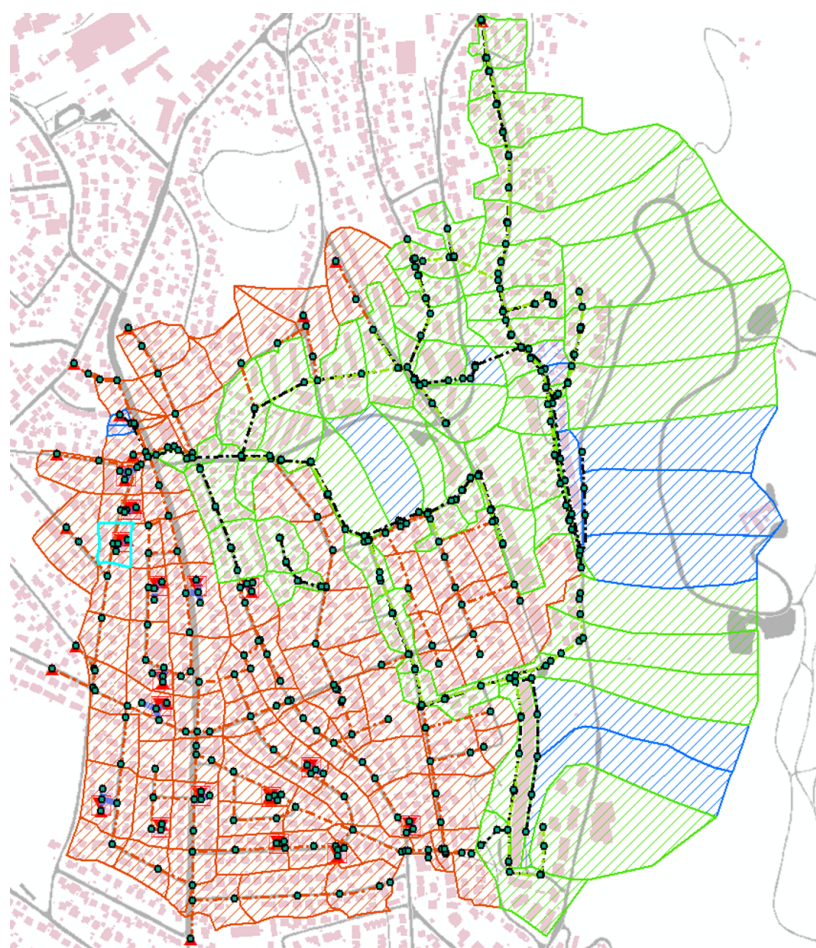


Figur 0.13 Plassering av regnbed 13. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 14:

Tabell 0.14 Verdier for regnbed 14.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,10289
<b>Antall hus</b>	5
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	61,7
<b>Diameter regnbed</b>	78,6
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,001

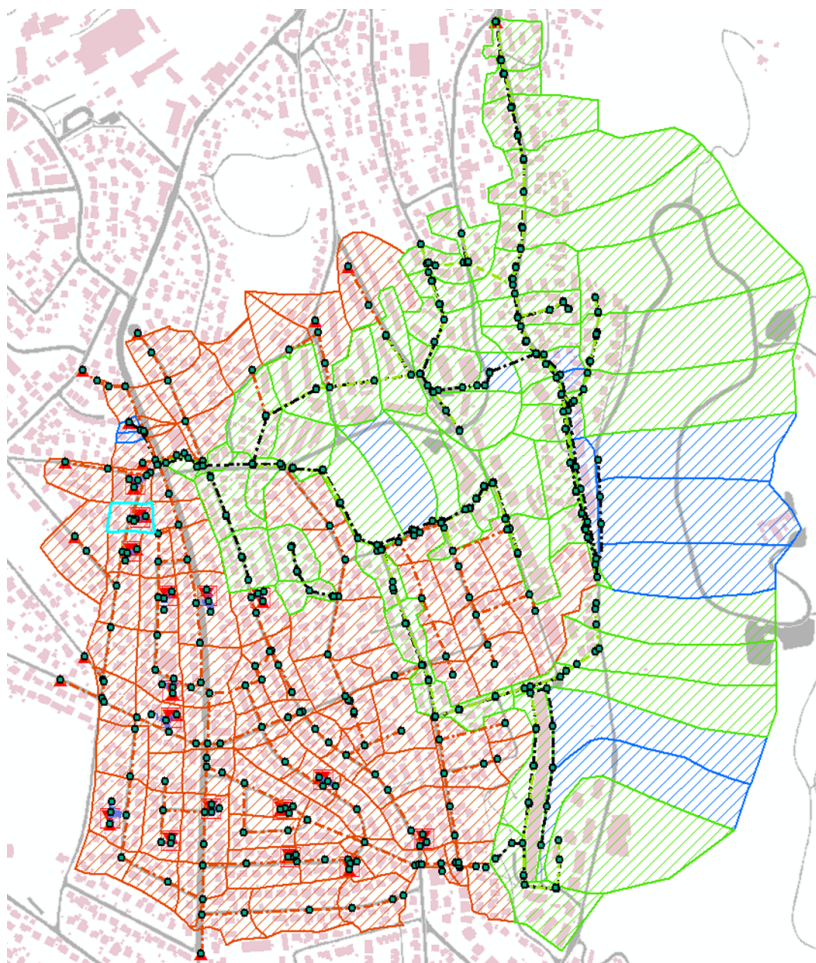


Figur 0.14 Plassering av regnbed 14. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 15:

Tabell 0.15 Verdier for regnbed 15.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,07688
<b>Antall hus</b>	5
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	46,1
<b>Diameter regnbed</b>	58,8
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0007

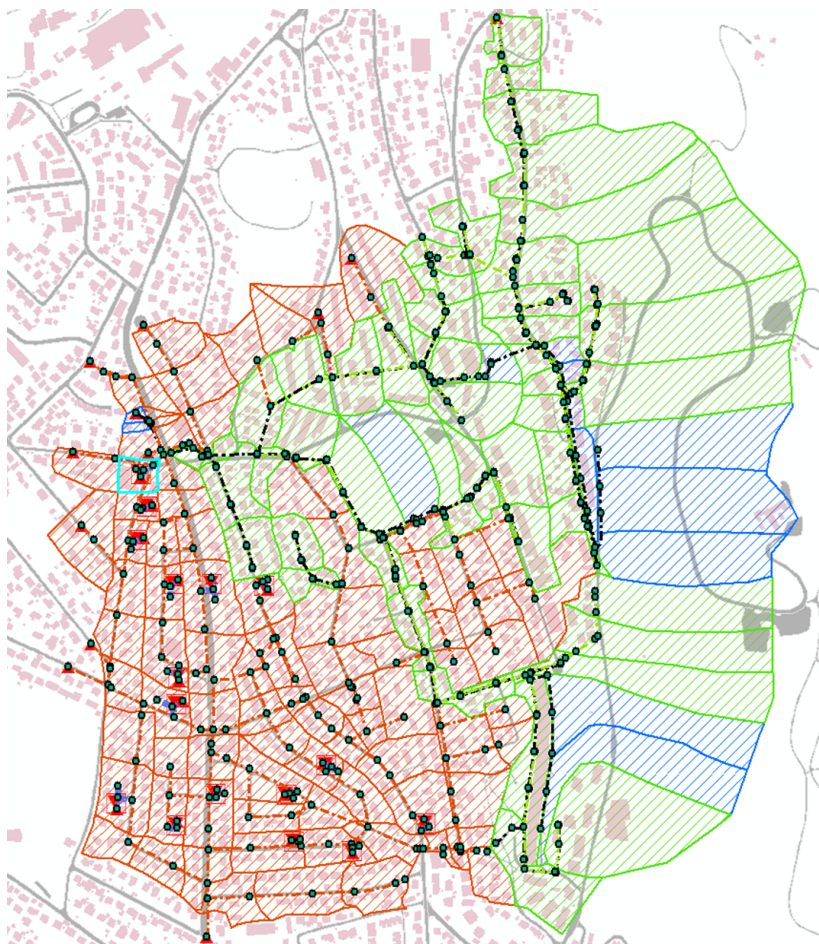


Figur 0.15 Plassering av regnbed 15. Delfeltet er markert i blått.

## Regnbed 16:

Tabell 0.16 Verdier for regnbed 16.

<b>Totalt takareal (ha)</b>	0,09327
<b>Antall hus</b>	2
<b>Nødvendig overflateareal regnbed (m<sup>2</sup>) (6 % av totalt areal)</b>	55,9
<b>Diameter regnbed</b>	71,3
<b>Infiltrasjon (<math>k_{\text{sat}} * \text{nødvendig overflateareal regnbed}</math>) (m<sup>3</sup>/s)</b>	0,0009



Figur 0.16 Plassering av regnbed 16. Delfeltet er markert i blått.

## Vedlegg B: Samletabell over resultater fra simuleringene

Tabell 0.1 Resultat fra alle simuleringene i oppgaven. Tabellen viser den maksimale vannføringen ut av overløpet ved hendelsen, hvor mye vann overløpet slipper ut i Akerselva og hvor godt tiltaket fungerte i forhold til utgangspunktet. FT = frakobling av taknedløp, RB = regnbed, PD = permeable dekker, GT = grønne tak og kf = klimafaktor.

Tiltak	Maks vannføring (m <sup>3</sup> /s)	Mengde i overløp (m <sup>3</sup> )	Reduksjon i overløp (%)
5-årsregn, uten tiltak	0,377	326,8	-
5-årsregn med kf, uten tiltak	0,633	698,7	-
5-årsregn med FT 57,8 %	0,173	118,7	63,7
5-årsregn med FT 78,2 %	0,102	61,0	81,3
5-årsregn med FT 57,8 % + 133 RB	0,057	28,3	91,3
5-årsregn med FT 78,2 % + 133 RB	0,021	7,0	97,9
5-årsregn med FT 57,8 % + 133 RB + PD 15 %	0,043	19,0	94,2
5-årsregn med FT 78,2 % + 133 RB + PD 15 %	0,009	2,2	99,3
5-årsregn med FT 57,8 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,041	18,2	94,4
5-årsregn med FT 57,8 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,041	18	94,4
5-årsregn med FT 78,2 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,008	2,0	99,4
5-årsregn med FT 78,2 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,008	1,9	99,4
5-årsregn + kf med FT 57,8 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,168	121,2	62,9/82,6
5-årsregn + kf med FT 57,8 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,167	120,6	63,1/82,7
5-årsregn + kf med FT 78,2 % + 133 RB + PD 15 % + GT 35 %	0,101	63,7	80,5/90,9
5-årsregn + kf med FT 78,2 % + 133 RB + PD 15 % + GT 43 %	0,101	63,4	80,6/90,9







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

Postboks 5003  
NO-1432 Ås  
Norway