



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2020 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Regnbed i gate

- **Evaluering av ni regnbed i Deichmans gate med hensyn til overvannshåndtering, drift og vedlikehold**

Rain Gardens on Street

- Evaluation of Nine Rain Gardens on Deichmans gate with Regards to Stormwater Management, Operations and Maintenance

Nevedda Sivakumar

Industriell økonomi

Forord

Denne oppgaven er utført i forbindelse med avsluttende femårig mastergrad på studiet industriell økonomi, med fordypning i vann- og miljøteknikk, ved fakultet realfag og teknologi på Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, i Ås. Masteroppgaven omfatter 30 studiepoeng, og er en casestudie av et tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD) i Oslo. LOD-tiltaket blir evaluert med hensyn til funksjon, infiltrasjon, drift og vedlikehold.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten (VAV), avdeling for plan og prosjekt, seksjon utredning. Oppgaven er også skrevet i samarbeid med Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE), som en del av FoU-prosjektet SURF (Sustainable URban Flood management). Funn i studien skal i tillegg være et bidrag til et pågående FoU-prosjekt av Asplan Viak, som har vært prosjektansvarlig for caseområdet; Deichmans gate.

Jeg ønsker først å takke min hovedveileder, Arve Heistad, for god veiledning og konstruktive tilbakemeldinger. Jeg ønsker også å takke min biveileder fra VAV, Bent C. Braskerud, som har meddelt gode råd og gitt meg faglig støtte til oppgaven. Til slutt rettes en takk til min biveileder fra NVE, Anne K. Fleig, som har korrekturlest oppgaven. Deres engasjement for studiets tematikk har bidratt positivt til mitt læringsutbytte, og motivert skriveprosessen i løpet av denne utfordrende perioden.

En takk rettes til mine tidligere kollegaer fra VAV; Mallory P. Chamberlain, Bent C. Braskerud og Endre Langeland, samt ansatte fra brann- og redningsetaten (BRE), som bidro til et minneverdig samarbeid ved utførte feltforsøk sommeren 2019. Takk til Christine Thormodsrud som har utført jordprøveanalyser for oppgaven ved laboratoriet til NVE. Jeg ønsker også å takke Tore Krogstad som har bidratt til å gi meg en økt forståelse for geologidelen av oppgaven.



Samarbeid mellom VAV og BRE.

Takk til informantene, Endre Langeland, Kim H. Paus, Janicke R. Egeberg og Gerd Minde, som har gitt meg både relevante data et godt grunnlag til å løse oppgaven. Jeg vil også takke Elin W. Lunde, som parallelt utarbeidet en studie med tilsvarende tematikk, og bidro til gode innspill til oppgaven.

Takk til Kamilla E. Masvik fra skrivesenteret, samt alle andre som har korrekturlest og gitt konstruktiv kritikk til oppgaven min.

Jeg vil gjerne takke alle studenter og ansatte ved campus, spesielt ved mitt fakultet RealTek. Studieperioden har vært betydningsfull, lærerikt, og ikke minst minneverdig. Jeg vil derfor gi en spesiell erkjennelse til min nærmeste vennekrets.

En vesentlig del av arbeidet ble gjennomført hjemmeværende, grunnet covid-19-pandemien. Jeg ønsker i den sammenheng å vise stor takknemlighet til min familie og mine nærmeste, for betydelig støtte og god stemning i løpet av siste innspurt i studieperioden.

Ås, 30. juni 2020

Nevedda Sivakumar

Sammendrag

I dagens samfunn forårsaker urbanisering nedbygging av natur og økte andeler av tette flater, som hindrer vannet i å trenge ned i grunnen. I tillegg har klimaendringene ført til hyppigere ekstremvær med mer intens nedbør. Begge tilfeller medfører at nedbøren i større grad renner av på overflaten som overvann, og for å imøtekomme disse utfordringene benyttes lokale og åpne overvannsløsninger.

Deichmans gate er lokalisert sentralt i Oslo, og består av ni regnbed. Regnbed er et overvannstiltak som likner et blomsterbed forsenket i terrenget, som bidrar til oppsamling, fordrøyning og infiltrasjon (vannets nedsiving i bakken) av overvann. I sentrale Oslo, med mange tette flater og et gammelt ledningsnett med begrenset kapasitet, oppstår utfordringer som kjelleroversvømmelser og forurensning av vassdrag. Kommunen satser derfor på å anlegge flere overvannstiltak slik at ledningssystemet skal kunne håndtere fremtidens nedbør. I denne studien undersøkes regnbedene i Deichmans gate, med fokus på å håndtere store nedbørsmengder, og utfordringene tilknyttet drift og vedlikehold. Studien har som overordnet mål å utarbeide et forbedringsforslag til videreutvikling av slike tiltak i urbane strøk.

For å måle funksjonen til regnbedene ble det benyttet tre ulike metoder: (1) Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrrometer er et velbrukt instrument for måling av infiltrasjon i regnbed og andre overvannstiltak, og ble benyttet til å bestemme infiltrasjonskapasiteten til regnbedene. (2) 2 av 9 regnbed ble oversvømt med vann fra brannbiler, og kapasiteten til å håndtere store vannmengder ble målt. (3) Det ble tatt jordprøver fra regnbedene for å vurdere infiltrasjonsevnen basert på partikkelstørrelser og innhold av organisk materiale.

Funnene viser at regnbedene hadde varierende infiltrasjonsevne, og det er beregnet en gjennomsnittlig infiltrasjonsrate på 24 cm/time i regnbedene. Dette er noe lavere enn den prosjekterte raten på 30 cm/time. MPD-infiltrometeret gir tilfredsstillende estimater på infiltrasjonsevnen i regnbedene, sammenlignet med oversvømmelsestester. Jordprøvene viser at regnbedene domineres av sandjord med god evne til å infiltrere vann, men inneholder også store mengder organisk materiale som fyller porene, og infiltrasjonen begrenses. Testingen viser at de fleste regnbedene håndterer nedbørshendelser i samsvar med krav fra kommunen. Anleggene har imidlertid mangler i konstruksjonen. Det kom til syne at ved betydelig skjev jordoverflate, reduseres volumet som fanger opp og infiltrerer overvannet. Innløpsarrangementet må også ha tilstrekkelig kapasitet til å lede ønskede vannmengder til anlegget, noe som ikke var tilfellet.

I henhold til drift og vedlikehold, er det foretatt spørreundersøkelser med brukere av Deichmans gate for å kartlegge deres synspunkter. De var oppmerksomme på funksjonen til regnbedene, og vedlikehold av gata. Det er også innsamlet data gjennom landskapsentreprenøren som har hatt ansvar for etableringsskjøtselen i gata. Det ble rapportert om slitasjer i regnbedene grunnet stor menneskelig aktivitet. Regnbedene ble blant annet benyttet som hundetoalett, parkeringsplasser, og til oppbevaring av tunge gjenstander, som gatestein. Vedlikeholdsplanene må derfor være fleksible med hensyn til utfordringene det enkelte regnbed står ovenfor.

Det er gjort lite forskning av regnbed i gater i Norge, og derfor er kunnskapen begrenset. Studien bidrar til å gi et grunnlag for videreføring av prosjekter med liknende flerfunksjonelle elementer.

Abstract

Urbanization causes destruction of nature and increases surface impermeability, which prevents water from seeping into the ground. Additionally, climate change gives more frequent extreme weather with more intense rainfall increasing the outlined problem. Together these contribute to increased surface flow as stormwater. To overcome these challenges, there are local solutions for stormwater management.

Deichmans gate is a street located in central Oslo and consists of nine rains gardens. Rain gardens, also referred to as bioretention cells or bioretention, resemble flower gardens sunk into the terrain, and consist of a variety of mechanisms including sorption and infiltration of stormwater. In central Oslo, with several impermeable surfaces and old pipeline networks with limited capacity, there are challenges such as basement flooding and pollutants from stormwater flows. Oslo has therefore planned to invest in several practises for stormwater management to handle future rainfall. This study investigates the rain gardens in Deichmans gate, focusing on the infiltration capacity and challenges associated its operations and maintenance. The study also proposes improvements for developing such managements in similar urban areas.

Three different methods are used to measure the functions of the rain gardens: (1) Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrometer is a well-used instrument for measuring infiltration in rain gardens and other stormwater management practises, and is used determine the infiltration capacity. (2) 2 of the 9 investigated rain gardens were flooded with water from fire trucks, to measure retention capacity. (3) Soil samples were taken to estimate the infiltration based on particle sizes and organic matter content.

The results show that the rain gardens had varying infiltration capacities, and it is calculated an infiltration rate of 24 cm/hour. This shows some differences from the projected rate of 30 cm/hour. The results for the MPD-test provides satisfactory estimates for the infiltration ability of the rain gardens, compared to the flood-tests. The soil samples show that the rain gardens are dominated by sandy soil with good ability to infiltrate water, but also contain large amounts of organic matter that fill the pores, thus limiting the infiltration. The tests show that the majority of the rain gardens handle rainfalls according to the municipality requirements. However, the rain gardens have several shortcomings in its construction. This is especially evident in cases where the soil surface is not flat, so the available volume for infiltration is significantly reduced. The inlet arrangement should have the capacity to collect the desired volume of water, which is not always the case.

To learn about the issues related to maintenance, surveys have been conducted with users of the street. They showed awareness of the function of the rain gardens, and the maintenance of the street. Data has also been collected from the street maintenance operator. Wear by high human activity has been reported, for example the usage of rain gardens as public toilets, parking and storage spaces. The maintenance plans must therefore be flexible to handle such unexpected challenges faced by each individual rain garden.

There is limited knowledge regarding urban rain gardens in Norway creating a gap in this field of research. This study can provide a basis for continuing projects with similar multifunctional measures in streets.

Innholdsfortegnelse

FORORD	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
INNHOLDSFORTEGNELSE	VII
ORDLISTE	IX
FORKORTELSER	XI
1 INTRODUKSJON	1
1.1 PROBLEMSTILLING	7
1.2 FORSKNINGSSPØRSMÅL	7
1.3 STRUKTUR I OPPGAVEN.....	7
2 MATERIALER OG METODER	8
2.1 DEICHMANS GATE	8
2.1.1 Tidligere situasjon.....	8
2.1.2 Dagens situasjon.....	9
2.2 INFILTRASJONSKAPASITET	15
2.2.1 Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrometer.....	15
2.2.2 Oversvømmelse med «kasseregn».....	16
2.2.3 Bestemmelse av jordart i regnbedene	24
2.2.4 Dimensjonering av regnbed.....	27
2.2.5 Statistiske analyser.....	27
2.3 INTERVJU	28
2.4 BRUKERUNDERSØKELSER	28
2.4.1 Spørreundersøkelser for forbipasserende i gata.....	29
2.4.2 Spørreundersøkelser for beboere i gata.....	29
3 RESULTATER OG DISKUSJON	30
3.1 INFILTRASJONSTESTER MED MPD-INFILTROMETER.....	30
3.1.1 Mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}).....	31
3.1.2 Variasjon i konstruksjonsløsninger.....	33
3.1.3 Variasjon i filtermedier	33
3.1.4 Innløpskarakteristikk.....	34
3.1.5 Usikkerheter.....	35

3.2	OVERSVØMMELSE MED «KASSEREGN»	35
3.2.1	2 års regn.....	35
3.2.2	20 års regn.....	38
3.2.3	Samlet vurdering	40
3.2.4	Usikkerheter.....	41
3.3	JORDPRØVEANALYSER.....	41
3.3.1	Kornfordeling.....	41
3.3.2	Mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}).....	43
3.3.3	Glødetap	44
3.3.4	Usikkerheter.....	45
3.4	SAMMENLIKNING AV BENYTTETE METODER FOR INFILTRASJONSESTIMERING	45
3.4.1	Evaluering av MPD-infiltrometeret	46
3.4.2	Dimensjonering av regnbed.....	47
3.5	DRIFT OG VEDLIKEHOLD	49
3.5.1	Informasjon fra Braathen Landskapsentreprenør AS.....	49
3.5.2	Spørreundersøkelser.....	53
3.5.3	Vedlikeholdsbehov i urbane regnbed	54
3.6	FORBEDRINGSFORSLAG.....	55
4	KONKLUSJON.....	57
4.1	SVAR PÅ FORSKNINGSSPØRSMÅL.....	57
4.2	FORSLAG TIL VIDERE ARBEID	58
5	LITTERATURLISTE.....	60
	VEDLEGG.....	65

Ordliste

<i>Ord / uttrykk</i>	<i>Beskrivelse</i>	<i>Kilde</i>
<i>Gjentaksintervall</i>	Tilsvarende returperiode, og er et estimat av nedbørintensiteten som kan forventes å bli overskredet én gang i løpet av en gitt tidsperiode, f.eks. 20-år.	Norsk Klimaservicesenter (u.å.)
<i>Hydraulisk konduktivitet (ledningsevne)</i>	Proporsjonalitetskonstant som relaterer vannstrømningsrate gjennom et medium til gradienten, og avhenger av både vannets og mediets egenskaper	NGU (u.å.)
<i>Infiltrasjon</i>	Inntrengning av vann i løsmasser eller oppsprukket fjell	NOU 2015: 16
<i>Infiltrasjonskapasitet</i>	Øvre hastighetsgrense for infiltrasjonen i en jordart ved gitte jordfuktighetsforhold	NGU (u.å.)
<i>IVF</i>	Nedbørintensitet (I) som for ulike varigheter (V) kan forventes å forekomme med en viss hyppighet/frekvens (F)	Norsk Klimaservicesenter (u.å.)
<i>Konsentrasjonstid (t_k)</i>	Tiden en regndråpe som faller i ytterkanten av et felt bruker for å nå utløpet av feltet	Lindholm (2014)
<i>Mettet hydraulisk konduktivitet</i>	En konstant infiltrasjonshastighet som oppnås når alle porene i jorda fylt med vann.	Hillel (2004)
<i>Mettet sone</i>	Sone hvor alle porer og sprekker er fylt med vann	NGU (u.å.)
<i>Nedbørsfelt</i>	Arealet som lede vann til et bestemt punkt.	NOU 2015: 16
<i>Overflatevann</i>	Vann i elver, bekker, dammer og innsjøer.	NGU (u.å.)

<i>Overkritisk strømning</i>	Strømningshastigheten til vann er større enn bølgehastigheten, og kjennetegnes som høy hastighet ved lav vanndybde.	Chin et al. (2013)
<i>Overløp</i>	Konstruksjoner som settes i for eksempel bekker og elver, for å kunne måle strømmingen ved å la vannet renne gjennom en spesielt utformet kanal.	NGU (u.å.)
<i>Overvann</i>	Overflateavrenning som følge av nedbør eller smeltevann.	NOU 2015: 16
<i>Permeabilitet</i>	Mål på hvor lett en gass/væske kan trenge igjennom et porøst medium.	NGU (u.å.)

Forkortelser

BL – Braathen Landskapsentreprenør AS

BRE – Brann- og redningsetaten

FN – De Forente Nasjoner

IVF – Intensitet, Varighet, Frekvens

LOD/LOH – Lokal overvannsdiskonering/ Lokal overvannshåndtering

MPD – Modified Philip-Dünne

NMBU – Norges miljø- og biovitenskapelige universitet

NVE – Norges vassdrags- og energidirektorat

VAV – Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten

R1 – Regnbed 1

R2 – Regnbed 2

R3 – Regnbed 3

R4 – Regnbed 4

R5 – Regnbed 5

R6 – Regnbed 6

R7 – Regnbed 7

R8 – Regnbed 8

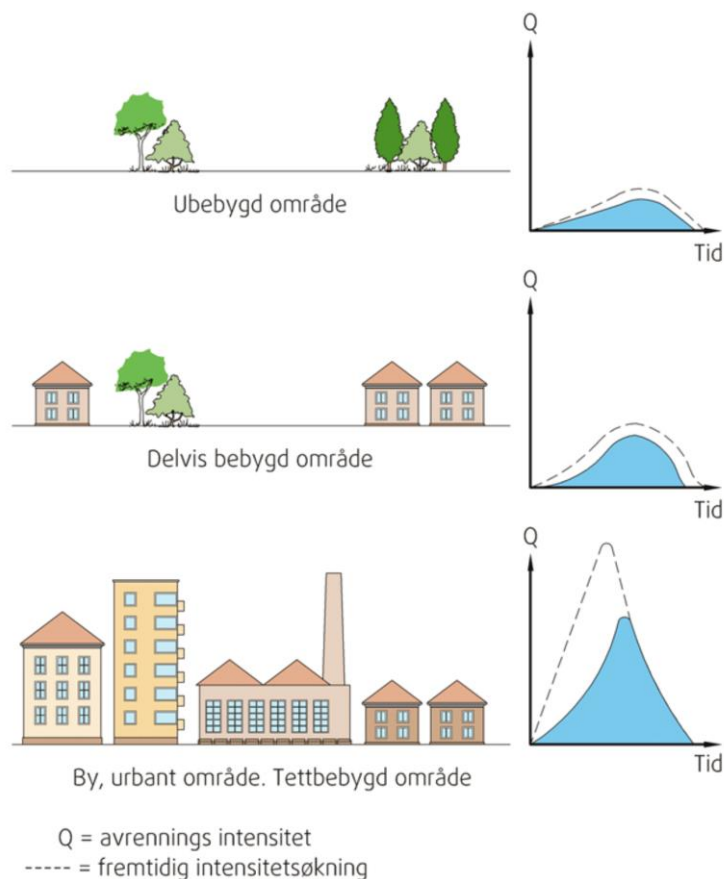
R9 – Regnbed 9

RBT – Rugged Baro TROLL, en logger

RT100 – Rugged TROLL 100, en logger

1 Introduksjon

Urbanisering er et velkjent fenomen i dagens verden (FN-sambandet, 2020). Ifølge FN var mer enn 4 milliarder mennesker bosatt i urbane områder i 2017, som tilsvarer over halvparten av verdens befolkning (UN, 2018). Som følge av dette oppstår tettstedsutvikling og økning av ikke-permeable flater, som ved nedbør resulterer i mer avrenning på overflaten. I urbaniserte områder er vannets naturlige flomveier endret av utbygging, og tidligere permeable flater er nå tette, som for eksempel tak og asfalt (Figur 1.1). I tillegg er en del naturlige grøfter, elver, osv. lagt i rør. Regnvann hindres dermed i å infiltrere i grunnen (Engan et al., 2003).



Figur 1.1: Viser avrenning (Q) av overvann per tidsenhet, som følge av urbanisering. Nedbøren infiltreres godt i områder med vegetasjon, mens avrenningen på overflaten øker med økt bebyggelse (Byggforskserien 311.015, 2012).

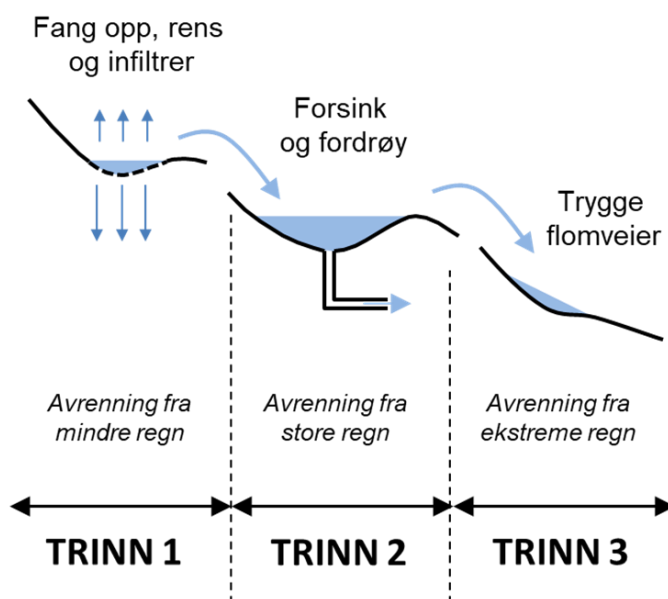
Klima («gjennomsnittsværet») er i endring. Ifølge NOAA/NASA regnes 2019 som det nest varmeste året siden de moderne målingene startet i 1880 (NASA, 2020; NOAA, u. å.). Den globale oppvarmingen vil resultere i ekstremvær, som flom, hetebølger og tørke, og vil inntreffe oftere og med høyere intensitet. I Norge vil temperaturen øke, og den årlige gjennomsnittstemperaturen vil stige mellom 2,0 og 6,0 °C avhengig av landsdel/tidsspenn, som fører til mildere vinter. Nedbørsmengden vil også øke med 5 – 30 % (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Vi må tilpasse oss fremtidens klimaendringer, og dette må hensyntas ved planlegging og prosjektering av vann- og avløpsanlegg (VA-anlegg) (NOU 2010: 10). For å imøtekomme disse utfordringene er det derfor viktig at overvannssystemer i dag dimensjoneres til å håndtere nedbørsmengder som forventes i fremtiden. En vanlig metode er å multiplisere nedbørintensiteten med en **klimafaktor** (K_f), for å oppjustere overvannsmengden i forhold til fremtidig klima.

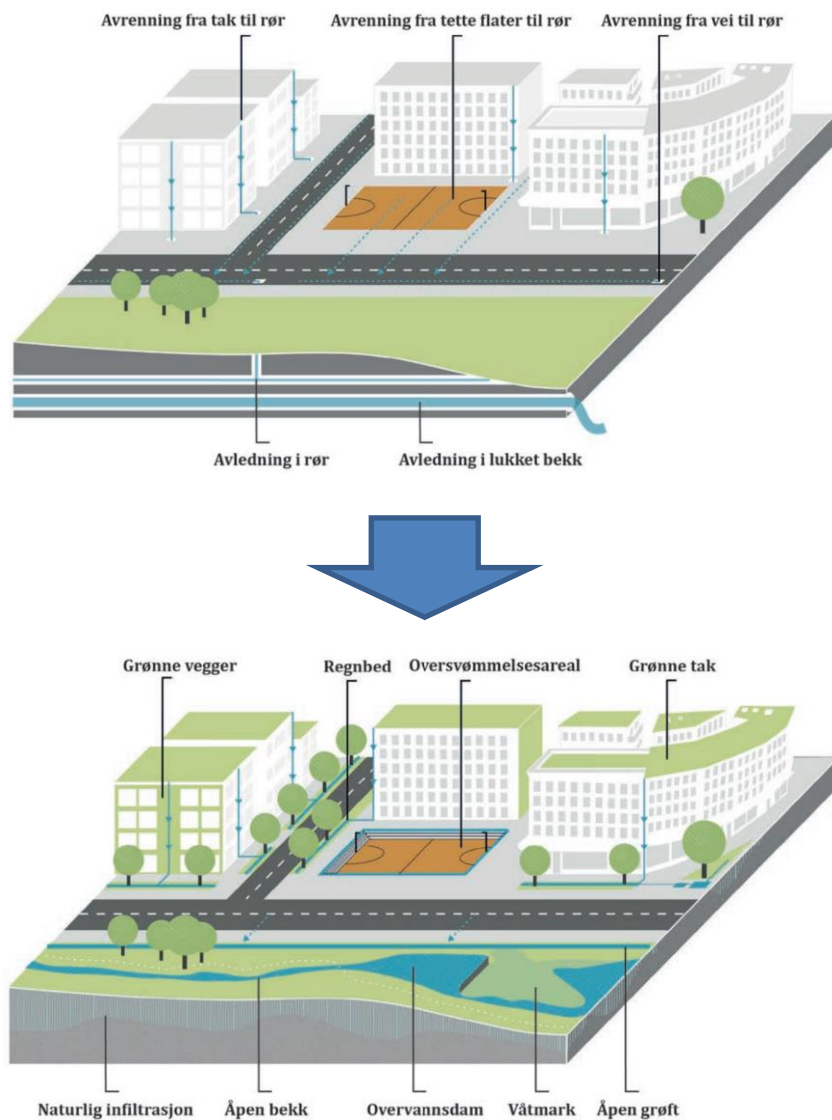
Størrelsen på klimafaktoren, eller klimapåslaget, varierer med metodene som benyttes til estimering (Paus et al., 2014). Fokuset i dag har dermed blitt rettet mot en bærekraftig og klimatilpasset håndtering av overvann (Lindholm et al., 2008; Zhou, 2014).

Overvann er drensvann og regnvann fra takflater, veier og andre tette flater, som enten samles i overvannsledninger, strømmer på overflaten og infiltreres i grunnen, eller havner i grøfter og vassdrag (Miljødirektoratet, 2017; SNL, 2020). Tradisjonelt er overvann i urbane områder håndtert ved å lede vannet direkte til ledningssystemer. På denne måten ledes vannet bort fra områdene raskest mulig. Overvannet ledes i tette ledninger til resipienter (separat overvannsledning) og i fellesledninger der både overvann og spillvann ledes sammen til tilhørende rensanlegg (fellessystem) (Lindholm et al., 2008; Miljødirektoratet, 2016). Selv om denne løsningen gir en økt sikkerhet mot oversvømmelser, oppstår problemer som senkning av grunnvannsstand, utslipp av overvannsforurensninger og reduksjon av biologisk mangfold (Lindholm, 2014).

Økt nedbørsmengde og -intensitet, som følge av klimaendringer og ledninger med begrenset kapasitet, gjør at dagens ledningsnett ikke tilfredsstillt kravene for overvannshåndtering. Det vil koste over 50 milliarder kroner å fornye de eldste delene av ledningssystemet i Norge (Sægrov, 2014). Forurensninger fra overvann og økte flomskader er problemer som kan håndteres uten å investere store summer i nye ledninger, men ved å benytte lokale og åpne overvannsløsninger. Slike moderne tiltak betegnes som **lokal overvannshåndtering**/-disponering (LOH/LOD), og innebærer å la vannet finne naturlige veier til grunnen gjennom infiltrasjon, eller renne bort via åpne vannveier/dammer. Tiltakene innebærer også lukkede løsninger som rørmagasiner, hvor rørene overdimensjoneres og utløpet strupes slik at vannet fordrøyes (Lindholm et al., 2008; Lindholm, 2014). Norsk Vann anbefaler **3-trinnsstrategien** for infiltrasjon, forsinking, fordrøyning og trygge flomveier (Figur 1.2). Strategien innebærer å fange opp og infiltrere når det regner litt, forsinke og fordrøye når det regner mye, og trygg avrenning mot resipient på flomveier, når det regner kraftig. Dette sikrer at avrenning håndteres og påfører minimalt med skader, samtidig som byen får blågrønne innslag (Oslo kommune, 2019).

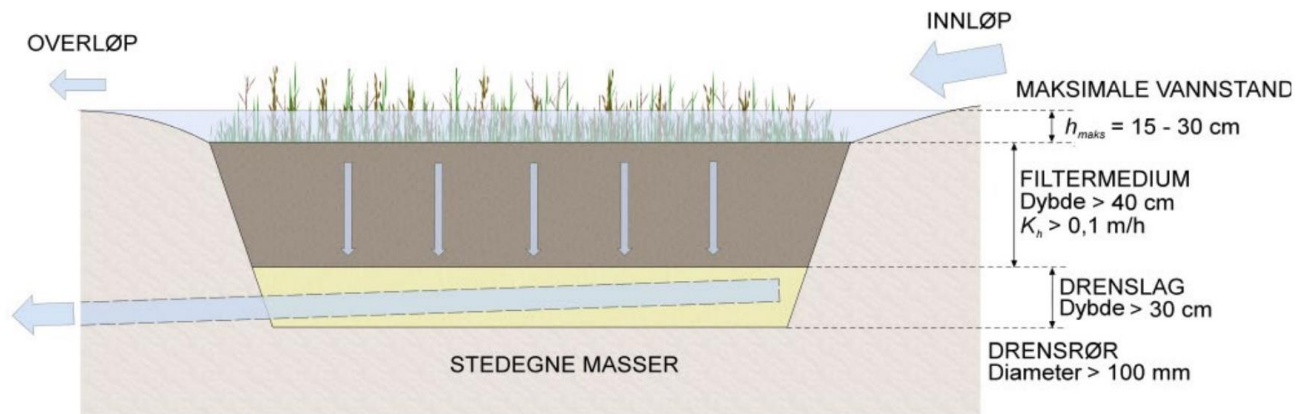


Figur 1.2: Illustrerer de 3 trinnene i 3-trinnsstrategien: trinn 1 handler om å fange opp, rense og infiltrere avrenning fra mindre regn, trinn 2 handler om å forsinke og fordrøye avrenning fra store regn, og trinn 3 omhandler trygge flomveier ved avrenning fra ekstreme regn (Paus, 2018). (Illustrasjon: Kim H. Paus)



Figur 1.3: Eksempel på blå-grønne tiltak utført i et urbant område (NOU 2015: 16).
(Illustrasjon: Hanna H. Storemyr, Bymiljøetaten, Oslo kommune)

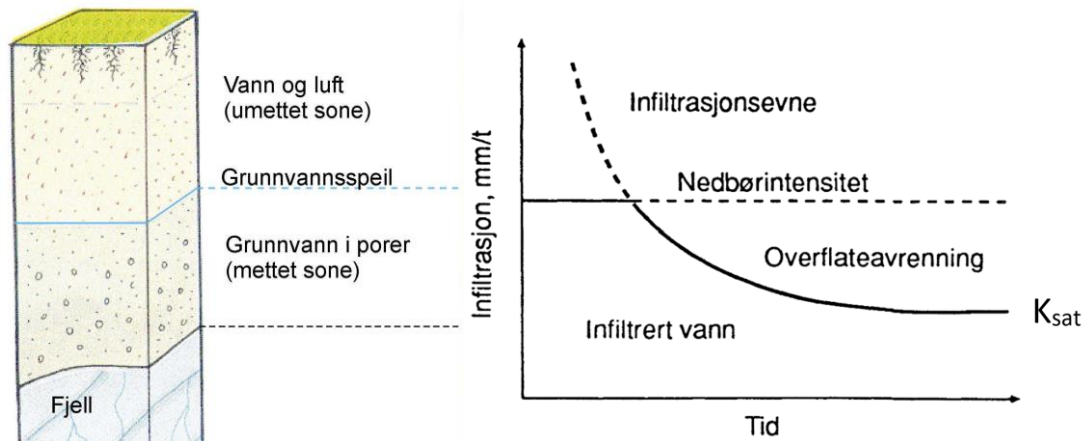
Det finnes flere LOD-tiltak som vadi (gresskleddede forsenkninger) og grønne tak (Figur 1.3), og blant disse er **regnbed** et velkjent tiltak (County, 2007; Paus, 2015). Regnbed kategoriseres under trinn 1 og 2 i 3-trinnsstrategien og er et infiltrasjonsanlegg forsenket i terrenget, som bidrar til oppsamling, fordrøyning og infiltrasjon av overvann. Regnbedet består av ett vegetasjonslag samt et underliggende filtermedium (Lindholm, 2014). Figur 1.4 viser den tradisjonelle oppbyggingen av et regnbed.



Figur 1.4: Viser regnbed-konseptet, og generelle størrelser for ulike deler i regnbedet. Dette eksempelet er et regnbed på leirjord, med utskiftet filtermedium og drenering (Paus & Braskerud, 2013).

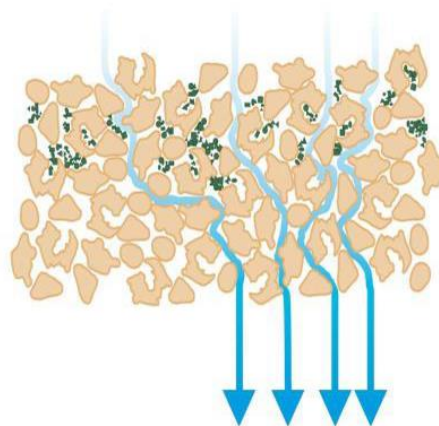
Tiltaket fremstår som et blomsterbed med et rikt vegetativt mangfold. Anlegget fungerer godt i både private (hager, gårdsplasser, takarealer) og offentlige (parkeringsplasser, veier) områder. Regnbedene etterlikner det naturlige hydrologiske kretsløpet, ved å øke det biologiske mangfoldet, etterfylle grunnvannet og fordrøye overvann. Hovedhensikten er å tilbakeholde overvann helt eller midlertidig. Vannet holdes tilbake på regnbedoverflaten før det infiltrerer ned gjennom filtermediet til grunnen eller overvannsnettet. Filtermediet er dermed en viktig del av regnbedet, og påvirker regnbedets evne til å rense overvann, bevare fuktighet ved tørre perioder og tilrettelegger for vegetasjonens vekst (Braskerud & Paus, 2016; Lindholm, 2014; Paus & Braskerud, 2013).

Infiltrasjon er prosessen der vann trenger ned i grunnen gjennom løsmasser eller oppsprukket fjell (NOU 2015: 16). Infiltrasjon av vann er en viktig prosess i det hydrologiske kretsløpet, fordi disse egenskapene bestemmer hvor stor del av nedbøren som siver ned i jorda og opprettholder grunnvannsnivået, og hvor stor del som eventuelt renner av på overflaten (Bøyum et al., 1997). Hydraulisk konduktivitet (ledningsevne) er et mål på hvor raskt infiltrasjonen skjer, og oppgis for eksempel i [cm/time]. Figur 1.5 viser hvordan infiltrasjonen [mm/time] påvirkes av nedbørintensitet, infiltrasjonsevne og overflateavrenning, og sammenhengen mellom disse ved konstant nedbørintensitet. Vannet infiltrerer først i den umettede sonen, der porene består av både vann og luft, og jorda fuktes. Etterhvert vil vannet trenge nedover, porene fylles og infiltrasjonshastigheten avtar. Når jorda er mettet (alle porene er fylt med vann) oppnås en konstant infiltrasjonshastighet som betegnes som mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}) (Figur 1.5) (Hillel, 2004).



Figur 1.5: Venstre: Viser sammenhengene mellom umettet og mettet sone i grunnen (Skjeseth & Næsheim, 1996). Høyre: Infiltrasjonsforløp under konstant nedbørintensitet (Bøyum et al., 1997).

Infiltrasjonsevnen påvirkes av mange faktorer, blant annet av jordartenes permeabilitet (gjennomtrengelighet). Permeabiliteten er avhengig av løsmassetype, sorteringsgrad og hvor hardt løsmassene er pakket sammen. Løst pakket og godt sortert grus og sand har relativt stor kornstørrelse med mange hulrom, noe som gir god permeabilitet. Silt og leire har derimot liten kornstørrelse og kornene er pakket tett sammen, noe som medfører dårlig permeabilitet. Usorterte løsmasser vil også gi dårlig permeabilitet fordi de små jordpartiklene fyller hulrommene mellom de store kornene (Braskerud et al., 2017; NGU, 2018a). Jordoverflater med vegetasjon har betydelig større infiltrasjon enn bar jord, grunnet røtter som øker porevolumet (Chin et al., 2013; Grønlund, 1992). Økt innhold av organisk materiale (døde planter, dyr, osv.) i jorda vil tilrettelegge for både vegetasjon og for mikrobiologisk aktivitet. Det organiske stoffet gjør at plantene lever i et bedre forhold, men reduserer infiltrasjonen ved å fylle porene som vannet kan strømme gjennom (Figur 1.6). Infiltrasjonshastigheten påvirkes også av temperatur; lav temperatur resulterer til tregere infiltrasjon. Utvikling av frost vil svekke infiltrasjonen ettersom porene fylles med is, som begrenser vanngjennomstrømmingen. Således påvirkes infiltrasjonsevnen i filtermediet til regnbed av flere faktorer (Paus, 2015).



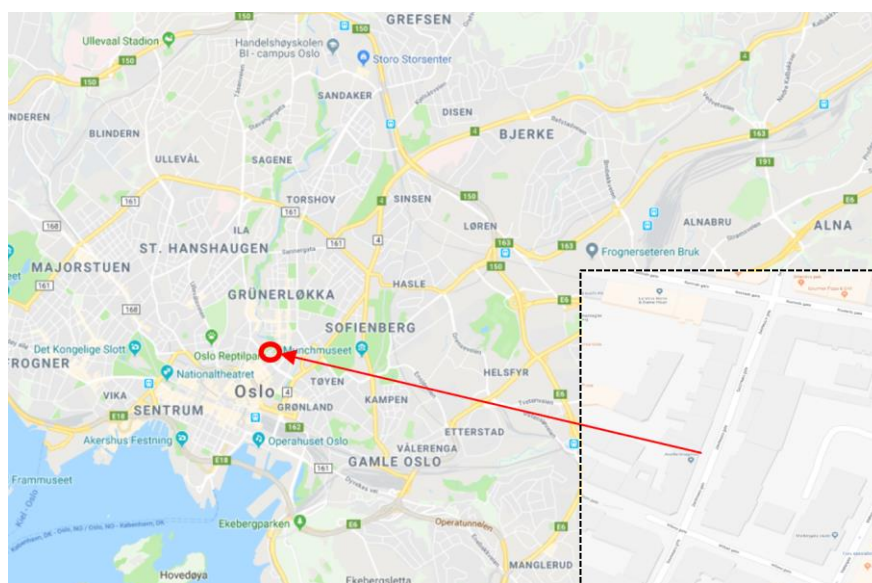
Figur 1.6: Porene (hulrommene) i jorda fylles med organisk materiale, og forhindrer gjennomtrengelighet av vann (Aqua Unique Norge, u. å.).

Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrometer et typisk verktøy til måling av infiltrasjonshastighet (K_{sat}) i regnbed (County, 2007; Paus, 2015), og gir tilstrekkelig nøyaktige infiltrasjonsestimeringer (Asleson et al., 2009). MPD-infiltrometeret regnes som et enkelt og

brukervennlig utstyr siden det kreves mindre vannmengder, og det er mulig å foreta flere målinger samtidig (Solheim, 2018). Som en velbrukt metode er det derfor interessant å utforske om den fungerer optimalt.

I Norge er det anlagt flere regnbed, og tiltaket har blitt betydelig mer attraktivt med tiden. Det første regnbedet ble etablert i 2006, og forskning relatert til regnbed i Norge er derfor relativ ny. Fokuset på LOD har økt med tiden, og det planlegges etablering av flere regnbed i fremtiden (Braskerud et al., 2013; Oslo kommune, 2019). I en spørreundersøkelse fra Norsk Vann (2020) svarte hele 49 % av kommunene (45 deltakere) at de kjente til regnbed-tiltaket, og 67 % svarte at de i stor grad hadde behov for erfaringer (gode og dårlige) med etablerte tiltak. Det er derfor hensiktsmessig å vite hvordan tiltaket fungerer og om det kan optimaliseres. I Norge er det gjort forskning om ytelsen av regnbed (Braskerud et al., 2012; Braskerud et al., 2013; Dalen et al., 2012; Paus & Braskerud, 2013), men det mangler forskning relatert til regnbed i mer offentlige områder som for eksempel i urbane gater.

Det er anlagt ni regnbed i **Deichmans gate** og **Wilses gate**, som en pilot for de første **urbane regnbedene** i Norge. Pilotprosjektet skal også fungere som et testprosjekt for å få mer erfaring med LOD i en urban gate. (Paus et al., 2015) Regnbedene er av ulike størrelser og er bygd gjennom tre forskjellige konstruksjonsløsninger, inkludert den tradisjonelle utførelsen (Figur 1.4). De skal kunne håndtere en nedbørshendelse med 20 års gjentakintervall og klimapåslag på 20 %, og har som hensikt å føre minimalt med påslipp til kommunalt nettverk.



Figur 1.7: Kartet viser hvor Deichmans gate er lokalisert i Oslo.

Lokasjonen til disse ni regnbedene i sentrum av Oslo (Figur 1.7) medfører utfordringer knyttet til **drift og vedlikehold**, sammenlignet med regnbed i private områder som hager. Det er flere forbipasserende som benytter gaten, som barn fra barneskolen, beboere i gata, og trafikk i kryssene kjørevei. I spørreundersøkelsen til Norsk Vann (2020) svarte hele 69 % av kommunene (45 deltakere) at de opplever mer behov for erfaringer knyttet til drift og vedlikehold med etablerte tiltak. Det vil derfor være både spennende og hensiktsmessig å evaluere disse regnbedene.

1.1 Problemstilling

Deichmans gate er en urban gate i Oslo, bestående av ni regnbed av ulike konstruksjonsløsninger. I sentrale Oslo med flere tette flater og et gammelt ledningsnett med begrenset kapasitet, oppstår utfordringer som kjelleroversvømmelser og forurensning av vassdrag. Kommunen satser derfor på å anlegge flere overvanniltak for at ledningssystemet skal kunne håndtere fremtidens nedbør. I denne studien undersøkes regnbedene i Deichmans gate med fokus på infiltrasjonskapasitet og utfordringer tilknyttet drift og vedlikehold. I tillegg vil MPD-infiltrometeret bli evaluert for måling av infiltrasjon i regnbed. Studien har som overordnet mål å utarbeide et forbedringsforslag til videreutvikling av slike tiltak i urbane gater.

1.2 Forskningsspørsmål

Spørsmål 1: Hva er infiltrasjonsevnen til regnbedene i Deichmans gate?

- a. Tilfredsstiller regnbedene kommunens krav om å håndtere en nedbørshendelse med gjentakintervall 20 år og et klimapåslag på 20 %?
- b. Måler MPD-infiltrometeret infiltrasjon i regnbed på en tilfredsstillende måte?

Spørsmål 2: Hvilke utfordringer står regnbedene i Deichmans gate for, med hensyn på drift og vedlikehold?

Spørsmål 3: Hvilke forbedringstiltak bør foreslås til regnbedene som overvannstiltak i Deichmans gate?

1.3 Struktur i oppgaven

I kapittel 1 presenteres relevant bakgrunn for å fremstille hensikten med studien, og problemstilling og forskningsspørsmål blir konkretisert. Kapittel 2 fokuserer innledningsvis på materialet om regnbedene i Deichmans gate, for så å beskrive benyttede metoder for infiltrasjonsestimering i anleggene og drift- og vedlikeholdssituasjonen i gata. I Kapittel 3 presenteres og diskuteres resultatene, og det utarbeides forbedringsforslag til anleggene. Kapittel 4 svarer på forskningsspørsmålene, og gir forslag til videre arbeid relatert til studien. Vedlegg 1 – 9 går i detalj om resultatene i hvert enkelt regnbed.

2 Materialer og metoder

Dette kapittelet presenterer ulike metoder og analyser av materiale – hvordan infiltrasjonskapasiteten til de ulike regnbedene er bestemt, og hvordan data er innhentet for å vurdere drift og vedlikehold i Deichmans gate. Kapittelet vil innledningsvis beskrive Deichmans gate, med fokus på hvordan regnbedene er konstruert.

2.1 Deichmans gate

Høsten 2013 fikk Asplan Viak oppdrag i å planlegge opprustningen av et gateområde, fra Bymiljøetaten i Oslo kommune (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Prosjektet bestod av Deichmans gate med avgrensning mot Rostedsgate i nord og Kristparken i sør, og kryssende gate, Wilses gate, med avgrensning mot Møllergata i øst og trappen til Fredensborgveien i vest. Prosjektområdet vil videre bli omtalt som Deichmans gate. Etter ferdigstillingen av byggeplanen med tradisjonelle løsninger, ble gaten et pilotprosjekt i samarbeid med Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten (VAV), om lokal overvannsdiskonering (LOD) (Asplan Viak, 2017). Prosjektet omfatter blågrønne løsninger – regnbed i urbane strøk.

2.1.1 Tidligere situasjon

Tidligere situasjon i gata, før oppgraderingen, presenteres i Bilde 2.1 og Tabell 2.1. Planområdet bestod hovedsakelig av brostein og asfalt, i tillegg til noe vegetasjon i form av trær og plantekasser. Vann ble ført gjennom slitte vannrenner av gatestein til sandfangssluk, mens resterende overflatevann endte opp i sluk som var tilkoblet kommunal ledning (Paus et al., 2015).



Bilde 2.1: Viser Deichmans gate før oppgradering. Gata var av asfalt og ble benyttet som en parkeringsplass. Avrenningen fulgte slitte vannrenner av gatestein. (Foto: Bent C. Braskerud)

Tabell 2.1: Tidligere situasjon i gjeldende nedbørsfelt. Arealer og avrenningskoeffisienter for ulike typer flater som eksisterte i Deichmans gate.

Type flate	Avrenningskoeffisient [-]	Areal nedbørsfelt [m ²]	Redusert areal [m ²]
Tak	0,90	2 355 m ²	1 975 m ²
Brostein / asfalt	0,60	3 528 m ²	2 115 m ²
Grøntareal	0,40	381 m ²	140 m ²
Sum		6 264 m²	4 231 m²
Midlere	0,68		

2.1.2 Dagens situasjon

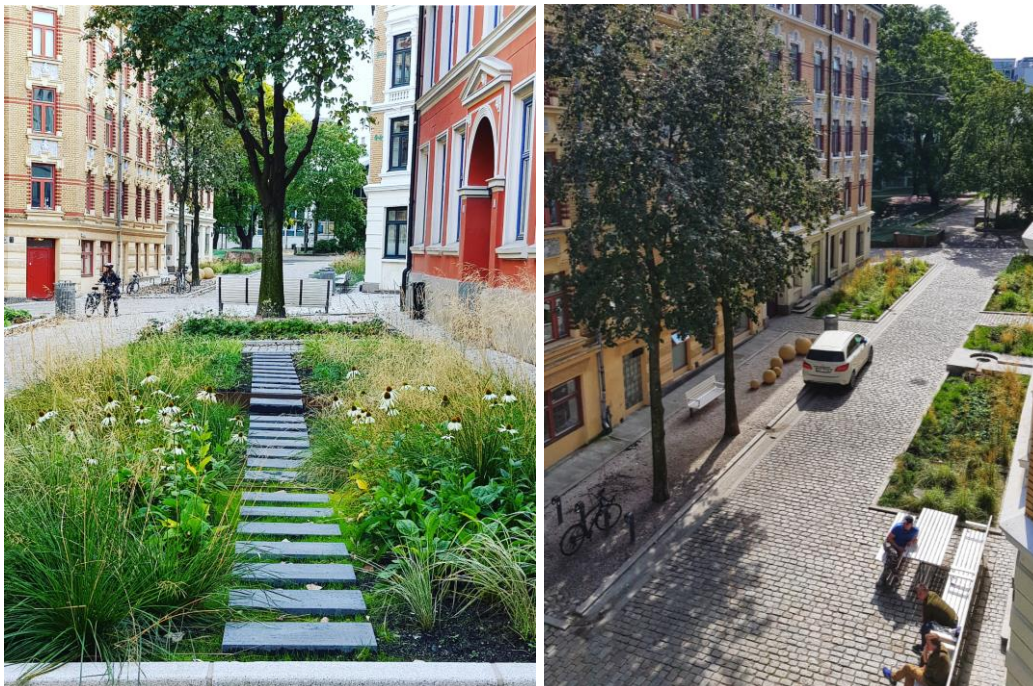
Det ble etablert ni regnbed for lokal håndtering av overvann, i tillegg til sitteområder, åpne vannkanaler og -skulpturer. Byggeprosessen ble gjennomført fra perioden våren 2016 til høsten 2016, og gata hadde offisiell åpning 4. mai 2017 (Asplan Viak, 2017). Plantegningen av gata vises i Figur 2.1.



Figur 2.1: Plantegning av gata (Se vedlegg 10 for en mer beskrivende plantegning). De mørke-grønne områdene representerer regnbedene (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015).

Hovedformålene til regnbedene var forbedring av overvannssituasjonen, samt opprettholde den naturlige vannbalansen og øke grunnvannsstanden. I tillegg ønskes økt biologisk mangfold, samt blågrønne flater for trivsel, rekreasjon og estetikk. Regnbedene skal fungere som en rensmekanisme for avrenningen før det nådde ledningssystemet. VAV gjorde også krav på avlastning på ledningsnett.

For å nå disse målene ble andel tette flater redusert, og overvann tillates å renne på overflaten. De fleste overflatene ble gjort permeable med storgatestein og grus, slik at de bidrar til noe infiltrasjon. Overvannet utgjør nedbør som faller på gata og på takene, og ledes ned til gata gjennom taknedløp eller konstruerte flomveier med vannrenner, som viderefører det til regnbed/blomsterbed/trær eller til sluk. Endelig utslipp blir ført til det kommunale nettet. Taknedløpene ledes direkte til blomsterbed og/eller regnbed. Regnbedene fordrøyer overvannet på overflaten og tilrettelegger for infiltrasjon ned til grunnen. Hovedformålet er oppnådd ved at vannbalansen effektiviseres og grunnvannet etterfylles (Paus et al., 2015). Se Bilde 2.2.

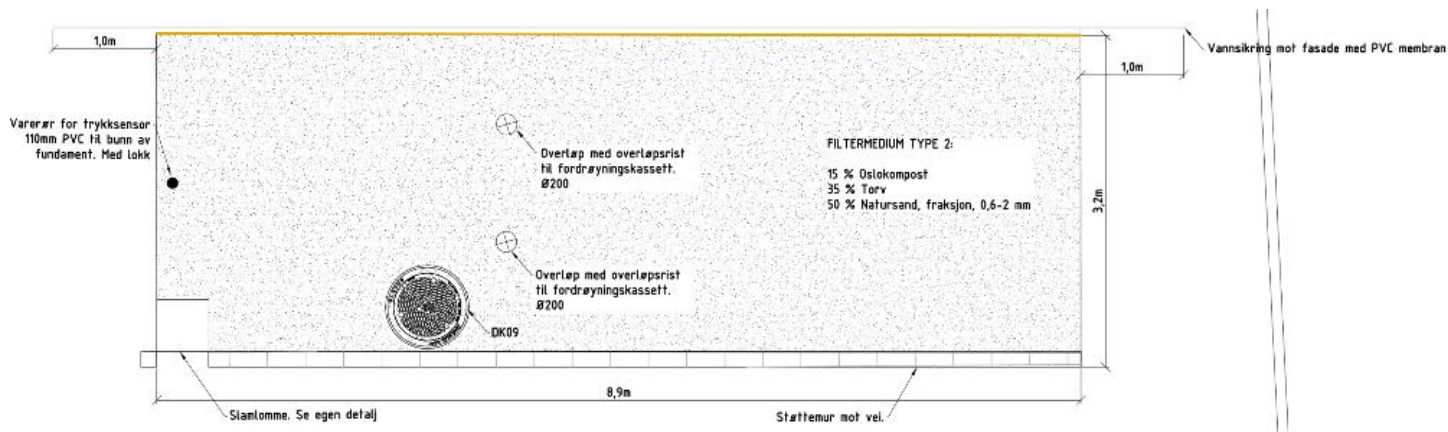


Bilde 2.2: Viser Deichmans gate i dag. Venstre: Blomsterbed og regnbed. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)
 Høyre: R7, R8 og R9, samt kunstelementer, sykkelstativer og benker. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)

De ni regnbedene er av tre ulike konstruksjonsløsninger (A, B og C), som vist i Tabell 2.2. Plantegninger av de ulike konstruksjonene vises i Figur 2.2 og Figur 2.3. Sammensetning av filtermedium varierer og består av to ulike jordtyper, som vist i Tabell 2.3 og Figur 2.4.

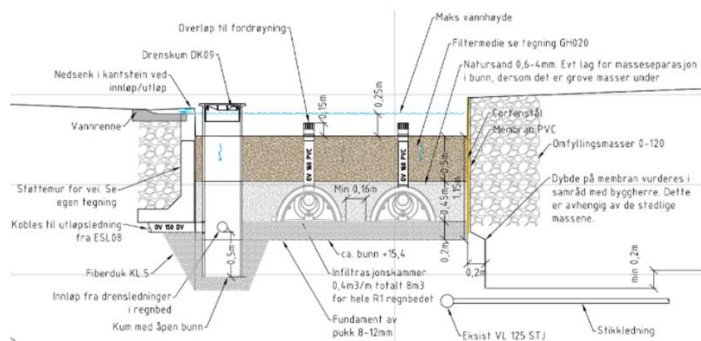
Tabell 2.2: Oversikt over typer regnbed og maksimal vannstand (Paus et al., 2015). Tabellen er oppdatert med informasjon fra Langeland (2020).

Regnbed	Maksimal vannstand	Type	Beskrivelse
R1	25 cm	A	Regnbed med fordrøyning i overflate og horisontal lagdeling mellom filtermedium og drenslag under + fordrøyningskassetter under overflaten
R2	35 cm		
R3	25 cm	B	Regnbed med tradisjonell utførelse med horisontal lagdeling av filtermedium og drenslag
R5	25 cm		
R6	25 cm		
R7	25 cm		
R8	25 cm		
R4	25 cm	C	Regnbed med infiltrasjonsstripe av drenerende masser sentralt i regnbedet
R9	25 cm		

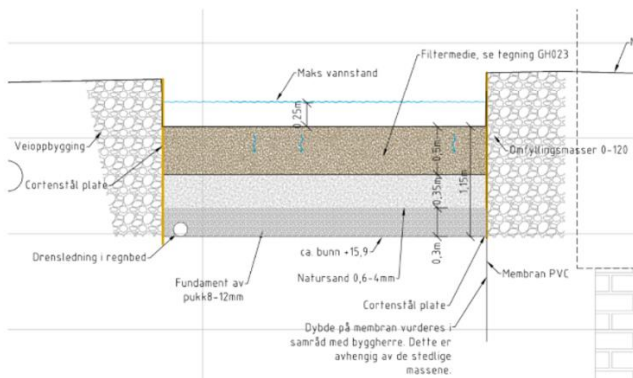


Figur 2.2: Eksempel på en plantegning av overflaten på et regnbed i Deichmans gate: R1. Regnbedet består av et innløp fra renne til innløpskasse, peilerør, dremskum og overløp til infiltrasjonskammer (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

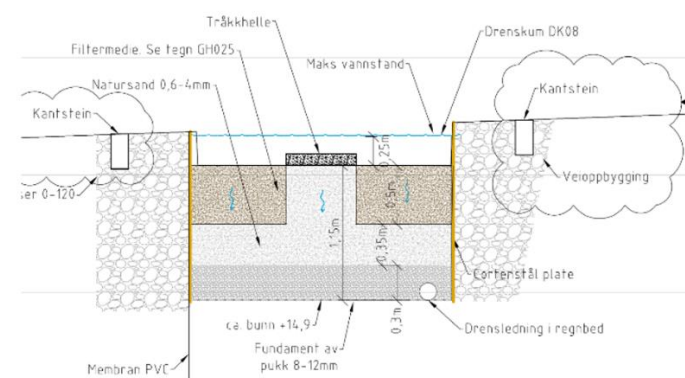
Regnbed med INFILTRASJONSKAMMERE (A)



Regnbed med TRADISJONELL utførelse (B)



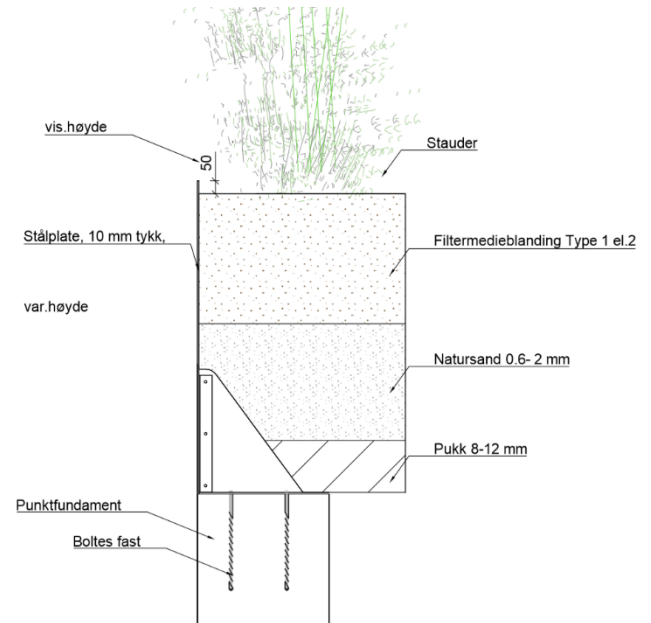
Regnbed med DRENERENDE LAG I MIDTEN (C)



Figur 2.3: Viser tre typer regnbed (A, B, C) i Deichmans gate. Det brune (oslokompost og torv) og lysegrå (naturesand) området i plantegningene representerer filtermedium (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjoner: Endre Langeland)

Tabell 2.3: Oversikt over to vekstjordtyper, sammensetning av filtermedium i volumprosent, i regnbedene i Deichmans gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015).

Regnbed	Vekstjordtype	Filtermedium
R2	1	30 % Oslokompost 20 % Torv 50 % Natursand (fraksjon 0,6 – 2 mm)
R3		
R6		
R7		
R1	2	15 % Oslokompost 35 % Torv 50 % Natursand (fraksjon 0,6 – 2 mm)
R4		
R5		
R8		
R9		



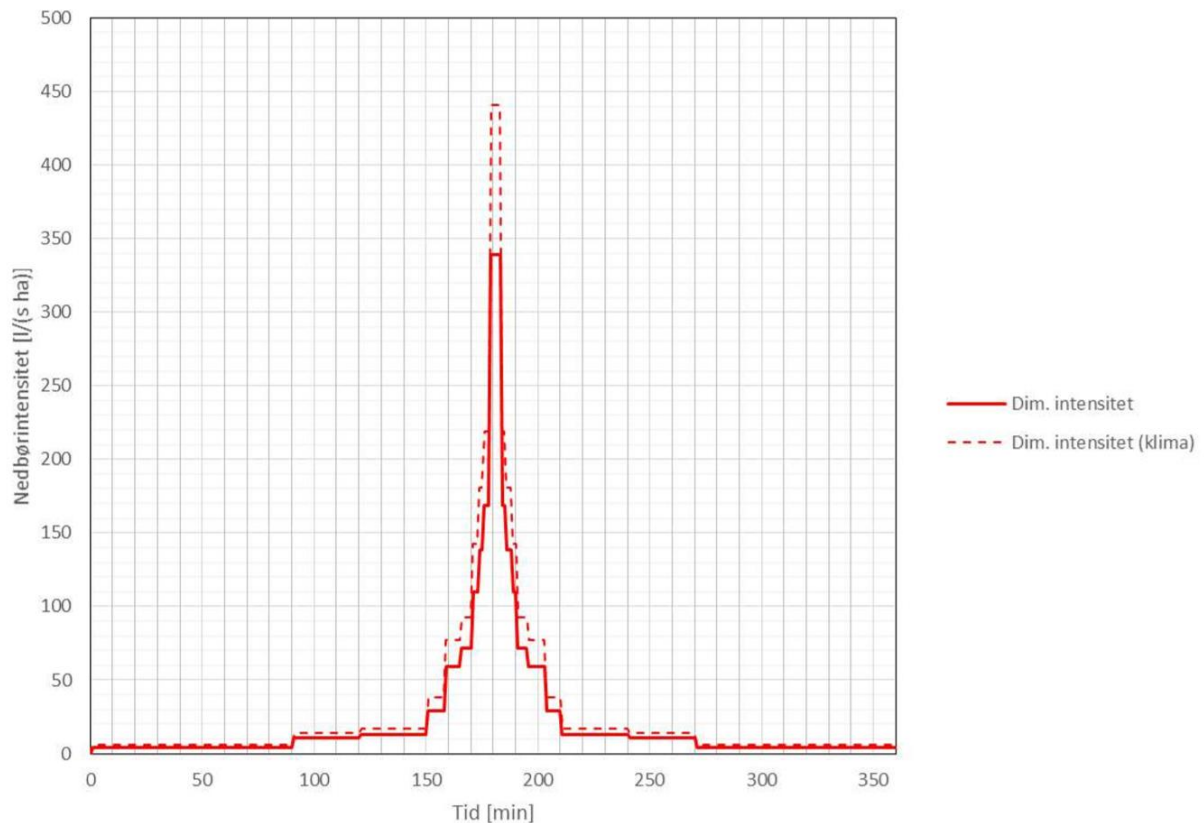
Figur 2.4: Plantegning av monteringsprinsippet for filtermedieblandingen i regnbedene (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)

Dimensjonering av regnbed

Ved dimensjoneringen av regnbedene ble nedbørshendelser med ulike regnvarigheter undersøkt. Overvannsmengder er beregnet gjennom et symmetrisk regnhyetogram for å ivareta ulike varigheter. Nedbørintensiteter med varighet fra 1 til 360 minutter (Tabell 2.4) er benyttet ved konstruksjon av hyetogrammet (Figur 2.5). Prosedyren for omdanning av IVF-data (intensitet-varighet-frekvens) til hyetogram er gjort ved bruk av Norsk Vann Rapport 193 (Paus et al., 2015; Pers.med.: Paus, 2020).

Tabell 2.4: IVF-data [$l/(s \cdot ha)$] fra stasjon 18701 Oslo - Blindern PLU perioden 1968 - 2014 (uten krav om sammenhengende nedbør). Data er hentet fra eKlima (Paus et al., 2015).

		Regnvarighet [min]															
		1	2	3	5	10	15	20	30	45	60	90	120	180	360	720	1440
Gjentaksintervall [år]	2	291.5	247.9	224.4	189.1	140.5	114.4	98.6	77.6	59.9	48.8	33.7	27.6	21.1	12.0	8.1	4.9
	5	374.3	323.7	295.5	254.4	189.7	158.4	137.9	109.0	85.9	69.8	46.2	37.4	28.0	15.8	10.2	5.9
	10	429.1	373.8	342.5	297.6	222.4	187.5	164.0	129.8	103.2	83.7	54.5	43.8	32.6	18.3	11.5	6.6
	20	481.6	422.0	387.6	339.1	253.7	215.4	189.0	149.8	119.7	97.1	62.5	50.1	37.0	20.7	12.8	7.3
	25	498.3	437.2	401.9	352.3	263.6	224.2	197.0	156.1	125.0	101.3	65.0	52.0	38.4	21.5	13.2	7.5
	50	549.6	484.3	446.0	392.8	294.2	251.5	221.4	175.6	141.2	114.3	72.8	58.1	42.7	23.8	14.5	8.1
	100	600.6	530.9	489.8	433.0	324.6	278.6	245.7	195.0	157.2	127.3	80.5	64.2	47.0	26.1	15.7	8.8
	200	651.5	577.5	533.5	473.1	354.9	305.6	269.9	214.3	173.2	140.2	88.2	70.2	51.3	28.4	17.0	9.4



Figur 2.5: Hyetogram beregnet ved å bruke IVF-statistikk (1 til 360 min) fra stasjon 18701 Oslo - Blindern PLU perioden 1968 - 2014 (Tabell 2.4). Figuren viser dimensjonerende nedbør (20 års gjentakintervall) med og uten klimafaktor på 1,20 (Paus et al., 2015).

Den mest benyttede manuelle metoden for beregning av regnvannsavrenning er den rasjonelle metode (Formel 1) (Paus et al., 2014). Avrenningskoeffisienter som ble benyttet på ulike typer flater oppsummeres i Tabell 2.5. Konsentrasjonstid for delfeltene er satt til 10 minutter. Avrenningen fra nedbørfelt er beregnet ved bruk av en modifisert versjon av den rasjonelle formel, som ivaretar varierende nedbørintensitet over tid. Dersom intensiteten er konstant («kasseregn») vil den modifiserte versjonen av den rasjonelle formel tilsvare den rasjonelle formel (Paus et al., 2015).

Formel 1: Den rasjonelle metode for beregning av overvannsavrenning (Lindholm, 2014; Paus et al., 2014).

$$Q = A \times C \times I \times K_f$$

Der:

Q er regnvannsavrenning (vannføring) [L/s]

A er areal (horisontalt) på nedbørfeltet [ha]

C er nedbørfeltets gjennomsnittlige (midlere) avrenningskoeffisient [-]

I er nedbørintensitet [L/s*ha]

K_f er klimafaktor

Tabell 2.5: Avrenningskoeffisienter (Paus et al., 2015).

Type flate	Avrenningskoeffisient
Tak	0,90
Gatestein	0,60
Grus/trær	0,40
Plantefelt /grøntareal	0,30

Infiltrasjonskapasiteten i regnbedene ble antatt til å være **30 cm/t** i henhold til jordsammensetningen i filtermediet. Det anbefales å benytte en verdi på minst 10 cm/t ved dimensjonering av regnbed i Norge (Paus & Braskerud, 2013), men anlegg med liknende jordblandinger i filtermediene har høyere verdier basert på tidligere erfaringer (Paus et al., 2015).

For å bestemme nødvendig volum til regnbedene er det benyttet hydraulisk routing for beregning av vannbalansen hvert minutt. Dersom nedbørintensiteten er mindre enn infiltrasjonskapasiteten, forsvinner vannet. Dersom intensiteten er større enn kapasiteten blir den infiltrerte mengden trukket fra, og resterende mengde vil være på regnbedoverflaten. Dersom total vannføring inn er større enn vannføring ut av anlegget kan overflatekapasiteten bli brukt opp, og vannet går i overløp. Det er tenkt at vannet skal gå videre til neste regnbed, altså mellom regnbedene. Dersom kapasiteten til siste regnbed også benyttes, vil vannet til slutt gå til sluk med et lukket fordrøyningsmagasin (en kum) (Pers.med.: Paus, 2020). Beregnet vannføring og volum i regnbedene fremkommer i Tabell 2.6.

Tabell 2.6: Overflateareal, tilknyttet delfeltareal, og mengder beregnet vannføring og volum i regnbedene, ut fra 20 års gjentalsintervall og 20 % klimapåslag (Paus et al., 2015).

Regnbed	Overflateareal [m ²]	Tilknyttet delfelt [m ²]	Maks. vannføring inn [l/s]	Maks. vannføring overløp [l/s]	Totalt volum inn [m ³]	Totalt volum overløp [m ³]
R1	27,0	504	10,9	0,0	20,7	0,0
R2	54,0	1773	38,8	10,7	73,7	5,4
R3	25,0	505	10,2 (14,3)*	12,3	19,4 (24,8)*	6,2
R4	10,0	193	3,9	0,7	7,5	0,2
R5	20,0	191	4,0	0,0	7,6	0,0
R6	14,0	291	6,1	3,2	11,7	1,1
R7	14,0	161	3,8	0,0	7,2	0,0
R8	8,0	143	3,0	0,0	5,8	0,0
R9	23,0	466	8,8	1,6	16,8	0,5

* R3 mottar overvannsmengder fra R2, og vannmengder fra R2 + eget feil er vist i ()

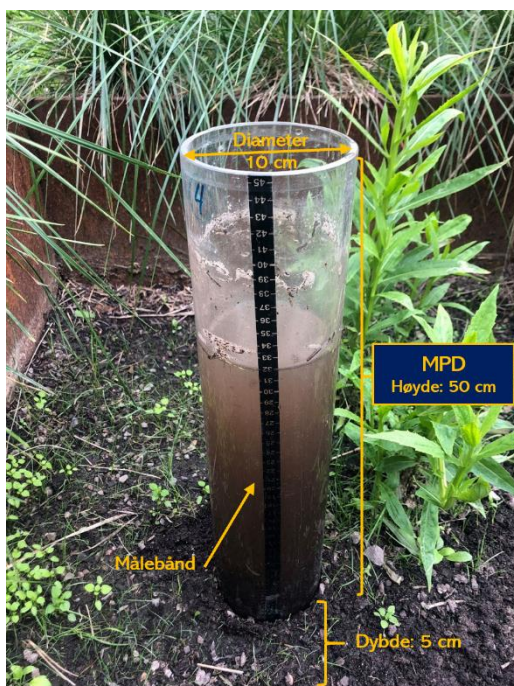
2.2 Infiltrasjonskapasitet

Feltarbeid i sammenheng med måling av infiltrasjonskapasitet er gjort i samarbeid med ansatte fra VAV; Bent Braskerud (sjefsingeniør) og Endre Langeland (overingeniør), Mallory Petersen Chamberlain (landskapsarkitekturstudent) fra NMBU og bemanning fra brann- og redningsetaten (BRE).

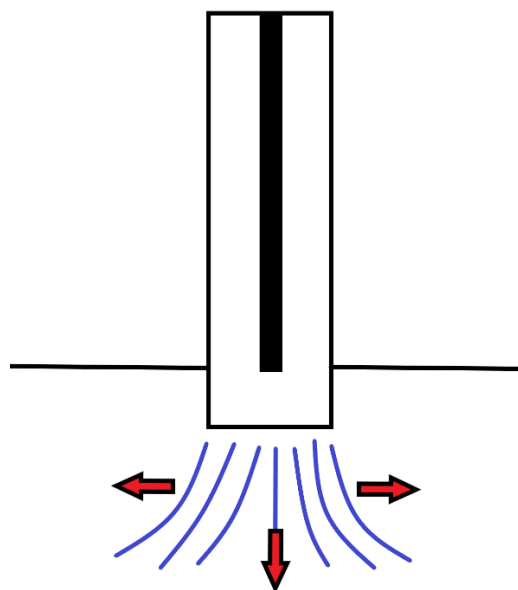
2.2.1 Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrometer

Det ble utført infiltrasjonsmålinger i regnbedene i Deichmans gate ved hjelp av metoden Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrometer. MPD-infiltromeret er et 50 cm høyt rør med en indre diameter på 10 cm. Et målebånd på 45 cm er festet på utsiden, som vist i Figur 2.6. Fremgangsmåten gikk ut på å banke ned MPD-røret ca. 5 cm ned i overflaten, der vi ønsket å måle infiltrasjon. Dersom overflaten var tykk eller bestod av stein/grus/røtter, ble det benyttet en kniv for å skjære hull rundt røret der det skulle bli plassert. Deretter ble røret fylt med vann, samtidig som vannhøyder fra målebåndet ble notert. Vannhøydene ble notert til det ble oppnådd en stabil infiltrasjonshastighet. Med stabilitet menes flere like målinger etter hverandre; minst 2 – 3 samsvarende målinger eller $\pm 20\%$ (Solheim, 2018). Dersom målingene ikke ble stabile under første påfylling, ble røret gjenfylt med vann, og målingene fortsatte. Slik pågikk det til det var oppnådd en stabil infiltrasjonshastighet.

MPD-instrumentet måler for rask infiltrasjon, siden vannet i sylindern både renner vertikalt og horisontalt som vist i Figur 2.7. For å korrigere denne feilen skal det måles jordfuktighet før og etter målingene ifølge den tradisjonelle MPD-metoden (Nestingen, 2007), altså når jorda er tørr og etter at den er mettet ved bruk av MPD. Men dette er antatt som unødvendig fordi det heller blir benyttet en korreksjonsfaktor basert på jordmassene infiltrasjonstestene utføres på, etter anbefalingen fra Solheim (2017). Grunnet sandholdig jord i regnbedene er korreksjonsfaktoren 0,8 brukt for å finne mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}).

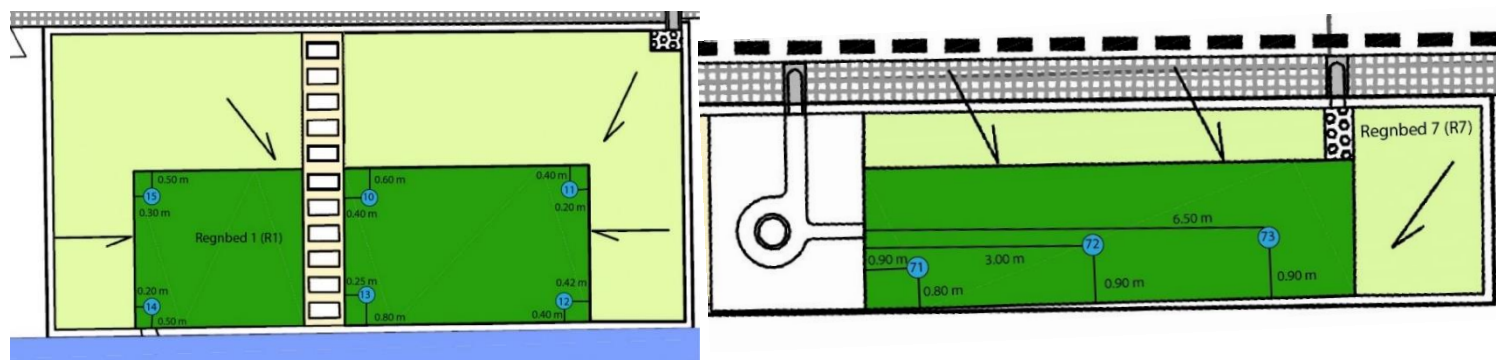


Figur 2.6: Viser utseendet til MPD-infiltromeret, og størrelsesforhold.



Figur 2.7: Viser vertikal og horisontal strømming ved bruk av MPD-infiltrometer.

Det er gjort ulikt antall MPD-målinger for de ulike regnbedene (Figur 2.8). Antall målinger er bestemt i forhold til ulike faktorer som størrelsen på regnbedene, vegetasjon, antall innløp, osv. Vedlegg 11 viser ulike målepunkter. Det var sol og fint vær under perioden målingene ble gjort; 21.06.2019 – 01.06.2019.

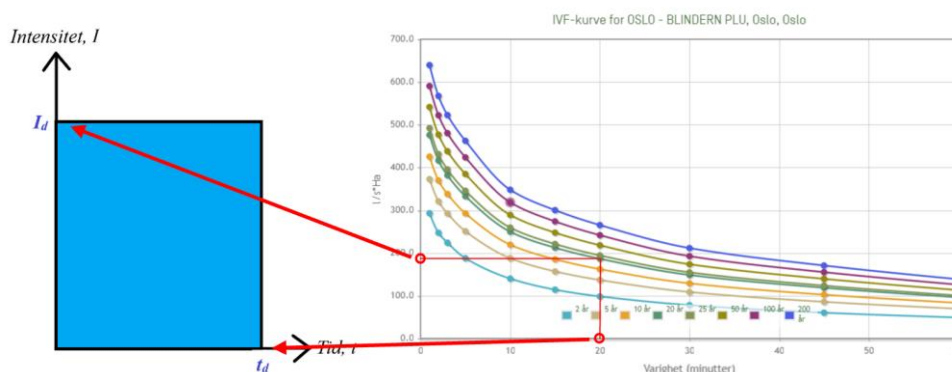


Figur 2.8: Figurene viser målepunktene i to regnbed: R1 og R7. Det ble gjort ulikt antall målinger på alle ni regnbed, avhengig av størrelse, vegetasjon og andre faktorer. I R1 (venstre) er det gjort seks målinger, mens i R7 (høyre) er gjort kun tre målinger. Slik varierer det fra regnbed til regnbed (Illustrasjoner: Mallory P. Chamberlain).

2.2.2 Oversvømmelse med «kasseregn»

Det er benyttet metoden «oversvømmelse» for å finne den faktiske infiltrasjonskapasiteten til regnbedene. Det ble brukt brannutstyr fra BRE for å oversvømme regnbedene, for å observere om regnbedene klarer å oppfylle kommunens krav om å håndtere en nedbørshendelse med et gjentaksintervall på 20 år og klimapåslag på 20 %. Liknende metoder er tidligere blitt omtalt som «syntetisk regn» og «kunstig nedbør» (Braskerud et al., 2012; Paus & Braskerud, 2013). Forsøkene er utført i perioden 27.06.2019 – 28.06.2019, og kun for to regnbed, R1 og R7. Dette er grunnet ønske om å teste regnbed av ulike typer: Ett med tradisjonell utførelse (R7) og ett med nedgravde infiltrasjonskamre (R1) (Figur 2.3). Det var ikke kapasitet til å teste alle regnbed fra et tidsmessig perspektiv, ettersom hvert forsøk tok opp mot 1 – 2 timer.

Et av målene i studien er å benytte metodikken til å evaluere MPD-infiltrometeret ved å sammenlikne resultatene fra MPD- og oversvømmelsesmålingene i regnbedene. MPD-infiltrometer måler infiltrasjon i punkter i regnbedene med en størrelse på en sirkel med diameter 10 cm. Men med oversvømmelsesmetoden føres det vann fra brannslangen inn i regnbedene, gjennom innløpet, slik at hele arealet blir benyttet til infiltrasjon. Vannet sendes med en konstant intensitet i regnbedet, og det dannes en form for kasseregn (Figur 2.9). Dette er ikke likt som naturlige regnhendelser, hvor intensitetene varierer i større grad. Likevel gir metoden et bilde av en regnhendelse, som det enkelt kan gjøres målinger på fordi intensiteten er gitt.



Figur 2.9: Fremstiller et kasseregn grafisk ved hjelp av IVF-kurven for nedbørsfeltet til Deichmans gate (Gjentaksintervall: 20 år, varighet: 20 minutter) (Norsk Klimaservicesenter, u. å.).

Måling av vannføringer

Det ble benyttet den rasjonelle metode (Formel 1) for å beregne vannføringer for ulike varigheter ved 2- og 20 års regn, for R1 og R7. Klimafaktor er satt til 1,2, det ble benyttet midlere avrenningskoeffisienter tilpasset nedbørsfeltene til regnbedene, og intensiteter er hentet ut fra IVF-kurven (Figur 2.9). Det var vanskelig å justere vannmengdene fra brannslangen, og derfor var oversvømmelsene av vannføringer som var praktisk mulig å få gjennomført. Tilsvarende varigheter varierte mellom 10 og 20 minutter (Tabell 2.7).

For å måle vannføringen til vannstrålen ble det benyttet «vann-i-bøtte» metoden (Bilde 2.3). Metoden består av en 40-litersbøtte, vann fra en vannslange og en stoppeklokke. Stoppeklokken startet når vannet strålte inn i bøtten, og stoppet når bøtten ble full, altså når det var et vannvolum på 40 L. Vannføringen beregnes gjennom Formel 2:

Formel 2: Vannføring

$$Q = \frac{V}{t}$$

Der:

Q er vannføring (intensitet) [L/s]

V er volum [L]

t er tid [s]

Metoden var vanskelig å utføre for høye intensiteter, ettersom bøtten ikke sto stille ved høyt vanntrykk. Derfor ble det benyttet en større bøtte for måling av høyere vannføringer (Bilde 2.4).



Bilde 2.3: Viser hvordan «vann-i-bøtte»-testen er utført.



Bilde 2.4: Viser «vann-i-bøtte»-testen med en tom søplebøtte. Volumet til bøtten stod under bøtten.

For å regulere vannføringen inn i regnbedene ble det benyttet et V-overløp. Ved bruk av vannhøydene på V-overløpet er det mulig å estimere vannføringen (Formel 3), og dermed kalibrere målingene gjort med «vann-i-bøtte» metoden.

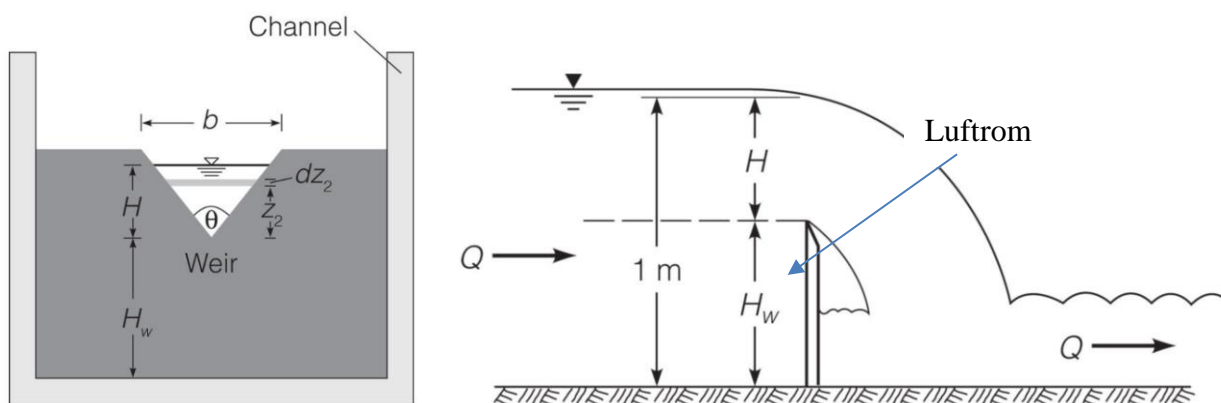
Formel 3: Vannføring i V-overløp (Chin et al., 2013).

$$Q = \frac{8}{15} \times C_d \times \sqrt{2g} \times \tan \frac{\theta}{2} \times H^{\frac{5}{2}}$$

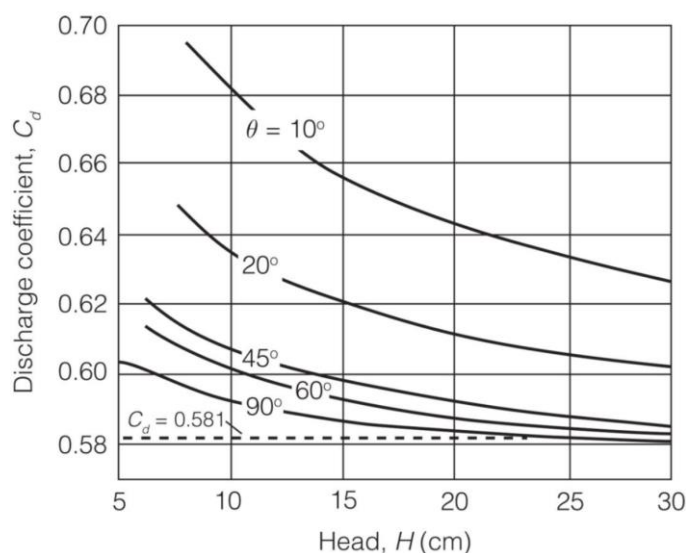
Der:

- Q** er vannføring [m³/s]
- C_d** er korreksjonsfaktor [-]
- g** er tyngdens akselerasjon [m/s²]
- θ** er vinkelen til V-overløpet [°]
- H** er vannstanden fra bunnen til V-overløpet [m]

Variablene i Formel 3 illustreres i Figur 2.10, og benyttede korreksjonsfaktorer (C_d) bestemmes gjennom Figur 2.11.



Figur 2.10: Venstre: Variabler i et V-overløp. Høyre: Fremstiller en luftet stråle fra et overløp (Chin et al., 2013).



Figur 2.11: Graf med vannføringskoeffisienter til ulike vinkler på V-overløpet, som varierer med vannstanden på overløpet (H). Koeffisientene fra grafen benyttes til å korrigere Q (Chin et al., 2013).

For å kunne benytte V-overløpet til måling av vannføring er det en rekke krav til utførelse (Chin et al., 2013; Otnes & Ræstad, 1978):

- 1) Det må være en fri stråle. Vannstanden i innløpskassen bør være minst 6 cm over vinkelspissen, for å unngå feimålinger grunnet for lav H som kan medføre at strålen ikke er luftet. Vannstanden på regnbedet bør være 6 cm under vinkelspissen til overløpet, for å oppnå en fri stråle.
- 2) Innløpskassen skal være symmetrisk med V-åpningen i midten.
- 3) Innløpskassens oppstrømside må være plan og loddrett.
- 4) Innløpskassens lengde vinkelrett på strømmingen skal være $8 \cdot H_{\text{maks}}$.
- 5) Regnbedet må strekke seg minst en lengde $5 \cdot H_{\text{maks}}$ ovenfor infiltrasjonskassen (H_{maks} = maksimal vannstand i overløpet).
- 6) Regnbedets bunn skal være plan og vannrett i en lengde $5 \cdot H_{\text{maks}}$ ovenfor innløpskassen.
- 7) Innstrømmingen skal helst skje over et bredt overfall, ikke en konsentrert strøm. (Det er derfor benyttet en rist i forsøket)
- 8) Overløpets kant bør være utformet i jern eller hardplast.

Med tanke på de overnevnte kravene er de benyttede infiltrasjonskassene for små i henhold til krav 4. I tillegg druknet V-overløpet i tider med økt vannstand i regnbedene, og krav 1 og 7 var dermed ikke oppfylt. Ettersom V-overløpet ble manuelt opprigget, var det også usikkert om V-overløpet hadde en nøyaktig vinkel på 90° . Det er derfor forventet noen feilestimeringer med V-overløpet.

Vannføringsmålingene i regnbedene vises i Tabell 2.7. Ettersom V-overløpet ikke tilfredstilte alle overnevnte krav, vil «vann-i-bøtte» målingene være bedre estimater for vannføringen inn i regnbedene. Disse blir dermed brukt i sammenheng med oversvømmelsesresultater. Imidlertid er målingene fra «vann-i-bøtte» testene og beregninger gjort med hensyn til V-overløp, tilsynelatende like. Vannføringene tilsvarte regnhendelser med varighet på 20 minutter, med unntak av 20 års oversvømmelsen i R1, hvor varigheten var på 10 minutter.

Tabell 2.7: Sammenligning av målinger av vannføringer med «vann-i-bøtte» metoden, og estimeringer ved bruk av målinger i V-overløp og Formel 3. Resultatene sammenliknes mot beregnede vannføringer for 2- og 20 års regn.

Regnbed	Gjentaksintervall	Varighet	Vannføring [L/s]		
			Beregnet		Målt
			Rasjonell formel	"Vann-i-bøtte"	V-overløp
R1	2 år	20 min	2,79	2,90	2,87
	20 år	10 min	7,10	7,06	8,08
R7	2 år	20 min	1,48	1,50	1,35
	20 år	20 min	2,81	2,95	2,79

Vanntilførsel til regnbedene

Det er gjort ulike tiltak for å lede vannet inn i regnbedene. Innløpene i regnbedene består av sedimentasjonskasser av stål (innløpskasse) (Bilde 2.5). Hensikten med innløpskassene er å forhindre slamavsetning og erosjon i filtermediet i regnbedene. Kassene gjør at vannet mottar energidemping, og ikke ledes direkte inn i anleggene. For å måle vannføringen inn i regnbedene ble det eksisterende innløpet utvidet med tynne stålplater med samme vinkel som det opprinnelige V-overløpet (vinkel: 90°). Disse stålplatene ble festet på kantene til kassene ved hjelp av gaffateip. På denne måten ble innløpskassene forhøyet slik at vannet ikke rant ut i sidene når

vannstrømningen var av høy hastighet. Likevel var det noen små sprekker i teipen som forårsaket at noe vann rant ut i siden, men dette var en ubetydelig mengde. For å hindre for stor vannhastighet (overkritisk strømning) i innløpskassene, settes en rist rett ved innløpet der vann stråler inn. Risten reduserer hastigheten samtidig som den forhindrer for store legemer inn i kassen, og videre til regnbedoverflaten. Det dannes en fri og luftet stråle fra innløpskassen, som er et av forutsetningene for at V-overløpet skal kunne måle riktig vannføring (Otnes & Ræstad, 1978). Disse elementene vises i Bilde 2.5, samt en logger og målestav som benyttes til måling av vannstand i kassen. Dette utdypes videre i kapitlet.



Bilde 2.5: Venstre: Viser innløpskassen i regnbedene. Høyre: Innløpet i R1, med forlengt V-overløp, og verktøy som er utnyttet i testingen. Logger og tommestokk målte vannstand, og rista reduserte vannhastigheten.

Vannet ble ført inn i regnbedene forskjellig, grunnet ulike konstruksjoner før innløpene. R1 har to innløp, ett med taknedløpet fra bygningen og ett med en renne fra konstruert flomvei langs gata. Det sistnevnte innløpet ble brukt til testing (Bilde 2.7). Vannslangen ble plassert langt unna innløpet i flomveien for å få en mest mulig naturlig vannføring (Bilde 2.8). Så ble vannet sluppet ut av slangen, og ført inn til innløpet (Bilde 2.6). Flomveien fortsetter videre ned gaten, og det var derfor nødvendig med en hindring for å føre alt vannet inn til R1. Det er brukt en planke som ble festet til flomveien ved hjelp av gaffateip (Bilde 2.7). Hindringen hadde et avvik ved at noe vann passerte den, men dette var en ubetydelig liten mengde.



Bilde 2.8: Vannet ble ført fra brannslangen til den konstruerte flomveien.



Bilde 2.7: Det ble benyttet en hindring for å lede alt vannet inn i regnbedet.



Bilde 2.6: Vannet rant inn i regnbed 1 og målingene ble notert.

I R7 er innløpet konstruert slik at vannet renner inn gjennom et kunstelement, hvor overvannet kommer fra taknedløp. Gjennom vanntilførsel i kunstelementet nådde hele vannvolumet regnbedet som vist i Bilde 2.9, Bilde 2.10 og Bilde 2.11.



Bilde 2.9: Vann fra brannslangen ble tilført i kunstelementet ved innløpet.



Bilde 2.10: Vannet rant inn i regnbed 7, og målingene ble notert.



Bilde 2.11: Feltforsøk «oversvømmelse» i R7.

Måling av vannstand med målestaver og loggere

Det er gjort målinger av vannstand under testingen for å vurdere kapasiteten til regnbedene. Ved å måle vannstand når vanntilførselen tar slutt, er det mulig å beregne synkehastigheten til regnbedene. Dette tilsvarer en samlet K_{sat} for regnbedet fordi det er mettet. Det ble utført både manuelle målinger med avlesning på tommestokker (målestaver), og loggermålinger. Det er blant

annet satt en tommestokk og en logger i stålkassene ved innløpene, som vist i Bilde 2.5. De er også plassert på jordoverflaten til regnbedene (Bilde 2.12). Det ble i tillegg gjort manuelle målinger inni drengskummen i R1. Loggeren målte vannhøyden hvert minutt, mens de manuelle målingene ble utført i tidsintervaller mellom 30 s – 3 min. Målingene i drengskummen ble utført i større tidsintervall.



Bilde 2.12: Tommestokk og logger til måling av vannstand i regnbedene.

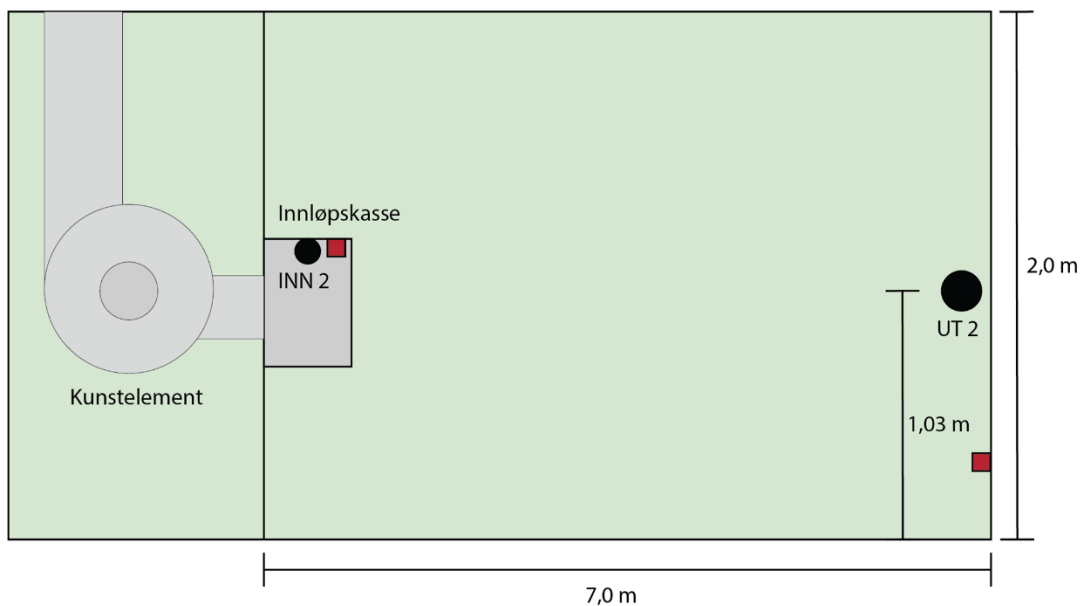
Loggerne er instrumenter av In-Situ Inc (Figur 2.12). Rugged TROLL 100 (RT100) er et instrument som måler trykket, vannstanden og temperaturen i vann. Siden loggeren ikke er luftet (står i kontakt med lufttrykket til enhver tid), må et barometer måle lufttrykket. Rugged Baro TROLL (RBT) registrerer trykk og temperatur i luft, og dataene benyttes til å korrigere dataene fra RT100 ved å kompensere for barometriske trykkeffekter. RT100 måler opptil 9 m vannstand med en feilmarging på $\pm 0,05\%$, temperaturer fra 0 – 50° C med en feilmarging på $\pm 0,3^\circ$ C. RBT måler trykket i intervallet 0,5 – 2 bar med feilmarging på $\pm 0,05\%$, og likt for temperatur som RT100. Instrumentene ble innstilt for registreringer per minutt (In-Situ, 2018a).



Figur 2.12: Viser de to benyttede loggerne i eksperimentet. Venstre: Rugged Baro TROLL Data Logger (In-Situ, 2018c). Høyre: Rugged TROLL 100 Data Logger (In-Situ, 2018b).

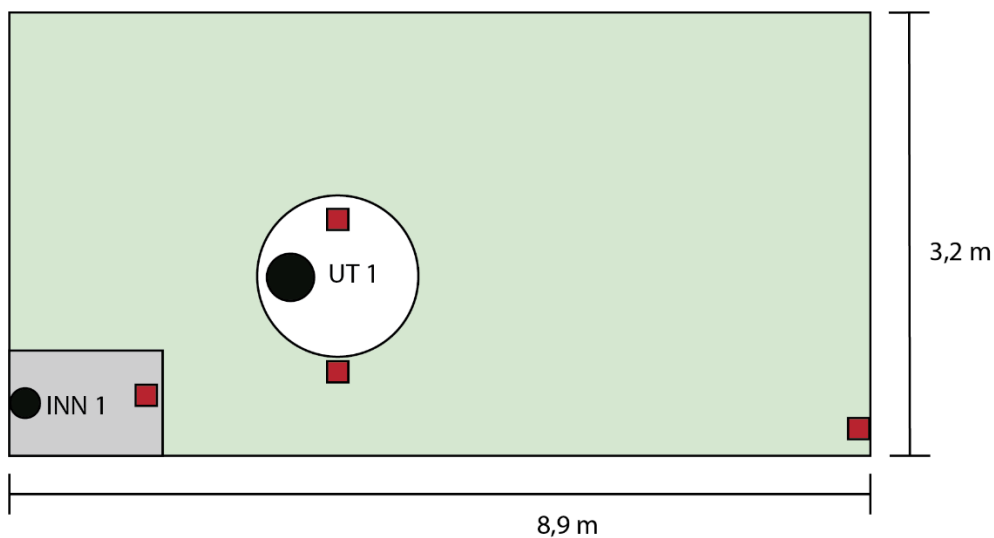
Begge instrumentene brukes dermed samlet til å få et estimat på vannhøydene i regnbedene. Plasseringen til loggerne vises i Figur 2.13 og Figur 2.14 som sorte sirkler, og tommestokkene som røde figurer.

Regnbed 7 (R7)



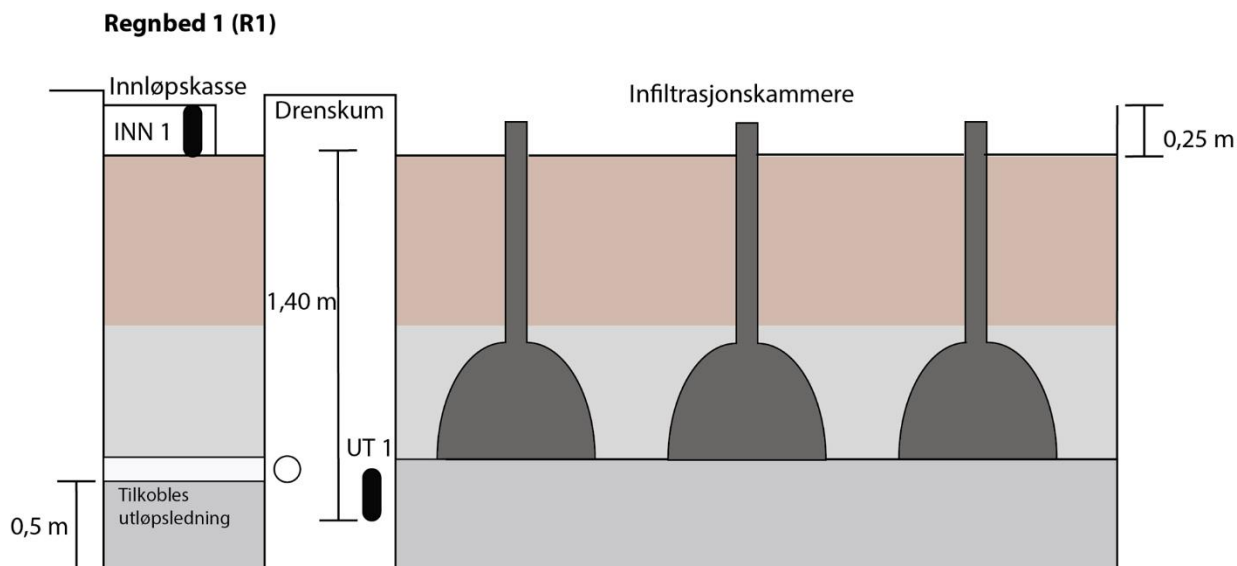
Figur 2.13: Viser plasseringen til tommestokkene og loggerne i R7. Det er brukt 2 logger, én ved innløpet («INN 2») og én ved motsatt side av regnbedet («UT 2»), og to tommestokker ved innløp og ved hjørnet. Loggerne vises som sorte figurer, og tommestokkene som røde figurer. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

Regnbed 1 (R1)



Figur 2.14: Viser plasseringen til tommestokkene og loggerne i R1. Det er brukt 2 logger, én ved innløp («INN 1») og én inni drenskummen («UT 1»), og fire tommestokker: ved innløp, ved drenskum, inne i drenskum og ved hjørnet. Loggerne vises som sorte figurer, og tommestokkene som røde figurer. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

Det er flere målepunkter i R1 enn i R7. I R1 ble det målt vannstand på jordoverflaten i to punkter, i motsetning til R7. I tillegg blir det gjort målinger inne i drenskummen i R1 for å vurdere den hydrauliske kapasiteten til regnbedet (Figur 2.15).



Figur 2.15: Viser R1 som et tverrsnitt, og hvor loggerne var plassert i regnbedet. Loggerne vises som sorte ovaler. Logger «INN 1» var plassert i innløpskassen, mens logger «UT1» var plassert i drenskummen. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

2.2.3 Bestemmelse av jordart i regnbedene

Ved å se på kornfordelingen i jordsmonnet, er det mulig å vurdere infiltrasjonsevnen i regnbedene. Dersom jorda er godt sortert og inneholder store kornstørrelser, vil vannet strømme lettere gjennom filtermediet, men om jordsmonnet er dårlig sortert og består av fine kornstørrelser, vil vannet strømme saktere (NGU, 2018b). Det er dermed tatt jordprøver fra regnbedene som ble analysert i laboratorium, for å bestemme jordartene og -sammensetningen (Figur 2.16).



Figur 2.16: Viser fremgangsmåten for bestemmelse av jordart i regnbedene.

Innsamling av jordprøver

Det er samlet inn jordprøver for alle ni regnbed kort etter feltarbeidet; MPD-målinger og kasseregner. Jordprøvene ble innhentet 16.07.2019, en varm sommerdag. Jorda var tørr, og ikke bemerkelsesverdig fuktig.

Metodikken var blandprøver, basert på 4 – 6 antall stikkprøver. Det ble kun tatt prøver av jordoverflaten, siden den var avgjørende for infiltrasjonshastigheten. Det ble gravd ned 3 – 5 cm i jordsmonnet ved prøveområdet. Jorda ble samlet i en bøtte og blandet med en skje. Jordprøven ble lagt i en plastpose, som ble sendt videre til laboratorium for analysering. Tidligere MPD-målinger viser dårligere infiltrasjon ved innløpene (Asleson et al., 2009), og derfor var det interessant å vite om jordsammensetningen var forskjellig ved innløp i forhold til resten av regnbedet. Dermed ble det samlet inn 2 jordprøver i regnbedene, ett ved innløp og ett i «midten». Det ble tatt blandprøver i tilfeldige punkter ved innløpet eller ved innløpene dersom det var flere, og blandprøver i tilfeldige

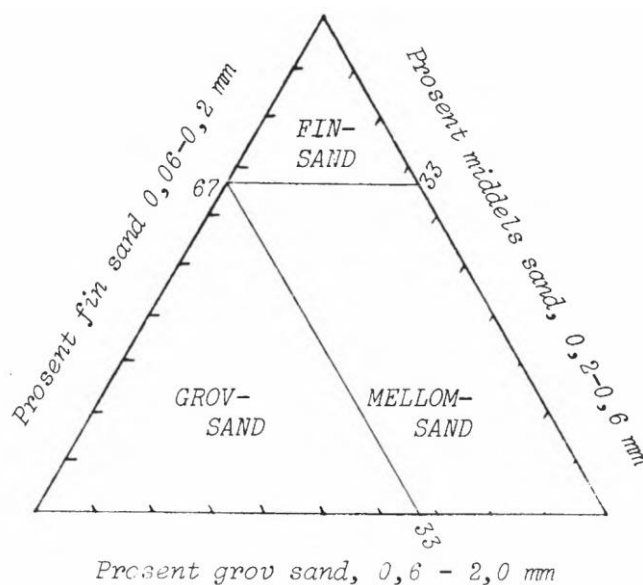
punkter i resten av regnbedet («midten»). Regnbedene var alle av forskjellig størrelse, så ved mindre regnbed, R7 og R8, ble det kun tatt én felles prøve fra tilfeldige punkter i regnbedene.

Analysen av jordprøvene

Analysene av jordprøvene ble gjennomført av laboratoriet til Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). De ble utført et par måneder i etterkant av innsamlingen av prøvene, og ble gjennomført av en ansatt ved laboratoriet. Se vedlegg 12 for rådata.

Prøvene ble først tørket ved 110°C i minst 24 timer. Deretter ble prøvene benyttet til 2 forskjellige analyseringsmetoder:

1. **Kornfordeling** – ca. 2/3 av prøven ble analysert for kornfordeling ved tørrsiktning gjennom sikter fra 63 µm opptil 16 mm.
 - Kornfordeling viser til mengden korn som funksjon av kornstørrelse. Denne størrelsen kan brukes til å beskrive og klassifisere jordartene. Gjennom tørrsiktning, som er ett av mange metoder, bestemmes kornstørrelsen og resultatene presenteres som en vektprosent (NGU, 2018b).
2. **Glødetap** – ca. 1/3 av prøven brukt til glødetap, glødes ved 480°C i 2 timer.
 - Glødetapet er massetapet av innveid prøve, i prosent. Dette er velbrukt metode for å måle innholdet av organisk materiale (Bøen, 2010). Luft-tørr jord er siktet slik at større rester av planter, røtter eller meitemark, i tillegg til grus og sand større enn 2 mm, blir fjernet. Etter siktingen ble jorda tørket for å dampe vekk vann og finne tørrstoffinnholdet. Til slutt ble prøven brent i en glødeovn (Pommeresche, 2019).



Figur 2.17: Trekantdiagram som viser inndeling av sandblandinger i finsand (kornstørrelse 0,063-0,25 mm), mellomsand (kornstørrelse 0,25-0,5 mm) og grovsand (kornstørrelse 0,5-2,0 mm) (Sveistrup, 1984).

Det er en ubetydelig liten andel (< 3 %) av jordprøvene som kommer under kategorien leire og silt, altså kornstørrelse mindre enn 0,063 mm. Dermed vil vurderingen av resultatene fra kornfordelingen baseres kun på inndeling av sandblandinger, og ikke av leire-, silt-, stein- og grusinnhold.

Regnbedene inneholdt hovedsakelig sand, og kornstørrelsene kategoriseres derfor som grovsand, mellomsand eller finsand. Det ble benyttet sikter av størrelsen 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 og 16 mm. Dermed er størrelsene for de 3 kategoriene i Figur 2.17 revidert. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

For glødetap vurderes resultatene som en vektprosent av organisk materiale i jordprøvene. For mineraljord må glødetapet korrigeres for leirinnhold, med et korreksjonstall. Dette er fordi leiren inneholder kjemisk bundet vann som ikke er fjernet under glødeprosessen. Dersom jordprøvene inneholder mindre enn 5 % leire er ikke korrigeringen nødvendig (Krogstad, 2009), og derfor vil denne korrigeringen ikke gjelde resultatene fra regnbedene.

Materialets graderingstall (C_u)

Ved å analysere vektprosenten fra kornfordelingsresultatene, kan det beregnes et graderingstall for å vurdere hvor godt/dårlig sortert jordprøvene er. Graderingstallet, også betegnet som sorteringstallet, angir forholdet mellom kornstørrelsene i kornfordelingsanalysen med henholdsvis 60 % og 10 % siktegjennomgang (Formel 4) (Håndbok 016, 2010):

Formel 4: Materialets graderingstall (Håndbok 016, 2010).

$$C_u = \frac{d_{60}}{d_{10}}$$

Der:

C_u er graderingstallet [-]

d_{60} er kornstørrelse (mm sikt) som 60 % av materialet passerer [m]

d_{10} er kornstørrelse (mm sikt) som 10 % av materialet passerer [m]

Graderingstallet vurderes gjennom Tabell 2.8, der lavere verdier henviser til engradert materiale. Det vil si jordprøver med innhold av like kornstørrelser, altså godt sortert jord. Godt sorterte masser har større hulrom mellom kornene i jorda, og dermed også god permeabilitet (Hanslin et al., 2018).

Tabell 2.8: Betegnelse av friksjonsmasser ut fra graderingstallet C_u (Håndbok 016, 2010).

Betegnelse	Graderingstallet C_u
Ensgradert	< 5
Middels gradert	5 - 15
Velgradert	> 15

Empirisk metode for estimering av K_{sat}

Det er funnet flere metoder for å finne en empirisk relasjon mellom kornfordelingsdata og hydraulisk konduktivitet. Haugen (2016) anbefaler metoden utviklet av Harleman et al. (1963):

Formel 5: Estimering av K_{sat} på bakgrunn av kornfordelingsdata (Harleman et al., 1963).

$$K = \frac{g}{\nu} \times 6,54 \times 10^{-4} \times d_{10}^2$$

Der:

K er hydraulisk konduktivitet [m/s]

g er tyngdens akselerasjon [m/s^2]

ν er vannets kinematiske viskositet [mm^2/s]

d_{10} er kornstørrelse (mm sikt) som 10 % av materialet passerer [m]

Formel 5 er benyttet for estimering av K_{sat} basert på kornfordelingsresultater.

2.2.4 Dimensjonering av regnbed

Paus og Braskerud (2013) anbefaler en likning (Formel 6) for beregning av overflateareal til regnbed, der overvannsvolumet til nedbørsfeltet divideres med summen av den maksimale vannstanden på regnbedoverflaten og den infiltrerte mengden:

Formel 6: Dimensjonering av regnbed (Paus & Braskerud, 2013).

$$A_{regnbed} = \frac{A_{felt} \times c \times P}{h_{maks} + (K_{sat} \times t_r)}$$

Der:

$A_{regnbed}$ er regnbedets overflateareal [m^2]

A_{felt} er nedbørsfeltets størrelse [m^2]

c er nedbørsfeltets gjennomsnittlige (midlere) avrenningskoeffisient [-]

P er dimensjonerende nedbørsmengde [m]

h_{maks} er den maksimale vannstanden på overflaten før vannet går i overløp [m]

K_{sat} er filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet [m/t]

t_r er dimensjonerende varighet på tilrenningen til regnbedet [t]

Likningen er tilpasset norske forhold, og kan benyttes gitt at nedbøren faller med konstant intensitet over en bestemt varighet. Likningen vil bli benyttet for å vurdere hvilke gjentaksintervall de ulike regnbedene er dimensjonert for. I mindre nedbørsfelt er det liten tidsforskyvning mellom nedbør og avrenning, og dermed tilsvarer t_r regnvarigheten. h_{maks} vurderer regnbedets evne til å håndtere avrenning fra styrtregn, og når infiltrasjonskapasiteten er svekket. K_{sat} -verdien er infiltrasjonskapasiteten til regnbedet, som vurderer regnbedets evne til å håndtere langvarige nedbørshendelser og å klargjøre seg til neste nedbørshendelse (Paus & Braskerud, 2013).

2.2.5 Statistiske analyser

Variasjonen i K_{sat} -resultater ble analysert ved bruk av to-valgs t-test med antatt ulike varianser ($\alpha = 0,05$). Testen viser om det er en signifikant forskjell mellom to utvalg, med krav om normalfordelte data (Løvås, 2004). Det ble derfor antatt at K_{sat} -verdiene følger en lognormalfordeling, som vist i flere tidligere studier (Bjerg et al., 1992; Dalen, 2012; Regalado & Muñoz-Carpena, 2004). Ved å logtransformere K_{sat} -data ble det oppnådd en normalfordeling.

I analysene ble ekstremverdier, altså verdier som var betydelig forskjellig fra utvalget, fjernet. Dette fordi slike verdier vil kunne overskygge andre resultater fra utvalget. Dermed ble K_{sat} målt i ett av målepunktene i R5 (Figur 3.3) neglisjert fra analysene.

2.3 Intervju

I forrige delkapittel er det beskrevet ulike metoder for å vurdere det tekniske aspektet til regnbedene. I problemstillingen fokuseres det på forbedringstiltak ved utbredelsen av liknende urbane gater. Det er derfor interessant å vite hva ingeniørene som konstruerte gata tenkte og la til grunn før regnbedene i Deichmans gate ble opprettet. Jeg valgte å intervju ingeniørene og landskapsarkitekten som deltok i prosjektet. I henhold til problemstillingen valgte jeg også å intervju landskapsentreprenøren som bidro til drift og vedlikehold av gata.

Det er valgt fire kandidater med ulike roller som intervjuobjekter:

- 1) Ingeniør – Endre Langeland (overingeniør, VAV)
- 2) Ingeniør – Kim H. Paus (rådgiver, Asplan Viak)
- 3) Landskapsarkitekt – Janicke R. Egeberg (landskapsarkitekt, Asplan Viak)
- 4) Skjøtselsansvarlig – Gerd Minde (gartner, Braathen Landskapsentreprenør AS)

Metodikken var individuelle intervjuer, det vil si én-til-én samtaler. Hensikten var å oppnå kvalitative intervjuer som ga dybdekunnskap om temaet, samt som kunne brukes som et supplement til eksisterende innsamlet data. Informasjonen ga grunnlaget for å forstå i hvilken grad vurderinger som ble fastsatt i planleggingsfasen stemmer overens med dagens situasjon i Deichmans gate. Formålet var dermed å innhente relevant informasjon, og ny kunnskap som kan bekrefte eller avkrefte informasjon om regnbedene. For å kunne oppnå dette er det viktig at intervjuet ikke blir en debattarena, men at selve intervjuobjektet er hovedpersonen som snakker mest mulig. Det var hensiktsmessig med enkle spørsmål, og ikke lange og kompliserte spørsmål som forvirrer intervjuobjektet. Gode forberedelser kvalitetssikrer intervjuene (UiO, 2012). Det ble spurt oppfølgingsspørsmål ved behov.

I forkant av intervjuene var prosjektet registrert hos Norsk senter for forskningsdata (NSD), for å sikre personopplysningene til intervjuobjektene. Det er også utarbeidet et informasjonsskriv for å få samtykke fra intervjuobjektene. De ble kontaktet gjennom e-post eller telefon, og intervjuene ble i etterkant utført som telefon- eller Microsoft Teams-samtaler. Det ble tatt lydopptak under intervjuene, og relevant informasjon ble plukket ut og benyttet i sammenheng med oppgaven.

2.4 Brukerundersøkelser

For drøfting av forbedringstiltak i gata ble det gjennomført spørreundersøkelser blant brukere av gata. Erfaringer fra brukere vil være relevant for å forstå ulike utfordringer som gata gjennomgår. Folk flest har til tiltro at det offentlige tar hånd om ting, men flere brukere er også skeptiske til ressursbruken (Jacobsen, 1999). Undersøkelsene fokuserer derfor også på brukernes verdisetting til regnbedene – om de ser på slike LOD-tiltak som viktige. Brukerundersøkelsene ble gjennomført i samarbeid med landskapsarkitektstudent Mallory C. Petersen (NMBU), og derfor kartlegger de flere elementer enn kun regnbed i Deichmans gate. Jeg benytter deler av undersøkelsen som komplementerer med mine forskningsspørsmål. Se vedlegg 13.

Det ble gjort en kvantitativ analyse gjennom spørreskjema. Spørreskjemaet bestod av faste spørsmål med konkrete svaralternativer, og svarene på spørsmålene kunne derfor overføres til tallstørrelser. Spørreskjemaet inneholdt også en kvalitativ del, der respondenten ble bedt om å belyse sine tanker om et tema (Jacobsen, 1999). Svar på slike spørsmål vil ikke være kvantitative. Spørreskjemaet ble utarbeidet på Questback, en plattform for tilbakemeldinger og feedback .

Det ble valgt to brukergrupper i Deichmans gate: beboere og forbipasserende. Beboere omfattet brukere som bodde i selve Deichmans gate, mens forbipasserende var de som generelt gikk i gata. Brukergruppene har svart på ulike spørreskjemaer, som utdypes i kommende delkapitler.

2.4.1 Spørreundersøkelser for forbipasserende i gata

Forbipasserende i gata omfattet hver og en som gikk i gata i løpet av undersøkelsesperioden, enten om personen skulle til butikken, skolen, jobb eller annet. Noen av de forbipasserende var også beboere i gata. I undersøkelsen skulle respondentene vurdere ulike elementer i gata. I tillegg ble respondentene informert om regnbed-konseptet. For å oppnå brukervennlighet fylte vi spørreskjemaene selv etter å ha stoppet og fått samtykke fra respondentene. For å presentere elementene i gata ble det vist til plakater med bilder av elementene, og respondentene kunne enkelt rangere dem.

Undersøkelsen ble planlagt til å utføres to ganger, én gang om sommeren da regnbedene var grønne og frodige, og én gang om vinteren da regnbedene bestod av mindre vegetasjon. Hensikten var å undersøke brukernes inntrykk av regnbedene når de er mer estetisk tiltrekkende, i forhold til når de er mindre attraktive. Sommerundersøkelsen ble gjennomført 16.07.2019 i løpet av 2 – 3 timer på dagtid. Været var fint, med sol og skyfri himmel. Flere deltok i undersøkelsen og vi fikk svar fra totalt 29 brukere. Vinterundersøkelsen måtte dessverre falle bort på grunn av covid-19-pandemien.

2.4.2 Spørreundersøkelser for beboere i gata

Brukergruppen omfattet kun beboere i Deichmans gate, primærbrukerne av gata. Beboere benyttet og opplevde gata på daglig basis. Det ble valgt å unngå trykdeboliger i gata. Spørreundersøkelsene ble utført 15.10.2019 – 16.10.2019 i 3 – 4 timer på kveldstid. For å oppnå en brukervennlig undersøkelse, gikk vi fra dør-til-dør og registrerte svarene selv i spørreskjemaer på mobiltelefonene. Dette gjorde at brukerne fikk muligheten til å spørre om noe var uklart, samt at de ikke trengte å bruke unødig tid til å sette seg inn besvaringsmetoden. Beboere som ikke åpnet dørene eller som ikke var hjemme, fikk et skriv foran døren med en lenke til spørreskjemaet. De fikk muligheten til å besvare undersøkelsen på nett om de skulle ønske det. 36 av 96 beboere deltok, og den totale svarprosenten var 37,5 %.

Dette spørreskjemaet var mer omfattende enn skjemaet for forbipasserende i gata. Undersøkelsen hadde som hensikt å forstå hvilke utfordringer beboerne opplevde fra gata, og om de mente at regnbedene var viktige tiltak. Beboerne fikk muligheten til å dele sine forslag til endringer i gata.

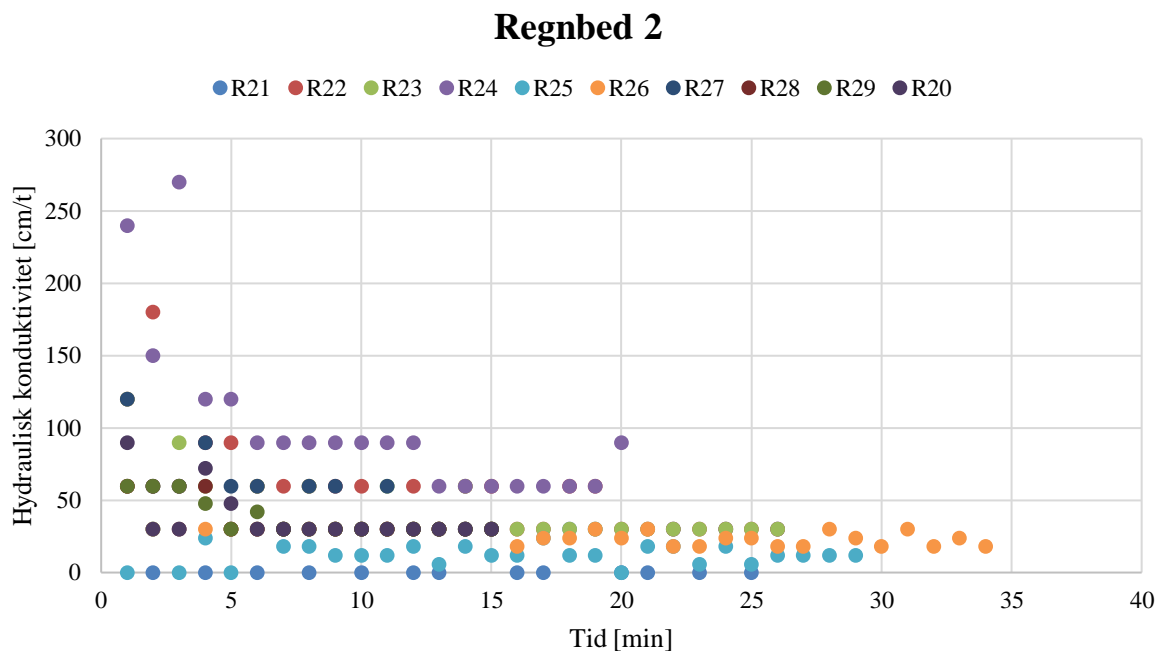
3 Resultater og diskusjon

3.1 Infiltrasjonstester med MPD-infiltrometer

Infiltrasjonsevnene målt ved bruk av MPD-infiltrometeret fulgte en generell trend; først ble det målt høye og varierende infiltrasjonshastigheter, for så å stabilisere seg mot en jevn infiltrasjonshastighet (Figur 3.1). Som forventet viser alle lokalitetene i regnbedene høy infiltrasjonsrate på starten, da jorda var tørr og umettet, for deretter å avta ved oppnådd mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}) (Bøyum et al., 1997; Hillel, 2004). Infiltrasjonsratene varierte mellom 0 – 1400 cm/t på starten, og mellom 4,8 – 240 cm/t når de stabiliserte seg mot slutten.

Tiden det tok før K-verdiene stabiliserte seg mot en konstant verdi (K_{sat}), varierte både innad hvert regnbed og mellom regnbedene. Målingene ble gjennomført i tidsrom på 12 – 34 min, og det var flere målinger som ikke stabiliserte seg helt. Med stabilisering menes like rask infiltrasjon i flere målinger etter hverandre. I denne studien ble det valgt å avslutte målingene når det var oppnådd 2 – 3 like målinger, eller når endringene i K-verdiene var på +/- 20 %, slik Solheim (2017) anbefaler. 61 % av målingene stabiliserte seg innen 17 minutter, og her inngår alle målinger i R3 og R8. 86 % av målingene stabiliserte seg innen 26 minutter, inklusivt alle målinger i R1, R4 og R7. For å vise spennvidden i målingene vises infiltrasjonsmålinger fra et tilfeldig regnbed, R2, i Figur 3.1. For mer informasjon om infiltrasjonsevnen i hvert målepunkt i regnbedene, se vedlegg 1 – 9.

Det var stor variasjon i infiltrasjonsraten innen samme regnbed (Figur 3.2). Dette skjedde selv om målingene ble gjort i nærheten av hverandre, og kan skyldes ulike faktorer: Infiltrasjonshastigheten øker med porevolumet, og dette volumet kan ha økt på grunn av meitemark, røtter og andre levende organismer (Grønlund, 1992). Jordsammensetningen i filtermediet er også av betydning (Paus & Braskerud, 2013), og vil diskuteres videre i kap. 3.3.



Figur 3.1: Diagrammet viser infiltrasjonsevnen i ulike målepunkter i et tilfeldig regnbed (R2) per tidsenhet. Den lengste målingen varte i 34 minutter, mens den korteste målingen varte i 15 minutter. Hensikten med grafen er å vise variasjoner i infiltrasjonshastighet.

3.1.1 Mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat})

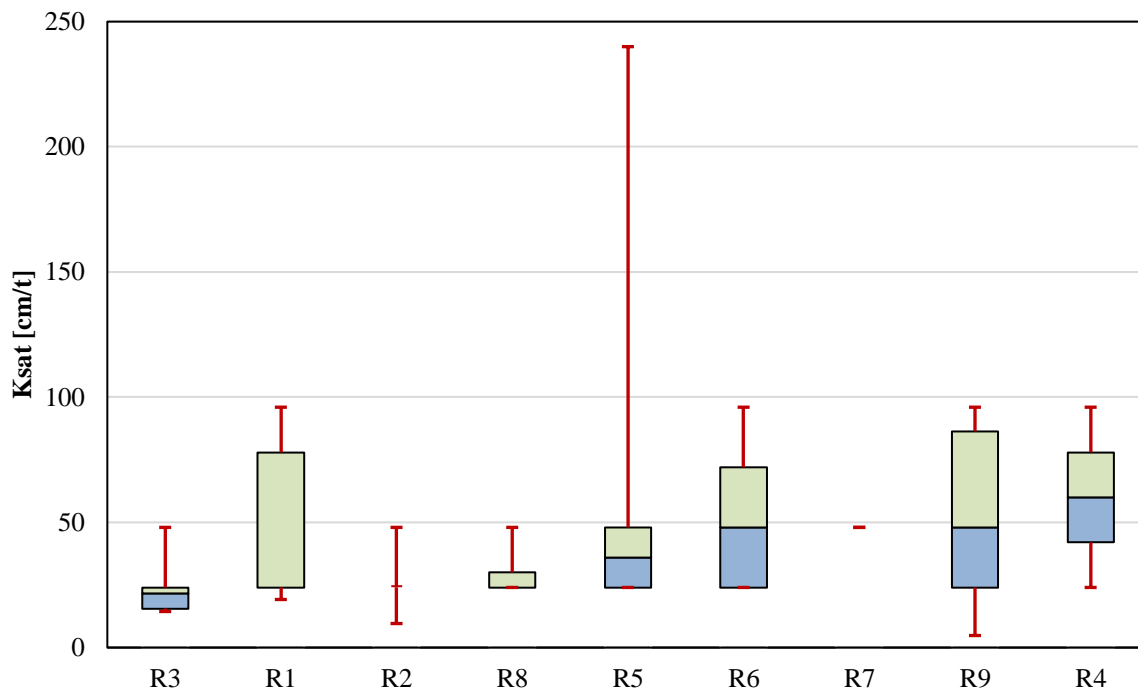
Det ble gjort ulikt antall MPD-målinger på regnbedene. Det er gjort flere målinger i større regnbed enn i regnbedene av mindre overflateareal; totalt 49 målinger (Tabell 3.1). Flere målinger basert på overflateareal vil representere infiltrasjonsevnen til regnbedene bedre, fordi variasjoner i infiltrasjon er tatt til hensyn. I henhold til dette ble det utført flest målinger i R8 (1 måling per 2,0 m²) og færrest i R2 (1 måling per 5,4 m²).

Resultatene viser store variasjoner i K_{sat} , som er forventet (Hillel, 2004). Infiltrasjonsevnen varierer både innad i regnbedene og mellom regnbedene (Figur 3.2). R7 har ingen variasjoner i målingene, der alle målinger viser lik infiltrasjon på 48 cm/t. I dette regnbedet er det gjort færrest (3) målinger. R2 har også lite variasjon til tross for at det er gjort flest (10) målinger i regnbedet. Dette indikerer at jordsammensetningen er likt sortert i filtermediet, og infiltrasjonsevnen derfor også er jevn for hele regnbedet. R9 har størst variasjon.

7 av 9 regnbed hadde gjennomsnitt høyere eller lik teoretisk infiltrasjon på 30 cm/t, mens 5 av 9 regnbed hadde median høyere enn teoretisk K_{sat} (Tabell 3.1). K_{sat} sin fordeling var positiv skjev for alle regnbedene, og median er derfor best til å beskrive samlet K_{sat} for hvert enkelt regnbed. For å finne et samlet estimat på K_{sat} for alle regnbedene er medianen til alle K_{sat} -verdier fra målingene beregnet til 24 cm/t, og gjennomsnittet til alle K_{sat} -verdier beregnet til 42,9 cm/t (Tabell 3.1). Disse verdiene gir et overordnet syn på infiltrasjonsevnen til regnbedene i Deichmans gate, som er betydelig større enn foreslått K_{sat} på minst 10 cm/t i filtermedier ved regnbed i Norge (Paus & Braskerud, 2013).

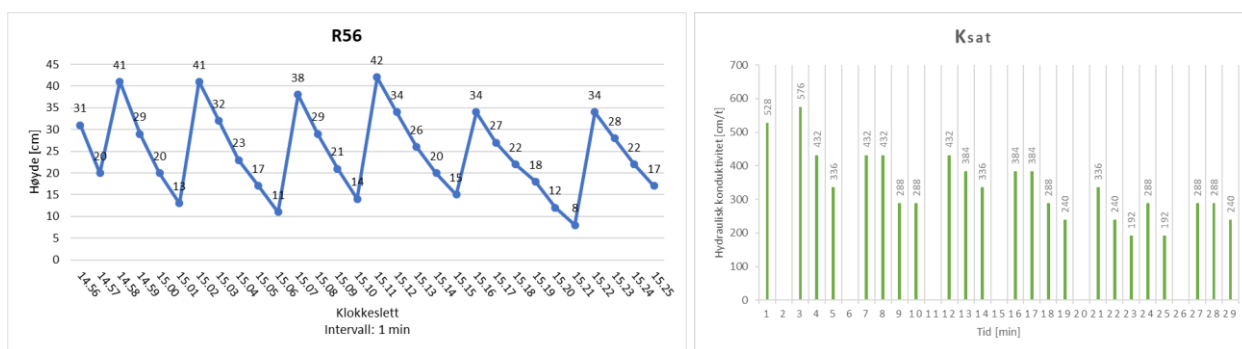
Tabell 3.1: Viser areal, maksimal vannhøyde (h_{maks}), antall målinger, og resultatene for K_{sat} , beregnet som gjennomsnitt og median for hvert enkelt regnbed. Total-radene viser summen av areal og antall målinger, samt gjennomsnittet av alle målte K_{sat} -verdier fra regnbedene og medianen av tilsvarende K_{sat} -verdier.

Regnbed	Areal [m ²]	h_{maks} [cm]	Antall målinger	Gjennomsnitt, K_{sat} [cm/t]	Median, K_{sat} [cm/t]
R1	27	25	6	47,2	24
R2	54	35	10	24	24
R3	25	25	6	24	21,6
R4	10	25	4	60	60
R5	20	25	6	68	36
R6	14	25	5	52,8	48
R7	14	25	3	48	48
R8	8	25	4	30	24
R9	23	25	5	51,8	48
Total	195	-	49	42,9	24



Figur 3.2: Diagrammet viser variasjonen i K_{sat} for regnbedene. Diagrammet inneholder minimums- og maksimumsverdier (rødt intervall), median, og 25. - 75. persentiler. Medianen ligger imellom de blå og grønne stolpene (persentilene), og rekkefølgen til regnbedene i x-aksen følger økningen i median. R3 har dermed dårligst, og R4 best, infiltrasjonsevne.

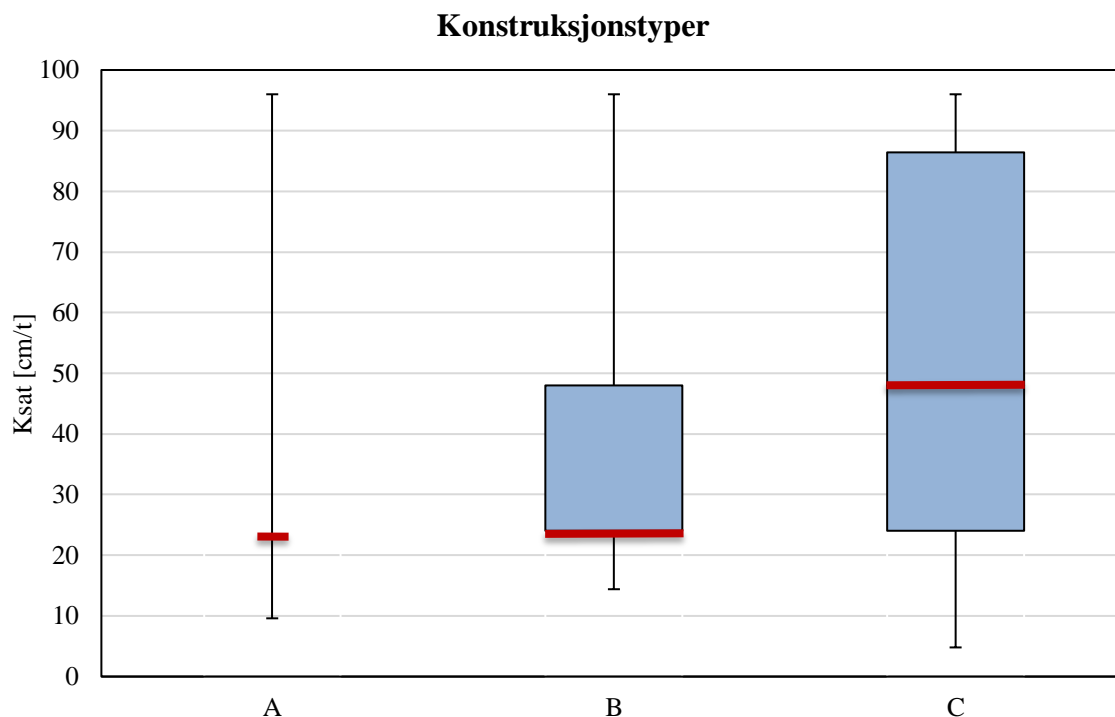
I resultatene observeres én MPD-måling i R5 med mye høyere K_{sat} enn resterende målinger: $K_{sat} = 240$ cm/t (Figur 3.3). Når forsøket ble gjennomført ble røret gjenfylt med vann flere ganger ettersom vannet raskt infiltrerte i grunnen, og det var vanskelig å oppnå en stabil infiltrasjonshastighet. Denne MPD-målingen kan skyldes ulike parametere: Målepunktet lå nær cortenstålen som omringer regnbedene, og vannet kan ha strømt gjennom sprekker langs stålen. Målepunktet kan også ha vært i nærheten av et stort luftrom under jordoverflaten der vannet forsvant, som kan skyldes indre erosjonsskader. Et slikt luftrom ble observert i R7 som et synkehull, når regnbedet ble oversvømt med vann fra brannbiler (se kap. 3.2.1). Denne infiltrasjonsmålingen vil bli sett bort ifra i videre statistiske analyser av K_{sat} .



Figur 3.3: Diagrammene representerer målepunkt 6 i regnbed 5 (R56), som er betydelig større enn resterende målinger. Venstre: endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Høyre: infiltrasjonshastighet, der de målte hastighetene er multiplisert med korreksjonsfaktoren 0,8. Konstant infiltrasjonshastighet oppnås ved slutten av tidsintervallet; $K_{sat} \approx 240$ cm/time.

3.1.2 Variasjon i konstruksjonsløsninger

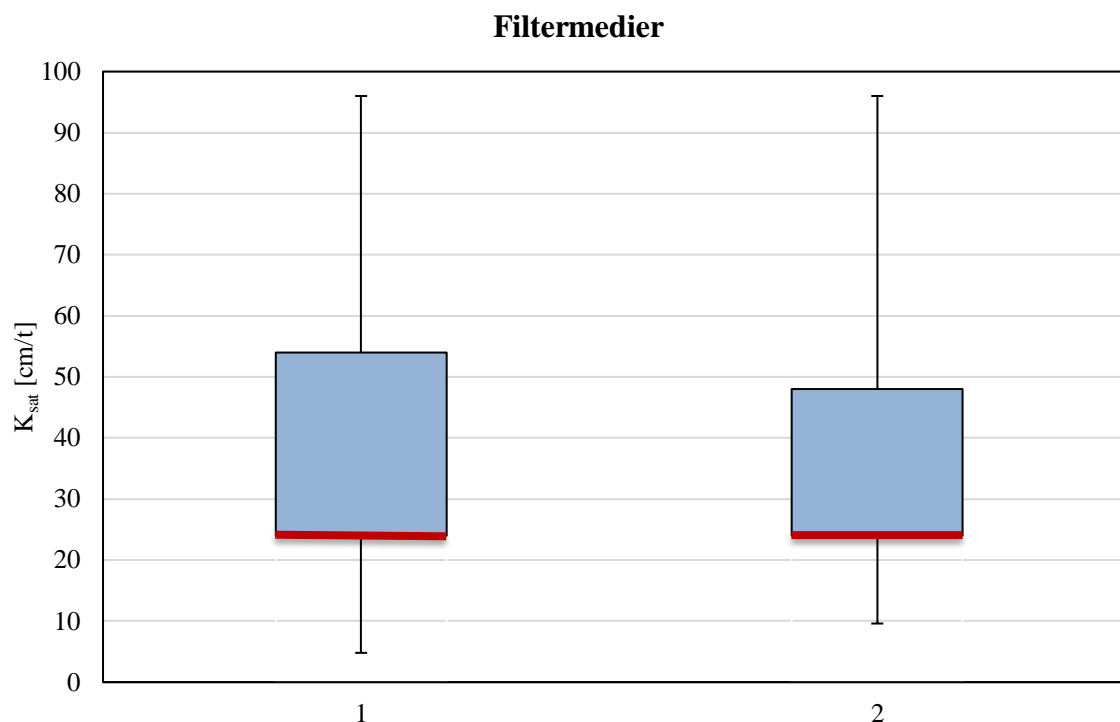
Regnbedene har tre konstruksjonsløsninger; regnbed med nedgravde infiltrasjonskammere (A), tradisjonell utførelse (B) og infiltrerende lag i midten (C) (Tabell 2.2). Med unntak av jordsammensetning, skal filtermediene teoretisk være anlagt likt i både type A og B (Figur 2.4) mens type C skal være konstruert med et lag av natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm) i midten (Figur 2.3). For å vurdere infiltrasjonsevnen basert på konstruksjonstype er det beregnet median til alle K_{sat} -verdier tilhørende regnbedene av ulik type: 24 cm/t i A, 24 cm/t i B og 48 cm/t i C. Resultatene viser at type C har høyest infiltrasjon, men også størst variasjon (Figur 3.4). T-test viste ingen statistisk signifikant forskjell mellom konstruksjonstypene A, B og C.



Figur 3.4: Diagrammet viser variasjonen i K_{sat} for regnbed av ulike konstruksjonstyper: A (R1, R2), B (R3, R4, R5, R6, R7) og C (R8, R9). Diagrammet inneholder minimums- og maksimumsverdier (sort intervall), 25. - 75. persentiler, og medianer (rød strek). I type A inngår 16 målinger, 23 i type B og 9 i type C.

3.1.3 Variasjon i filtermedier

Jordblandingene i filtermediene til regnbedene er teoretisk av to typer; type 1 og 2 (Tabell 2.3). For å vurdere infiltrasjonsevnen basert på filtermedieblanding er det beregnet median til alle K_{sat} -verdier tilhørende regnbedene av ulik type: 24 cm/t i både type 1 og 2. Det inngår like mange målinger i typene, median er lik og variasjonen er ikke meget forskjellig i de ulike typene (Figur 3.5). T-test viste ingen signifikant forskjell mellom filtermedietyperne 1 og 2. Dette er forventet ettersom det ikke er forskjell i filtermedier ifølge jordprøveresultatene i kap. 3.3.

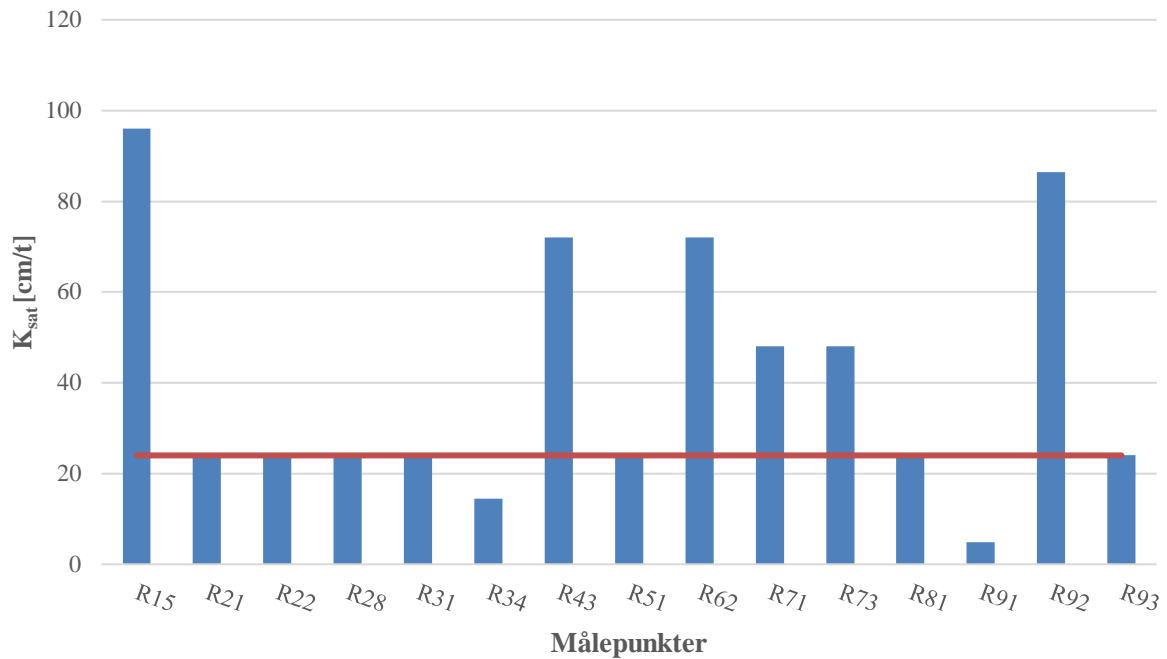


Figur 3.5: Diagrammet viser variasjonen i K_{sat} for regnbed av ulike filtermediesammensetninger: type 1 (R2, R3, R6, R7) og type 2 (R1, R4, R5, R8, R9). Diagrammet inneholder minimums- og maksimumsverdier (sort intervall), 25. - 75. persentiler, og medianer (rød strek). I begge typene inngår like mange målinger (24).

3.1.4 Innløpskarakteristikk

Regnbedene består av flere innløp, hvor vann sendes inn gjennom taknedløp eller renner fra konstruerte flomveier. Tidligere infiltrasjonstester viste at innløpene generelt hadde lavere infiltrasjon, som kunne være forårsaket av erosjonsskader og akkumulering av finkornede sedimenter som tetter porene (Asleson et al., 2009). Erfaringer fra Deichmans gate viser også at regnbedene er utsatt for mye tråkk (se kap. 3.5), og innløpene kan derfor være utsatt når søppel og liknende skal fjernes fra regnbedene ved skjøtsel.

I Figur 3.6 vises alle K_{sat} -verdiene fra målingene gjort ved innløpene til regnbedene. Disse sammenliknes mot medianen til K_{sat} -verdiene fra resterende målinger, som er beregnet til 24 cm/t. Kun 2 av 15 målinger har lavere K_{sat} -verdi enn medianen til regnbedene, mens resterende målinger er lik eller større enn medianen. Det var dermed ikke lavere infiltrasjon ved innløpene til regnbedene i Deichmans gate, som erfaringer fra andre regnbed tilsier (Asleson et al., 2009). Årsaken til dette kan være fordi regnbedene i Deichmans gate består av innløpskasser som samler sedimenter som kan tette filtermediet. I tillegg er regnbedene utsatt for tråkk i flere områder enn kun ved innløpene, ettersom de er lokalisert i en gate med mye menneskelig aktivitet.



Figur 3.6: Stolpediagrammet viser K_{sat} -verdier for alle målinger gjort ved innløp. Den lilla grafen fremstiller K_{sat} til resterende målinger i regnbedene, beregnet som median.

3.1.5 Usikkerheter

Det er flere usikkerheter knyttet til målingene gjort med MPD-infiltrometeret. Målingene kan ha blitt påvirket av at store mengder vann ble helt direkte på jordoverflaten, slik at jorda løsnet fra grunnen og slammet på overflaten. Den målte infiltrasjonsraten var derfor ikke like naturlig som ved nedbør, og kan ha blitt redusert. For å begrense denne usikkerheten ble det forsøkt å helle vannet langs kantene på MPD-røret. De fleste målingene ble målt med intervaller på 0,5 cm, og ikke med millimeters nøyaktighet. Dersom målingen for eksempel var på 40,2 cm, ble målingen nedjustert til 40 cm. Dette vil forårsake feilestimeringer i resultatene. Til slutt er det usikkerheter knyttet til korreksjonsfaktoren på 0,8, som vil bli vurdert i detalj i kap. 3.4.1 .

3.2 Oversvømmelse med «kasseregn»

R1 og R7 ble som sagt oversvømt av vann fra brannbiler. Oversvømmelsene hadde som hensikt å teste om regnbedene oppfylte krav fra kommunen; gjentaksintervall på 20 år og et klimapåslag på 20 %. Det ble også tilført vannføringer med gjentaksintervall på 2 år, og dermed gjennomført to tester i begge regnbed, med vannføringer tilpasset de tilhørende nedbørsfeltene. Målte vannføringer var henholdsvis like som de beregnede vannføringene (Tabell 2.7), og ønskede størrelser på oversvømmelsene ble derfor oppnådd. Målingene i innløpskassene (Bilde 2.5) måler kun vannføring inn i regnbedene, altså strømming fra V-overløp. Resterende målepunkter vil representere kapasiteten til regnbedene.

3.2.1 2 års regn

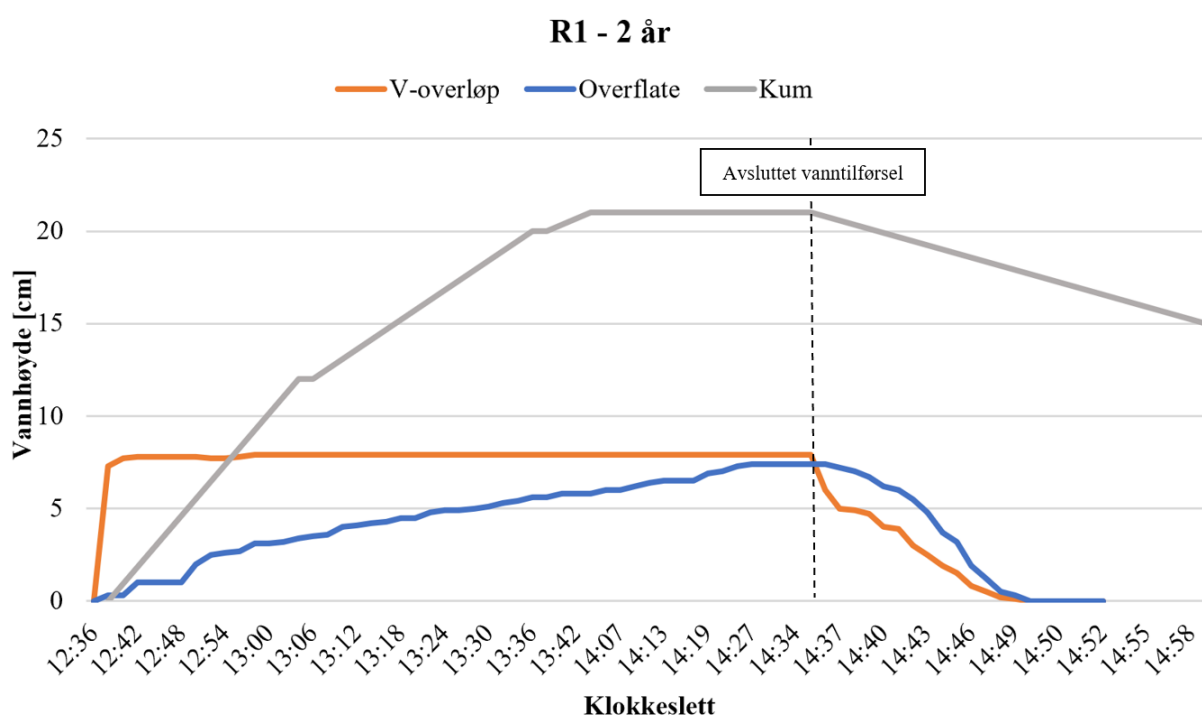
Regnbed 1

Som forventet klarte R1 å håndtere 2 års regnet. Detaljer om forsøket vises i Tabell 3.2 og Figur 3.7. Det var fire målepunkter: i innløp, i drengum og to på jordoverflaten (Figur 2.14). Ettersom det var to målepunkter på overflaten, er det mulig å sammenlikne om infiltrasjonshastigheten var lik i begge punkter.

Basert på målingene gjort på overflaten i regnbedet og nede i kummen, observeres det at vannstanden stabiliserer seg (Figur 3.7). Ved stabil vannoverflate vil tilført mengde vann (2,9 L/s) vise infiltrasjonen i regnbedet – det er oppnådd «steady state» (Zemansky & Van Ness, 1966). Altså vann inn = vann ut.

Vannføringen ut av drenskummen er på ca. 0,1 L/s (Pers.med.: Langeland, 2020), som tilsvarer en veldig liten mengde i forhold til vanntilførselen. Det er dermed usikkerheter knyttet til hvor den resterende vannmengden forsvinner. Store deler av vannmengden infiltrerte sannsynligvis og økte grunnvannstanden (Lindholm, 2014).

I dette forsøket var det variasjoner i infiltrasjonsmålingene på overflaten, selv om det teoretisk burde vært likt fordi jorda var mett. Jordoverflaten kan dermed ha vært skjev eller det kan ha vært ulike infiltrasjonsevner i forskjellige områder på regnbedet, som forårsaket varierende infiltrasjon til ulike tider. Det kan også skyldes målefeil. Gjennomsnittet til infiltrasjonshastigheten i målepunkt 1 (ved drenskum) er beregnet til 31,7 cm/t, og 33,8 cm/t ved målepunkt 2 (ved hjørnet).



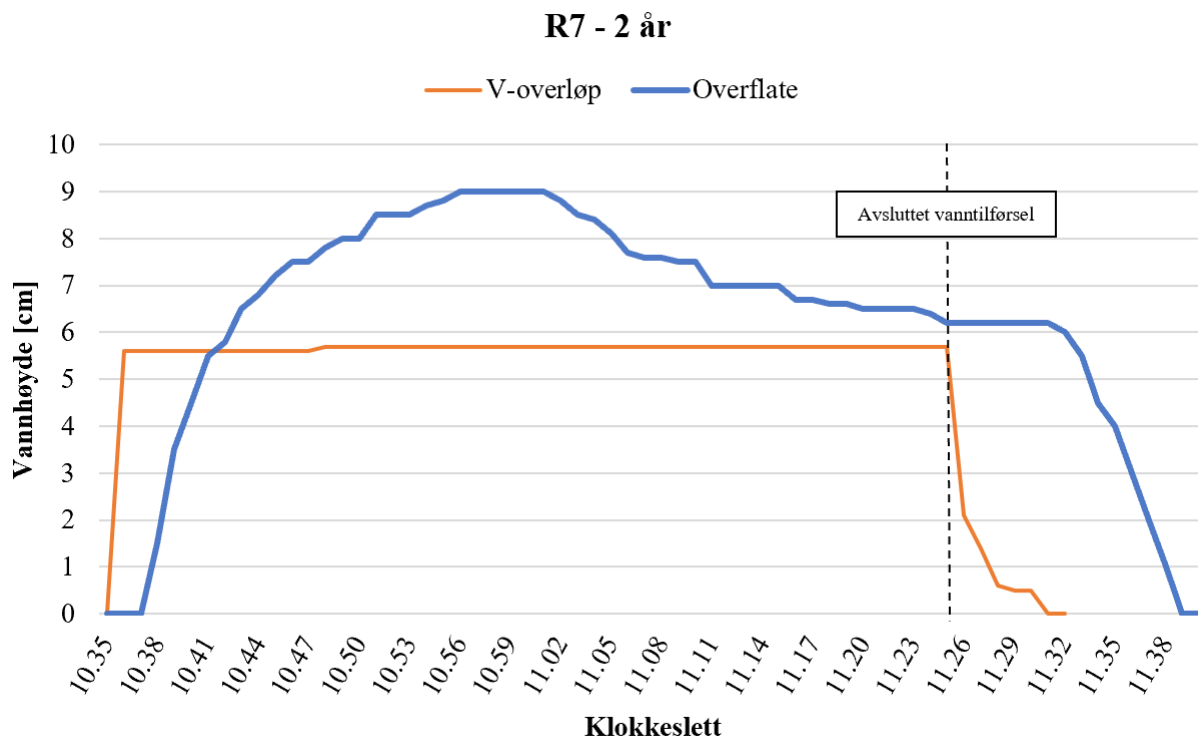
Figur 3.7: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 1 ved 2 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet, basert på kun 1 (ved drenskum) av 2 målpunkter. Til slutt viser Kum endring i vannstand inni drenskummen.

Regnbed 7

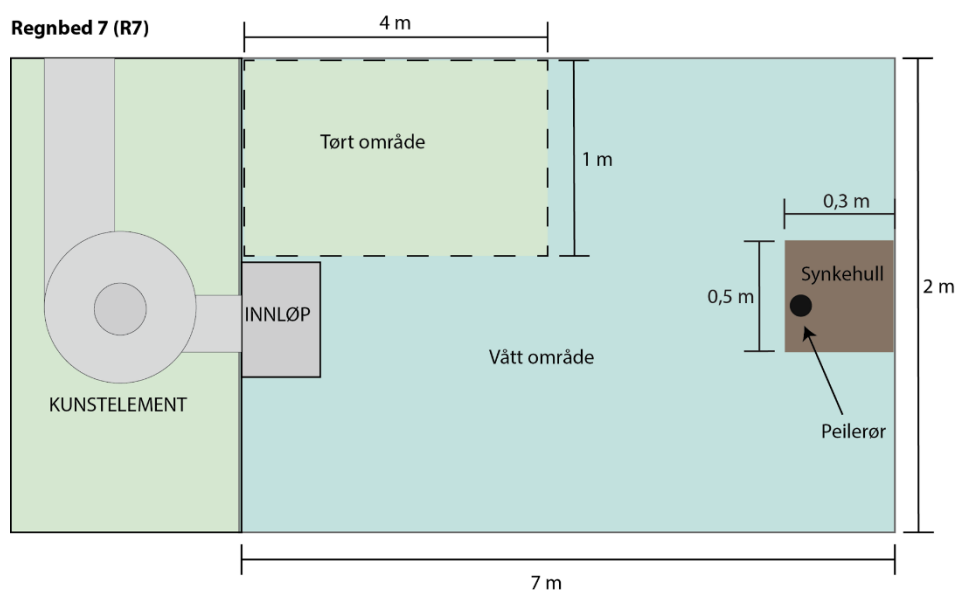
Som forventet klarte R1 å håndtere 2 års regnet. Detaljer om forsøket vises i Tabell 3.2 og Figur 3.8. Det var to målepunkter: i innløp og på jordoverflaten (Figur 2.13).

I forsøket ble det observert at hele regnbedet ikke ble vått. Det var et tydelig tørt område i regnbedet under hele forsøket, som vist i Figur 3.9. Dette er trolig fordi jordoverflaten på regnbedet var anlagt skjevt, slik at vannet ikke fikk fordelt seg på hele overflaten. Det tilgjengelige volumet for infiltrasjon i regnbedet ble derfor ikke benyttet til å håndtere den tilførte vannmengden.

I Figur 3.8 observeres et uvanlig mønster for målingen gjort på overflaten. I tidspunkt 11:01 minker vannhøydene selv om vanntilførselen fortsatte. Disse forstyrrelsene i målingene kan skyldes synkehullet som ble observert under 20 års regnet. Under jordoverflaten ved målepunktet var det et stort luftrom hvor vannet kan ha rent av. Et peilerør var ved synkehullet/luftrommet, og feil anlegning av røret kan ha forårsaket forstyrrelser i jordsammensetningen. Før forstyrrelsene i målingene oppstod, stabiliserte vannet seg ved en høyde på ca. 9 cm. Dette indikerer at regnbedet hadde en større kapasitet enn den tilførte vannføringen på 1,5 L/s. Infiltrasjonen varierte lite i dette forsøket, med en verdi på 60 cm/t. Gjennomsnittsverdien er beregnet til 46,5 cm/t.



Figur 3.8: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 7 ved 2 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet.



Figur 3.9: Viser lokasjonen til det tørre området under 2 års oversvømmelsen i R7. I realiteten var ikke området like kvadratformet, men fortsatte lenger ut langs kanten på regnbedet. Figuren viser også lokasjonen til synkehullet fra 20 års oversvømmelsen. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

3.2.2 20 års regn

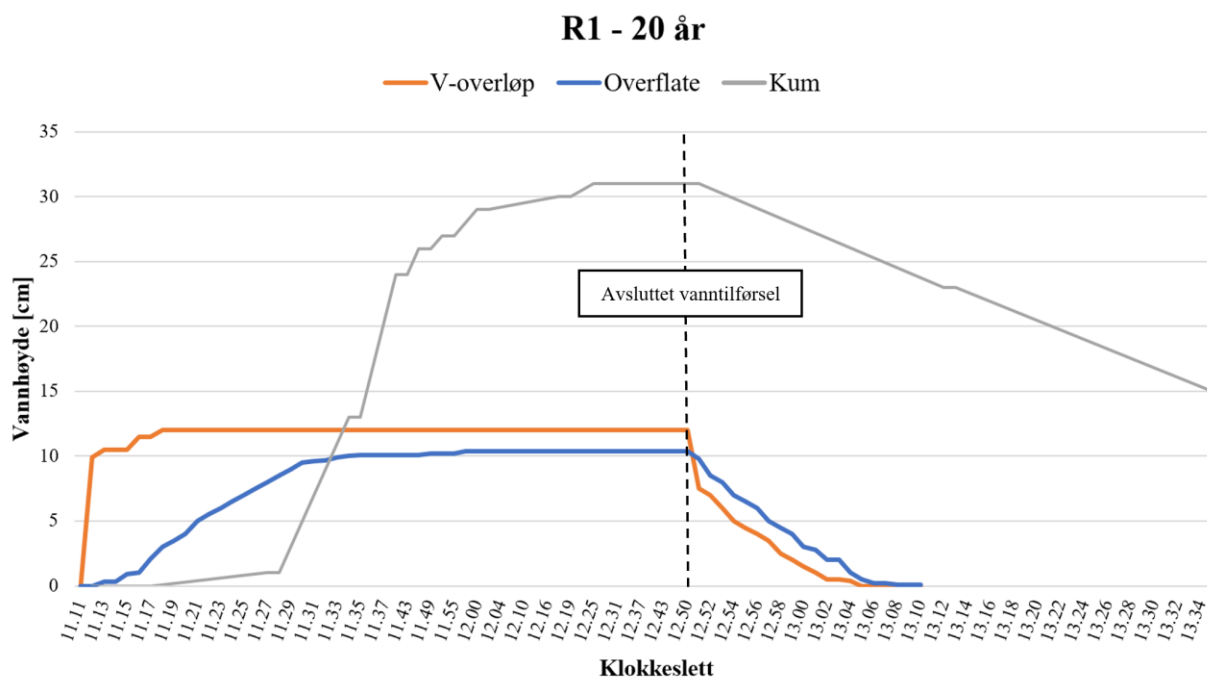
Regnbed 1

R1 klarte å håndtere 20 års regnet, med en varighet på kun 10 minutter. Dette tilsvarer en intens oversvømmelse. Detaljer om forsøket vises i Tabell 3.2 og Figur 3.10.

Vannstanden stabiliserer seg på overflaten ved ca. kl.11:33 (Figur 3.10), ettersom vannet gikk i overløp til de tre rørene som var tilkoblet til infiltrasjonskammere under regnbedet (Figur 2.2). Disse nedløpsrørene bidro i stor grad til å håndtere innstrømmingen av vann. Filtermediets infiltrasjonsevne hadde sannsynligvis ikke klart å håndtere oversvømmelsen i like lang tid som forsøket pågikk. Overløpet til infiltrasjonskammene skjedde 22 minutter etter at oversvømmelsen startet, som er lenger enn varigheten på 10 minutter. Basert på filtermediets infiltrasjonsevne (målt under oversvømmelsen), og en antakelse om prosjektert maksimal vannstand (h_{maks}) på 25 cm, er det beregnet at filtermediet til regnbedet hadde håndtert oversvømmelsen i ca. 16 minutter etter overløpet. Dette indikerer at regnbedet hadde klart å håndtere et 20 års regn selv uten bidrag fra infiltrasjonskammene – filtermediet hadde vært tilstrekkelig.

Vannstanden stabiliserte seg også i drenskummen (Figur 3.10), og i likhet med 2 års regnet, infiltrerte store vannmengder i grunnen.

Infiltrasjonshastigheten er beregnet etter tidspunktet vannet sluttet å gå i overløp til infiltrasjonskammere, slik at filtermediet håndterte vannmengden. Infiltrasjonen varierte, gjennomsnittsberegninger viser 36,0 cm/t ved drenskum og 34,8 cm/t ved hjørnet.

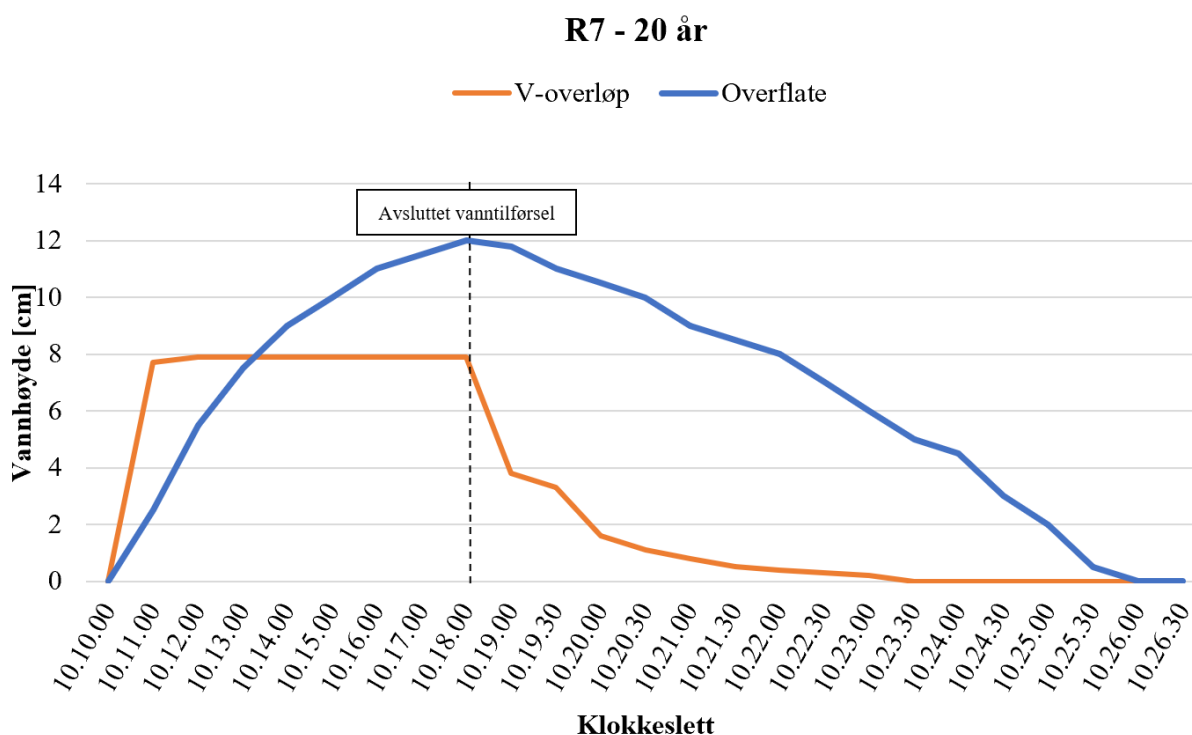


Figur 3.10: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 1 ved 20 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet, basert på kun 1 (ved drenskum) av 2 målpunkter. Til slutt viser Kum endring i vannstand inni drenskummen.

Regnbed 7

R7 klarte ikke å håndtere 20 års regnet, og vannet gikk i overløp etter kun 8 minutter av oversvømmelsen (Figur 3.11). Regnbedet var dimensjonert for å håndtere 20 års regnet i 20 minutter. Grunnet en tydelig skjev jordoverflate, ble vannet ført raskt til motsatt side av innløpet, der hjørne-målingene ble gjort, og rant over til et blomsterbed (Bilde 3.1). Gata ved R7 hadde tilsynelatende lik helning som anlegget. I likhet med 2 års regnet, bestod regnbedet av et tørt område på ca. 1 m² igjennom hele forsøket, og den helhetlige infiltrasjonskapasiteten til regnbedet ble ikke benyttet.

Etter at vanntilførselen ble stoppet, åpnet det seg et synkehull i området der logger «UT2» var plassert. Målingene ble ikke tatt i «UT2» ettersom det var tørt rundt loggeren (Bilde 3.1). Synkehullet var ca. av størrelsen 30 cm x 50 cm, og forårsaket forstyrrelser i målingene ettersom mye vann rant i hullet. Vannstanden sank også raskere ved hjørnet der det ble gjort manuelle målinger, og målt synkehastighet er derfor ikke sammenliknbar med K_{sat} i filtermediet. Gjennomsnittet til synkehastigheten er beregnet til 95,2 cm/t.



Figur 3.11: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 7 ved 20 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet.



Bilde 3.1: Første bildet (venstre) viser hvor vannet gikk i overløp under 20 års oversvømmelsen i R7, fra regnbedkanten til blomsterbedet. Neste bildet viser synkehullet som oppstod under 20 års oversvømmelsestesten i R7, ved logger «UT2» og peilerør. Luftrommet var større under jordoverflaten, som vist i det siste (høyre) bildet.

3.2.3 Samlet vurdering

Begge regnbedene håndterte 2 års-oversvømmelsene problemfritt. Vanntilførselen varte mye enn den tilhørende varigheten på 20 minutter, og regnbedene håndterte dermed lave vannføringer godt. I begge regnbedene stabiliserer vannstanden seg, og vannføringen inn tilsvarer derfor infiltrasjonen i regnbedene (Zemansky & Van Ness, 1966).

20 års-oversvømmelsene ble håndtert meget ulikt av regnbedene. R1 taklet vannføringen problemfritt. Det ble observert at regnbedet hadde klart å håndtere en oversvømmelse tilsvarende et 20 års regn uten bidrag fra infiltrasjonsskamrene. I R7 ble ikke hele filtermedievolumet til regnbedene benyttet til infiltrasjon, grunnet skjev overflate. Resultatene viser at R1 håndterer vannføringer større enn 7,1 L/s, og R7 håndterer en vannføring mellom 1,5 og 2,8 L/s.

Det ble observert variasjoner i infiltrasjonshastighet, selv med mettede filtermedier. Dette kan skyldes målefeil, men også at infiltrasjonen varierte innad i regnbedet slik at vannet strømte forskjellig til ulike områder. Som forventet, er det ikke store forskjeller mellom infiltrasjonshastigheten målt i de to målepunktene i R1, men de små forskjellene kan igjen skyldes målefeil.

En totaloversikt over resultatene fra oversvømmelsene vises i Tabell 3.2.

Tabell 3.2: Viser resultatene fra oversvømmelsene som tilsvarer 2- og 20 års regn. Grønt markerte områder indikerer at vannføringene ble håndtert av regnbedene, og rødt markert indikerer motsatt. Testede vannføringer representerer målingene gjort med «vann-i-bøtte» metoden.

Regnbed	Beregnet			Testet			
	Gjentaksintervall	Varighet	Vannføring	Vannføring	Varighet (vanntilførsel)	Varighet (infiltrasjon)	K _{sat}
R1	2 år	20 min	2,8 L/s	2,9 L/s	118 min	32 min	31 cm/t
	20 år	10 min	7,1 L/s	7,1 L/s	99 min	27 min	35 cm/t
R7	2 år	20 min	1,5 L/s	1,5 L/s	55 min	15 min	47 cm/t
	20 år	20 min	2,8 L/s	3,0 L/s	8 min	19 min	95 cm/t*

*Hastigheten er påvirket av avrenning til synkehull, og tilsvarer ikke K_{sat}.

3.2.4 Usikkerheter

Det var flere usikkerheter knyttet til estimering av høye vannføringer. Det var vanskelig å kalibrere vanntilførselen fra brannvesenet ved bruk av «vann-i-bøtte» metoden på grunn av det høye vanntrykket fra brannslangen. Noe av vannet strømte ut av bøtten under målingene, og det kunne dermed bli målt lavere vannføringer. I tillegg oppstod det overkritisk strømning, selv om det ble benyttet rist for å forhindre dette. Dette, og at overløpet ble dykket til tider, gir feilestimeringer ved bruk av V-overløpet (Chin et al., 2013; Otnes & Ræstad, 1978) (Se kap. 2.2.2).

3.3 Jordprøveanalyser

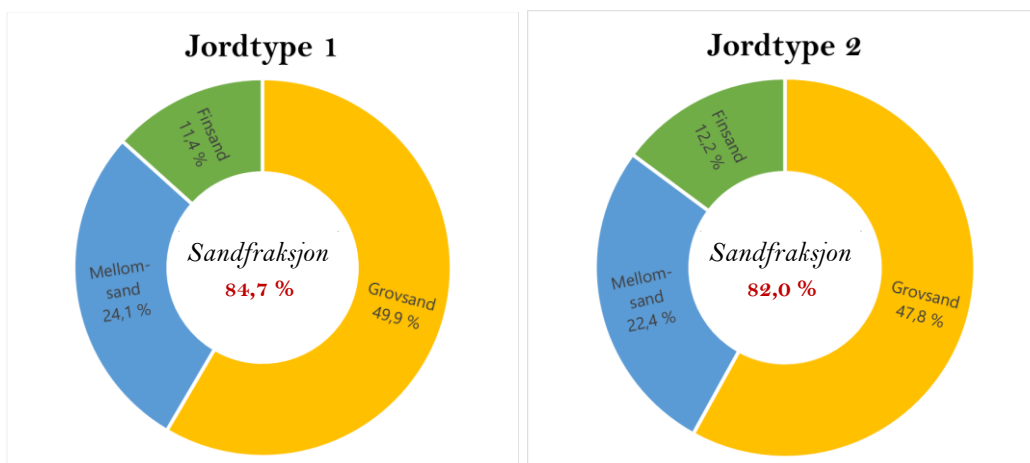
3.3.1 Kornfordeling

Regnbedene har to vekstjordtyper (Tabell 2.3). Alle regnbedene, uavhengig av type, var konstruert til å bestå av 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm) da de ble etablert i 2016. Natursand tilsvarer grovsand fra resultatene, men har litt ulike fraksjonsintervall (0,6 → 0,5 mm). Ifølge dagens kornfordeling (Tabell 3.3) består regnbedene gjennomsnittlig av 48,7 % grovsand. Plantegningen for filtermedium (Figur 2.4) viste at natursanden skulle være lokalisert nederst på regnbedene, slik at filtermediet på overflaten bestod av bare torv og oslokompost. Blandprøvene benyttet i kornfordelingsanalysene er hentet fra jordsmonnet, og ettersom disse består av ca. 50 % natursand, kan filtermediene i regnbedene være anlagt annerledes enn opprinnelig planlagt.

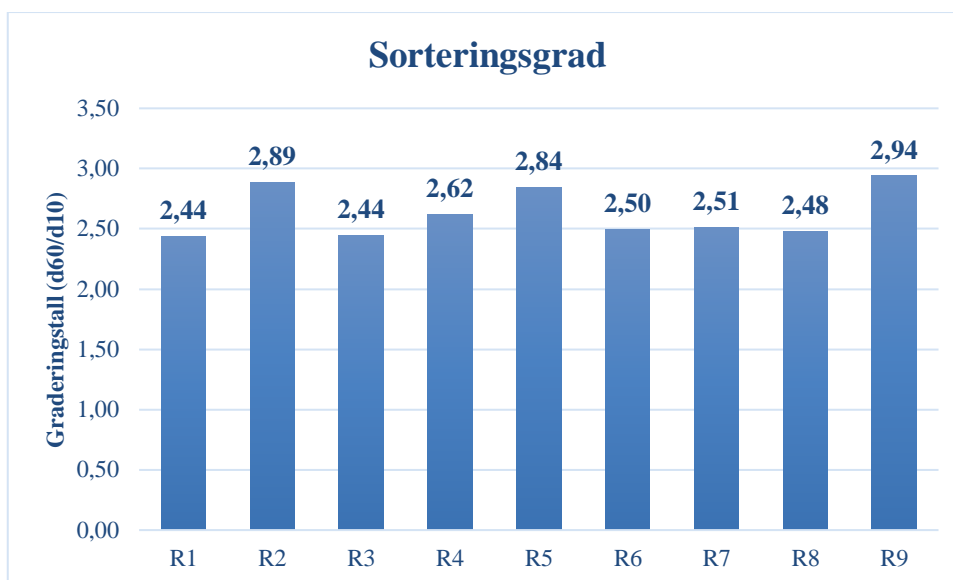
Kornfordelingsresultatene viser at regnbedene inneholdt < 3 % leire og silt (Tabell 3.3). Resterende jord var av sand, stein eller grus. Regnbedene inneholdt hovedsakelig sand (fraksjon 0,063 – 2,0 mm), hvor sandfraksjonen varierer fra 62,8 – 91,8 %. Begge typene bestod gjennomsnittlig av omtrent lik mengde (Figur 3.12) som indikerer god sortering i jorda (Håndbok 016, 2010). Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom (Hanslin et al., 2018; NGU, 2018a). På bakgrunn av kornfordelingsanalysene har regnbedene generelt god infiltrasjon, og filtermediene er forholdsvis like uavhengig av type jordsammensetning. For mer informasjon om resultatene fra jordprøvene i hvert enkelt regnbed, se vedlegg 1 – 9.

Tabell 3.3: Viser resultatene fra kornfordelingen for regnbedene av vekstjordtype 1 (R2, R3, R6, R7) og 2 (R1, R4, R5, R8, R9), og alle 9 regnbed. Resultatene er oppgitt i prosent, hvor fet svart skrift er gjennomsnittsverdier, blå skrift indikerer til minimumsverdier og rød til maksimumsverdier.

Kornfordeling												
	leire + silt (< 0,063 mm)			finsand (0,063-0,25 mm)			mellom-sand (0,25-0,5 mm)			grovsand (0,5-2,0 mm)		
Type 1	0,4 %	0,7 %	1,1 %	6,1 %	11,4 %	16,8 %	15,7 %	24,1 %	28,8 %	39,9 %	49,9 %	56,3 %
Type 2	0,4 %	1,0 %	2,9 %	4,3 %	12,2 %	21,1 %	11,1 %	22,4 %	31,7 %	41,6 %	47,8 %	57,3 %
Alle	0,4 %	0,9 %	2,9 %	4,3 %	11,9 %	21,1 %	11,1 %	23,1 %	31,7 %	39,9 %	48,7 %	57,3 %



Figur 3.12: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, fordelt i type 1 (R2, R3, R6, R7) og type 2 (R1, R4, R5, R8, R9) regnbed. Resultatene vises som gjennomsnittlige verdier. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellom-sand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

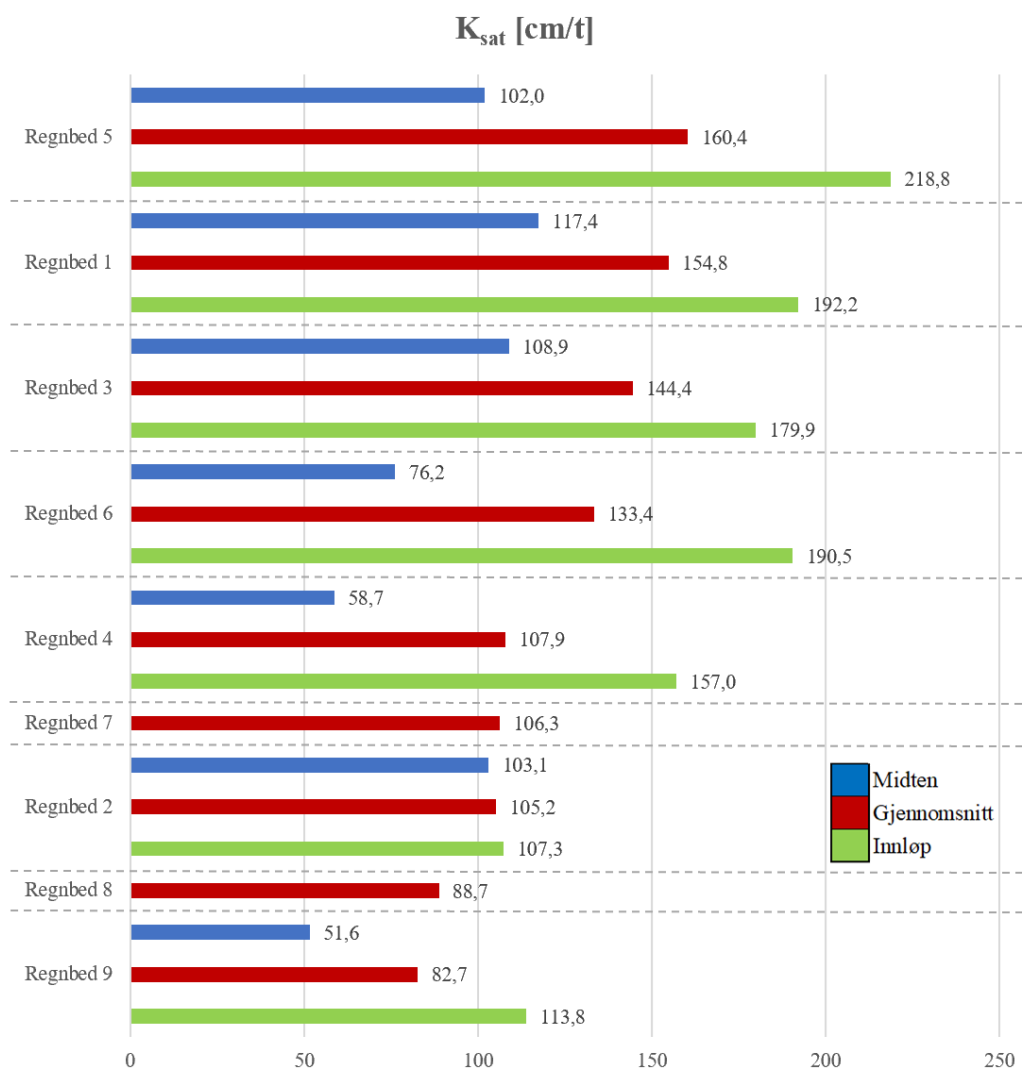


Figur 3.13: Stolpediagrammet viser graderingstall (d60/d10) for alle ni regnbed. Det er beregnet gjennomsnittsverdier, med unntak av R7 og R8 der det kun er tatt én prøve. Resultatene i diagrammet følger synkende verdier som representerer godt sortert materiale.

3.3.2 Mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat})

Beregningene for K_{sat} -verdiene i regnbedene viste store variasjoner i infiltrasjonskapasitet (Figur 3.14). T-test viste ingen statistisk signifikant forskjell mellom K_{sat} i jordtype 1 og 2. Dette kan være fordi kornfordelingsresultatene viser liten forskjell i filtermediene for hver type (Tabell 3.3), og at de derfor er anlagt veldig likt. Resultatene for gjennomsnittlige K_{sat} -verdier i hvert enkelt regnbed vises i Figur 3.14.

Resultatene viser bedre infiltrasjonskapasitet ved innløp i alle regnbed, med unntak av R7 og R8 der det kun ble hentet én felles jordprøve. Årsaken til dette kan være erosjon (Asleson et al., 2009). Dersom vi studerer likningen utnyttet for beregning av K_{sat} (Formel 5), ser vi at økt prosentandel av store kornstørrelser øker K_{sat} -verdien. Selv om innløpskassene reduserer erosjonen, vil noen av sedimentene fortsatt føres til regnbedene. Dermed kan kornene ved innløpene være noe større enn resterende områder i regnbedet, som gir større K_{sat} -verdier.



Figur 3.14: Viser mettet hydraulisk konduktivitet i regnbedene basert på kornfordelingsresultater, beregnet gjennom Formel 5. Grønne søyler viser til resultater fra jordprøver tatt ved innløp, blå søyler viser til resultater fra resterende områder i regnbedet, og røde søyler er gjennomsnittlig K_{sat} for hvert enkelt regnbed. I R7 og R8 er det kun tatt én felles jordprøve, i motsetning til resterende regnbed. Diagrammet viser regnbedene i stigende rekkefølge, basert på gjennomsnittlig K_{sat} .

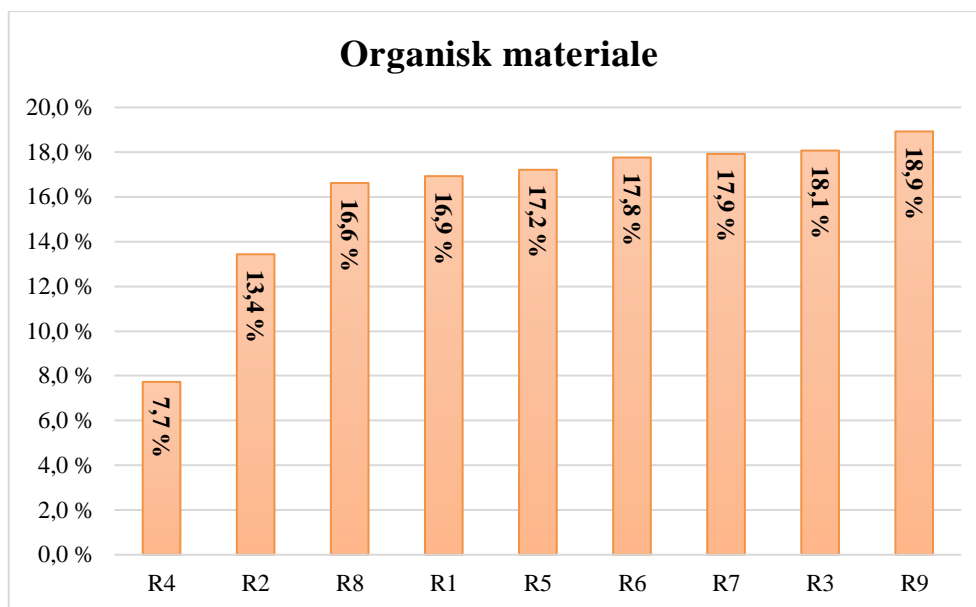
3.3.3 Glødetap

50 % av jorda i regnbedene består av både torv og oslokompost, hvor type 1 inneholder mest oslokompost (30 %) og type 2 inneholder mest torv (35 %) (Tabell 2.3). Torv inneholder store mengder karbon, tilsvarende organisk materiale (SNL, 2019). Oslokompost er laget av hageavfall, som kvernes til mindre partikler og komposteres (Oslo kommune, u. å.). Resultatene fra glødetapet viste gjennomsnittlig 16,0 % innhold av organisk materiale i regnbedene. Dette er et større innhold av organisk materiale sammenliknet med innholdet i hagejord målt på Ekeberg i Oslo (<10 %) (Becker et al., 2016), og skyldes andelen torv og oslokompost. Resultatene viser også at type 1 regnbedene inneholdt gjennomsnittlig mer organisk materiale enn type 2 regnbedene (Tabell 2.3).

Tabell 3.4: Viser resultatene fra glødetapet for regnbedene av vekstjordtype 1 (R2, R3, R6, R7) og type 2 (R1, R4, R5, R8, R9). Resultatene er oppgitt i prosent, hvor blå skrift indikerer til minimumsverdier, rød til maksimumsverdier og fet svart skrift er gjennomsnittsverdier.

	<i>Organisk materiale</i>		
Type 1	16,5 %	16,8 %	19,0 %
Type 2	7,4 %	15,4 %	24,0 %

Infiltrasjonen reduseres med innholdet av organisk materiale ved at vannet hindres i å strømme igjennom porene som er fylt (Paus, 2015) (Figur 1.6). Dermed er det forventet at infiltrasjonshastigheten i regnbedene minker med økende innhold av organisk materiale. I henhold til dette vises resultatene fra glødetapet i Figur 3.15, der regnbedene er rangert fra dårligst til best infiltrasjonsevne basert på mengden organisk materiale.



Figur 3.15: Stolpediagrammet viser resultatene fra glødetapet, oppgitt i vektprosent. Resultatene er gjennomsnittsverdier, med unntak av R7 og R8 der det kun er tatt én prøve. Resultatene i diagrammet følger en synkende mengde organisk materiale.

3.3.4 Usikkerheter

I 7 av 9 regnbed er det hentet to blandprøver. Det observeres store variasjoner i prøvene som er hentet fra samme regnbed. Det kunne dermed ha blitt tatt flere stikkprøver (enn 4 – 6) fra regnbedene, for å gi et bedre estimat på jordblandingen i regnbedene. Ved kornfordelingen var det en feilmargin på ca. $\pm 2\%$ mellom innveid prøve som ble benyttet til analysene, og summen av fraksjonene etter analyseringen. Dette kan skyldes vektmåleren. Feilmarginen har likevel liten påvirkning på sandholdig jord, hvor sandfraksjonen dominerer betydelig (Figur 3.12).

3.4 Sammenlikning av benyttede metoder for infiltrasjonsestimering

Det er estimert K_{sat} for regnbedene ved hjelp av tre metoder. For å studere sammenhengen mellom disse, er resultatene vist i Tabell 3.5. Sammenlikningen av MPD- mot oversvømmelsesresultater utføres i kommende kapittel (se kap. 3.4.1).

Kornfordelingsresultatene viser betydelig større K_{sat} enn MPD- og oversvømmelsesresultatene. Dette kan være fordi den benyttede empiriske metoden (Formel 5) baserer seg på kornfordelingsdata, og utelukker dermed andre faktorer som kan påvirke infiltrasjonen i stor grad. Kornstørrelsene i regnbedene var desidert store ettersom regnbedet inneholdt mye sand, og derav grovsand. Dette gir en økning i K_{sat} i henhold til Formel 5. Den realistiske infiltrasjonsraten var sannsynligvis mindre på grunn av ulike faktorer som for eksempel at filtermediet inneholdt mye organisk materiale, som påvirker infiltrasjonen negativt (Paus, 2015). Beregning av infiltrasjonshastighet gjennom kornfordelingsdata kan dermed gi store avvik fra det som er målt med infiltrasjonstester.

Glødetapsanalysene (Figur 3.15) viser at det generelt er lik mengde organisk materiale i alle regnbed, med unntak av R4, som har et lavere innhold. Dette stemmer overens med MPD-målingene, ettersom R4 har størst K_{sat} .

Tabell 3.5: K_{sat} -resultater fra MPD-målinger, Oversvømmelsesmålinger og kornfordelingsanalyser.

Regnbed	K_{sat} [cm/t]		
	MPD	Kornfordeling	Oversvømmelse
R1	24,0	154,8	34,1
R2	24,0	105,2	-
R3	21,6	144,4	-
R4	60,0	107,9	-
R5	36,0	160,4	-
R6	48,0	133,4	-
R7	48,0	106,3	47,1
R8	24,0	88,7	-
R9	48,0	82,7	-

3.4.1 Evaluering av MPD-infiltrometeret

MPD-infiltrometeret estimerer infiltrasjonsevnen til grunnen, og gjennom oversvømmelsene er det mulig å evaluere instrumentet for infiltrasjonsmåling i regnbed. Metodene er meget forskjellige: MPD-instrumentet måler infiltrasjonshastigheten i punkter på filtermediet av størrelsen på en sirkel med diameter 10 cm, og gjennomsnittet/medianen av disse målingene gjengir infiltrasjonskapasiteten til regnbedene. Oversvømmelsen derimot, måler synkehastigheten i regnbedet som en helhet, for å vurdere infiltrasjonskapasiteten til filtermediet.

Vannføringen ut av regnbedene som ble oversvømt påvirkes av flere faktorer enn kun infiltrasjonsevnen til filtermediet, som for eksempel vannstrømningen som renner direkte gjennom peilerør. Det er derfor mulig at infiltrasjonshastigheten målt ved oversvømmelser er noe større enn K_{sat} -verdiene fra MPD-målingene.

Selv om hele overflatearealet til R7 ikke ble benyttet til infiltrasjon ved oversvømmelse, blir det antatt at resultatene fra de ulike metodene er sammenliknbare. Dette fordi det ikke ble foretatt MPD-målinger i det tørre området under oversvømmelsen (Figur 2.8). Oversvømmelsesresultatene er 10 cm/t større i R1 og 1 cm/t mindre i R7, sammenliknet med MPD (Tabell 3.5). R1 inneholder flere elementer enn R7 som kan ha påvirket infiltrasjonen, som for eksempel drengskummen, og vannet kan ha rent raskere langt kanten på elementet. Forskjellen kan derfor være noe større. Infiltrasjonskapasiteten til R7 er for det meste avhengig av filtermediet ettersom det er et tradisjonelt regnbed, som forklarer likheten mellom MPD- og oversvømmelsesresultatene. På bakgrunn av observasjonene fungerer MPD-infiltrometeret optimalt med hensyn til infiltrasjonstesting i regnbed.

Det er utført mange MPD-målinger i regnbedene i Deichmans gate, og dette er nødvendig for slike offentlige regnbed som påvirkes av mange ytre faktorer som gir slitasje (se kap. 3.5.1). Infiltrasjonen varierer også grunnet faktorer som økt porevolum gjennom rotutvikling fra vegetasjon og meitemark (Grønlund, 1992). Det er dermed vanskelig å vurdere eksakt hvor mange MPD-målinger som er nødvendig for å få best estimat på infiltrasjonskapasiteten i regnbed. Noen regnbed har stor variasjon som R9, og andre har lite variasjon som R2 (Figur 3.2). I R1 og R3 er det gjort henholdsvis like mange målinger i sammenheng med overflatearealet, og likevel er variasjonen ulik (Figur 3.2). I mindre tilgjengelige regnbed, som private regnbed i hageområder, er ikke slitajen fra ytre faktorer like stor. Det er derfor sannsynlig at infiltrasjonen varierer mindre, og like mange målinger vil ikke være nødvendig.

Antall målinger avhenger av størrelsen på regnbedet og praktiske begrensninger. Det er hensiktsmessig med flere målinger i større regnbed siden variasjonen i K_{sat} kan være stor. I regnbed med mye vegetasjon vil det være vanskelig med flere målinger i praksis. Det anbefales da å prioritere målinger i områder som for eksempel ved innløp, der infiltrasjonen kan være forskjellig fra resterende overflateareal grunnet erosjonsskader (Paus & Braskerud, 2013). Regnbedene i Deichmans gate bestod av flere elementer som peilerør og drengskum, og det kan derfor være hensiktsmessig med MPD-målinger nær disse elementene for å se om infiltrasjonen differensierer deg ved disse. Basert på egne erfaringer anbefaler jeg at det bør fortas ca. 1 måling per 3 kvadratmeter (1 MPD / 3 m²). Anbefalingen forsterkes grunnet likheter mellom MPD- og oversvømmelsesresultater, men er likevel konservativ. Det er flere overnevnte faktorer som vil påvirke hva som er mulig i praksis.

I regnbedene i Deichmans gate var det mulig å gjennomføre flere målinger samtidig ettersom MPD-rørene ikke hadde for stor avstand mellom hverandre til avlesning. Erfaringsmessig var det derfor mulig med opptil tre MPD-målinger samtidig, per person. MPD-infiltrometeret er brukervennlig i regnbed, som ikke har for store overflatearealer i forhold til for eksempel parkområder, ved at det kan fortas flere målinger til samme tid.

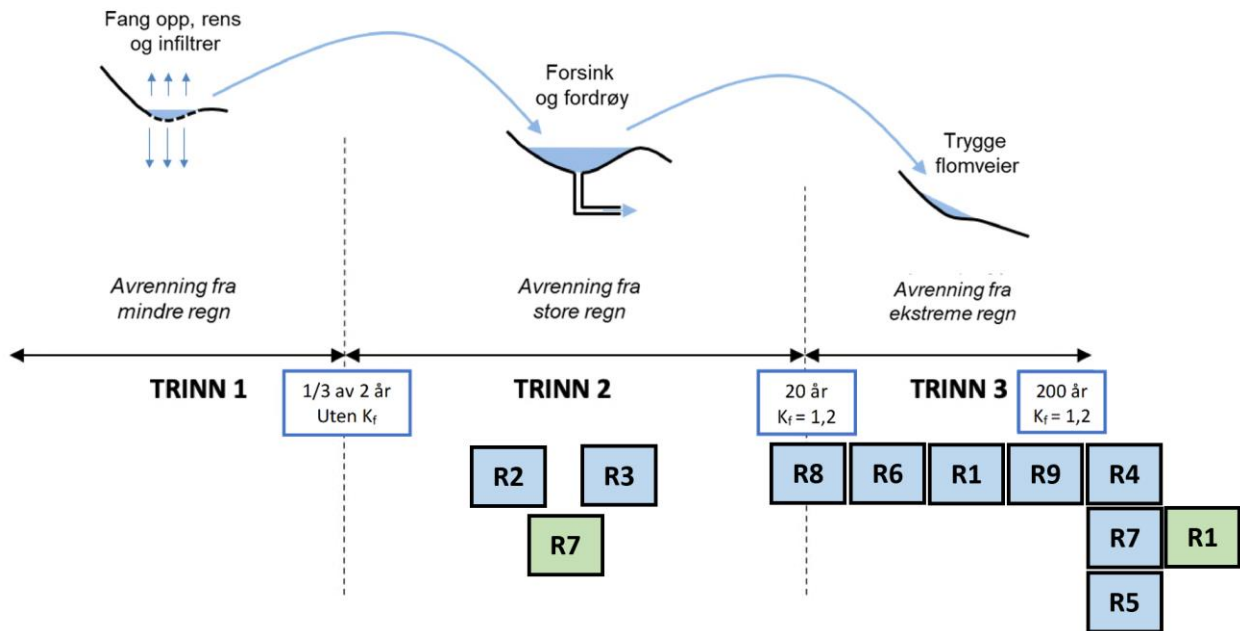
For infiltrasjonsmålinger utført med MPD-infiltrometeret, er det benyttet en korreksjonsfaktor basert på jordsammensetningen i filtermediet, fremfor den tradisjonelle metoden med vannfuktighetsmålinger (Nesting, 2007). Det ble benyttet en korreksjonsfaktor på 0,8 fordi regnbedet bestod av sandholdig jord (Solheim, 2017). Ettersom alle filtermediene inneholdt svært lik jordsammensetning, er det fornuftig med bruk av lik korreksjonsfaktor for de gjennomførte beregningene av K_{sat} . Allikevel er det usikkerheter knyttet til om korreksjonsfaktoren kunne ha vært større eller mindre i forhold til målingene gjort spesifikt i regnbedene i Deichmans gate. Oversvømmelsesresultatene viser imidlertid at MPD-målingene ga tilstrekkelig nøyaktige infiltrasjonsestimeringer, og dermed forsterkes antakelsen om en korreksjonsfaktor på 0,8.

3.4.2 Dimensjonering av regnbed

Formel 6 kan benyttes til å estimere hvilke gjentakintervaller regnbedene teoretisk er dimensjonert for, basert på K_{sat} (Paus & Braskerud, 2013). Det er beregnet tilhørende gjentakintervall til hvert enkelt regnbed, ved bruk av MPD-resultater og antakelser for nedbørsfelt, avrenningskoeffisienter og andre parametere benyttet under planleggingsfasen. Varigheten er satt til 10 minutter. Ved bruk av likningen benyttes prosjekterte verdier for maksimal vannstand (h_{maks}) (Tabell 2.2), ettersom de faktiske høydene ikke ble målt. Regnbedene er erfaringsmessig anlagt annerledes (se kap. 3.2), og dermed vil denne variabelen gi feilkilder i beregningene. Resultatene vises i Figur 3.16 som blå figurer.

Oversvømmelsene viste de realistiske kapasitetene til R1 og R7, og basert på resultatene i kap. 3.2 er det vurdert hvilke gjentakintervall regnbedene egentlig klarte å håndtere. Resultatene vises i Figur 3.16 som grønne figurer.

Beregningen gjort gjennom Formel 6 viser at 6 av 9 regnbed er overdimensjonert i henhold til kommunens krav om håndtering av et 20 års regn med klimafaktor på 1,2. R8 tilfredsstiller kravet, mens R2 og R3 er underdimensjonerte. Oversvømmelsesresultatene viser at R7 ikke håndterte et 20 års regn grunnet skjev overflate på filtermediet som begrenset kapasiteten, og at R1 håndterte langt over et 20 års regn. Observasjonene fra oversvømmelsene viser en økt kapasitet til overvannshåndtering i R1, grunnet overløpene til infiltrasjonskamrene. Dermed vil R2, av samme konstruksjonsløsning, mest sannsynlig håndtere større overvannsmengder selv om det fremstilles til å være underdimensjonert.



Figur 3.16: Dimensjonerende gjentakintervall som regnbedene håndterer med hensyn til deres nedbørsfelt, overflateareal, maksimale vannstand (h_{maks}) og målte K_{sat} . Regnbedene er plassert i typiske grenser for tretrinnsstrategien: trinn 1 tilsvarer en tredjedel av 2 års regnet uten klimafaktor (K_f), trinn 2 tilsvarer 20 års regnet med K_f og trinn 3 representerer 200 års regnet med K_f (Paus, 2018). Blå figurer viser MPD-resultater, og grønne figurer viser oversvømmelsesresultater. Figuren er hentet og modifisert fra Paus (2018).

Ved bruk av Formel 6 er det også beregnet dimensjonerende overflateareal for hvert enkelt regnbed, som vises i Tabell 3.6. Resultatene viser at R2 er meget underdimensjonert, men som tidligere diskutert, vil dette være fornuftig ettersom infiltrasjonskammerne øker kapasiteten til å håndtere overvannsmengder. Totalsummen til konstruerte overflatearealer ($A_{overflate}$) og summen til dimensjonerte overflatearealer (A_{dim}) er omtrent like store.

Tabell 3.6: Dimensjonering av regnbed (A_{dim}) ved bruk av Formel 6, sammenliknet mot virkelige overflatearealer ($A_{overflate}$). Det er benyttet klimafaktor (K_f) = 1,2 og varighet (t_r) = 10 min i beregningene. Tabellen viser verdier for arealene på nedbørsfeltene (A_{felt}), avrenningskoeffisienter (c) og maksimal vannstand på overflaten (h_{maks}).

Regnbed	A_{felt} [m ²]	c	h_{maks} [cm]	K_{sat} [cm/t]	$A_{overflate}$ [m ²]	A_{dim} [m ²]
R1	504	0,47	25	24	27	19
R2	1773	0,72	35	24	54	86
R3	505	0,66	25	21,6	25	29
R4	193	0,67	25	60	10	8
R5	191	0,69	25	36	20	9
R6	291	0,69	25	48	14	11
R7	161	0,78	25	48	14	7
R8	143	0,7	25	24	8	8
R9	466	0,62	25	48	23	16
Sum	4227	-	-	-	195	193

3.5 Drift og vedlikehold

De første årene etter anlegning av regnbed er det viktig at vegetasjonen får etablert seg og dekker overflaten. Vegetasjonen bør tåle både våte og tørre forhold, og dermed være lite skjøtselskrevende. Vanning kan likevel være nødvendig i etableringsfasen og ved tørre forhold. Ifølge amerikanske design-manualer vil gjødsling være unødvendig ettersom overvann inneholder nok med næringsstoffer, men det vil være avhengig av type nedbørfelt. Takvann, for eksempel, er næringsfattig. Det er også viktig å fjerne ugress. Generelt kan vedlikeholdsbehovet til regnbed sammenliknes med behovene til parkområder (Paus & Braskerud, 2013):

1. Vanning i tørre perioder
2. Ugressbekjempelse
3. Gjødsling ved behov

Vedlikeholdsbehovet for regnbed reduseres med tiden når vegetasjonen er godt etablert, fordi det vil være mindre ugress i regnbedene (Paus & Braskerud, 2013). Regnbedene i Deichmans gate har nå vært etablert i over 3 år. Vegetasjonen har klart å etablere seg flere steder, med unntak av områder med mye mekanisk aktivitet, og behov for vedlikehold av tiltakene forventes å bli mindre med tiden.

3.5.1 Informasjon fra Braathen Landskapsentreprenør AS

Braathen Landskapsentreprenør AS (BL) har hatt ansvar for vedlikehold av regnbedene i tre år etter etableringen, fra perioden høst 2016 til høst 2019. Skjøtselsperioden varte fra april/mai til september/oktober hvert år, ifølge kontrakten. Skjøtselsansvarlig, gartner Gerd Minde, ble kontaktet og delte sine interne rapporter om regnbedene fra perioden april 2017 til august 2019, samt bilder fra etableringsfasen høsten 2016 til juni 2019. Videre vil regnbedenes vedlikeholdssituasjon og -utfordringer presenteres ved å trekke frem nøkkelpunkter fra rapportene, samt personlige meddelelser fra Gerd. I denne studien fokuseres det ikke på hvilke plantearter som er/bør være i regnbedene.

Loggføring

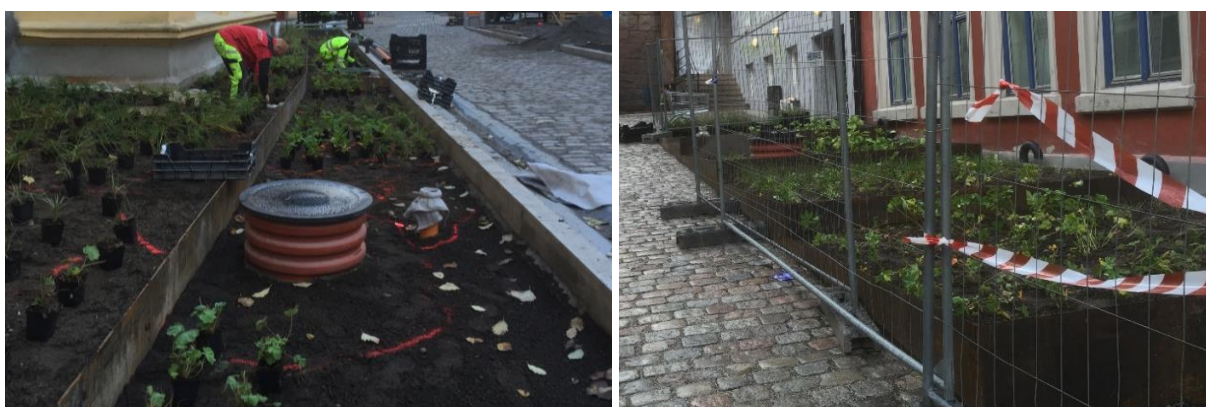
Ni regnbed av ulike størrelser i en folksom gate har hatt store skjøtselsbehov, og det er registrert hvor ofte, i form av antall uker, BL har besøkt Deichmans gate. Se vedlegg 14 for loggerdata. Gerd ønsket ikke å gjengi hvor mange timer som ble benyttet.

Loggerdata viser at det er benyttet mest tid på luking. Gerd mente at det generelt har vært behov for luking hver 3. uke, gjerne i løpet av 2 arbeidsdager og med 1 – 2 medarbeidere. Det var typisk for staudebed, og det var ingen forskjell på skjøtsel i blomsterbed opp mot i regnbedene. Skjøtselen er mest krevende i vårperioden når det må «ryddes opp» etter en kald og lang vinterperiode. Det ble brukt flere arbeidsdager på å rengjøre regnbedene, ved for eksempel å plukke ut løv fra bedene. Sommer- og høstperioden har vært mindre krevende. I regnbed er det forventet at gjødsling kun er nødvendig ved behov (Paus & Braskerud, 2013), men i Deichmans gate er det gjødslet hvert år i begynnelsen av skjøtselsperioden. Gerd påpeker til slutt at vedlikeholdssituasjonen i Deichmans gate har vært utfordrende. Med tanke på at regnbedene/blomsterbedene dekker store arealer av gata, krevde det gjerne flere arbeidsdager og mer arbeidskraft for å få utført nok vedlikeholdstiltak i gata (Pers.med.: Minde, 2020).

Skjøtsel i Deichmans gate

For å vise skjøtselen i Deichmans gate, presenteres innholdet fra rapportene i en kronologisk rekkefølge basert på årstall.

Under etableringsfasen (Bilde 3.2) av regnbedene opplevde plantene noen utfordringer. Regnbedene ble gjødslet og plantet sent høsten 2016, og opplevde to snøfall og flere netter med minusgrader like etter. Det ble oppdaget at noen planter hadde utgått på grunn av tråkk i regnbedene. Anleggene var ikke preget av ugress, men derimot av hundebæs i alle regnbed. I staudebed er det ikke ønskelig med avføring og urinering. Hundeeierne tråkket i regnbedene for å plukke opp avføring fra hundene, og dette resulterte til hardtrampet jord. Skjøtsel av innløpskassene og kunstelementene inngikk ikke i kontrakten til BL, men det ble oppdaget at de hadde et stort behov for vedlikehold (Bilde 3.3). De var fulle av løv og sedimenter som skjemet det estetiske aspektet til anleggene (Minde, 2017).



Bilde 3.2: Etableringsfasen til regnbedene i Deichmans gate i høsten 2016 (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).



Bilde 3.3: Løv, sedimenter og søppel i innløpskasser og kunstelementer i april/mai 2017 (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).

I 2018 opplevde regnbedene drastiske endringer i værforholdene; fra en lang, kald og hard vinter med tele i bakken, til tørke om sommeren med temperaturer over 20°C. De fleste plantene hadde likevel overlevd vinterforholdene, med unntak av noen som hadde utgått grunnet mekanisk slitasje. Det ble observert flere parkerte biler i bedene, selv etter at snøen hadde smeltet. Det var størst slitasje i hjørnene av regnbedene, trolig fordi brukerne benyttet bedene som snarveier. Kantene var preget av grus og strøing, som sannsynligvis skyldes snøhauger i bedene etter brøyting. En asfaltarbeider valgte å legge gatesteinen han tok opp i et av regnbedene (Bilde 3.4) (Minde, 2018a).



Bilde 3.4: Regnbedene i april 2017, hvor biler hadde vært og fortsatt var parkert i regnbedene. I slutten av mai var det lagt gatesteiner i et av regnbedene (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).

Sommeren 2018 var preget av ekstremvarme og knapt med nedbør. Veksten til plantene stoppet derfor noe opp i midten av sommeren. Det ble derfor tilkjørt med vann, men tørken gjorde det vanskelig for plantene å ta opp gjødsel. På sensommeren oppstod det god vekst igjen ettersom det var et værskifte med normal sommertemperatur og noen regnhendelser (Bilde 3.5). Den lange sommeren førte til stor ferdsel i bedene, både på natt- og dagtid. Slitasjen var dermed stor. Det ble oppdaget at vannavløpene (drenskummene) sårt trengte en rengjøring, men dette inngikk ikke i avtalen til BL. Ellers opplevde regnbedene tidligere utfordringer som tråkk og at de benyttes som hundetoalett (Minde, 2018b).



Bilde 3.5: God vekst i sensommer og høsten 2018 etter at tørkeperioden var over (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).

I mars/april 2019 var det lite vekst i regnbedene, hvor planteveksten hadde kommet så vidt i gang i starten av mai. I midten av måneden ble utgatte planter erstattet. Regnbedene hadde slitasje langs kjøreveien som forventet grunnet gang- og biltrafikk, samt snøbrøyting, fra vinterperioden. Den største utfordringen er fortsatt hundeeiere; det ble funnet titalls ekskrementer i alle regnbedene. Eller bemerkes det at bedene benyttes som en oppbevaringsplass. Det ble observert en container som var plassert i bedet (Bilde 3.6). I motsetningen til tørken i 2018, var sommeren i 2019 mild med flere regnskyll. Veksten var god selv under den store sommervarmen. Det var flere ekstremnedbør der det er registrert vannansamling i regnbedene, men vegetasjonen tålte dette godt. Den gode veksten gjaldt også for ugress, og det ble benyttet god tid til luking av ugresset (Minde, 2019a).



Bilde 3.6: Regnbedene benyttes som oppbevaringsplass. I mai 2018 observeres en container plassert i et av bedene (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).

I august 2019, nesten tre år etter at de første artene ble plantet i regnbedene, var veksten god og det så ut som de fleste arter var godt etablert (Bilde 3.7). Likevel vil regnbedene oppleve skjøtselsbehov grunnet ytre faktorer som nevnt over. I tillegg har regnbedene opplevd ganske ulike sesonger, som vist i Figur 3.17. Selv under slike forhold har artene klart å etablere seg, med unntak av at det fortsatt var behov for erstatning av utgåtte planter (Minde, 2019b). De største utfordringene regnbedene har stått ovenfor siden etableringen er:

- Regnbedene ble benyttet som hundetoalett – funnet flere hundeeskrementer.
- Grunnet mye ferdsel av folk var regnbedene veldig utsatt for tråkk.
- Anleggene ble benyttet som parkeringsplass om vinteren.
- Om vinteren ble det plassert store snøhauger i bedene fra brøyting – mye grus og strøing.
- Bedene ble brukt som oppbevaringsplass.
- Estetikken til regnbedene ble påvirket av møkk og søppel i infiltrasjonskammere, drenskummer og kunstelementer, som ikke inngikk i skjøtselsavtalen til BL.



Bilde 3.7: Etablerte plantearter i august 2019 (Foto: Gerd Minde, Braathen Landskapsentreprenør AS).



Figur 3.17: Viser de ulike sesongene regnbedene har gjennomgått fra etablering høsten 2016 til august 2019, altså tre år etter (Minde, 2019a).

Forslag til tiltak

I sammenheng med påpekte skjøtselsbehov har gartner Gerd Minde utarbeidet forslag til tiltak (Minde, 2018b):

- *Skilting* med oppfordring til å ikke slippe hundene ut i bedene – toalettbesøk gjøres utenfor bedene.
- Henge opp hundeposer.
- Erstatte utgåtte planter og løk.
- Sette opp *stikker/gjerde* for å henvise både folk og brøytesjåfører rundt bedene. Dette er særlig viktig om vinteren og tidlig vår.

3.5.2 Spørreundersøkelser

29 brukere svarte på spørreundersøkelsen for forbipasserende, mens 36 av 96 brukere (37,5 %) svarte på spørreundersøkelsen for beboere. Undersøkelsene inneholdt ikke spørsmål direkte relatert til drift og vedlikehold. Fokuset lå heller i å få et objektivt perspektiv om regnbedene, og brukernes kjennskap til tiltaket. Vedlikeholdstiltak vil bli foreslått i bakgrunn av denne informasjonen. Se vedlegg 13.

I brukerundersøkelsen for forbipasserende ble elementer i gata rangert. Elementene bestod av steinkuler, benker, stier (i bedene), sykkelstativ, grus under trær, vannskulpturer, vei (av brostein) og regnbed. 76 % rangerte regnbedene som nr. 1, og dette henviser at de kan ha oppfattet regnbedene som fine tiltak. Når tiltaket ble forklart i dybden, svarte 63 % at de i stor grad ønsket liknende tiltak i gatene. Brukere som går i gata kan dermed ha oppfattet regnbedene som estetiske og flerfunksjonelle tiltak.

Brukerundersøkelsen for beboerne var mye mer omfattende, og stilte direkte spørsmål angående anleggene. 80,5 % svarte at de var tilfreds/svært tilfreds med regnbedene, og 94,5 % svarte at de er enige/helt enige i at regnbed er et viktig tiltak. Beboerne ble også spurt om å dele sine positive eller negative tanker om regnbedene, der de fleste var positive til tiltaket dersom de fungerte som det skulle. To beboere nevnte blant annet at de hadde opplevd kjelleroversvømmelser. Én beboer kommenterte at bedene trengte bedre stell, og én annen beboer klagde på at cortenstålet rundt bedene ofte ble tagget på, som gjorde at de ikke så like «freshe» ut lenger. Én siste beboer

kommenterte at hundene benyttet bedene som toalett og ødela dem. Fåttallet (16,7 %) mente de følte ubehag ved at regnbedene benyttes som pissoar. Det var ulike meninger om regnbedene, men de fleste var tilfreds med unntak av at anleggene hadde noen skjøtselsbehov.

I spørreundersøkelsene ga respondentene et helhetlig inntrykk av at de var opptatte av tiltaket fordi de var estetisk fine og fungerte som de skulle. Vedlikehold antas dermed til å være essensiell for at respondentene fortsatt skal kunne være tilfredsstilt med regnbedene til enhver tid.

3.5.3 Vedlikeholdsbehov i urbane regnbed

Det er store forskjeller mellom vedlikeholdsbehovene for regnbed i private områder som takarealer og hager, og regnbed i offentlige områder som gater og parkeringsplasser. Urbane regnbed, med regnbedene i Deichmans gate som referanse, vil oppleve flere uforutsette utfordringer som bilparkeringer og hundeeskrementer. For private regnbed derimot, vil det være lettere å forutsi den mekaniske aktiviteten rundt anleggene ettersom tiltaket har færre brukere. Disse brukerne har trolig også egeninteresse i å holde regnbedene fine, og kan i den grunn ta vare på anleggene slik at de krever mindre vedlikehold. Skjøtselsbehovet vil derfor være mye større og varierende for offentlige, urbane regnbed i forhold til private regnbed.

Offentlige regnbed er tilgjengelige for en stor brukergruppe, og skjøtselstiltakene på regnbedene vil påvirke deres oppfatning av anleggene. Brukerundersøkelsene viser at brukerne er opptatt av både estetikken og funksjonen til regnbedene. Med hensyn til brukerne, kan det dermed konkluderes med at både drift og vedlikehold er viktig for urbane regnbed.

Under etableringsfasen vil regnbedene være avhengig av regelmessig skjøtsel for at artene skal kunne klare å etablere seg i bedene (Paus & Braskerud, 2013). Dette vil spesielt gjelde urbane regnbed ettersom artene vil oppleve stor mekanisk slitasje i tillegg til naturlige utfordringer som ugress, tørke og ekstremvær. Skjøtselen er dermed essensiell etter anlegning av regnbed i urbane strøk.

Basert på skjøtselserfaringer fra regnbedene i Deichmans gate, påpeker BL at innløpskassene og drenskummene i regnbedene, samt kunstelementene ved anleggene, hadde et stort behov for vedlikehold (Minde, 2017; Minde, 2018b). Dette inngikk ikke i avtalen deres, og det ble derfor ikke gjennomført rengjøring av disse elementene. Estetikken til regnbedene ble påvirket i stor grad. Denne delen av skjøtselsbehovene bør ha vært gjennomtenkt i planleggingsfasen, og det er et forbedringspotensiale for skjøtselen av regnbedene Deichmans gate. I tillegg opplevde regnbedene, som tidligere nevnt, flere utfordringer som at de ble benyttet som hundetoalett, parkeringsplasser og til oppbevaring av tunge gjenstander. Slike uforutsigbare skjøtselsbehov, som ikke er hensyntatt i planleggingsfasen, kan oppstå for regnbed generelt, og spesielt for urbane regnbed.

3.6 Forbedringsforslag

Basert på funnene i forgående kapitler er det utarbeidet noen forbedringsforslag til regnbed-konseptet, og for regnbed i urbane strøk som Deichmans gate.

Resultatene fra oversvømmelsene viser at helningen på jordoverflaten på regnbedet påvirker den helhetlige infiltrasjonen i anlegget i stor grad, med R7 som referanse. Når overflaten er skjev og ujevn, er det stor sannsynlighet for at det tilgjengelige volumet i filtermediet ikke blir benyttet til infiltrasjon. Regnbedene vil i tillegg miste noe av sin funksjon i sammenheng med fordrøyning og rensing av overvann (Lindholm, 2014). Årsaken til skjev jordoverflate kan være feil anlegning, og bør kontrolleres av ingeniørene som har konstruert anleggene. I kap. 3.5.1 påpekes det om stor mekanisk slitasje i regnbedene i form av tråkk og oppbevaring av tunge gjenstander i bedene. Slike faktorer vil også påvirke helningen til filtermediet. Det er ikke forventet at filtermediet skal være helt flatt og jevnt, ettersom løsmasser i filtermediet kan «sette seg» ujevnt. Overflater kan imidlertid jevnes ut ved behov, selv om mange planter kan gå tapt eller må plantes på nytt. Store ujevnheter som i R7, der det var en klar høydeforskjell mellom innløpsområdet og området ved motsatt side av regnbedet, kan dermed unngås. Slike tiltak bør hensyntas i skjøtselsavtaler for regnbed.

R1 hadde en økt kapasitet til å håndtere overvann grunnet anleggets konstruksjonsløsning med nedgravde infiltrasjonskammere. Vannstrømningen fra oversvømmelsen ble i stor grad håndtert av overløpene til kammerne, og behovet for filtermediets infiltrasjonskapasitet vil dermed minimeres. Fra et økonomisk perspektiv vil det lønne seg at liknende regnbed har mindre overflateareal, og det anbefales dermed å fokusere på minimering av overflateareal hos regnbed av type A i fremtiden. Et forslag er at filtermediet håndterer trinn 1 – nedbørsmengden, ved å fange opp, rense og infiltrere overvannet, mens infiltrasjonskammerne håndterer trinn 2 – nedbørsmengden, ved å forsinke og fordrøye resterende overvannsmengder (Lindholm, 2014). Regnbedene krever overflateareal (mellom 5 – 10 % av aktuell nedbør), og type A-regnbed kan derfor være en god nødløsning dersom det er begrenset med plass (Paus & Braskerud, 2013).

I oversvømmelsesforsøkene av R1 ble den konstruerte flomveien benyttet til vanntilførsel i anlegget. Det var nødvendig med en hindring for å lede all vannet til regnbedet (Bilde 2.7). Innløpsløsningen med renne fungerte ikke som planlagt, og overvannet vil kunne lett strømme forbi ved høy hastighet. I henhold til den store kapasiteten til R1, er det uheldig at den ikke blir utnyttet fordi overvannet ikke når tiltaket. Dybden til renna bør derfor være dypere eller være konstruert annerledes. Dybden til renna bør også avhenge av helningen på terrenget, i dette tilfellet gateveien, og rennene bør derfor være dypere i flomveien ved for eksempel R5 og R6 der helningen er stor. Heldigvis kan overflatetiltak som renner og regnbed endres om feil oppstår. Forøvrig ledes også overvann til regnbedet gjennom et taknedløp.

Med tanke på vedlikehold, har regnbedene i Deichmans gate stått ovenfor flere utfordringer. I etableringsfasen er det essensielt for plantene å leve i optimale forhold. Regnbedene i Deichmans gate hadde et høyt innhold organisk materiale (se kap. 3.3.3) som tilrettelegger for vegetasjon og mikrobiologisk aktivitet (NIBIO, 2017), og dermed for etableringen av plantene. Likevel har den store og uforutsigbare mekaniske slitasjen i bedene forårsaket flere utgåtte planter. Situasjoner som bilparkeringer og oppbevaring av container på regnbedene kan være vanskelig å forutsi i planleggingsfasen, og det bør dermed antas kontraktsjusteringer i skjøtselsavtalen den første

tidsperioden etter etableringen. På denne måten kan kontrakten sette krav om ulike behov, og erstatte mindre viktige krav med nødvendige tiltak for regnbedene. Forskjellige urbane gater vil ha ulike behov, og justeringer i planlagte skjøtselkrav vil derfor også variere med hensyn til innsamlede erfaringer. Det anbefales for eksempel å legge krav om kontraktsjustering ett år etter anlegningen av regnbed i urbane gater. På denne måten kan etableringsfasen kortes ned, og vedlikeholdsbehovene vil minke (Paus & Braskerud, 2013).

Regnbedene i Deichmans gate vil påvirkes av ulike faktorer som brøytebiler, brukere som benytter bedene som snarveier og gatearbeidere som bruker regnbedene som oppbevaringsplass for tunge gjenstander. For å redusere skjøtelsbehovene foreslo Gerd Minde å sette opp stikker/gjerde for å vise hvor regnbedene befinner seg i gata. Gerd påpekte også økende skjøtelsbehov grunnet hundeeskrementer i regnbedene, og foreslo at det kunne bli satt opp skilter for å henvise at regnbedene ikke skal benyttes som hundetoalett. På denne måten vil overnevnte faktorer klare å unngå regnbedene i større grad, og unødvendig slitasje kan svekkes. Oppbevaring av snø i regnbedene kan imidlertid være en god løsning, i henhold til funksjonen til anleggene. Oppsamlet snø er som oftest svært forurenset, og kan inneholde mikroplast, avfall, miljøgifter, salter og andre næringsstoffer (Fylkesmannen i Oslo og Viken, 2019). Filtermediet i regnbedene kan derfor bidra som en rensmekanisme, men på bekostning av økt slitasje i anleggene.

Regnbed er kostbare LOD-tiltak, og krever skjøtsel for å ivareta sin funksjon og estetikk. Anleggene i Deichmans gate stod overfor flere uforutsette situasjoner, og skjøtelsbehovet vil dermed være større. Basert på observasjoner gjort i gata er det ikke utført den mest optimale skjøtelsløsningen. For videre prosjekter anbefales det dermed at skjøtelskravene er strengere, og at det forventes større kostnader til drift og vedlikehold. Likevel viser danske beregninger (ifølge Jan Jeppesen) at LOD-løsninger er rimeligere enn tradisjonell separering, sett fra et 100 års-perspektiv (Röttorp et al., 2019). Det er derfor også viktig med gode vedlikeholdstiltak for at anleggene skal vare like lenge som forventet.

4 Konklusjon

Studien har oppnådd det overordnede målet om å utarbeide forbedringsforslag, og bidra til forskningen av urbane regnbed i Norge. Det er gjort flere interessante, og ikke minst viktige, funn i sammenheng med regnbedene i Deichmans gate. Funnene kan bidra til å gi et grunnlag for videreføring av prosjekter med liknende flerfunksjonelle tiltak.

4.1 Svar på forskningsspørsmål

Spørsmål 1: *Hva er infiltrasjonsevnen til regnbedene i Deichmans gate?*

Infiltrasjonsevnene varierer fra regnbed til regnbed, og innad i regnbedene. Ved bruk av MPD-infiltrometeret er det beregnet en mettet hydraulisk konduktivitet (K_{sat}) på 24 cm/time, samlet for alle regnbed. 5 av 9 regnbed hadde også høyere verdi enn dette. Dagens tommelfingerregel i Norge anbefaler en K_{sat} på 10 cm/time for dimensjonering av regnbed, men i Deichmans gate er det prosjektert med en K_{sat} på 30 cm/time. Dette ble basert på tidligere erfaringer med liknende jordblandinger i filtermediene. Antakelsen med høyere K_{sat} var dermed rimelig for tilsvarende filtermedier.

- a. *Tilfredsstiller regnbedene kommunens krav om å håndtere en nedbørshendelse med gjentaksintervall 20 år og et klimapåslag på 20 %?*

Basert på K_{sat} -estimer fra MPD-målingene, er 6 av 9 regnbed overdimensjonert i henhold til kommunens krav. Ett (regnbed 8) av disse tre regnbedene tilfredsstiller kravet, mens resterende anlegg (regnbed 2 og 3) er underdimensjonerte. Det ble utført oversvømmelsestesting i to av regnbedene. Resultatene viser at regnbed 7 ikke håndterte oversvømmelsen tilsvarende et 20 års regn, grunnet skjev overflate på filtermediet som begrenset kapasiteten. I tillegg viser oversvømmelsen i regnbed 1, av type A – med nedgravde infiltrasjonskammere, at anlegget hadde en økt kapasitet til overvannshåndtering grunnet overløpene til infiltrasjonskammerne. Regnbed 2, av samme konstruksjonsløsning, vil derfor sannsynligvis kunne håndtere overvannmengder tilsvarende kommunens krav, selv om det estimeres til å være underdimensjonert gjennom MPD-resultater.

- b. *Måler MPD-infiltrometeret infiltrasjon i regnbed på en tilfredsstillende måte?*

Basert på oversvømmelsesresultater gir MPD-infiltrometeret gode estimer på infiltrasjonsevnen til filtermediene i regnbedene. Det er hensiktsmessig med flere MPD-målinger i urbane regnbed, der variasjonen i K_{sat} kan være stor på grunn av en økt mekanisk aktivitet i anleggene. For å ta hensyn til disse variasjonene anbefales det dermed å forta ca. 1 måling / 3 m². Denne anbefalingen er basert på egne erfaringer i Deichmans gate, og vil ikke alltid være like lett å utføre i praksis dersom regnbedene for eksempel består av mye vegetasjon. Målingene bør derfor prioriteres i områder der det antas ulik infiltrasjon, som for eksempel ved innløp med erosjonsskader. På denne måten vil MPD-infiltrometeret kunne ta hensyn til variasjon i infiltrasjon, og estimere den totale infiltrasjonsevnen til regnbedene best mulig.

Spørsmål 2: *Hvilke utfordringer står regnbedene i Deichmans gate for, med hensyn på drift og vedlikehold?*

Regnbedene står ovenfor flere utfordringer ettersom de er lokalisert i en urban gate, med menneskelig aktivitet som medfører slitasje. Om vinteren, når anleggene var gjemt under snø og is, er regnbedene utsatt for økt slitasje gjennom tråkk, bilparkeringer og store snøhauger fra brøyting. I tillegg oppstår uforutsette problemer som for eksempel at regnbedene ble benyttet som oppbevaringsplass for en container og gatesteiner. De blir også brukt som hundetoalett. Slike faktorer gir økende vedlikeholdsbehov i regnbedene. I tillegg inngikk ikke rensing av elementer som innløpskasser og drengum i skjøtselsavtalen til gata, noe som påvirket både funksjonen og estetikken til regnbedene. Regnbedene hadde dermed et større skjøtselsbehov enn forventet, i forhold til skjøtselsavtalen.

Spørsmål 3: *Hvilke forbedringstiltak bør foreslås til regnbedene som overvannstiltak i Deichmans gate?*

Regnbedenes kapasitet til å håndtere overvann er særlig avhengig av helningen på filtermediet i regnbedene. I regnbed 7 ble det observert skjev jordoverflate, som resulterte i at hele filtermedievolumet ikke ble benyttet til infiltrasjon. Dermed bør fokuset på jevn og flat overflate på anleggene forsterkes. Det anbefales også bedre innløpsløsninger til regnbedene. De konstruerte flomveiene bestod av renner som hadde som funksjon å lede overvann til regnbedene, noe som ikke fungerte optimalt. Rennene bør være dypere eller konstruert annerledes, slik at overvann med høy hastighet ikke strømmer forbi renna. Regnbed av type A – med nedgravde infiltrasjonskammere, hadde en økt kapasitet til å håndtere overvann. Denne økte kapasiteten bidrar til at overflatearealet kan reduseres i regnbed med liknende konstruksjonsløsning, spesielt når arealet som er til disposisjon er en minimumsfaktor.

4.2 Forslag til videre arbeid

For å videreføre arbeidet relatert til denne studien om urbane regnbed, vil jeg foreslå følgende arbeid:

- 1) Skrive en artikkel i Norsk Vann, der erfaringene og resultatene fra denne studien deles – I følge Norsk Vann (2020) forespør flere kommuner informasjon om erfaringer fra etablerte tiltak, og spesielt erfaringer om drift og vedlikehold. Det vil dermed være hensiktsmessig å dele funnene fra denne studien.
- 2) Utføre infiltrasjonstesting i kaldere perioder for å studere infiltrasjonsevnen til regnbedene om vinteren i forhold til sommeren – Frost og snø i anleggene vil påvirke infiltrasjonen negativt ettersom porene fortettes.
- 3) Evaluere benyttede korreksjonsfaktorer i MPD-resultater – Det ble benyttet en korreksjonsfaktor anbefalt av Solheim (2017) i MPD-målingene, som et alternativ mot den tradisjonelle metoden med jordfuktighetsmålinger. Selv om resultatene viser tilstrekkelig nøyaktige resultater, kan korreksjonsfaktorene evalueres i større grad.

- 4) Foreta kvantitative analyser i sammenheng med drift og vedlikehold – Det var utilstrekkelig med kvantitativ data fra skjøtselen i Deichmans gate, og det er dermed ikke foretatt noen økonomiske analyser. Kostnader relatert til vedlikehold av slike urbane tiltak vil være verdifullt å kartlegge, for å få et bedre økonomisk grunnlag til videreutvikling av liknende gater.
- 5) Sammenlikne private regnbed mot offentlige regnbed – Lokaliseringen av regnbedene kan ha stor påvirkning på både infiltrasjonsevnen og skjøtselsbehovene for anleggene. Det vil derfor være interessant å sammenlikne regnbed i offentlige, urbane områder mot regnbed i mindre tilgjengelige, private områder.

5 Litteraturliste

- Aqua Unique Norge. (u. å.). *permeabilitet sand*. Tilgjengelig fra: <https://www.aun.as/bronn/permeabilitet-sand/> (lest 23.05.2020).
- Asleson, B. C., Nestingen, R. S., Gulliver, J. S., Hozalski, R. M. & Nieber, J. L. (2009). Performance Assessment of Rain Gardens 1. *JAWRA Journal of the American Water Resources Association*, 45 (4): 1019-1031.
- Asplan Viak. (2017). *Deichmans gate åpnet i ny prakt*. Tilgjengelig fra: <https://www.asplanviak.no/aktuelt/2017/05/08/aapning-av-deichmans-gate/> (lest 23.03.2020).
- Becker, M. A., Muthanna, T. M. & Braskerud, B. C. (2016). *Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnett ved å frakoble taknedløp*. *Vann*, 4 (51): 359-369. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2017/03/Becker.pdf>.
- Bjerg, P. L., Hinsby, K., Christensen, T. H. & Gravesen, P. (1992). Spatial variability of hydraulic conductivity of an unconfined sandy aquifer determined by a mini slug test. *Journal of hydrology*, 136 (1-4): 107-122.
- Braskerud, A. B. C., Kihlgren, K. S., Saksæther, V. & Bjerkholt, J. T. (2012). *Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse*. *Vann*, 4 (47): 490-503. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2012_860424.pdf.
- Braskerud, B., Paus, K. & Ekle, A. (2013). *Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed*. NVE Rapport 2013:3. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_03.pdf.
- Braskerud, B. & Paus, K. H. (2016). *Regnbed for lokal flomdemping*. 1.1 utg. Blågrønne overvannsløsninger, testede tiltak: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/vann-og-avlop/arbeider-pa-vann-og-avlopsnett/overvannshandtering/>.
- Braskerud, B. C., Andersson, E., Anker-Nilssen, M. A. & S.T. Asp, C. B., A.K. Devik, T.Å. Fergus, B.M. Geleta, B. Haneberg, A. Høifødt, J. Kvitsjøen, M. Nyernes, Å. Rasmussen, A. Røttorp, S. Stenerud, O. Trubacheva, V. Veierød, K. Young, U. Zühlke, A.E. Aasgaard. (2017). *Studietur til København og Malmö. Aktuelle tiltak for håndtering av overvann i Oslo*. Rapport nr. 1/2017: Oslo kommune, Vann- og avløpsetaten.
- Byggforskserien 311.015. (2012). *Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder*. Tilgjengelig fra: https://www.byggforsk.no/dokument/2562/vann_i_by_haandtering_av_overvann_i_bebygde_omraader.
- Bøen, A. (2010). Fosfor i avfallsbaserte produkter-kjemisk beskrivelse av avløpsslam, kompost og kjøttbenmel. *Bioforsk Rapport*. Tilgjengelig fra: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2460539/Bioforsk-Rapport-2010-05-63.pdf?sequence=1>.
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Undholm, O., Noreide, T., Semb, T. & Skretteberg, R. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. I: Markhus, E. (red.). Publikasjon Nr 10 1997: NVE.
- Chin, D. A., Mazumdar, A. & Roy, P. K. (2013). *Water-resources engineering*. Third edition, international edition. utg. Harlow: Pearson.

- County, P. G. s. (2007). *Bioretention manual*. Prince George's County, Maryland, Department of Environmental Resources, Environmental Services Division, Landover, MD. Tilgjengelig fra: https://www.aacounty.org/departments/public-works/highways/forms-and-publications/RG_Bioretention_PG%20CO.pdf.
- Dalen, T. (2012). *Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima: Risvollan, Trondheim*: NTNU.
- Dalen, T., Paus, K. H., Braskerud, B. C. & Thorolfsson, S. T. (2012). *Målt og modellert hydrologisk ytelse til regnbed i Trondheim*. *Vann*, 3 (47): 328-339. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2012_860424.pdf.
- Engan, J. A., Lindholm, O. G., Tennøy, A., Hartveit, H. E. & Bjerkholt, H. T. (2003). *Flom i by - en helhetlig innfallsvinkel*. Innlegg på fagtreff 27. januar 2013. *Vann*, 1 (38): 73-88. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2003_30469.pdf.
- FN-sambandet. (2020). *FNs bærekraftsmål*. Mål 11. Tilgjengelig fra: <https://www.fn.no/Om-FN/FNs-baerekraftsmaal> (lest 01.04.2020).
- Fylkesmannen i Oslo og Viken. (2019). *Snø er ikke bare snø*. Tilgjengelig fra: <https://www.fylkesmannen.no/nm/oslo-og-viken/miljo-og-klima/nyheter---miljo-og-klima/2019/02/sno-er-ikke-bare-sno/> (lest 28.06.2020).
- Grønland, A. (1992). *Integrert miljøovervåkning av landbruksområder i Norden (Del II) - felles metodeutvikling og rapportering*. Nordiske Seminar- og Arbejdsrapporter, 1992:534: Nordisk Ministerråd, København. s. 19.
- Hanslin, H. M., Schmidt, I., Mæhlum, T., Borch, H., Haraldsen, T. K. & Aamlid, T. S. (2018). *Kunnskapsstatus: Plen som tiltak for lokal overvannsdiskonering (LOD)* NIBIO rapport 4/160/2018 brage: Avdeling for grøntanlegg og miljøteknologi.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J., Sandven, S., Sandø, A. & Sorteberg, A. (2015). *Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. NCCS report, NCCS, Oslo, Norway*, 203.
- Harleman, D. R. F., Melhorn, P. F. & Rumer, R. R. (1963). Dispersion-permeability correlation in porous media. *Journal of Hydraulic Division*, 89: 67-85.
- Haugen, T. (2016). *Estimering og sammenligning av hydraulisk ledningsevne ved hjelp av kornfordelingsanalyser, permeametertester og feltmåling*. Master: NTNU.
- Hillel, D. (2004). *Introduction to environmental soil physics*. San Diego, London, Burlington: Elsevier Academic Press.
- Håndbok 016. (2010). *Geoteknikk i vegbygging*: Statens vegvesen, Vegdirektoratet - Trafikksikkerhet, miljø- og teknologiavdelingen. Tilgjengelig fra: https://www.vegvesen.no/s/bransjekontakt/Funksjonskontrakt%20dokumenter/Hb016_2010-06.pdf.
- In-Situ. (2018a). *Operator's Manual: Rugged TROLL® 100 and 200 and Rugged BaroTROLL Instruments*. Tilgjengelig fra: https://in-situ.com/pub/media/support/documents/Rugged_TROLL_Manual.pdf (lest 22.02.2020).
- In-Situ. (2018b). *Rugged Baro 100 Data Logger*. Tilgjengelig fra: <https://in-situ.com/products/water-level-monitoring/rugged-troll-100/> (lest 19.02.20).

- In-Situ. (2018c). *Rugged Baro TROLL Data Logger*. Tilgjengelig fra: <https://in-situ.com/products/water-level-monitoring/rugged-barotroll-data-logger/> (lest 19.02.20).
- Jacobsen, D. I. (1999). *Hva mener brukere?: Brukerundersøkelser, en praktisk veiledning*. 2 utg.: Høyskoleforl.
- Krogstad, T. (2009). Laboratoriemetoder til emnet JORD 212. Jordanalyse. *Laboratoriemetoder*, September 2009: 10-11.
- Langeland, E. (2020). *Overingeniør som har tatt del i prosjekteringsfasen til Deichmans gate* (Personlig meddelelse 09.06.2020).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. *Norsk vann*, 162: 8.
- Lindholm, O. (2014). Kapittel 12 Håndtering av overvann. I: Ødegaard, H. (red.) *Vann- og avløpsteknikk*: Norsk Vann.
- Løvås, G. G. (2004). *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 2. utg. utg. Oslo: Universitetsforl.
- Miljødirektoratet. (2016). *Avløpshåndtering*. Tilgjengelig fra: <https://www.klimatilpassing.no/sektorer/vann-og-avlop/oppgaver/avlopshandtering/> (lest 20.04.2020).
- Miljødirektoratet. (2017). *Overvann*. Tilgjengelig fra: www.miljokommune.no/Temaoversikt/Vannforvaltning/Overvann/ (lest 12.02.2020).
- Minde, G. (2017). Rapport skjøtsel_2017_april-juni. Braathen Landskapsentreprenør AS. *Intern rapport*.
- Minde, G. (2018a). Rapport skjøtsel_2018_april-juni. Braathen Landskapsentreprenør AS. *Intern rapport*.
- Minde, G. (2018b). Rapport skjøtsel_2018_juli-september. Braathen Landskapsentreprenør AS. *Intern rapport*.
- Minde, G. (2019a). Rapport skjøtsel_2019_juni-august. Braathen Landskapsentreprenør AS. *Intern rapport*.
- Minde, G. (2019b). Rapport skjøtsel_2019_mars-juni. Braathen Landskapsentreprenør AS. *Intern rapport*.
- Minde, G. (2020). *Skjøtselsansvarlig for Deichmans gate fra høst 2016 til høst 2019* (Personlig meddelelse 16.06.2020).
- NASA. (2020). *NASA, NOAA Analyses Reveal 2019 Second Warmest Year on Record*. Katherine Brown. Tilgjengelig fra: <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-noaa-analyses-reveal-2019-second-warmest-year-on-record> (lest 19.04.2020).
- Nesting, R. S. (2007). *The comparison of infiltration devices and modification of the Philip-Dunne permeameter for the assessment of rain gardens*. M. S. Thesis: University of Minnesota.
- NGU. (2018a). *Grunnvannsstrømning*. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/alt-om-grunnvann/generelt-om-grunnvann/grunnvannsstromning> (lest 02.05.2020).

- NGU. (2018b). *Kornfordelingsanalyser*: Norges geologiske undersøkelse. Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/fagomrade/kornfordelingsanalyser> (lest 12.02.2020).
- NGU. (u.å.). *ORDBOK*. I: Utarbeidet i samarbeid med Institutt for geofag, U. i. O. (red.). Tilgjengelig fra: <https://www.ngu.no/grunnvanninorge/ordbok#i> (lest 25.06.2020).
- NIBIO. (2017). *Organisk materiale*. Tilgjengelig fra: <https://www.nibio.no/tema/jord/jordkartlegging/jordsmonnkart/organisk-materiale> (lest 23.05.2020).
- NOAA. (u. å.). *Climate*. Tilgjengelig fra: <https://www.noaa.gov/climate> (lest 19.04.2020).
- Norsk Klimaservicesenter. (u. å.). *Nedbørintensitet*. <https://klimaservicesenter.no/> (lest 11.02.2020).
- Norsk Klimaservicesenter. (u.å.). *Hva er dimensjonerende nedbør?* Tilgjengelig fra: https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedbor/hva-er-dimensjonerende-nedbor&org.apache.catalina.filters.CSRF_NONCE=95C9C3716239221E508183AE470A0192 (lest 27.06.2020).
- Norsk Vann. (2020). *Kunnskapsbehov innen overvannshåndtering og klimatilpasning: Forprosjekt*.
- NOU 2010: 10. *Tilpassing til eit klima i endring — Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2010-10/id624355/>.
- NOU 2015: 16. *Overvann i byer og tettsteder — Som problem og ressurs*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2015-16/id2465332/>.
- Oslo kommune. (2019). *Handlingsplan for overvannshåndtering i oslo kommune - kortversjon*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/getfile.php/13349073-1573652257/Tjenester%20og%20tilbud/Vann%20og%20avl%C3%B8p/Skjema%20og%20veiledere/Overvann/Handlingsplan%20for%20overvannsh%C3%A5ndtering.pdf>.
- Oslo kommune. (u. å.). *Oslokompost*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/avfall-og-gjenvinning/kjop-oslokompost/#gref> (lest 28.05.2020).
- Oslo kommune Bymiljøetaten. (2015). *Deichmansgate Gateprosjekt: Tekniske tegninger*. I: Asplan Viak (red.). Interne arbeidstegninger.
- Otnes, J. & Ræstad, E. (1978). *Hydrologi i praksis*, b. Revidert og utvidet utgave: Ingeniørforlaget.
- Paus, K., Førland, E., Fleig, A., Lindholm, O. & Åstebøl, S. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*: Miljødirektoratet. Tilgjengelig fra: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/M292/M292.pdf>.
- Paus, K. H. & Braskerud, B. C. (2013). *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold*. *Vann*, 1 (48): 54-67. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_872571.pdf.
- Paus, K. H. (2015). *Toxic Metal Removal and Hydraulic Capacity in Bioretention Cells in Cold Climate Regions*. Philosophiae Doctor: NTNU.

- Paus, K. H., Langeland, E. & Reichborn, G. N. (2015). Overvannsmengder i Deichmans gate / Wilsesgate påslipp til kommunale ledninger. *Internt notat*.
- Paus, K. H. (2018). *Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann* Vann, 1 (48): 52-67. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2018/07/Paus.pdf>.
- Paus, K. H. (2020). *Overingeniør som har tatt del i prosjekteringsfasen til Deichmans gate* (Personlig meddelelse 27.04.2020).
- Pommeresche, R. (2019). *Hvordan måle innholdet av organisk materiale og karbon i norsk jord?* Tilgjengelig fra: <https://www.agropub.no/fagartikler/hvordan-male-innholdet-av-organisk-materiale-og-karbon-i-norsk-jord> (lest 28.05.2020).
- Regalado, C. M. & Muñoz-Carpena, R. (2004). Estimating the saturated hydraulic conductivity in a spatially variable soil with different permeameters: a stochastic Kozeny–Carman relation. *Soil and Tillage Research*, 77 (2): 189-202.
- Röttorp, A., Camacho, A. D., Braskerud, B. C., Kristensen, H., Norbakk, L. L., Grannec, V. & Holbein, Y. (2019). *Lyon – overvannstiltak i praksis: Inntrykk etter deltagelse på Urban Water-konferansen NOVATECH 2019*. Vann, 3 (54): 235-247. Tilgjengelig fra: <https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2019/12/Braskerud-v2a.pdf>.
- Skjeseth, S. & Næsheim, A. (1996). *Norge blir til : Norges geologiske historie*. Oslo: Schibsted. Tilgjengelig fra: https://urn.nb.no/URN:NBN:no-nb_digibok_2008081100007.
- SNL. (2019). *torv*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/torv> (lest 28.05.2020).
- SNL. (2020). *overvann*. I: Tjernshaugen, A. (red.): Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/overvann> (lest 10.02.2020).
- Solheim, E. B. (2017). *Infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering (LOD) - Vurdering av metoder for å måle infiltrasjon på lokal tomt*. Master. Brage: NMBU.
- Solheim, E. B. (2018). Måling av infiltrasjon for lokal overvannsdiskonering. *Faktaark Oslo kommune*, 1.0.
- Sveistrup, T. E. (1984). *Retningslinjer for beskrivelse av jordprofiler*. Jord & Myr 2. Brage.
- Sægrov, S. (2014). Kapittel 13 Ledningsteknologi for vann og avløp. I: *Vann- og avløpsteknikk*, s. 374-409.
- UiO. (2012). *Kvalitative intervjuer og observasjon*. PowerPoint Presentasjon: UiO. Tilgjengelig fra: https://www.uio.no/studier/emner/jus/afin/FINF4002/v12/Metode.kval.intervjuer.pdf?fbclid=IwAR24rPtZoBtoz_yRfEr1XqqIzOw5O9Xuif4k7XoK0Mq9me9EpdVbOP33elk.
- UN. (2018). *Population Division - World Urbanization Prospects 2018*. Tilgjengelig fra: <https://population.un.org/wup/> (lest 01.04.2020).
- Zemansky, M. W. & Van Ness, H. C. (1966). *Basic engineering thermodynamics*. I, s. 244: McGraw-Hill.
- Zhou, Q. (2014). A review of sustainable urban drainage systems considering the climate change and urbanization impacts. *Water*, 6 (4): 976-992.

VEDLEGG

Vedlegg 1 – Regnbed 1

Detaljer om regnbed 1 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 5 og Tabell 1.



Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøtaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 1 er lokalisert i gata.



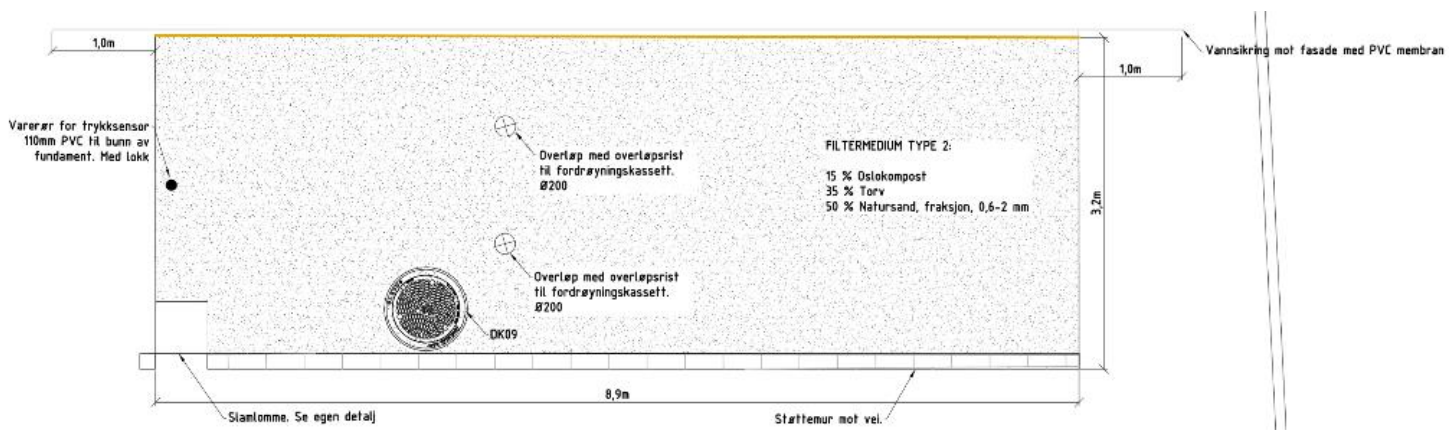
Bilde 1: Viser regnbed 1. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)



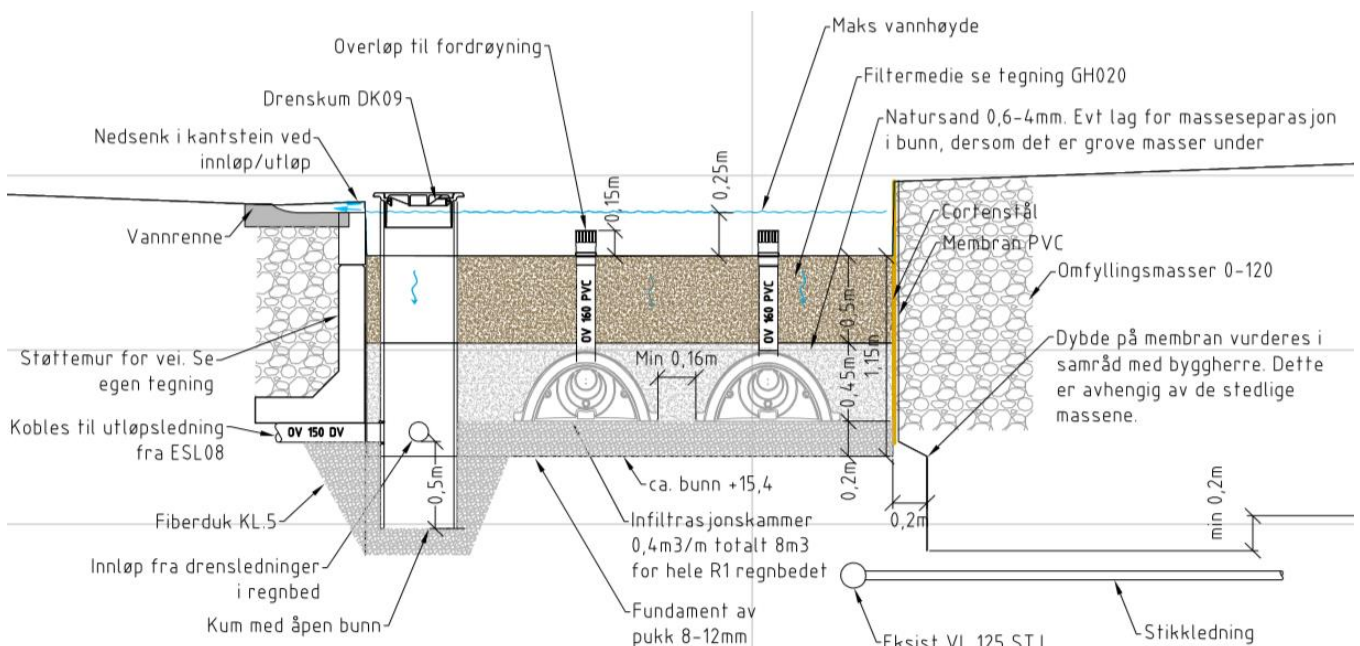
Figur 2: Illustrasjon av regnbed 1. (Illustrasjon: Cathrine Bugge, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 1. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

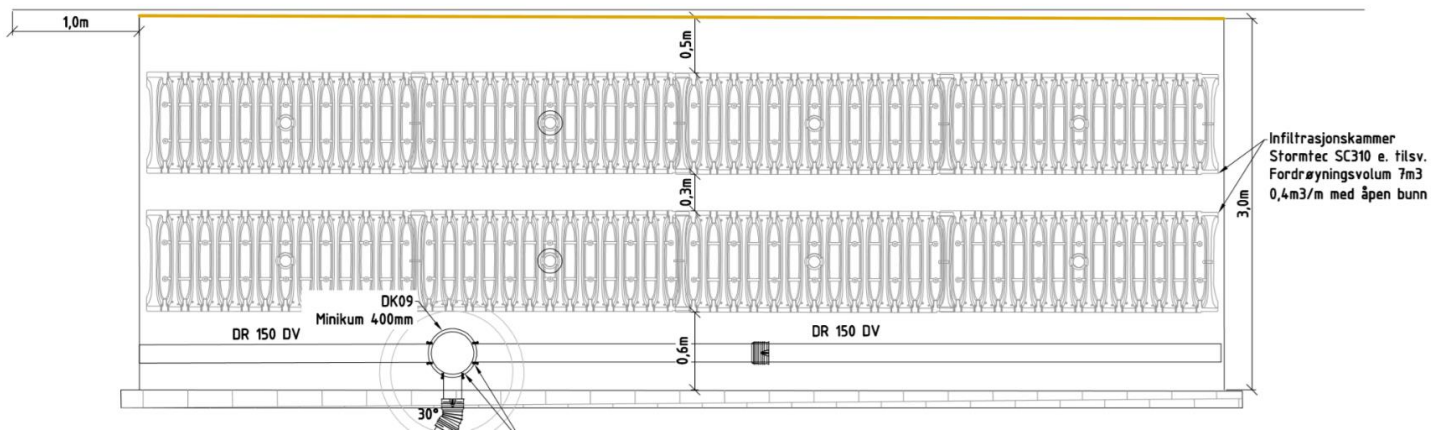
OPPLYSNINGER	
Overflateareal	27 m ²
Tilknyttet delfelt	504 m ² (A _{tak} = 158 m ² , A _{grønt} = 24 m ² , A _{gatestein} = 322 m ²)
Avrenningskoeffisient (c _{midlere})	0,47
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	A - Regnbed med infiltrasjonskammere
Filtermedieblending (volumprosent)	2 - 15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand



Figur 3: Plan-tegning av overflaten på regnbed 1. Regnbedet består av et innløp fra renne til innløpskasse, et peilerør, en drenskum og 3 overløp til infiltrasjonskammere (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



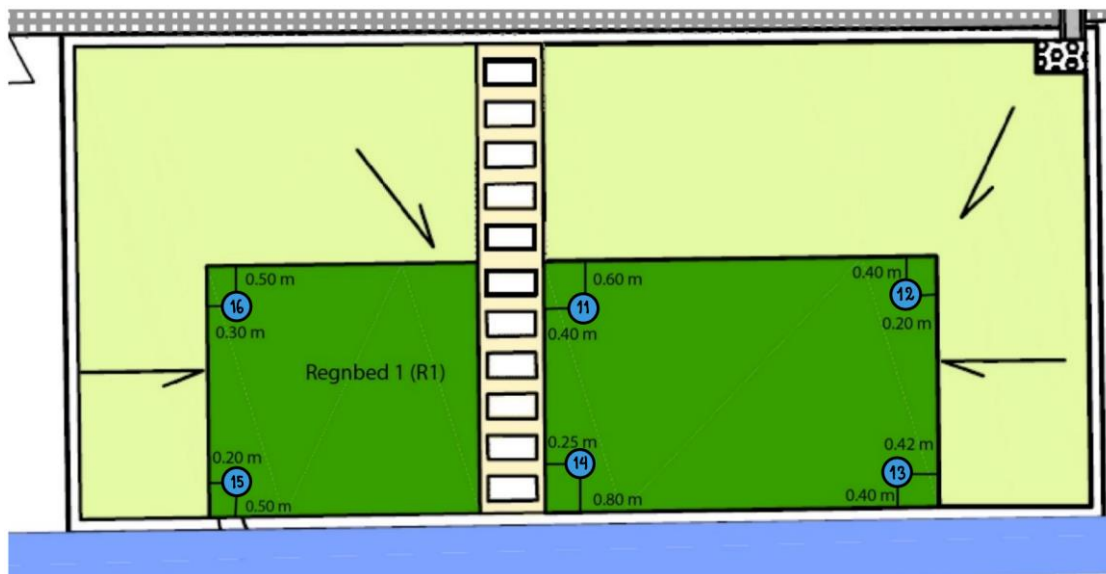
Figur 4: Snitte-tegning av regnbed 1. Regnbedet består av tre nedgravde infiltrasjonskammere, ikke to som vist i figuren (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015).



Figur 5: Plan over nedgravde infiltrasjonskammere i regnbed 1. På grunn av kabler i regnbedet var det ikke plass til 2 hele infiltrasjonskammere, og det ble derfor anlagt 3 kammere av mindre lengder (Pers.med.: Langeland, 2020; Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 1 er utført 24.06.19, og det er utført totalt 6 målinger (Figur 6). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet med temperatur over 20 °C. Målepunktet R15 er ved innløpet, og målepunktene R14 og R11 er ved de 3 rørene som føres til infiltrasjonskammerne under bedet.

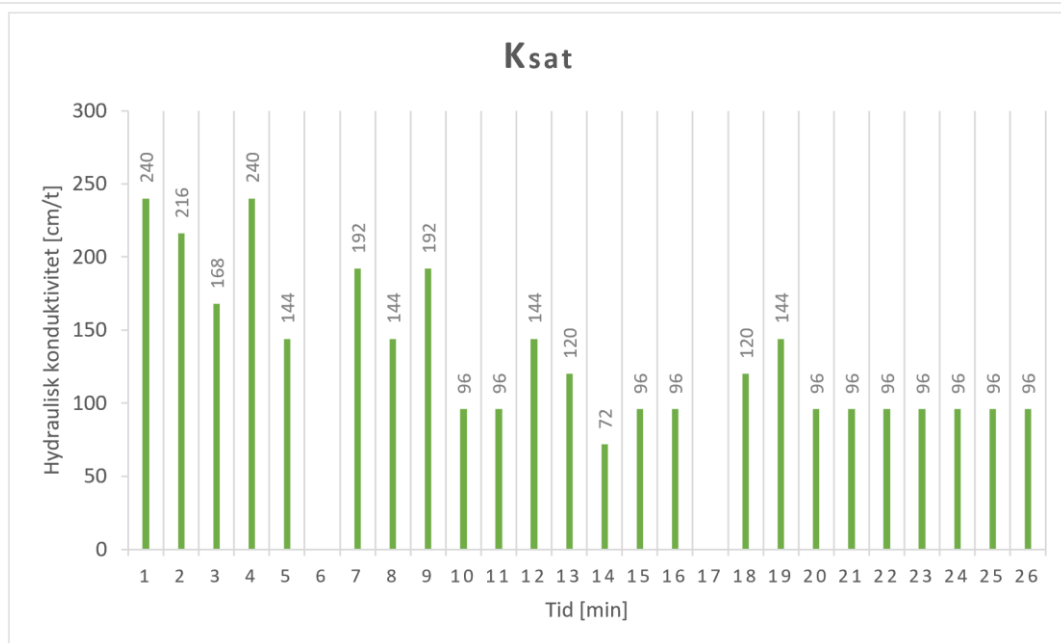
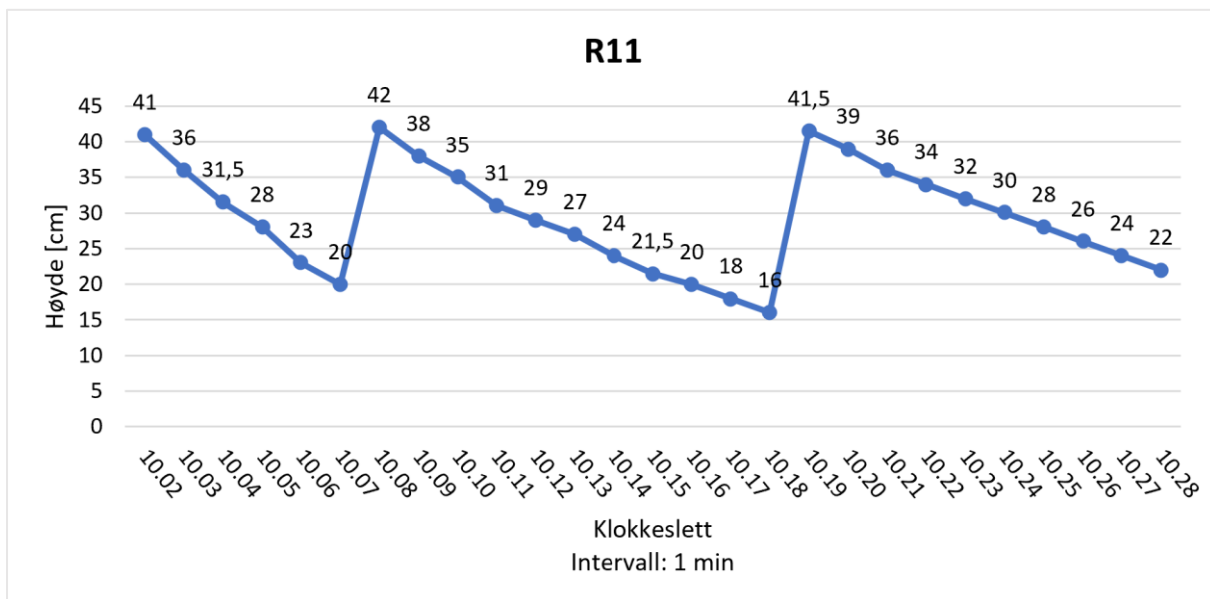


Figur 6: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 1. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

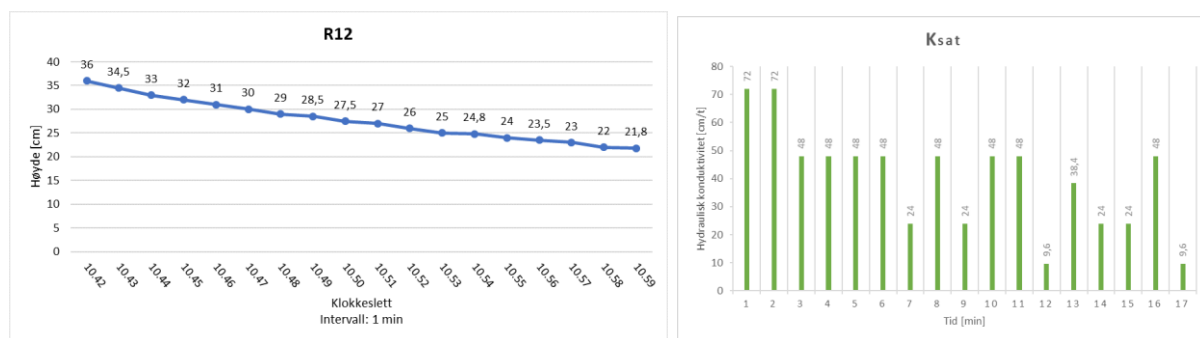
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres forskjeller i infiltrasjonshastighet. Det er bra infiltrasjon ved innløpet (R15), men dårligere infiltrasjon lenger unna, som i R12 og R13. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 7 – Figur 12.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 1, og gjennomsnitt- og medianverdien av disse.

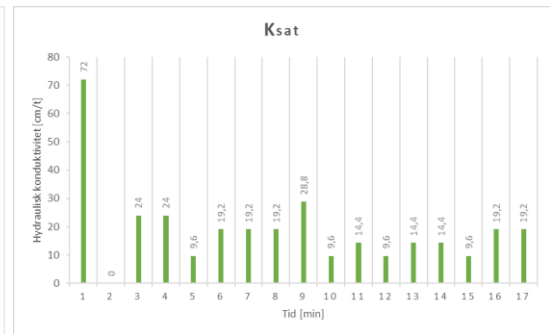
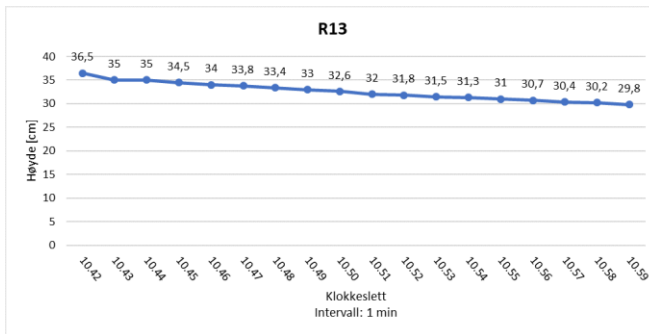
K_{sat} [cm/t]	R11	R12	R13	R14	R15	R16	Gjennomsnitt	Median
	96	24	19,2	24	96	24	47,2	24



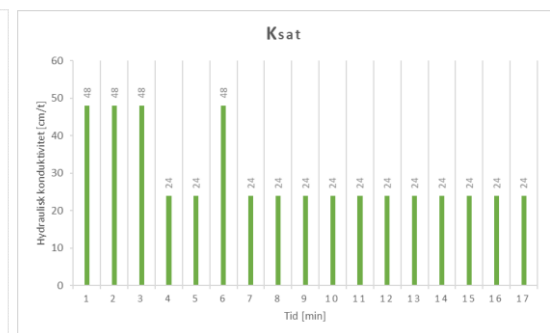
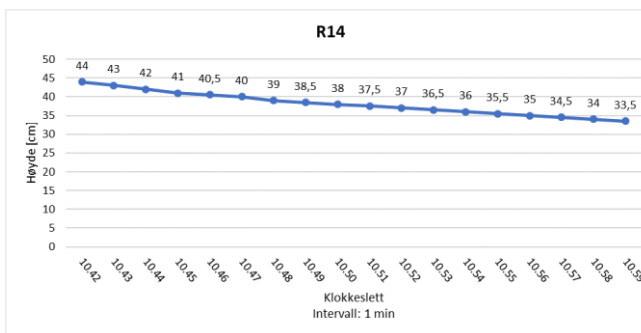
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 1 (R11), og det er utført 2 påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 96$ cm/time.



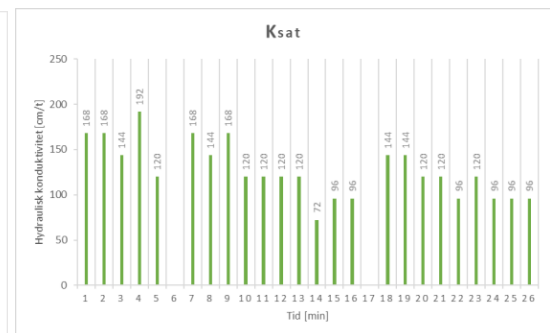
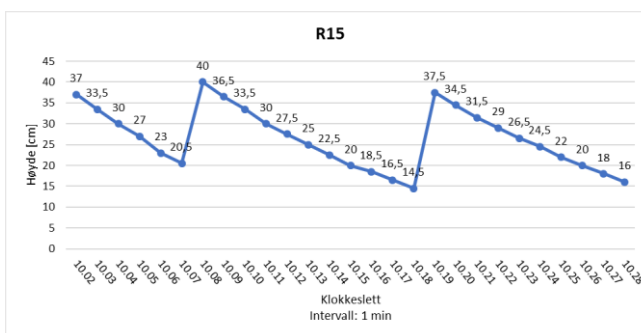
Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R12: $K_{sat} \approx 30$ cm/t. Se figurtekst i Figur 7 for detaljert figurbeskrivelse.



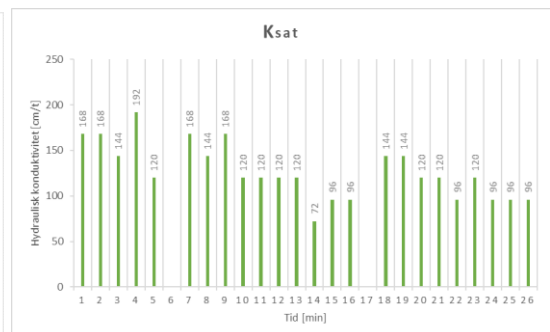
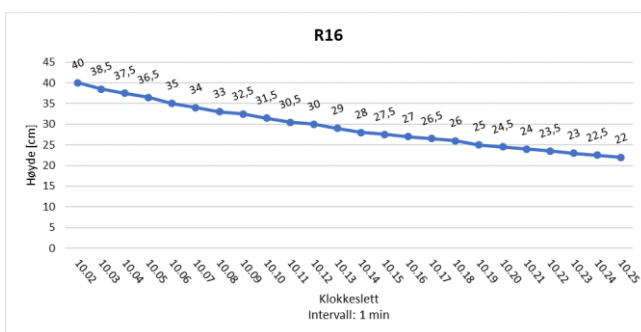
Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R13: $K_{sat} \approx 19,2 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 7 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 10: Diagrammene representerer målepunkt R14: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 7 for detaljert figurbeskrivelse.



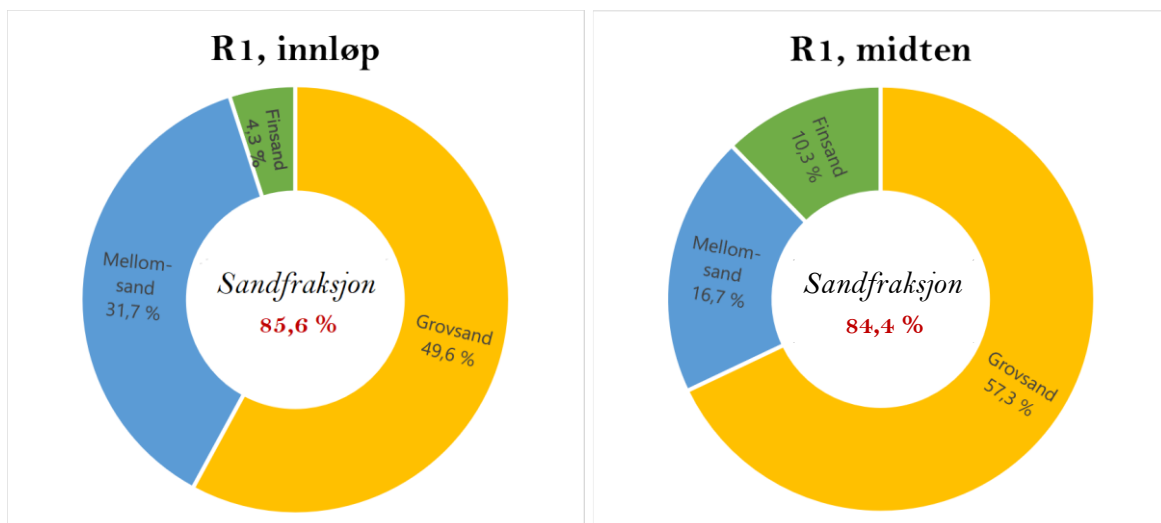
Figur 11: Diagrammene representerer målepunkt R15: påfyll = 2, $K_{sat} \approx 96 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 7 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 12: Diagrammene representerer målepunkt R16: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 7 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 1 har filtermedietype 2, som vist i Tabell 1: 15 % Oslokompost, 35 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 13. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,5 % i innløpet og 1,0 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 13,6 % ved innløpet og 14,5 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 1,9 ved innløpet og 3,0 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. K_{sat} er beregnet til 192,2 cm/t i innløpet og 117,4 cm/t i «midten».



Figur 13: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 1. Finsand har kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand har kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand har kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

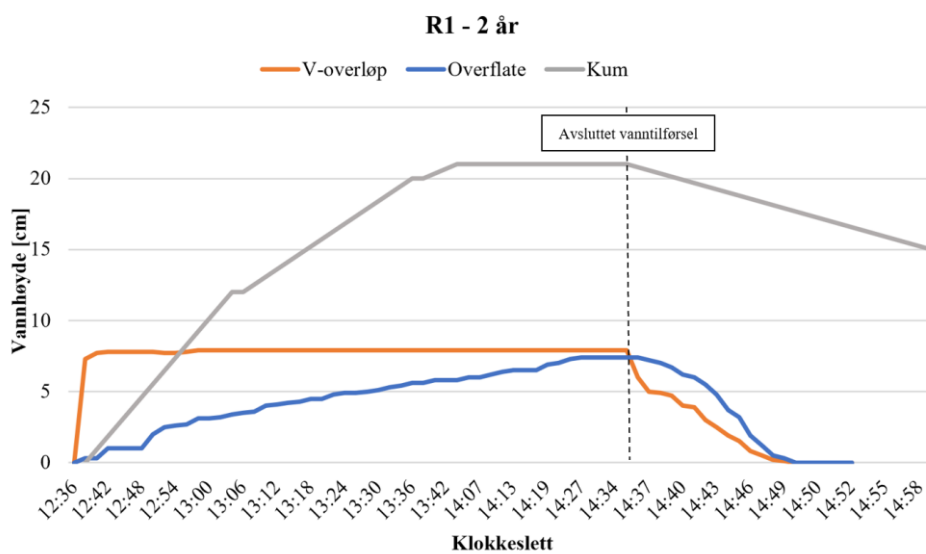
Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 10,4 % i innløpet og 23,5 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømningen bremses, særlig i «midten».

3. Oversvømmelse

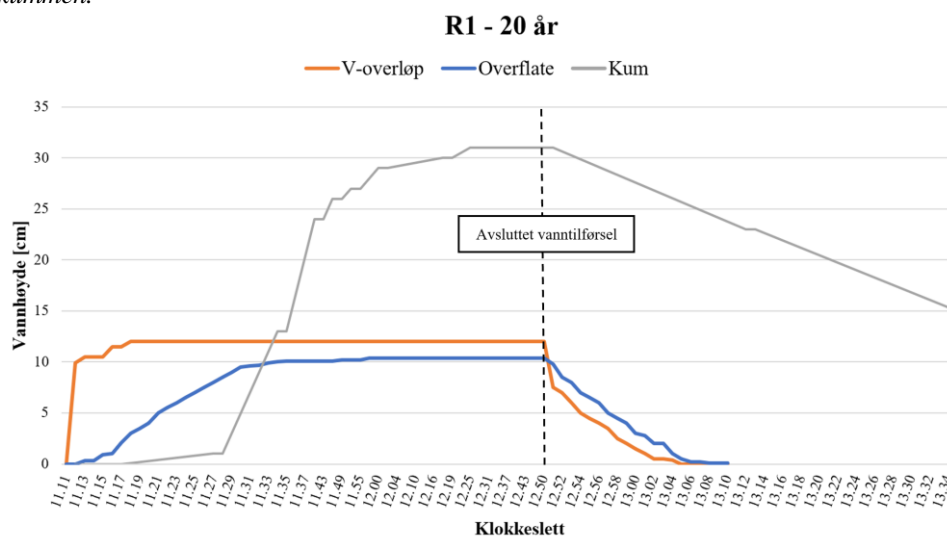
Resultatene fra oversvømmelsestestene i regnbed 1 vises i Figur 14, Figur 15 og Tabell 3. Regnbed 1 håndterte både 2 års- og 20 års oversvømmelsen med klimafaktor lik 1,2.

Tabell 3: Viser resultatene fra 2- og 20 års oversvømmelsene i regnbed 1. Testede vannføringer representerer målinger gjort med «vann-i-bøtte» metoden.

Regnbed	Dato	Beregnet			Testet			
		Gjentaksintervall	Varighet	Vannføring	Vannføring	Varighet (vanntilførsel)	Varighet (infiltrasjon)	K _{sat}
R1	27.06.2019	2 år	20 min	2,8 L/s	2,9 L/s	118 min	32 min	31 cm/t
	28.06.2019	20 år	10 min	7,1 L/s	7,1 L/s	99 min	27 min	35 cm/t



Figur 14: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 1 ved 2 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet, basert på kun 1 (ved drengskum) av 2 målpunkter. Til slutt viser Kum endring i vannstand inni drengskummen.



Figur 15: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 1 ved 20 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet, basert på kun 1 (ved drengskum) av 2 målpunkter. Til slutt viser Kum endring i vannstand inni drengskummen.

Vedlegg 2 – Regnbed 2

Detaljer om regnbed 2 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 4 og Tabell 1.



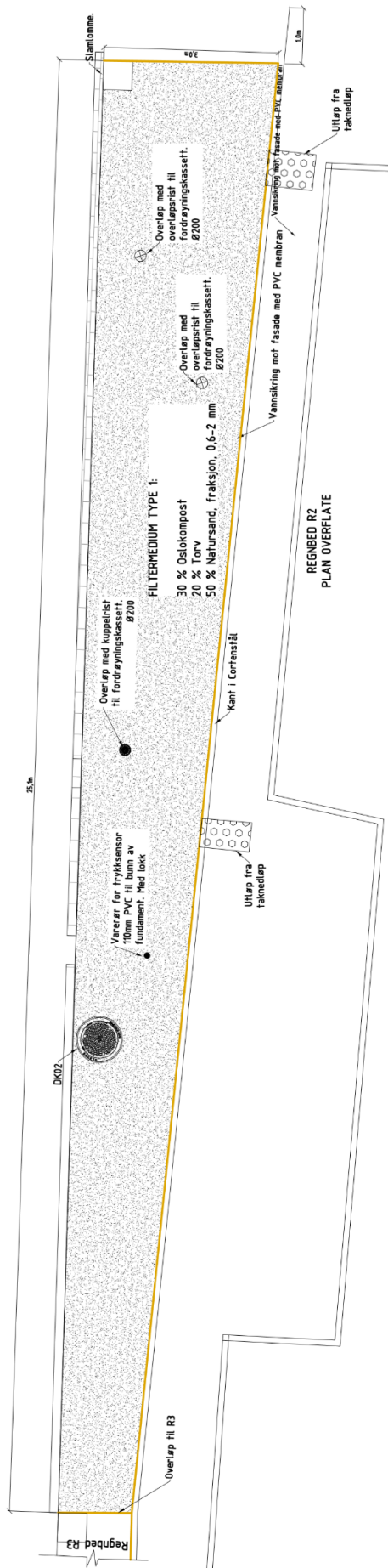
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 2 er lokalisert i gata.



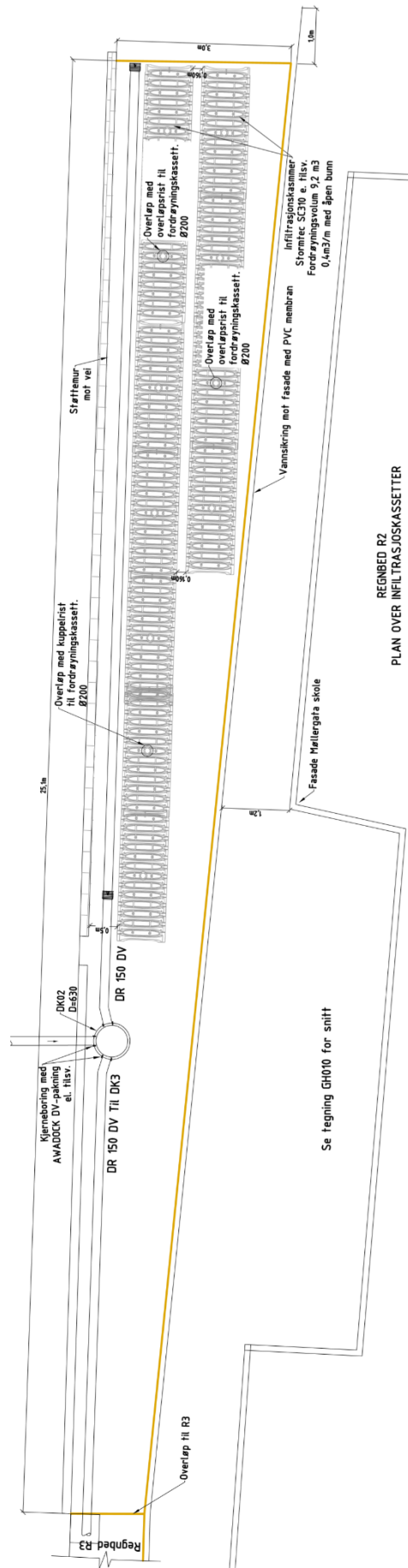
Bilde 1: Viser regnbed 2. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 2. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike felttypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

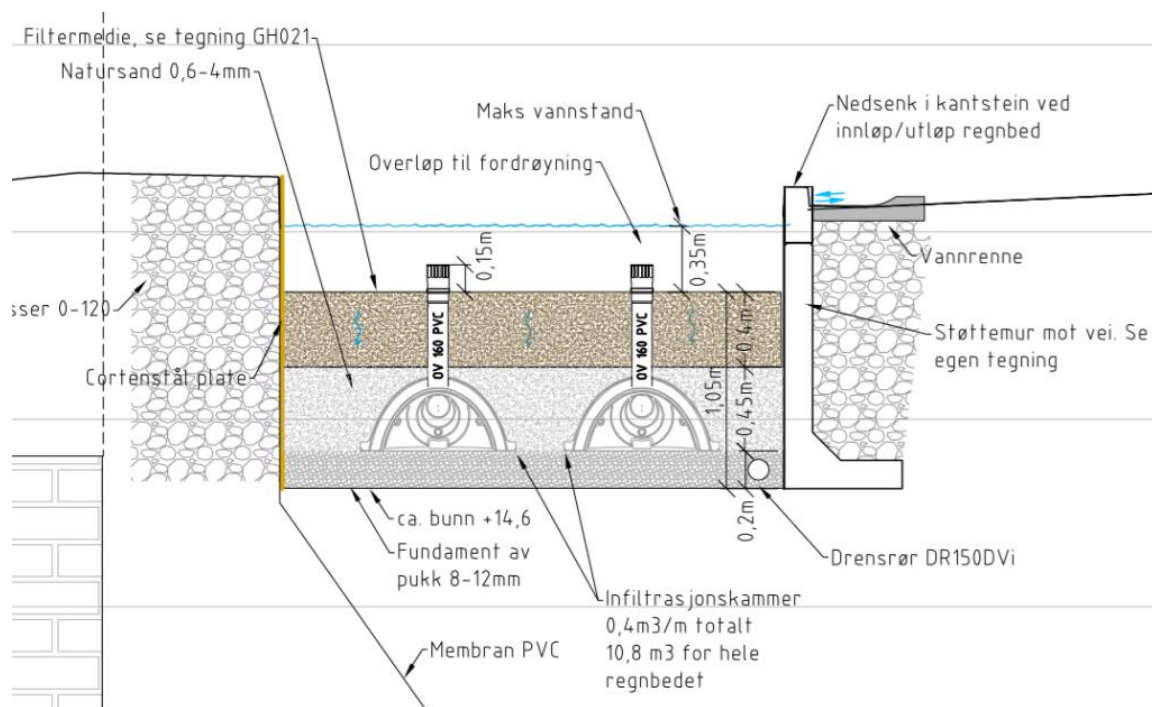
OPPLYSNINGER	
Overflateareal	54 m ²
Tilknyttet delfelt	1773 m ² (A _{tak} = 883 m ² , A _{grønt} = 185 m ² , A _{gatestein} = 705 m ²)
Avrenningskoeffisient (c _{midlere})	0,72
Maksimal vannstand (h _{maks})	35 cm
Konstruksjonstype	A - Regnbed med infiltrasjonskammere
Filtermedieblending (volumprosent)	1 - 30 % Oslokompost, 20 % Torv, 50 % Natursand



Figur 3: Plan-tegning av overflaten på regnbud 2. Regnbudet består av et innløp fra renne til innløpskasse, 2 utløp fra taknedløp, et peilerør, en drenskum og 2 overløp til infiltrasjonskammere (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



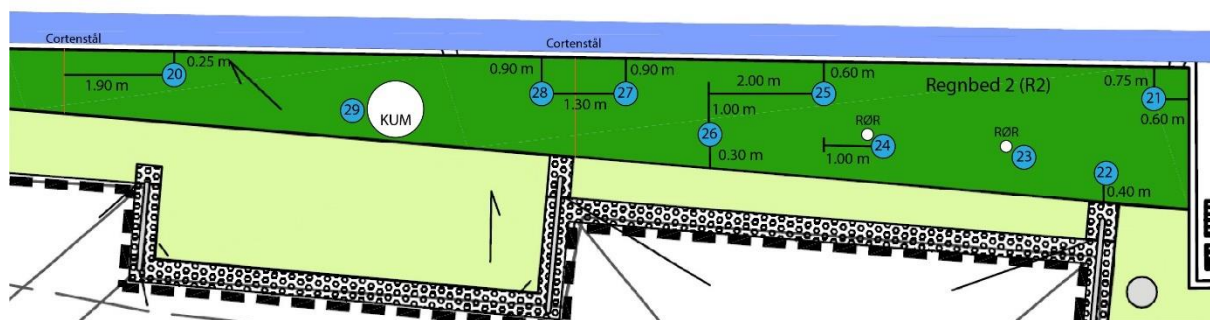
Figur 2: Plan over nedgravde infiltrasjonskammere i regnbud 2 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 4: Snittegning av regnbed 2 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 2 er utført 01.07.19, og det er utført totalt 10 målinger (Figur 5). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet og regn. Målepunktene R21, R27 og R28 er ved innløp, R29 er ved kum, og målepunktene R23 og R24 er ved de 2 rørene som føres til infiltrasjonskammerne under bedet.

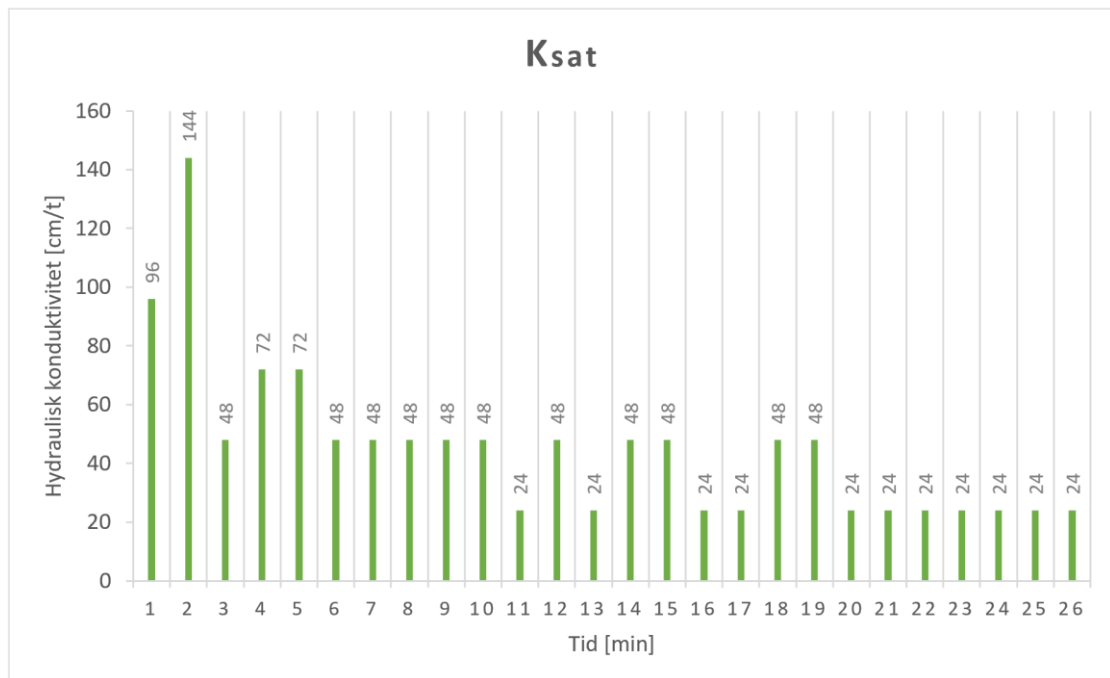
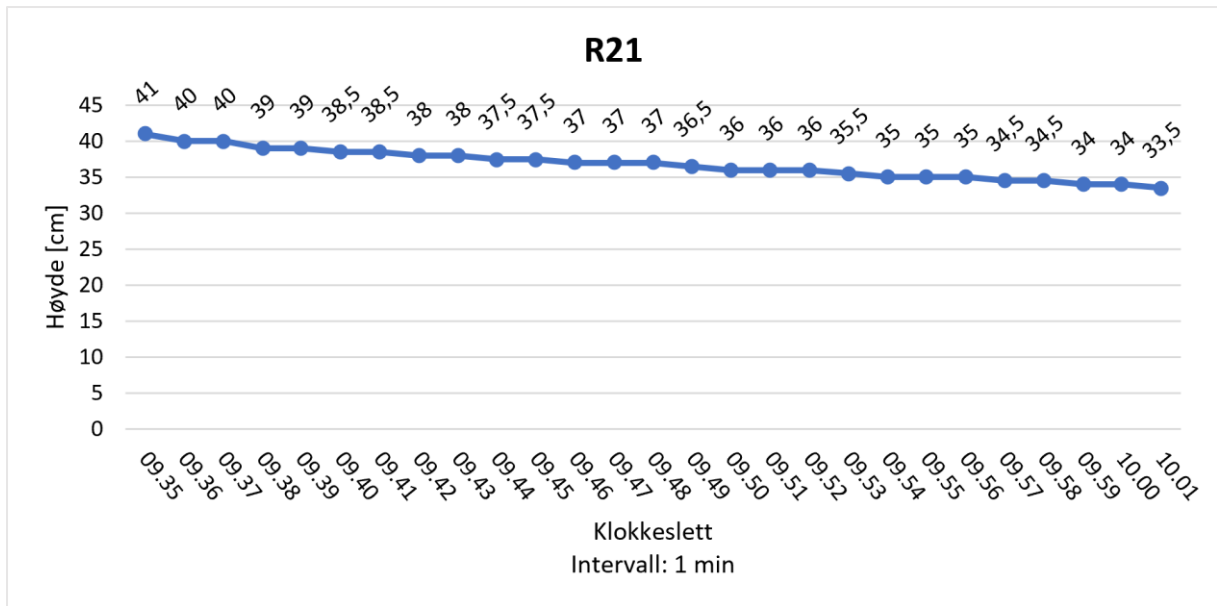


Figur 5: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 2. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

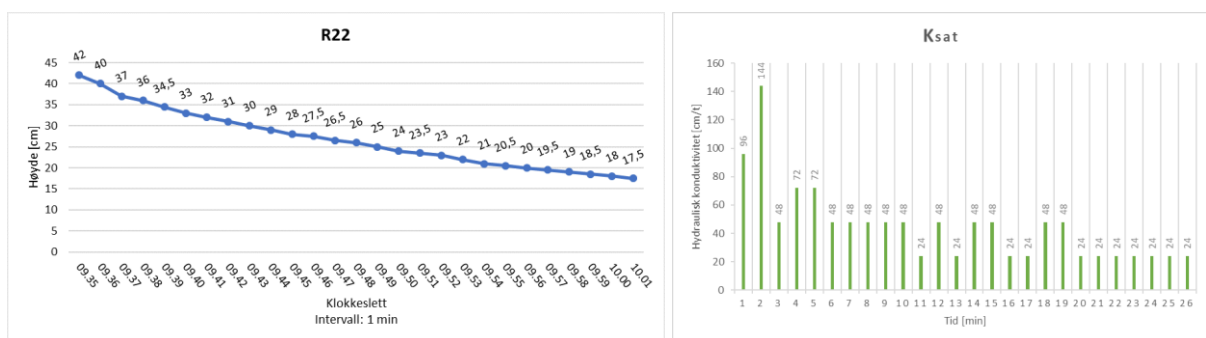
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres forskjeller i infiltrasjonshastighet. Det er relativt lik infiltrasjon i hele regnbedet, som indikerer homogen jordsammensetning. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 6 – Figur 15.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 2, og gjennomsnitts- og medianverdien av disse.

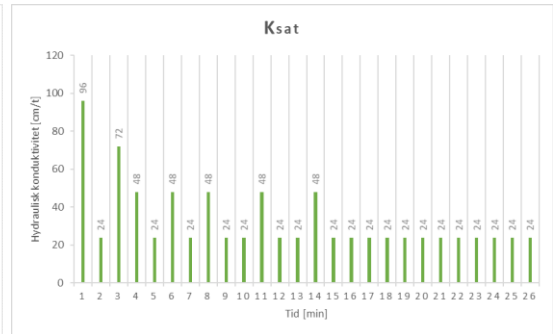
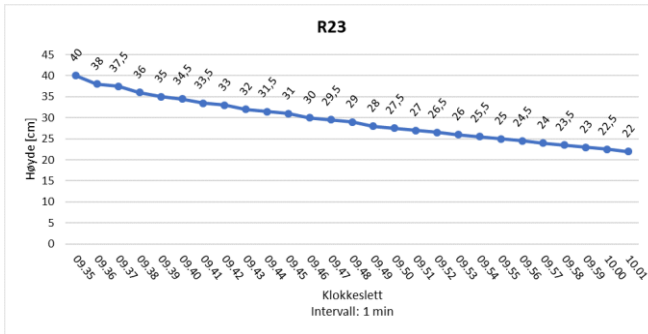
	R21	R22	R23	R24	R25	Gjennomsnitt
K_{sat}	24	24	24	48	9,6	24
[cm/t]	R26	R27	R28	R29	R20	Median
	14,4	24	24	24	24	24



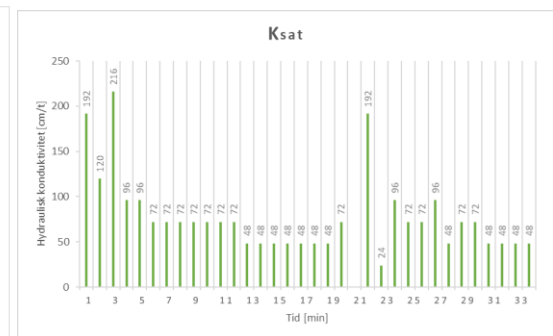
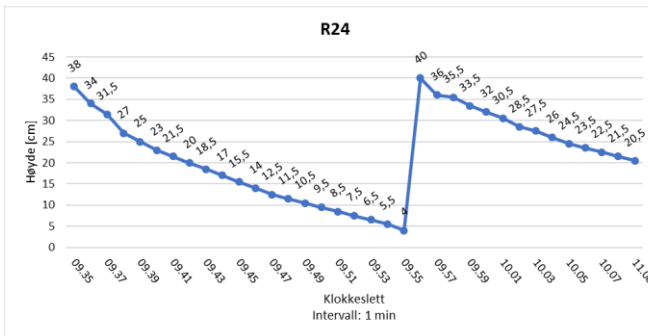
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 2 (R21), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 24$ cm/time.



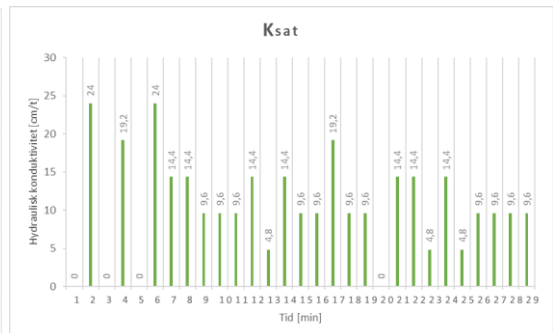
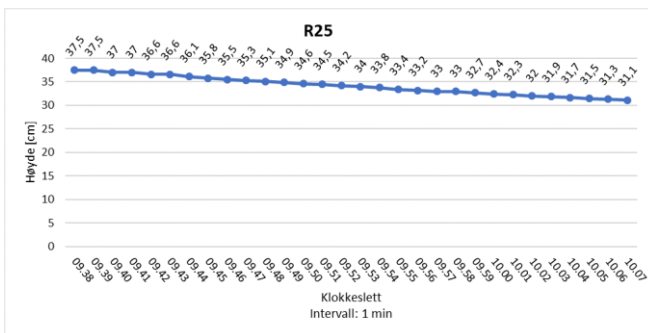
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R22: påfyll = 1, $K_{sat} \approx 24$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



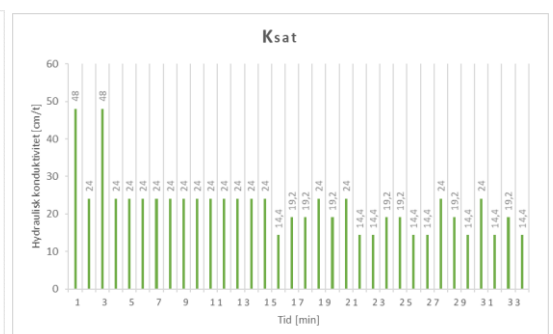
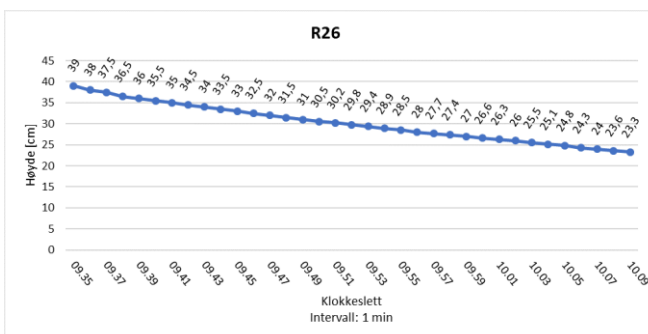
Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R23: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



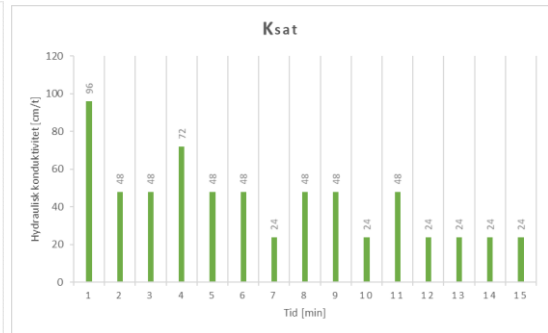
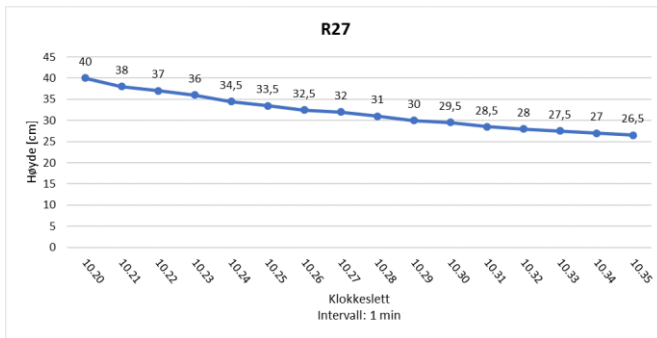
Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R24: påfyll = 1, $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



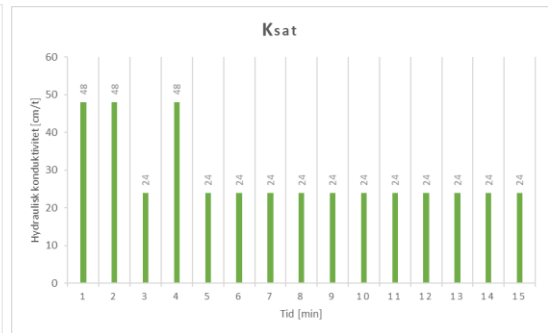
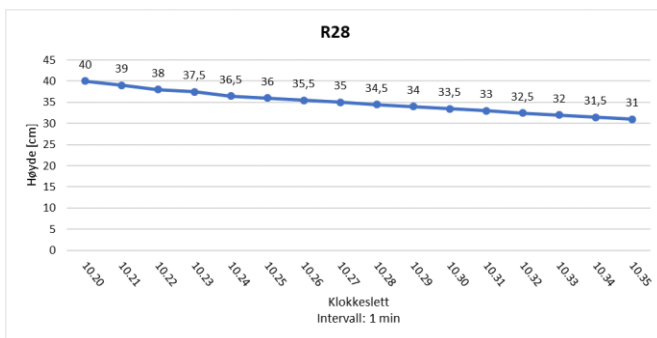
Figur 10: Diagrammene representerer målepunkt R25: $K_{sat} \approx 9,6 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



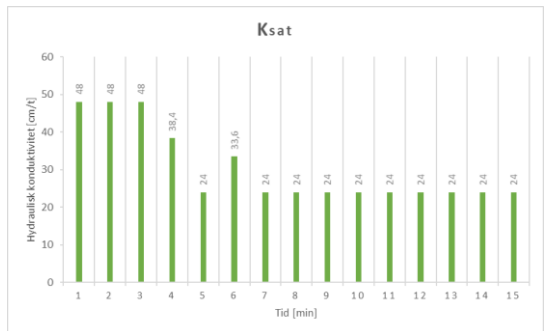
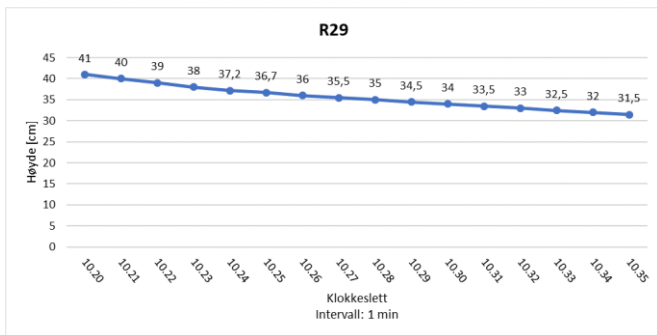
Figur 11: Diagrammene representerer målepunkt R26: $K_{sat} \approx 14,4 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



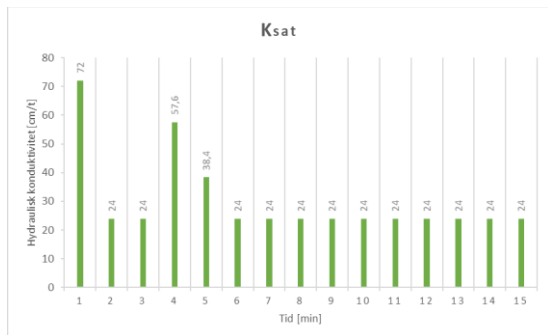
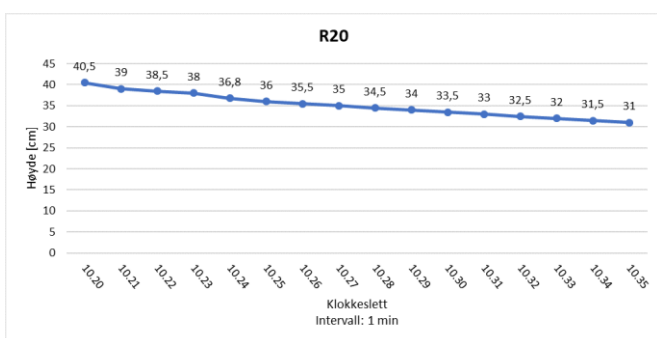
Figur 12: Diagrammene representerer målepunkt R27: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 13: Diagrammene representerer målepunkt R28: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



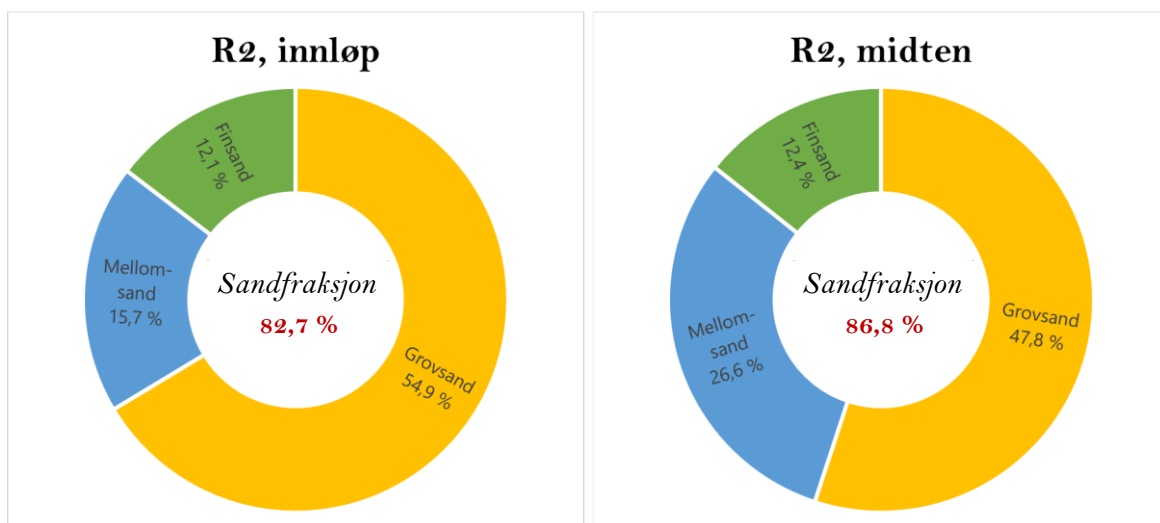
Figur 14: Diagrammene representerer målepunkt R29: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 15: Diagrammene representerer målepunkt R20: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 2 har filtermedietype 1, som vist i Tabell 1: 30 % Oslokompost, 20 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 16. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (1,1 % i innløpet og 0,7 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 17,0 % ved innløpet og 12,6 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 3,4 ved innløpet og 2,4 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 107,3 cm/t i innløpet og 103,1 cm/t i «midten».

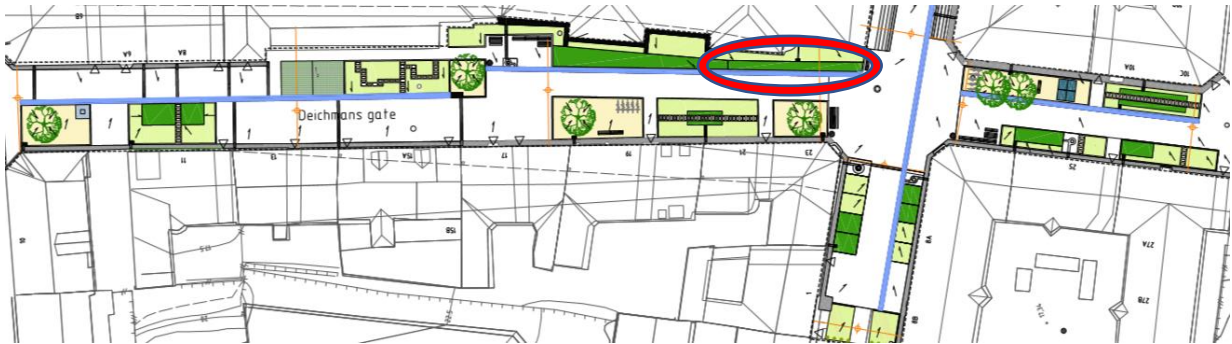


Figur 16: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 2. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 13,0 % i innløpet og 20,6 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømningen bremses, særlig i «midten».

Vedlegg 3 – Regnbed 3

Detaljer om regnbed 3 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 3 og Tabell 1.



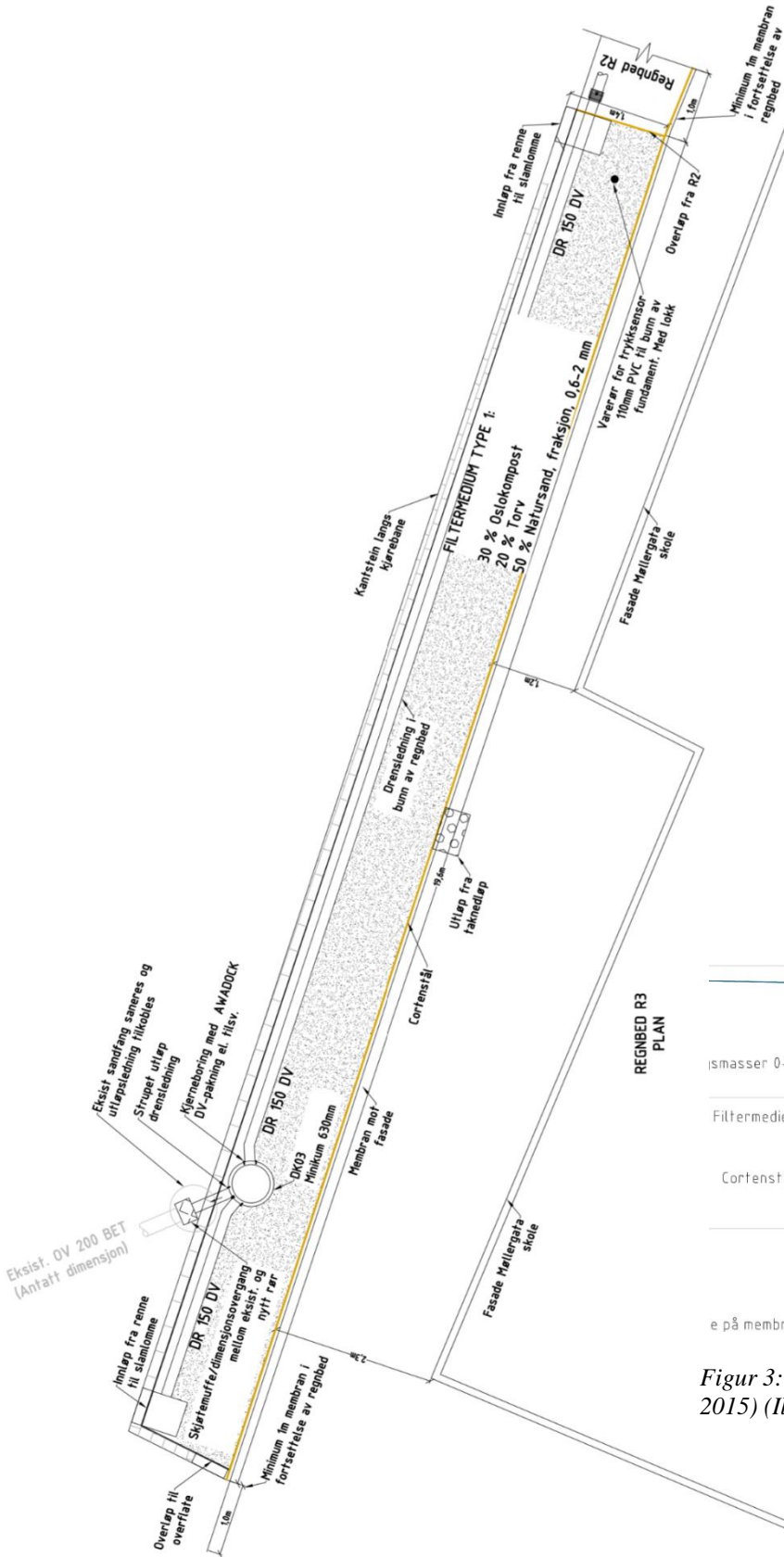
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 3 er lokalisert i gata.



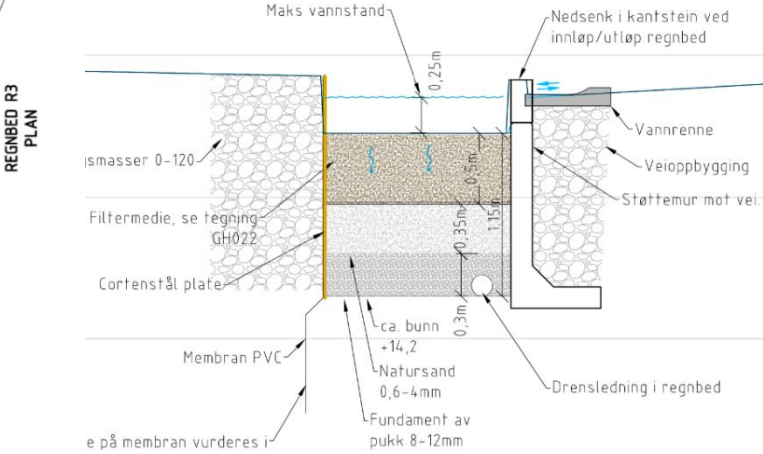
Bilde 1: Viser regnbed 3 (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak).

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 3. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	25 m ²
Tilknyttet delfelt	505 m ² (A _{tak} = 189 m ² , A _{grønt} = 82 m ² , A _{gatestein} = 234 m ²)
Avrenningskoeffisient (C _{midlere})	0,66
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	B - Regnbed med tradisjonell utførelse
Filtermedieblending (volumprosent)	1 - 30 % Oslokompost, 20 % Torv, 50 % Natursand



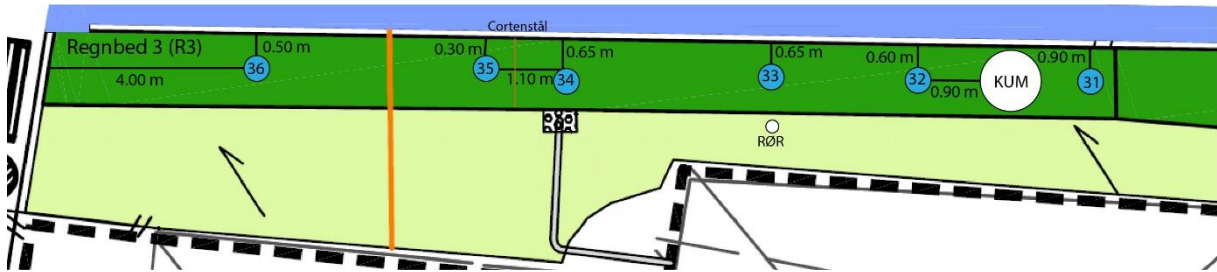
Figur 2: Plantegning av overflaten på regnbed 3. Regnbedet består av to innløp fra renne til innløpskasser, et peilerør og en drenskum (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 3: Snittegning av regnbed 3 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015) (Illustrasjon: Endre Langeland).

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 3 er utført 01.07.19, og det er utført totalt 6 målinger (Figur 4). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet og regn. Målepunktene R31 og R34 er ved innløp, og R32 er ved kum.

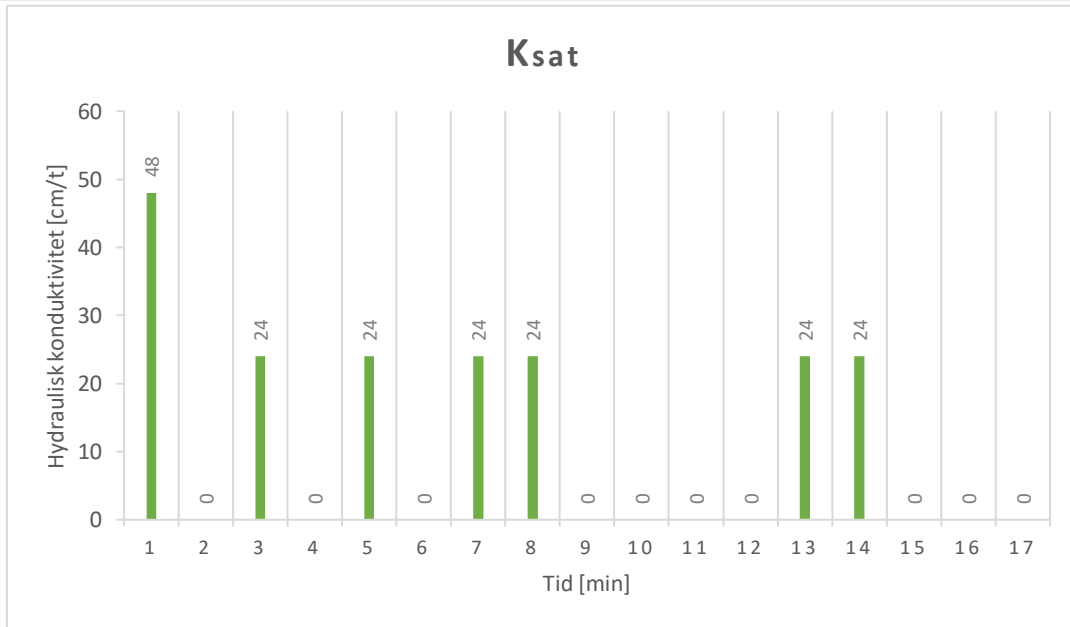
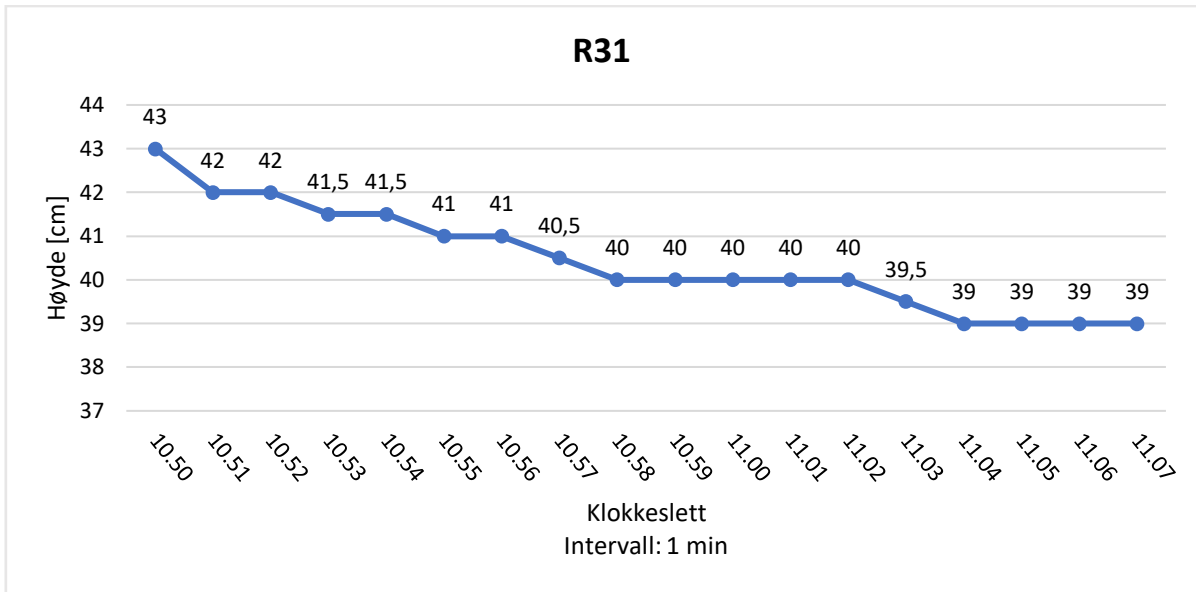


Figur 4: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 3. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

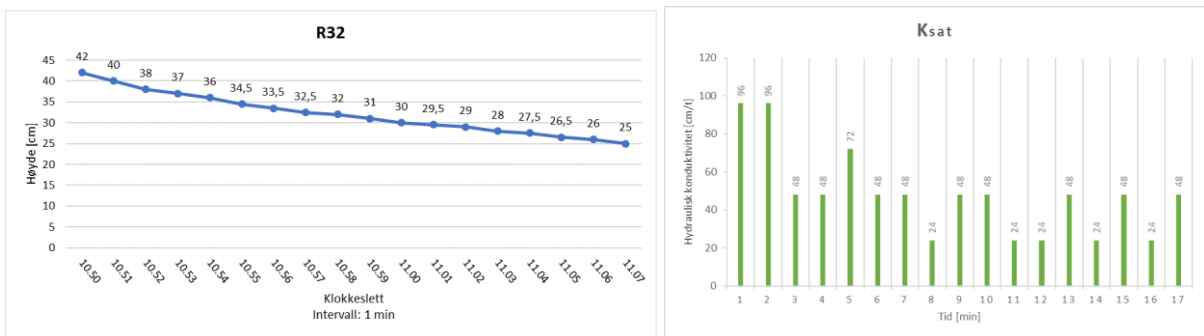
Gjennom resultatene i Tabell 1 observeres varierende infiltrasjon i bedet. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 5 – Figur 10.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 3, og gjennomsnitt- og medianverdien av disse.

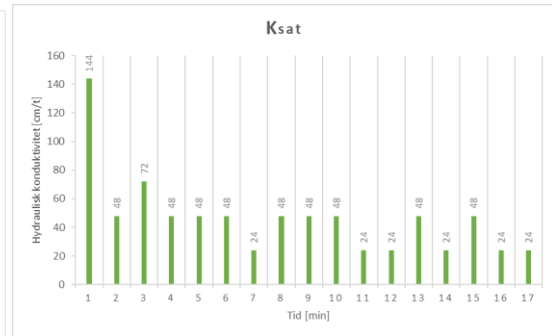
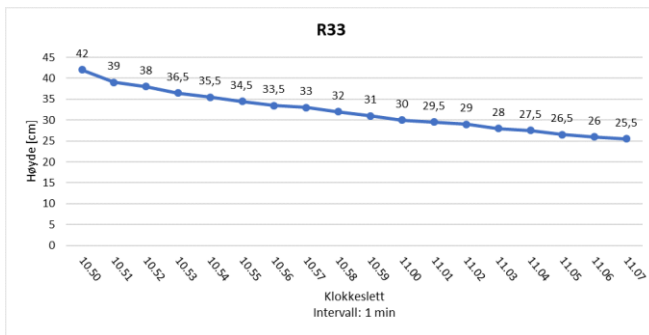
K_{sat} [cm/t]	R31	R32	R33	R34	R35	R36	Gjennomsnitt	Median
	24	48	24	14,4	19,2	14,4	24	21,6



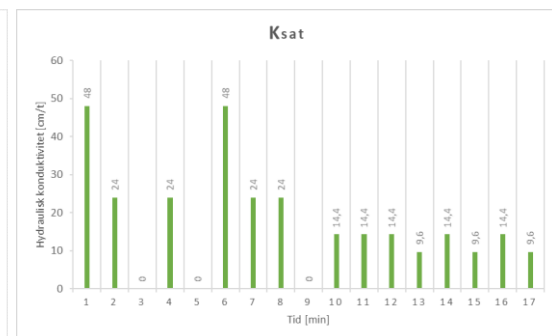
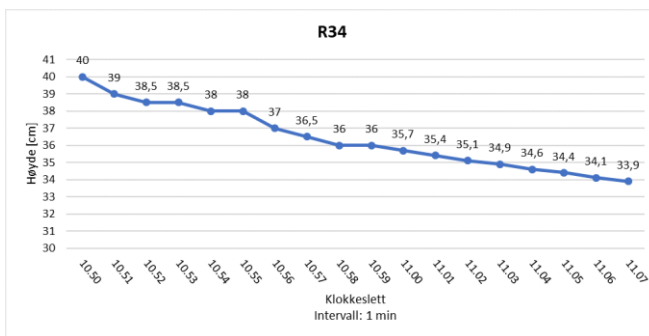
Figur 5: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 3 (R31), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 24$ cm/time.



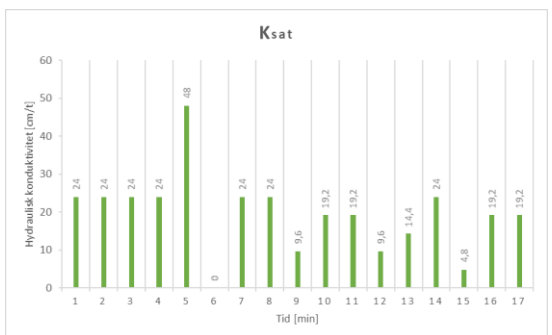
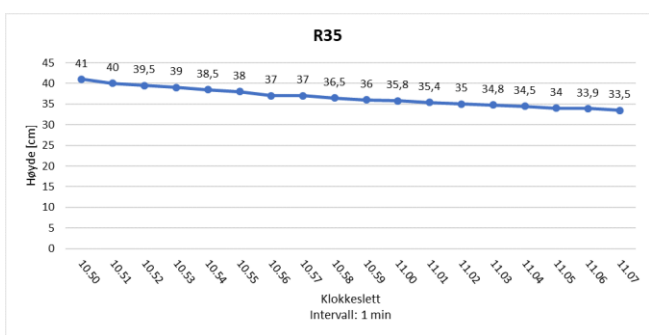
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt R32: $K_{sat} \approx 48$ cm/t. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



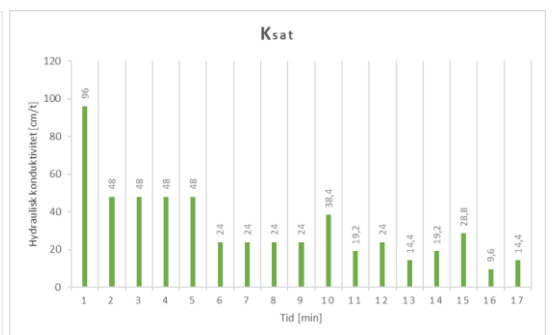
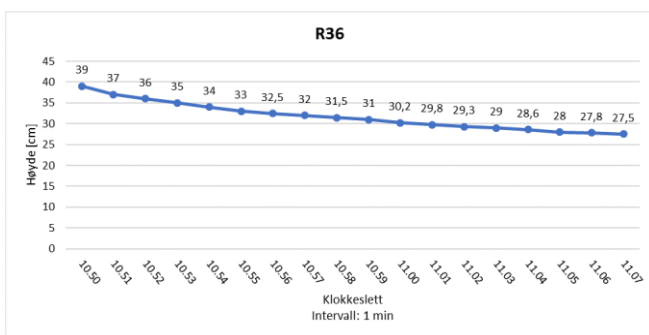
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R33: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R34: $K_{sat} \approx 14,4 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



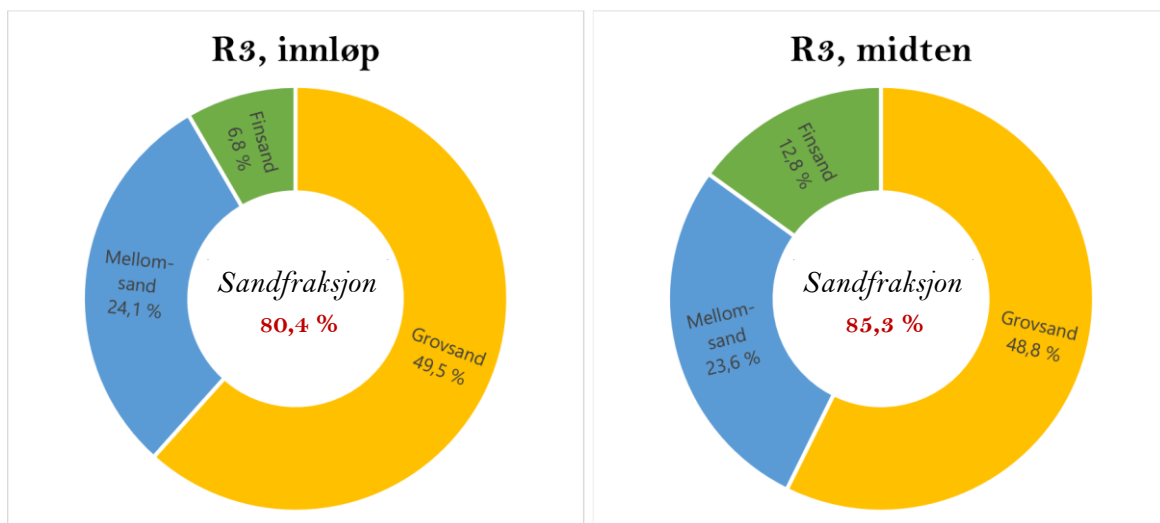
Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R35: $K_{sat} \approx 19,2 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 10: Diagrammene representerer målepunkt R36: $K_{sat} \approx 14,4 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 3 har filtermedietype 1, som vist i Tabell 1: 30 % Oslokompost, 20 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 11. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,5 % i innløpet og 0,7 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 19,2 % ved innløpet og 15,0 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,3 ved innløpet og 2,6 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 179,9 cm/t i innløpet og 108,9 cm/t i «midten».

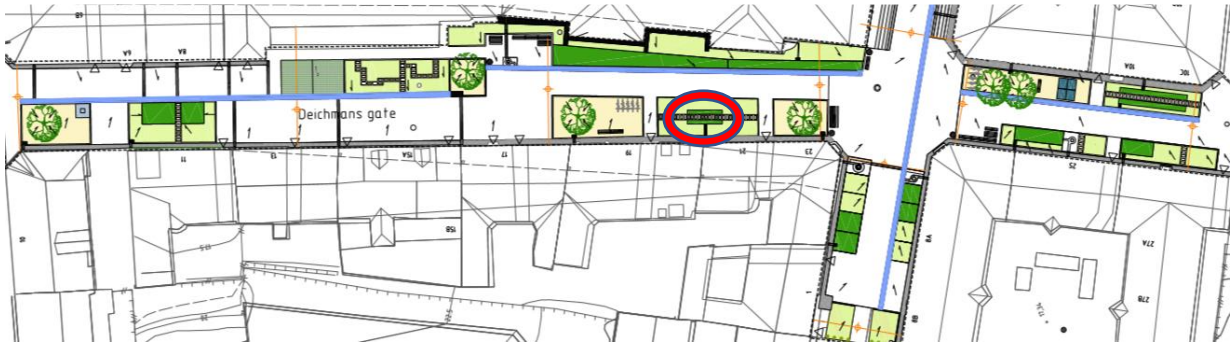


Figur 11: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 3. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellom-sand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

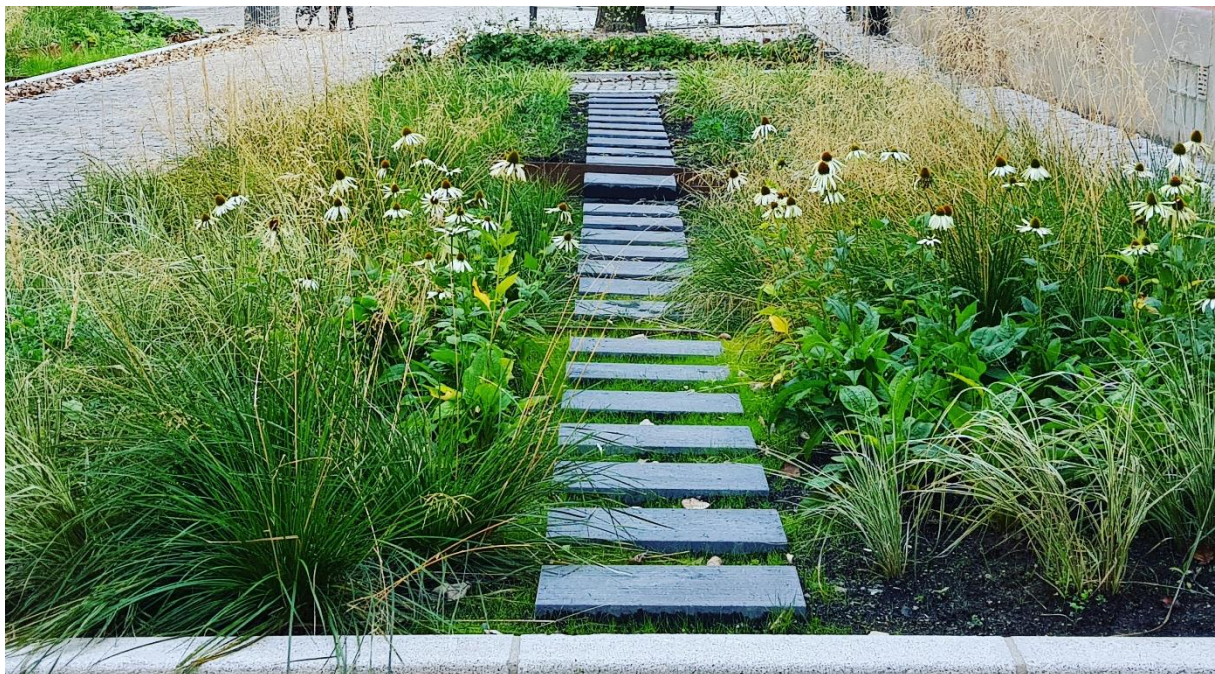
Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 17,7 % i innløpet og 18,5 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømmingen bremses.

Vedlegg 4 – Regnbed 4

Detaljer om regnbed 4 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 3 og Tabell 1.



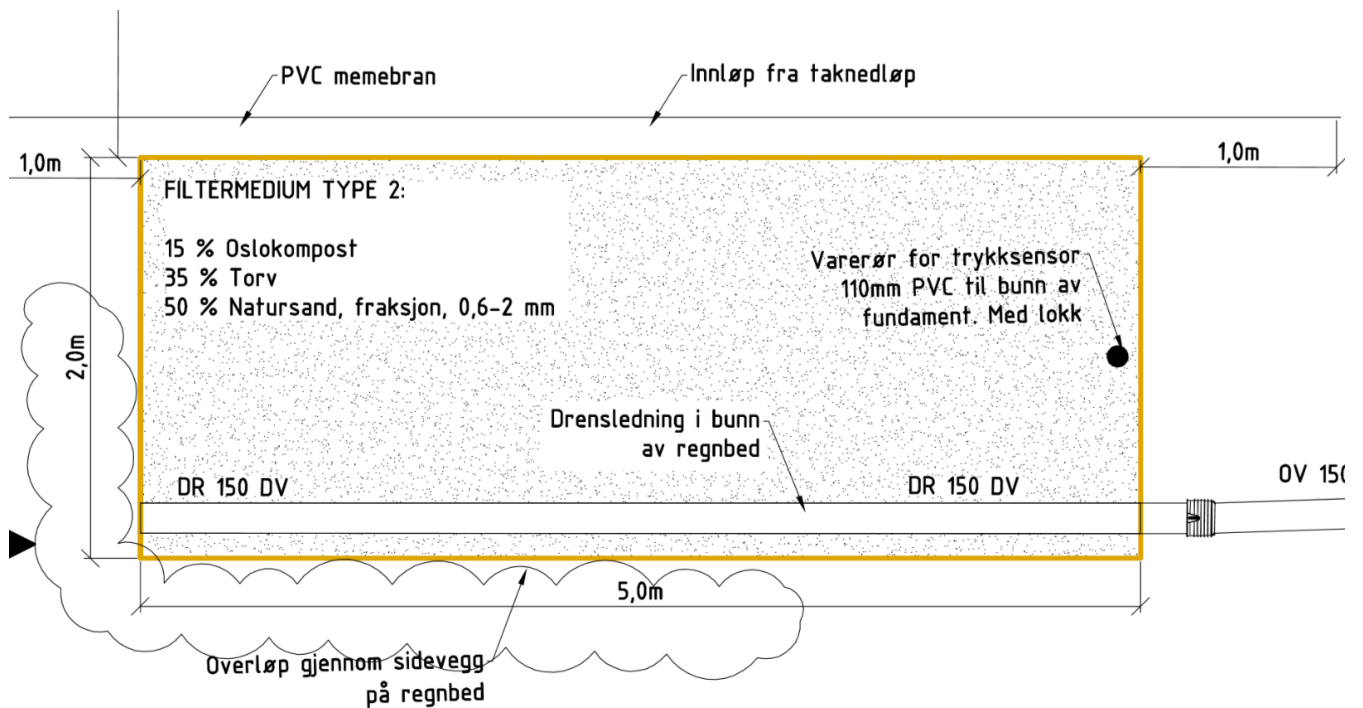
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 4 er lokalisert i gata.



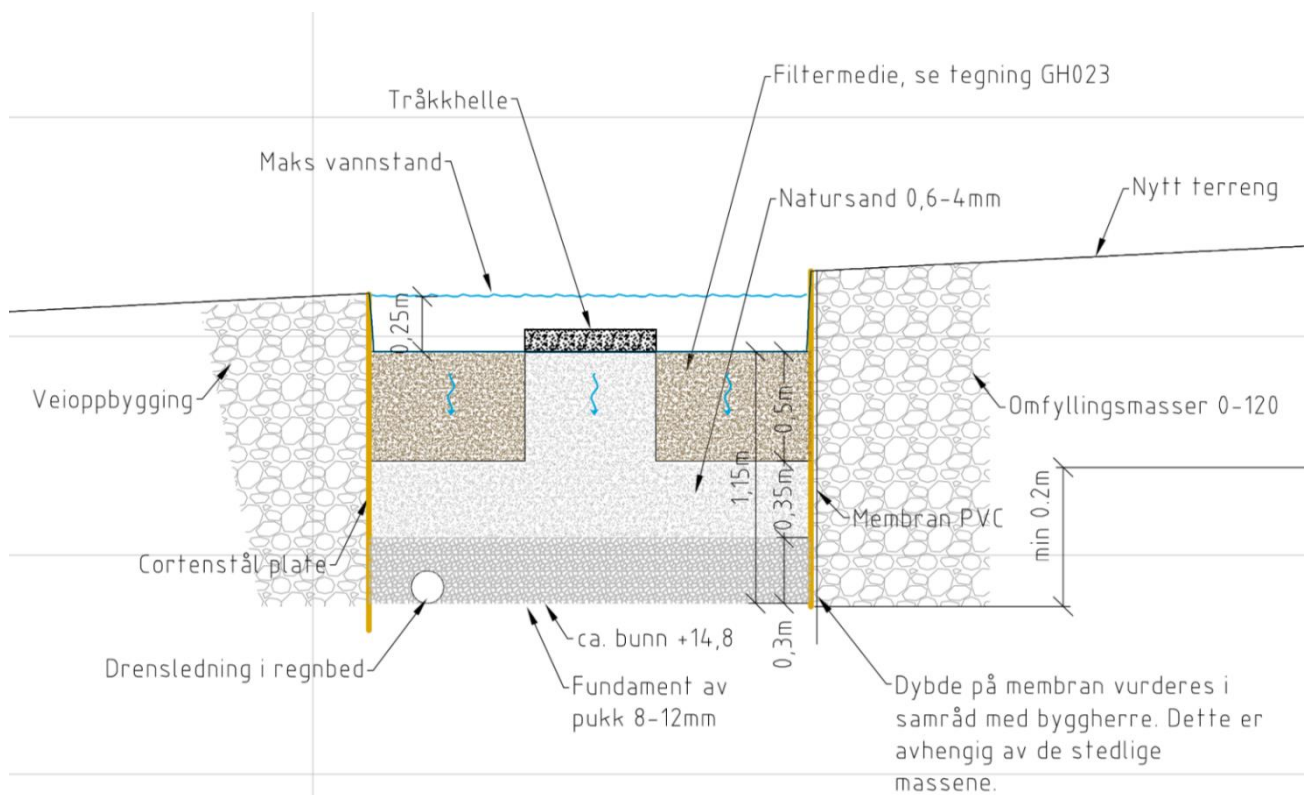
Bilde 1: Viser regnbed 4 (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak).

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 4. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltpene; tak og plantefelt/grøntareal. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	10 m ²
Tilknyttet delfelt	193 m ² (A _{tak} = 118 m ² , A _{grønt} = 75 m ²)
Avrenningskoeffisient (C _{midlere})	0,67
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	C - Regnbed med drenerende lag i midten
Filtermedieblending (volumprosent)	2 - 15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand



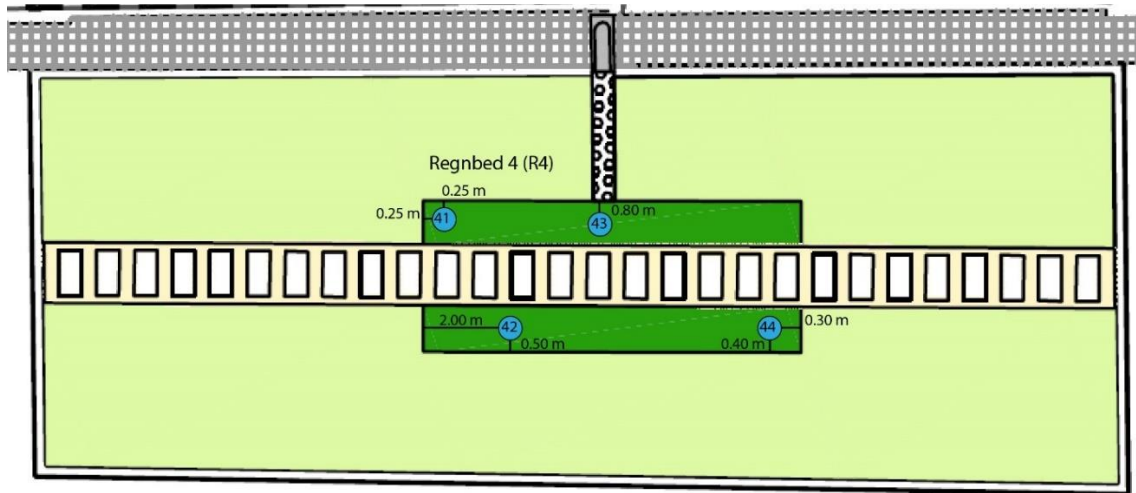
Figur 2: Plantegning av overflaten på regnbed 4. Regnbedet består av et innløp fra taknedløp og et peilerør (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 3: Snittegning av regnbed 4 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 4 er utført 01.07.19, og det er utført totalt 4 målinger (Figur 4). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet og regn. Målepunktet R43 er ved innløp.

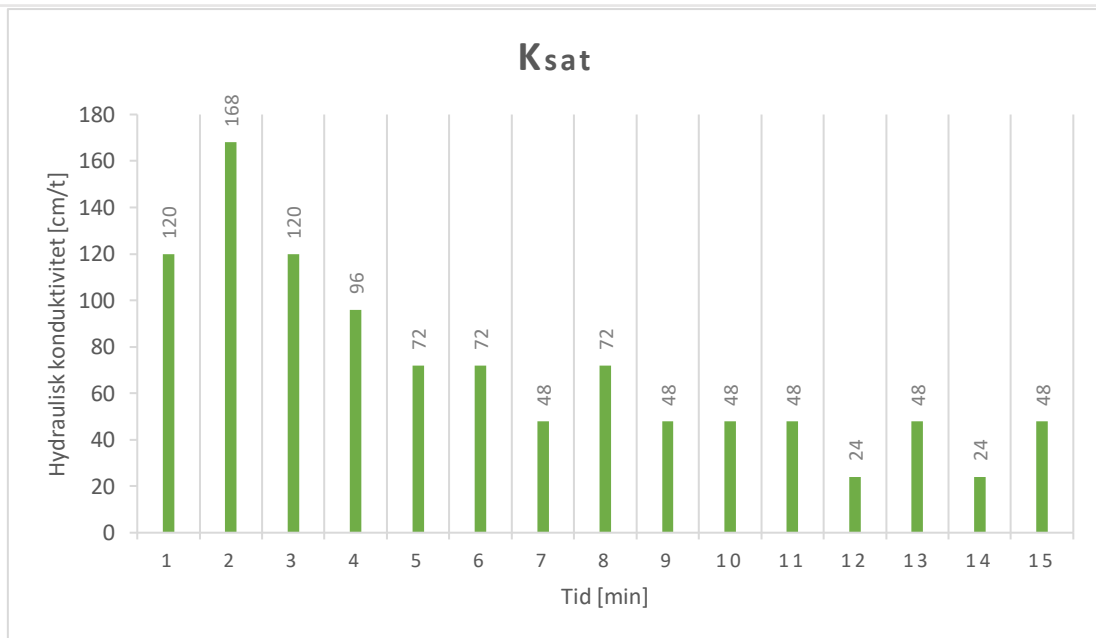
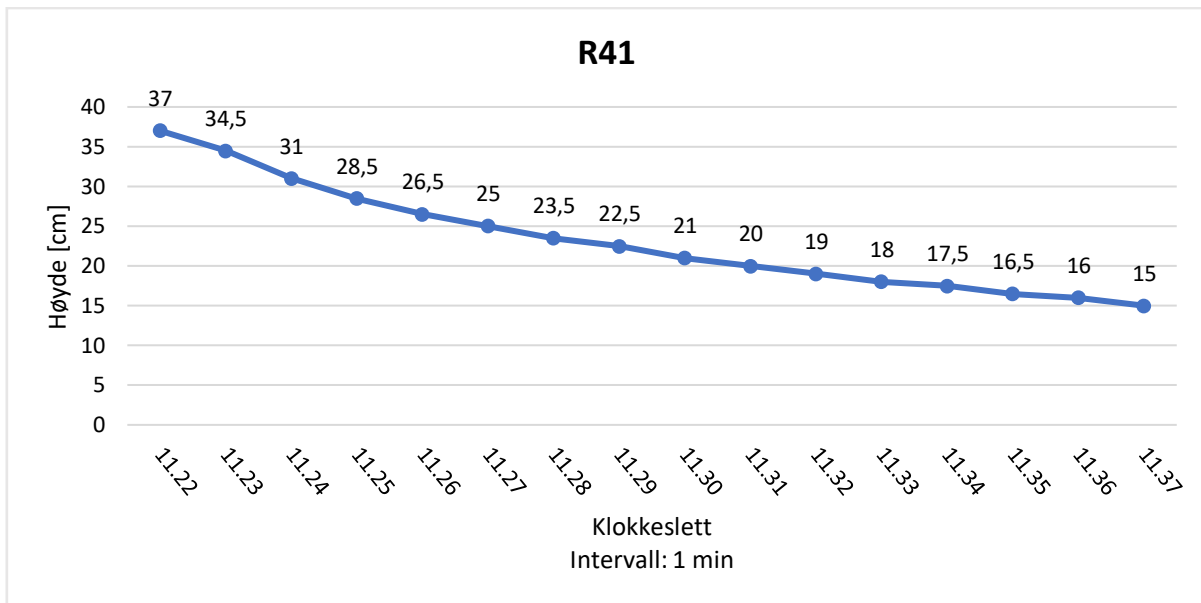


Figur 4: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 4. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

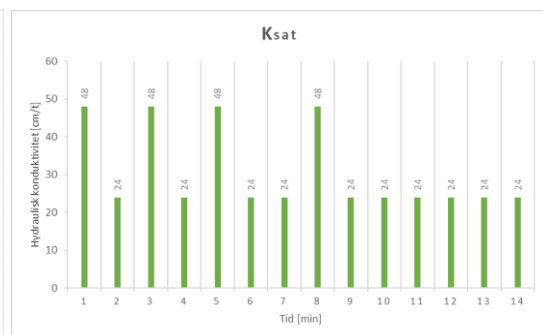
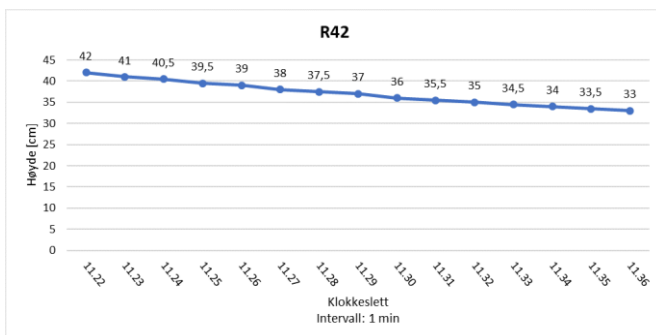
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres varierende infiltrasjon i bedet. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 5 – Figur 8.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 4, og gjennomsnitts- og medianverdien av disse.

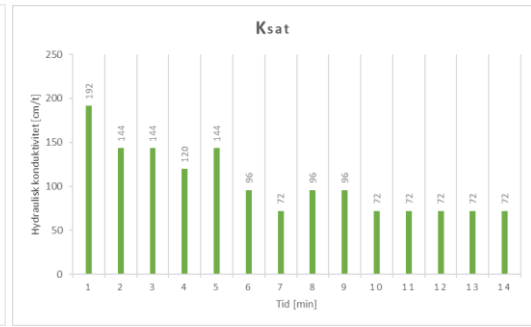
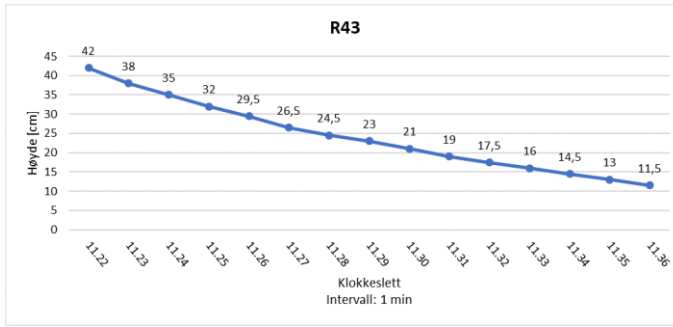
K_{sat} [cm/t]	R41	R42	R43	R44	Gjennomsnitt	Median
	48	24	72	96	60	60



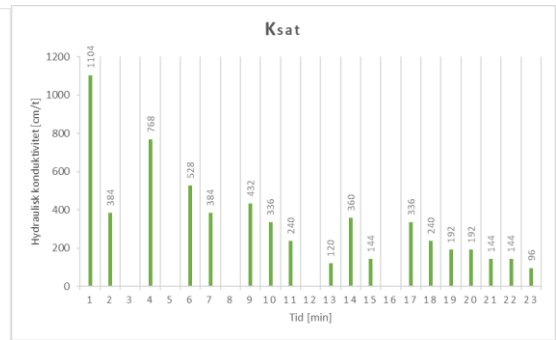
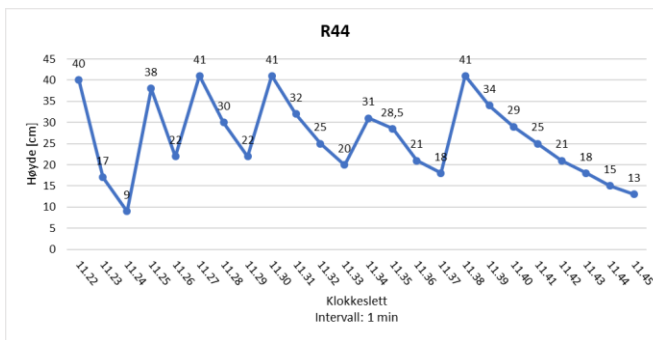
Figur 5: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 4 (R41), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 48$ cm/time.



Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt R42: $K_{sat} \approx 24$ cm/t. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



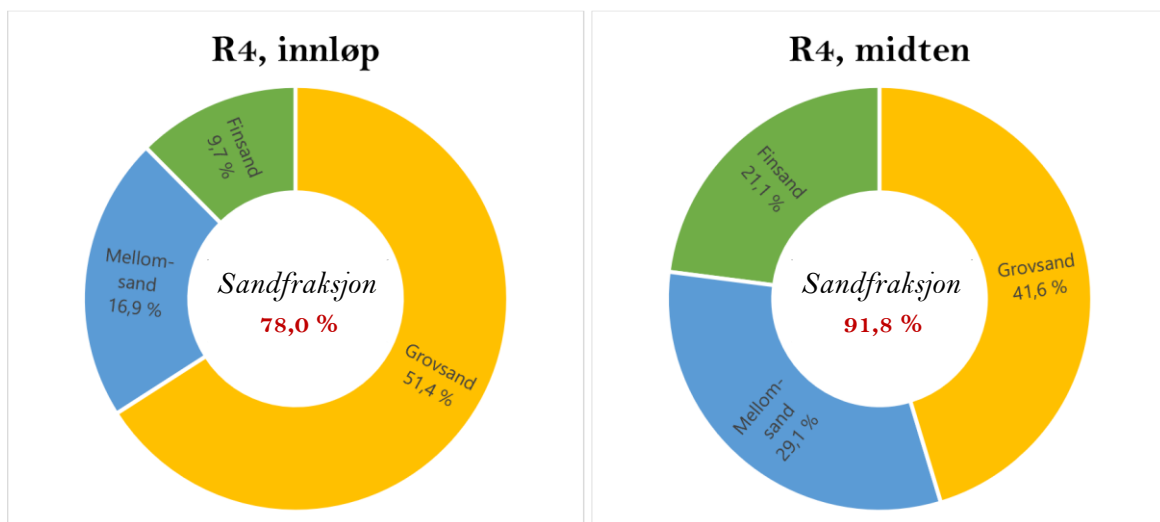
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R43: $K_{sat} \approx 72 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R44: påfyll = 5, $K_{sat} \approx 96 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 4 har filtermedietype 2, som vist i Tabell 1: 15 % Oslokompost, 35 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 9. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,4 % i innløpet og 0,8 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 22,4 % ved innløpet og 7,2 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,7 ved innløpet og 2,5 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 157,0 cm/t i innløpet og 58,7 cm/t i «midten».



Figur 9: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 4. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellom-sand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 8,1 % i innløpet og 7,4 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vann gjennomstrømningen bremses.

Vedlegg 5 – Regnbed 5

Detaljer om regnbed 5 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 4 og Tabell 1.



Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 5 er lokalisert i gata.



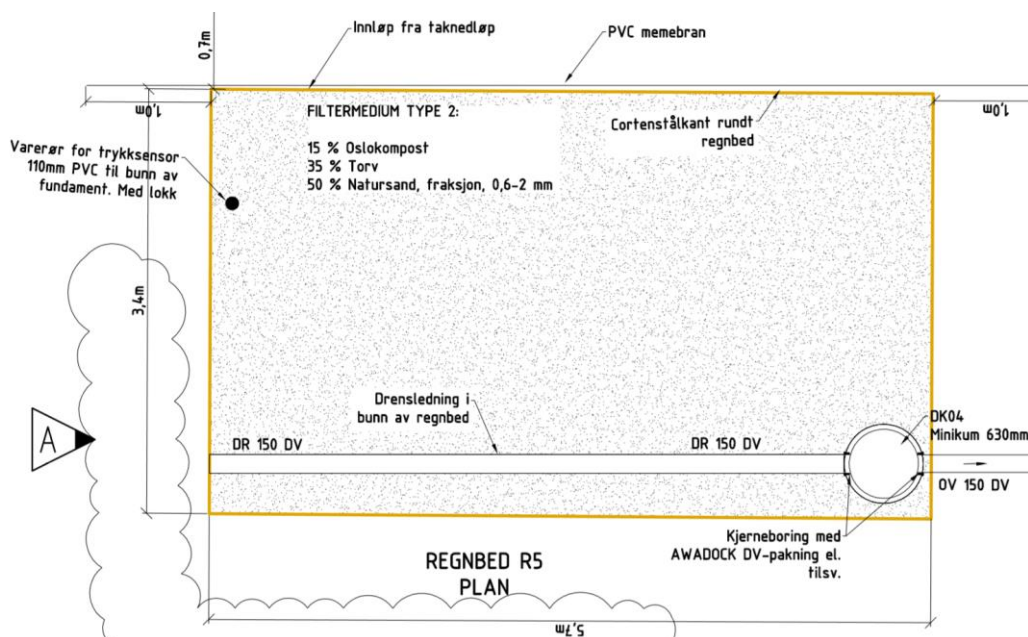
Bilde 1: Viser regnbed 5. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)



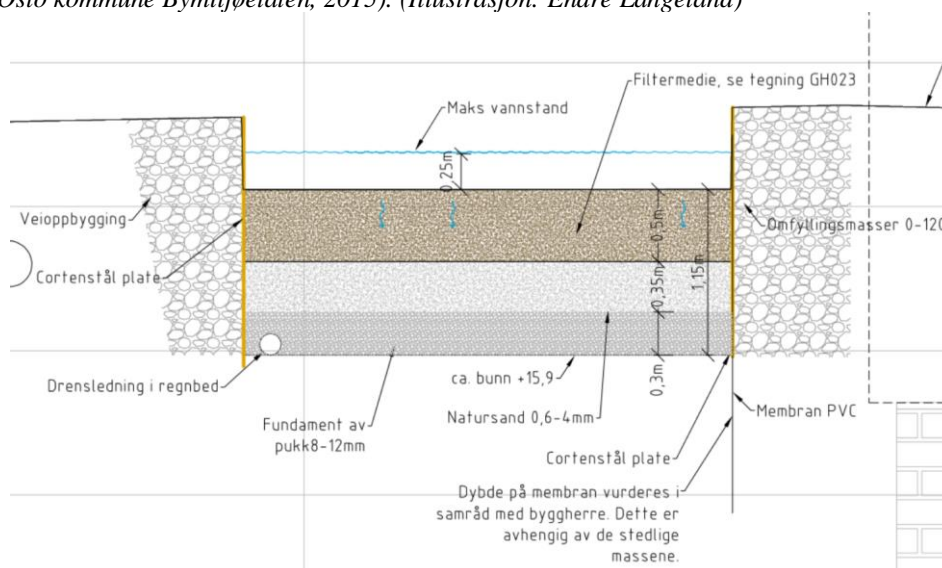
Figur 2: Illustrasjon av regnbed 5. (Illustrasjon: Cathrine Bugge, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 5. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	20 m ²
Tilknyttet delfelt	191 m ² (A _{tak} = 92 m ² , A _{grønt} = 34 m ² , A _{gatestein} = 65 m ²)
Avrenningskoeffisient (c _{midlere})	0,69
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	B - Regnbed med tradisjonell utførelse
Filtermedieblending (volumprosent)	2 - 15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand



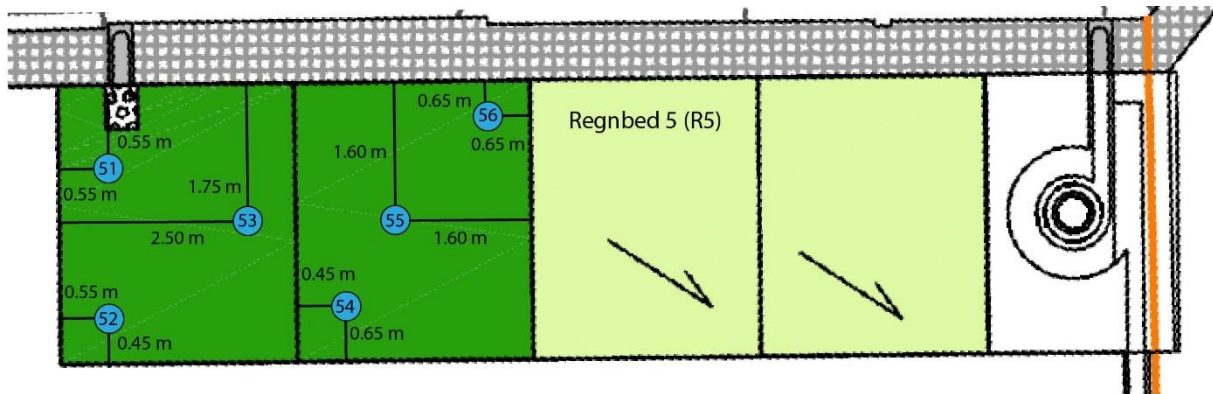
Figur 3: Plantegning av overflaten på regnbed 5. Regnbedet består av et fra taknedløp, et peilerør og en drenskum (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 4: Snittegning av regnbed 5 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 5 er utført 24.06.19, og det er utført totalt 6 målinger (Figur 5). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet med temperatur over 20 °C. Målepunktet R51 er ved innløp.

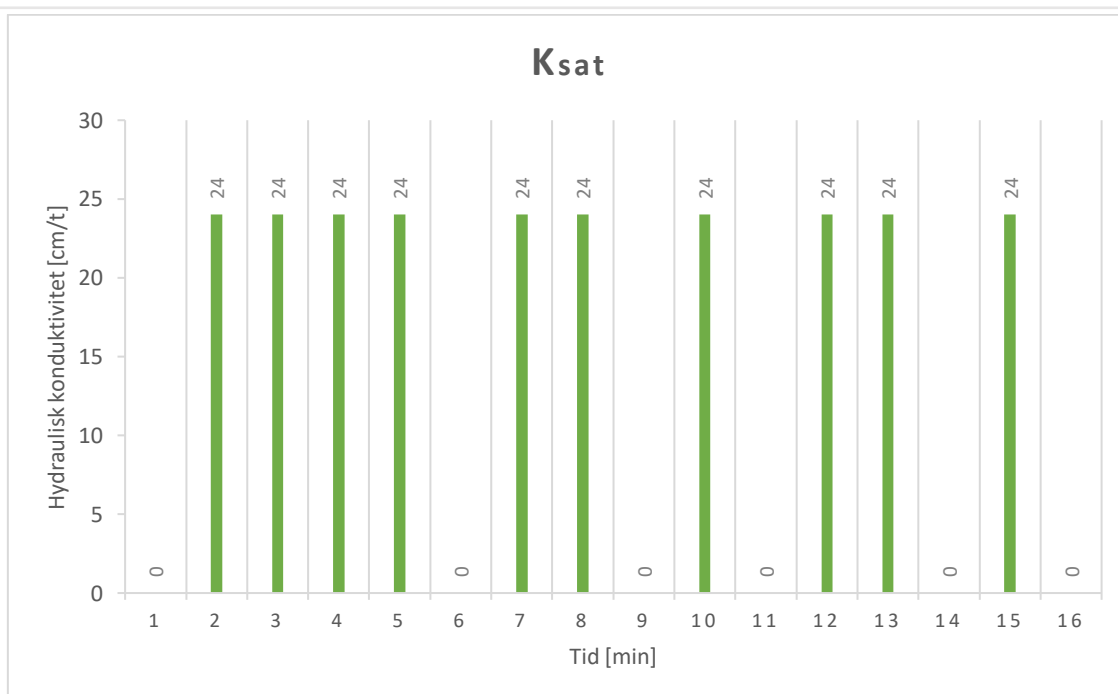
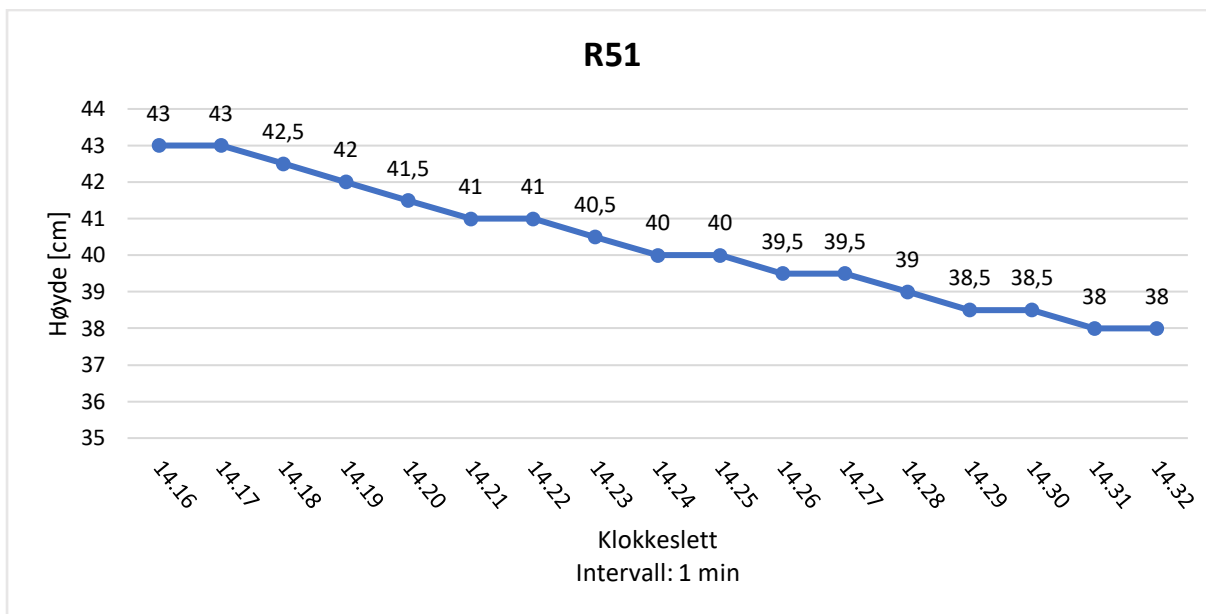


Figur 5: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 5. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

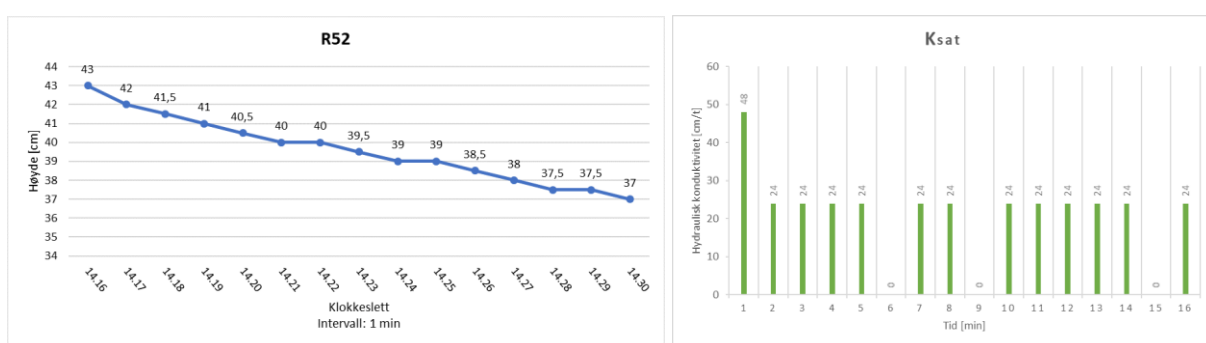
I resultatene observeres én MPD-måling i målepunkt R56 med mye høyere K_{sat} enn resterende målinger; $K_{sat} = 240$ cm/t (Figur 11). Når forsøket ble gjennomført ble røret gjenfylt med vann flere ganger ettersom vannet raskt infiltrerte i grunnen, og det var vanskelig å oppnå en stabil infiltrasjonshastighet. Denne MPD-målingen kan skyldes ulike parametere: Målepunktet lå nær cortenstålen som omringer regnbedene, og vannet kan ha strømt gjennom sprekker langs stålen. Målepunktet kan også ha vært i nærheten av et stort luftrom under jordoverflaten der vannet forsvant, som kan skyldes indre erosjonsskader. Et slikt luftrom ble observert i R7 som et synkehull, når regnbedet ble oversvømt med vann fra brannbiler (se kap. 3.2.1). For ytterligere informasjon om målingene se Figur 6 – Figur 11 og Tabell 2.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 5, og gjennomsnitts- og medianverdien av disse.

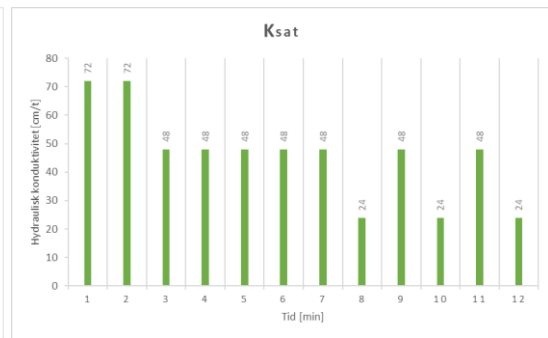
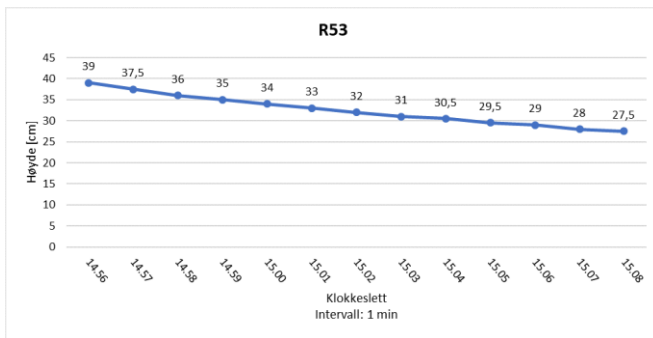
K_{sat} [cm/t]	R51	R52	R53	R54	R55	R56	Gjennomsnitt	Median
	24	24	48	24	48	240	68	36



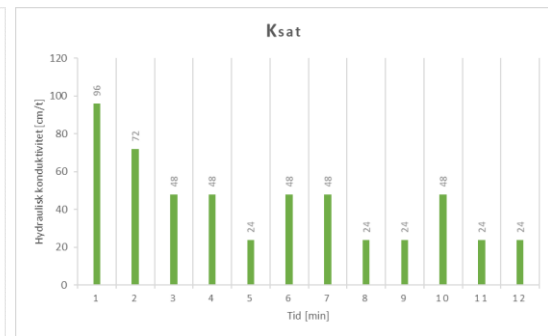
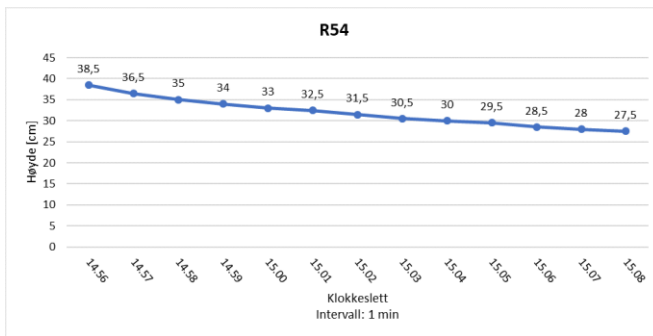
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 5 (R51), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 24$ cm/time.



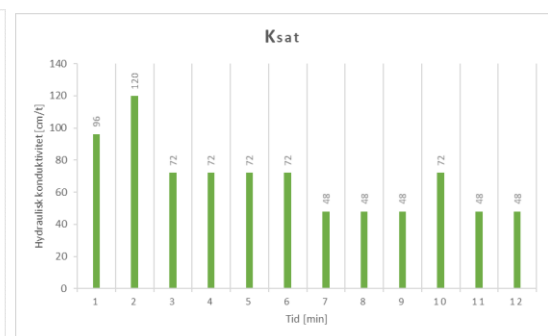
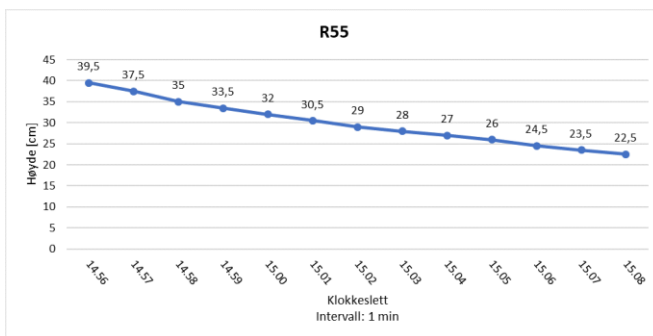
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R52: $K_{sat} \approx 24$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



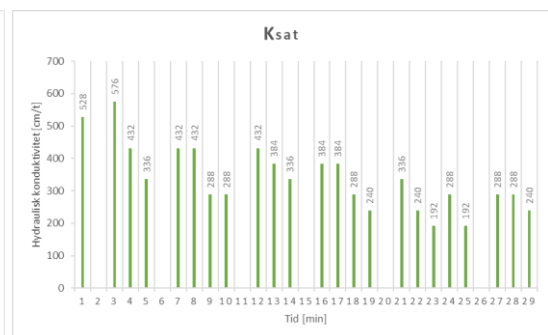
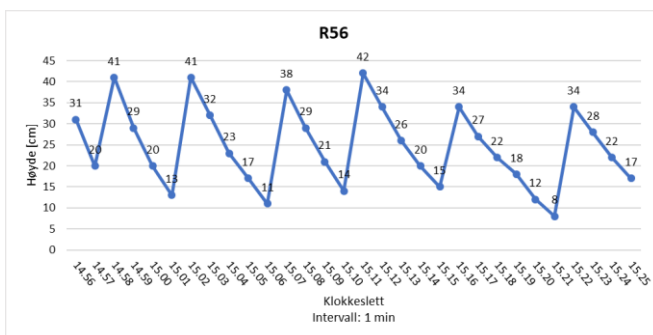
Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R53: $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R54: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



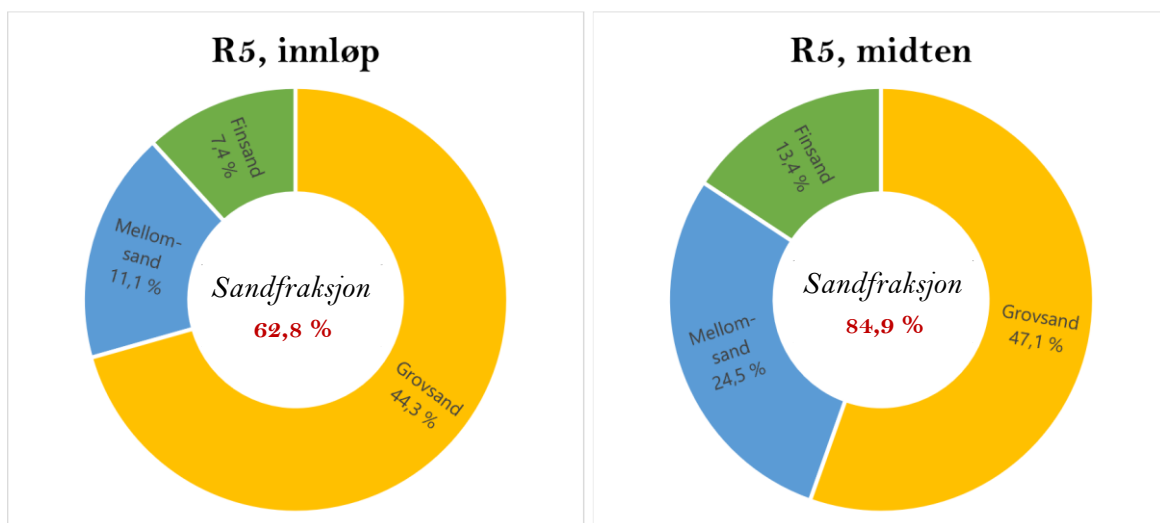
Figur 10: Diagrammene representerer målepunkt R55: $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 11: Diagrammene representerer målepunkt R56: påfyll = 6, $K_{sat} \approx 240 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 5 har filtermedietype 2, som vist i Tabell 1: 15 % Oslokompost, 35 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 12. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,9 % i innløpet og 1,0 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 37,2 % ved innløpet og 15,2 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 3,1 ved innløpet og 2,5 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 218,8 cm/t i innløpet og 102,0 cm/t i «midten».



Figur 12: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 5. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellom-sand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 13,8 % i innløpet og 20,6 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømningen bremses, særlig i «midten».

Vedlegg 6 – Regnbed 6

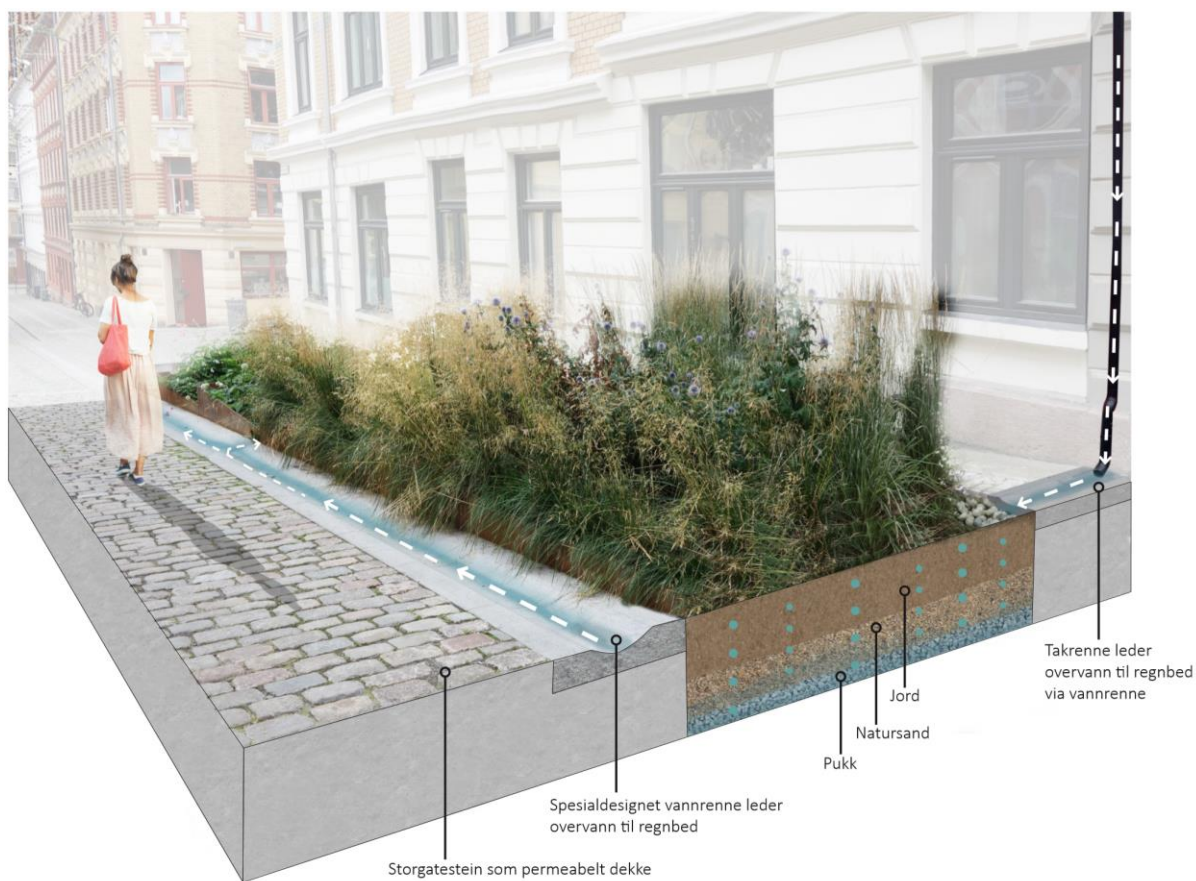
Detaljer om regnbed 6 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 4 og Tabell 1.



Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 6 er lokalisert i gata.



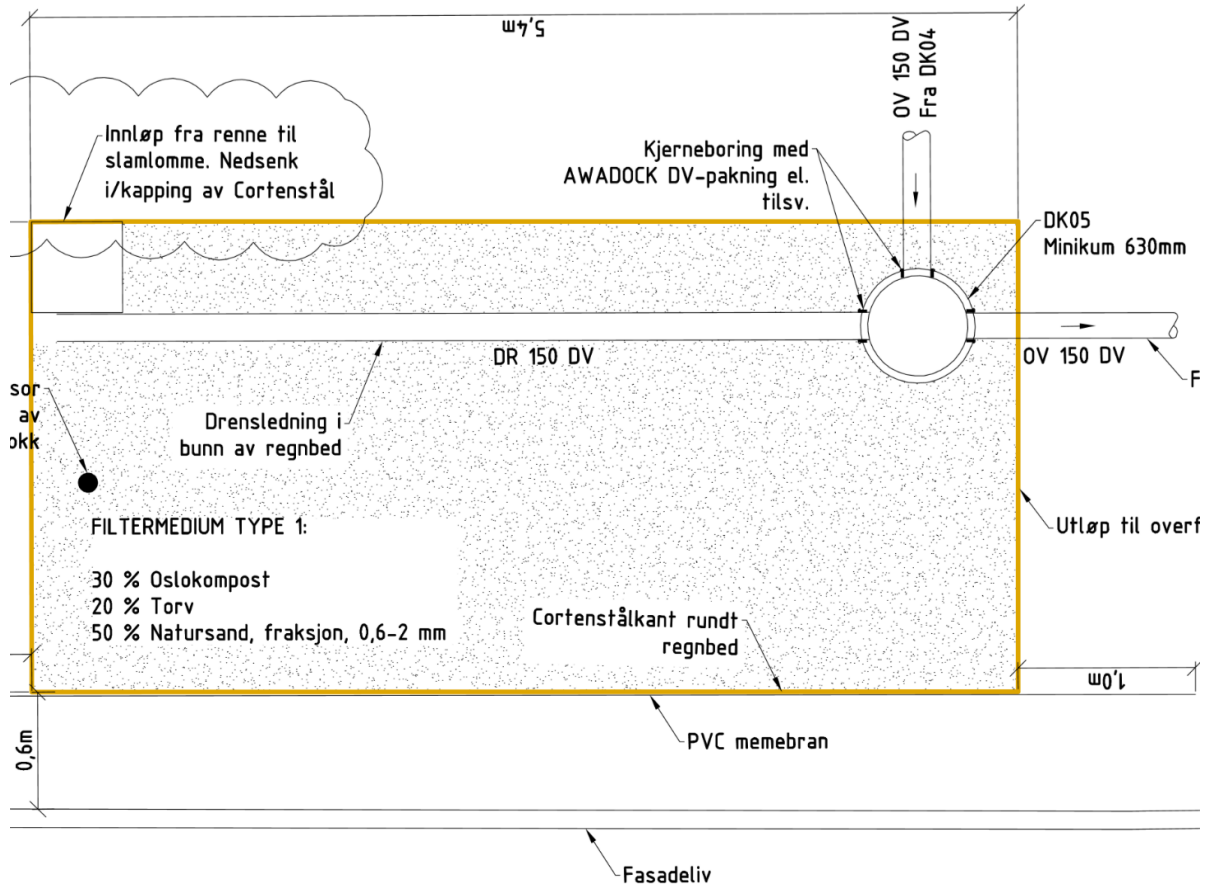
Bilde 1: Viser regnbed 6. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)



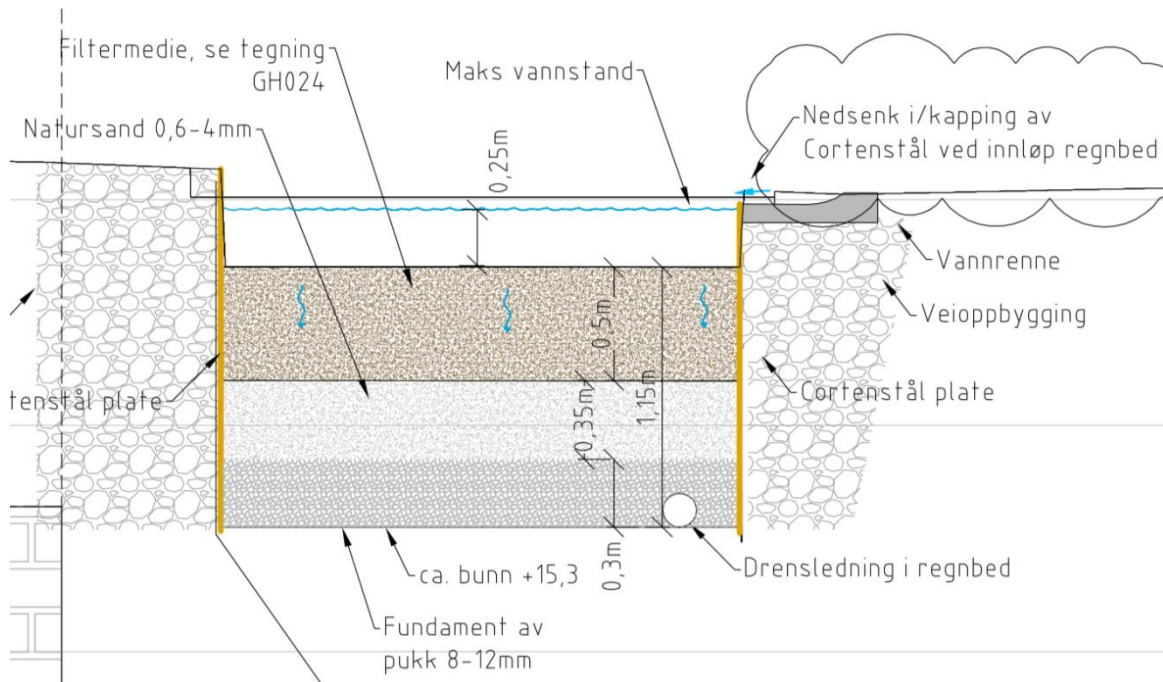
Figur 2: Illustrasjon av regnbed 6. (Illustrasjon: Cathrine Bugge, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 6. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	14 m ²
Tilknyttet delfelt	291 m ² (A _{tak} = 135 m ² , A _{grønt} = 44 m ² , A _{gatestein} = 112 m ²)
Avrenningskoeffisient (c _{midlere})	0,69
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	B - Regenbed med tradisjonell utførelse
Filtermedieblanding (volumprosent)	1 - 30 % Oslokompost, 20 % Torv, 50 % Natursand



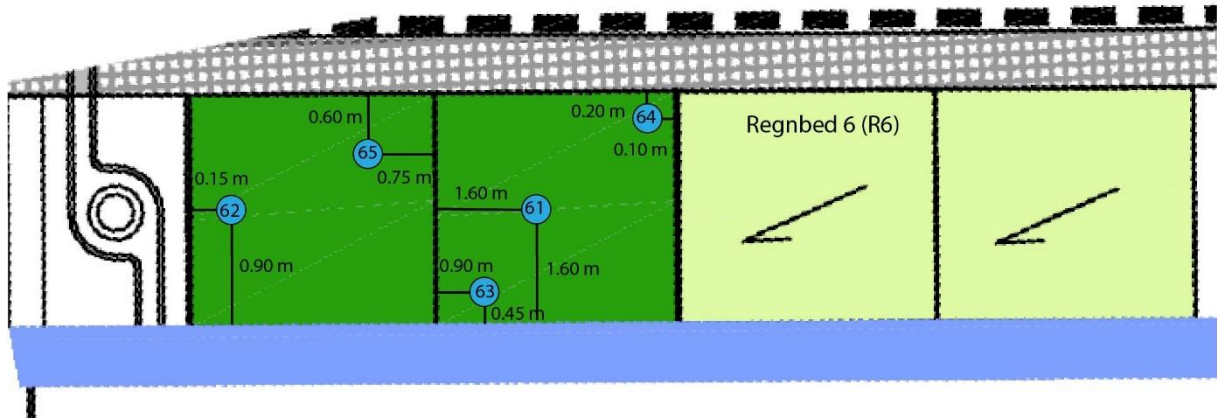
Figur 3: Plan­te­gning av over­flaten på regnbед 6. Regnbедet består av et innløp fra renne til innløpskasse, et peilerør og en drenskum (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 4: Snittegning av regnbед 6 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 6 er utført 24.06.19, og det er utført totalt 6 målinger (Figur 5). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet med temperatur over 20 °C. Målepunktet R62 er ved innløp.

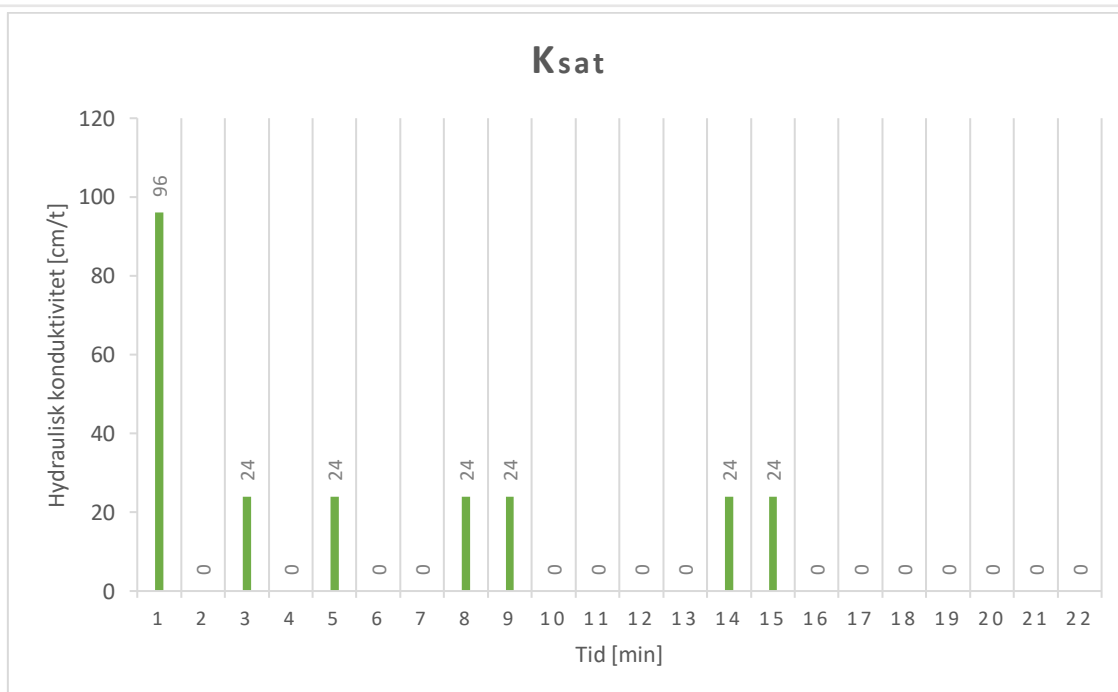
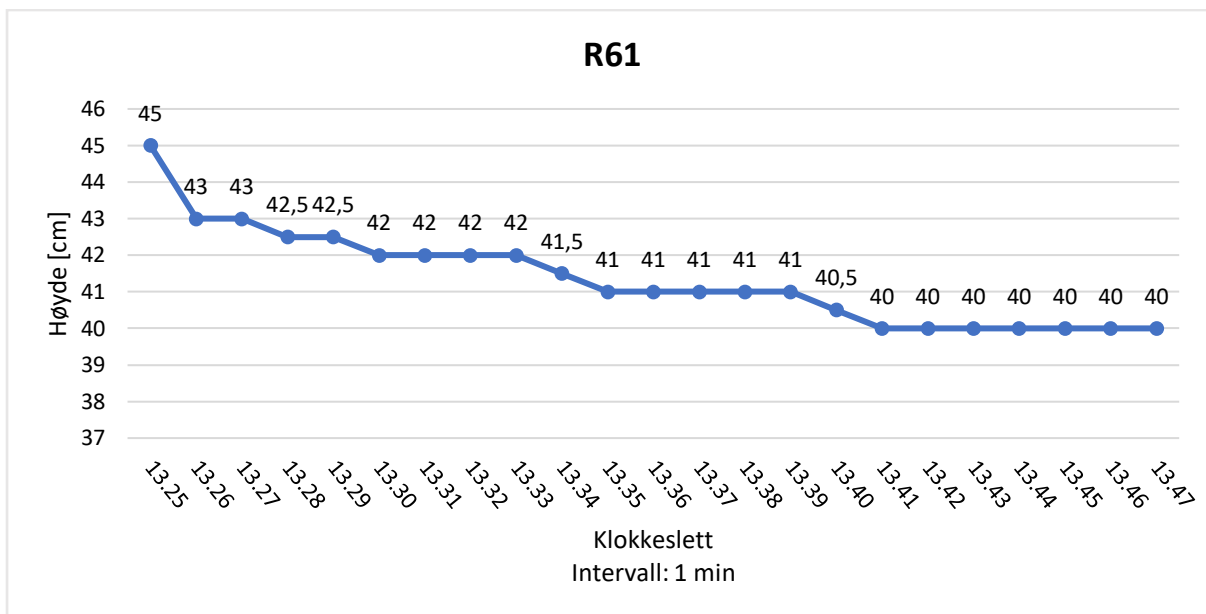


Figur 5: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 6. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

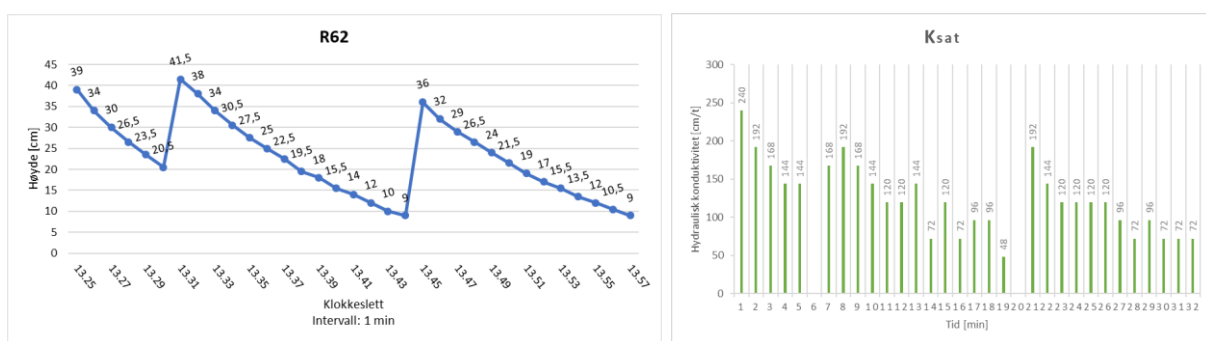
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres varierende infiltrasjon i bedet. Det er generelt god infiltrasjon ved innløpet (R62) og lengst unna innløpet (R64). For ytterligere informasjon om målingene se Figur 6 – Figur 10.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 6, og gjennomsnitt- og medianverdien av disse.

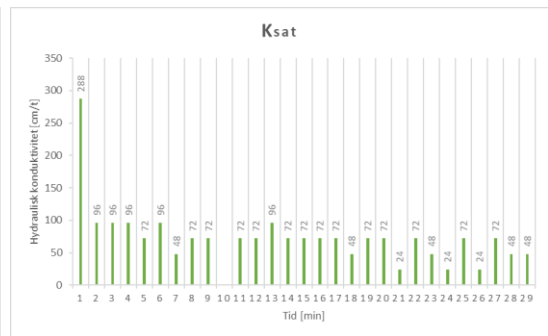
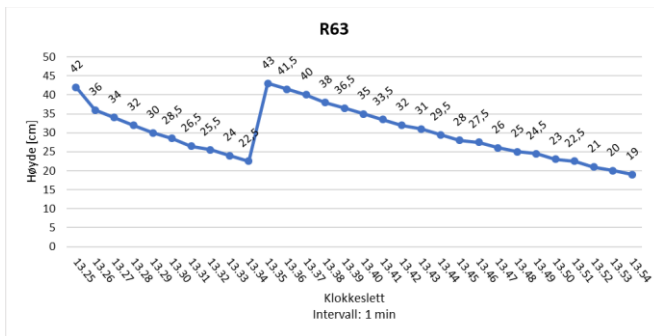
K_{sat} [cm/t]	R61	R62	R63	R64	R65	Gjennomsnitt	Median
	24	72	48	96	24	52,8	48



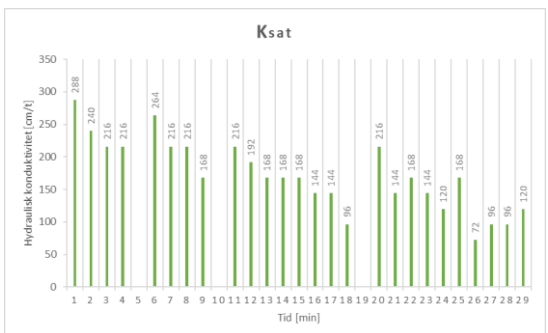
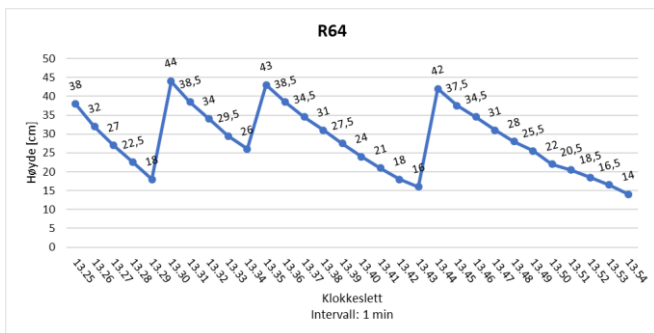
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 6 (R61), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 24$ cm/time.



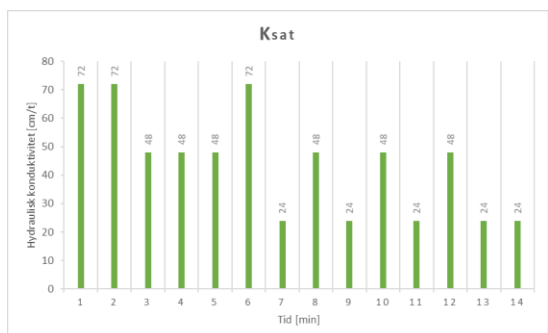
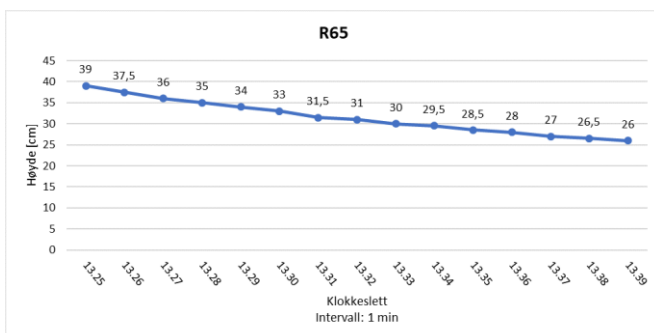
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R62: påfyll = 2, $K_{sat} \approx 72$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R63: påfyll = 1, $K_{sat} \approx 48$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



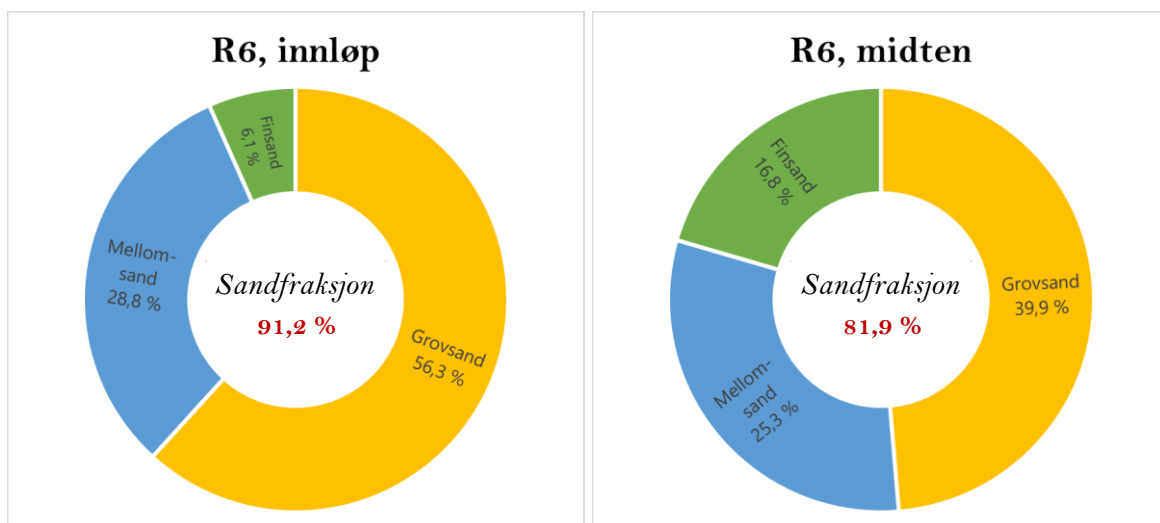
Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R64: påfyll = 3, $K_{sat} \approx 96$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 10: Diagrammene representerer målepunkt R65: $K_{sat} \approx 24$ cm/t. Se figurtekst i Figur 6 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 6 har filtermedietype 1, som vist i Tabell 1: 30 % Oslokompost, 20 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 11. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,4 % i innløpet og 1,0 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 9,2 % ved innløpet og 17,7 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,0 ved innløpet og 3,0 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 190,5 cm/t i innløpet og 76,2 cm/t i «midten».



Figur 11: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 6. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellom-sand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 16,5 % i innløpet og 19,0 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømningen bremses.

Vedlegg 7 – Regnbed 7

Detaljer om regnbed 7 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 3 og Tabell 1.



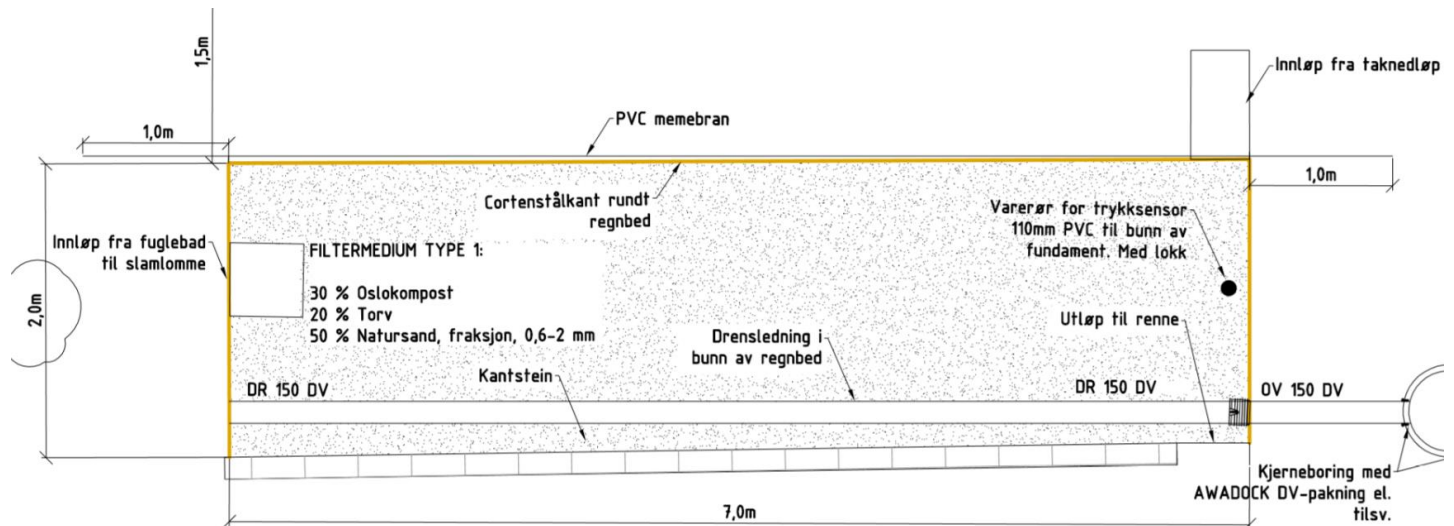
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 7 er lokalisert i gata.



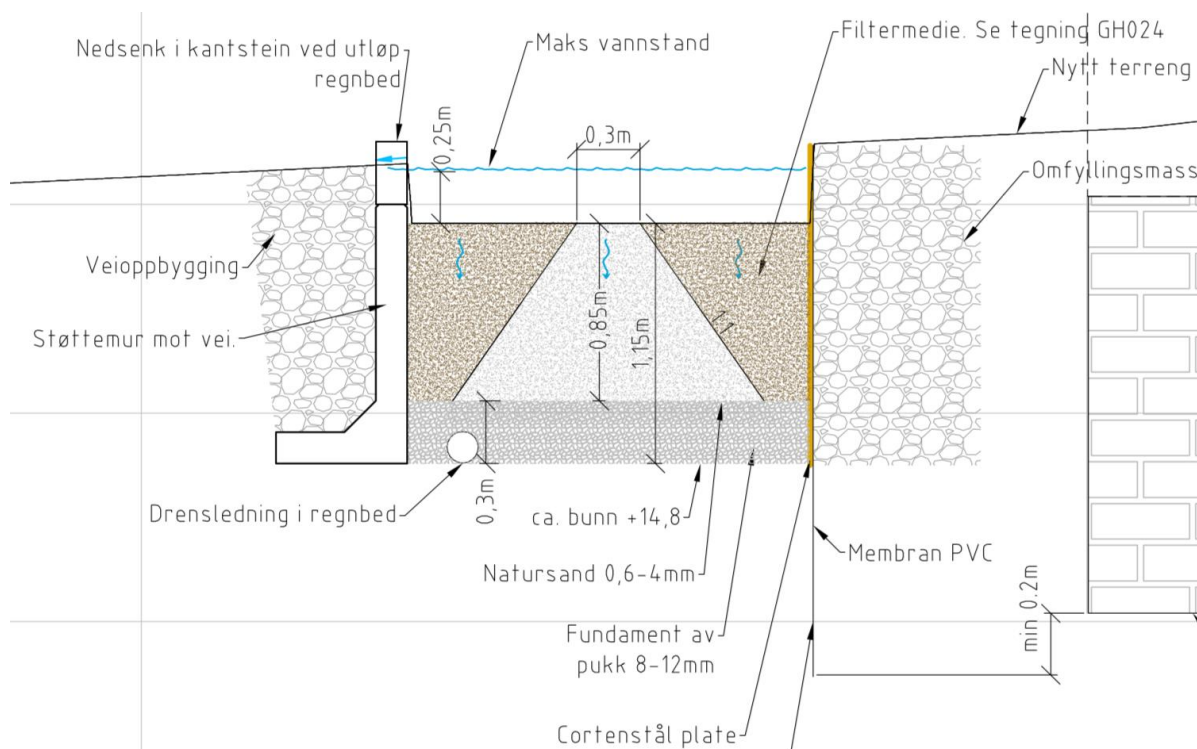
Bilde 1: Viser regnbed 7 (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak).

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 7. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	14 m ²
Tilknyttet delfelt	161 m ² (A _{tak} = 118 m ² , A _{grønt} = 24 m ² , A _{gatestein} = 19 m ²)
Avrenningskoeffisient (C _{midlere})	0,78
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	B - Regnbed med tradisjonell utførelse
Filtermedieblending (volumprosent)	1 - 30 % Oslokompost, 20 % Torv, 50 % Natursand



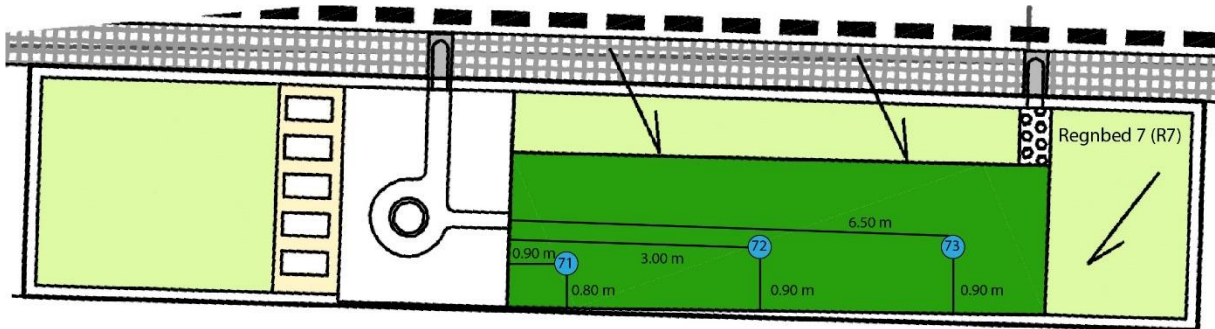
Figur 2: Plan-tegning av overflaten på regnbed 7. Regnbedet består av et innløp fra kunstelement til innløpskasse, et innløp fra taknedløp og et peilerør (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 3: Snittegning av regnbed 7. Tegningen er feil ettersom regnbedet ble konstruert som type B – med tradisjonell utførelse, og ikke med skråstilt filtermedium som teoretisk planlagt. Dette er fordi entreprenøren mente det var vanskelig å utføre i praksis (Pers.med.: Langeland, 2020; Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 7 er utført 24.06.19, og det er utført totalt 3 målinger (Figur 4). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Det var delvis overskyet med temperatur over 20 °C. Målepunktet R71 er ved innløpet fra kunstelement, og R73 er ved innløpet fra taknedløp.

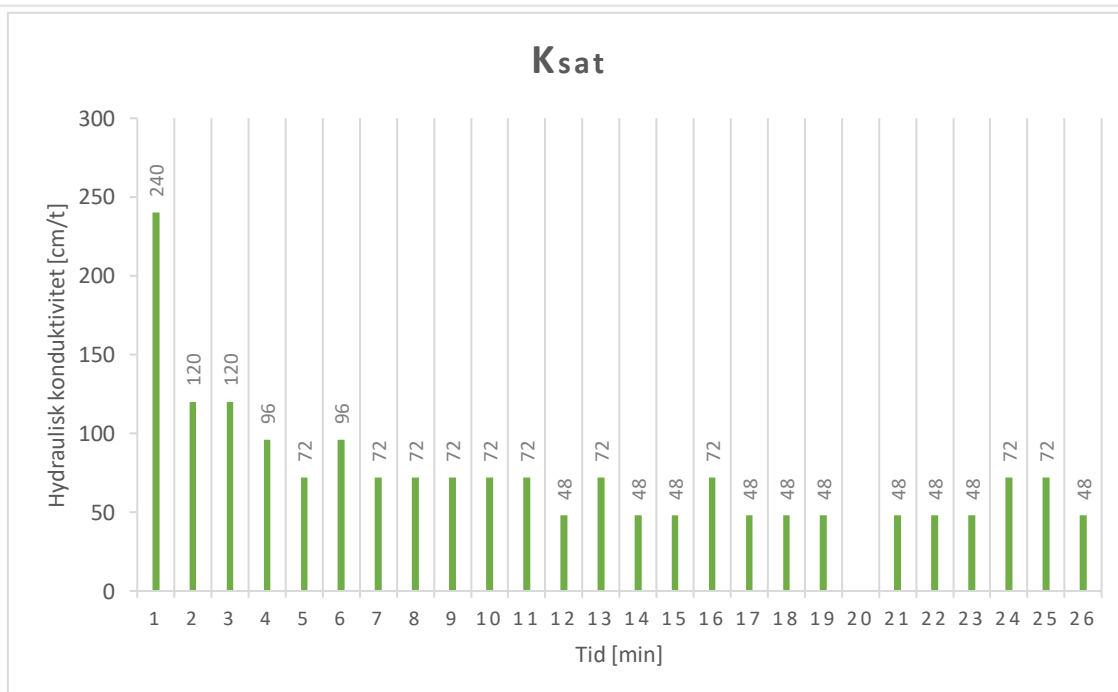
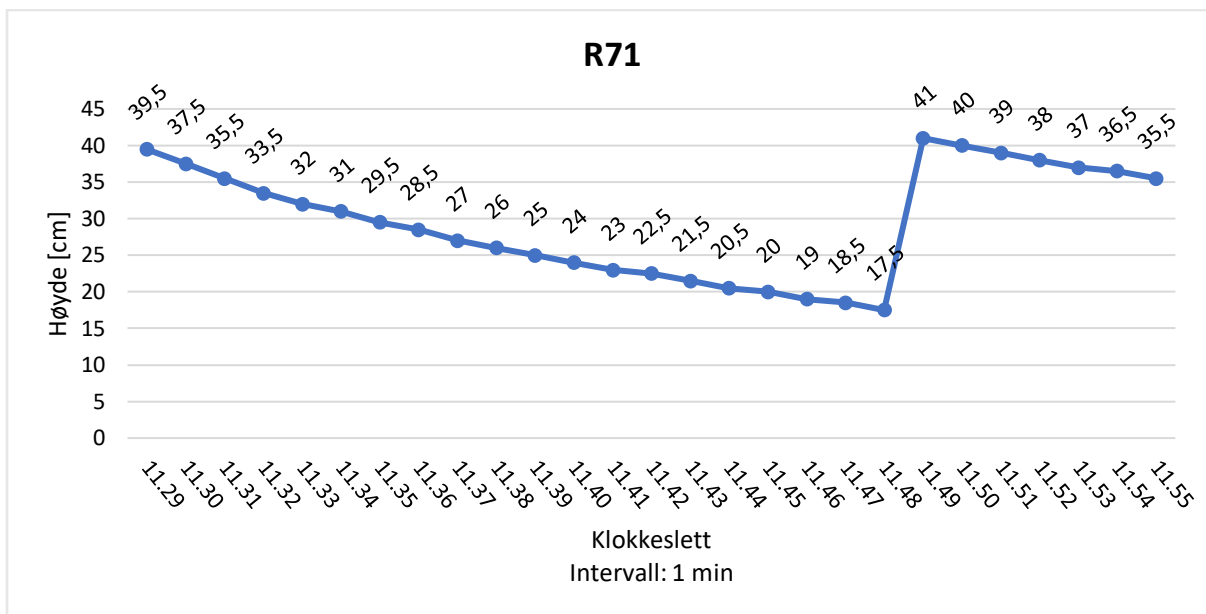


Figur 4: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 7. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

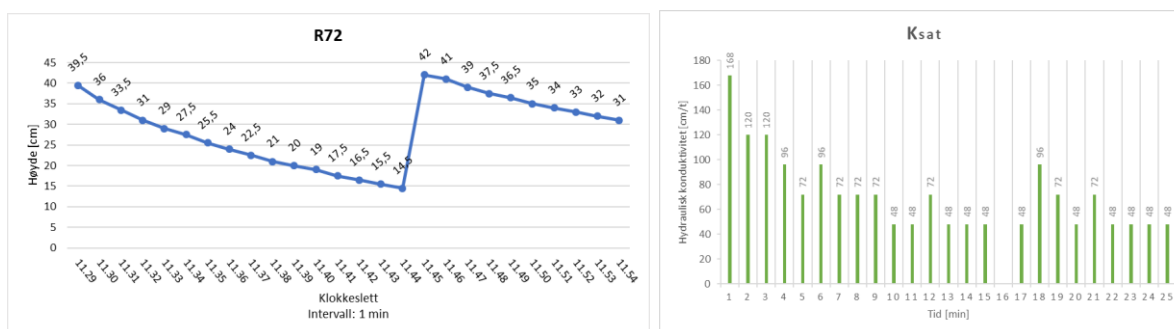
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres likheter i infiltrasjonshastighet, indikerer homogen jordsammensetning. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 5 – Figur 7.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 7, og gjennomsnitts- og medianverdien av disse.

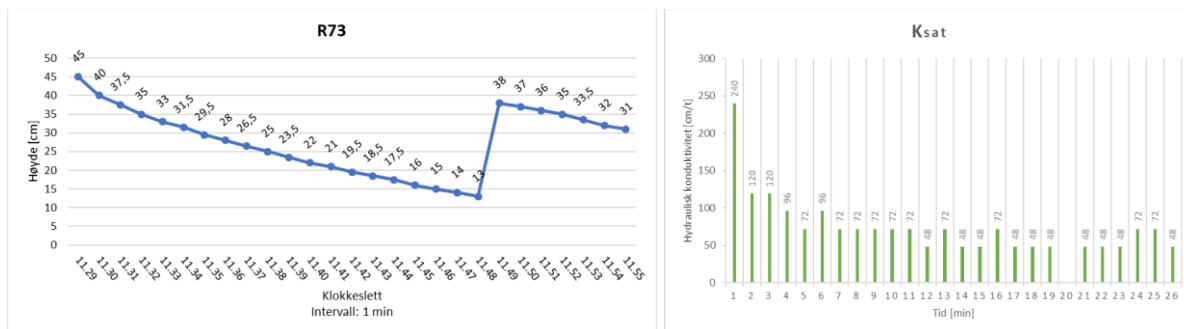
K_{sat} [cm/t]	R71	R72	R73	Gjennomsnitt	Median
	48	48	48	48	48



Figur 5: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 7 (R71), og det er utført 1 påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 48$ cm/time.



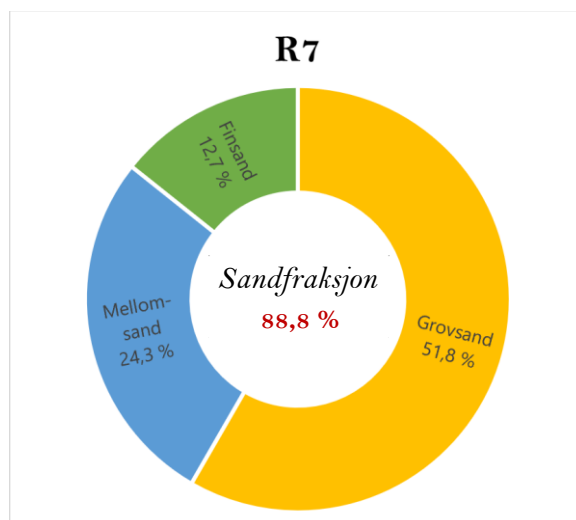
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt R72: påfyll = 1, $K_{sat} \approx 48$ cm/t. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R73: påfyll = 1, $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 7 har filtermedietype 1, som vist i Tabell 1: 30 % Osløkompost, 20 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt én felles jordprøve fra hele regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 8. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,6 %). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 11,0 %. Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,5. Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 106,3 cm/t.



Figur 8: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 7. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 17,9 %. Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømmingen bremses.

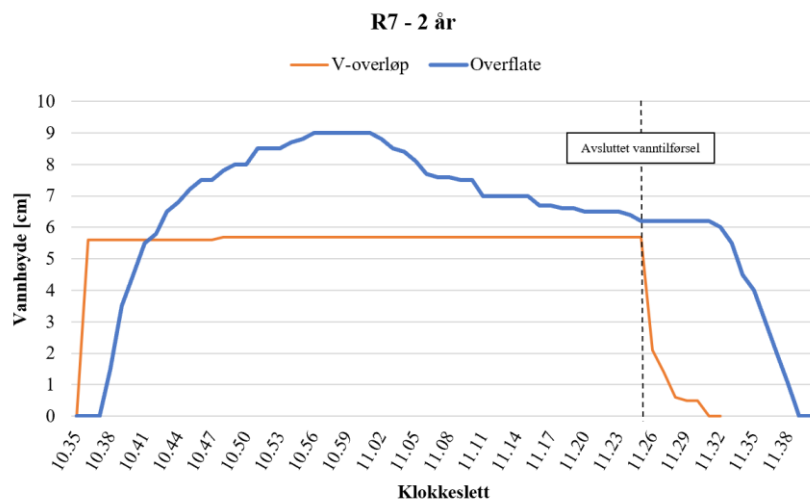
3. Oversvømmelse

Resultatene fra oversvømmelsestestene i regnbed 7 vises i Figur 9, Figur 10 og Tabell 3. Regnbed 7 håndterte 2 års oversvømmelsen, men ikke 20 års oversvømmelsen, med klimafaktor lik 1,2. Håndteringen av oversvømmelsene var preget av skjev jordoverflate på filtermediet, slik at hele volumet til filtermediet ikke ble benyttet til infiltrasjon.

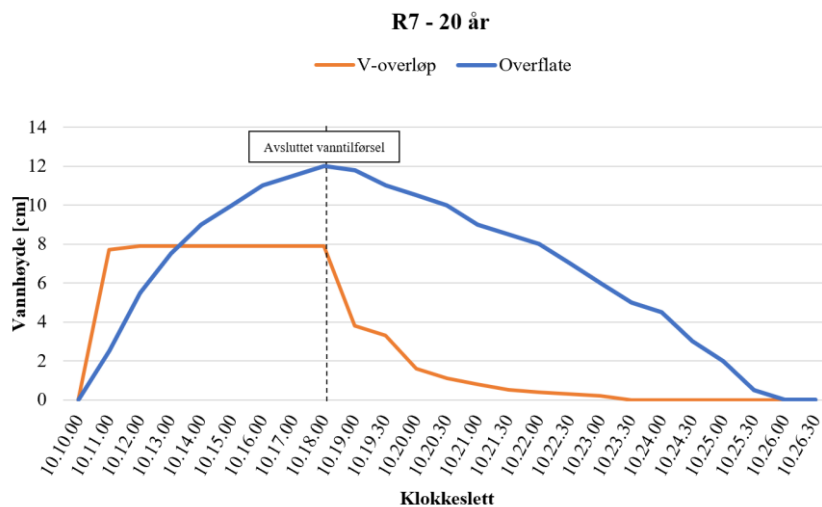
Tabell 3: Viser resultatene fra 2- og 20 års oversvømmelsene i regnbed 7. Testede vannføringer representerer målinger gjort med «vann-i-bøtte» metoden.

Regnbed	Dato	Beregnet			Testet			
		Gjentaksintervall	Varighet	Vannføring	Vannføring	Varighet (vanntilførsel)	Varighet (infiltrasjon)	K _{sat}
R7	27.06.2019	2 år	20 min	1,5 L/s	1,5 L/s	55 min	15 min	47 cm/t
	28.06.2019	20 år	20 min	2,8 L/s	3,0 L/s	8 min	19 min	95 cm/t*

*Hastigheten er påvirket av avrenning til synkehull, og tilsvarer ikke K_{sat}.



Figur 9: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 7 ved 2 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet.



Figur 10: Grafen viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i regnbed 7 ved 20 års vannføringen. V-overløp representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate viser økning av vannstand inni regnbedet.

Vedlegg 8 – Regnbed 8

Detaljer om regnbed 8 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 4 og Tabell 1.



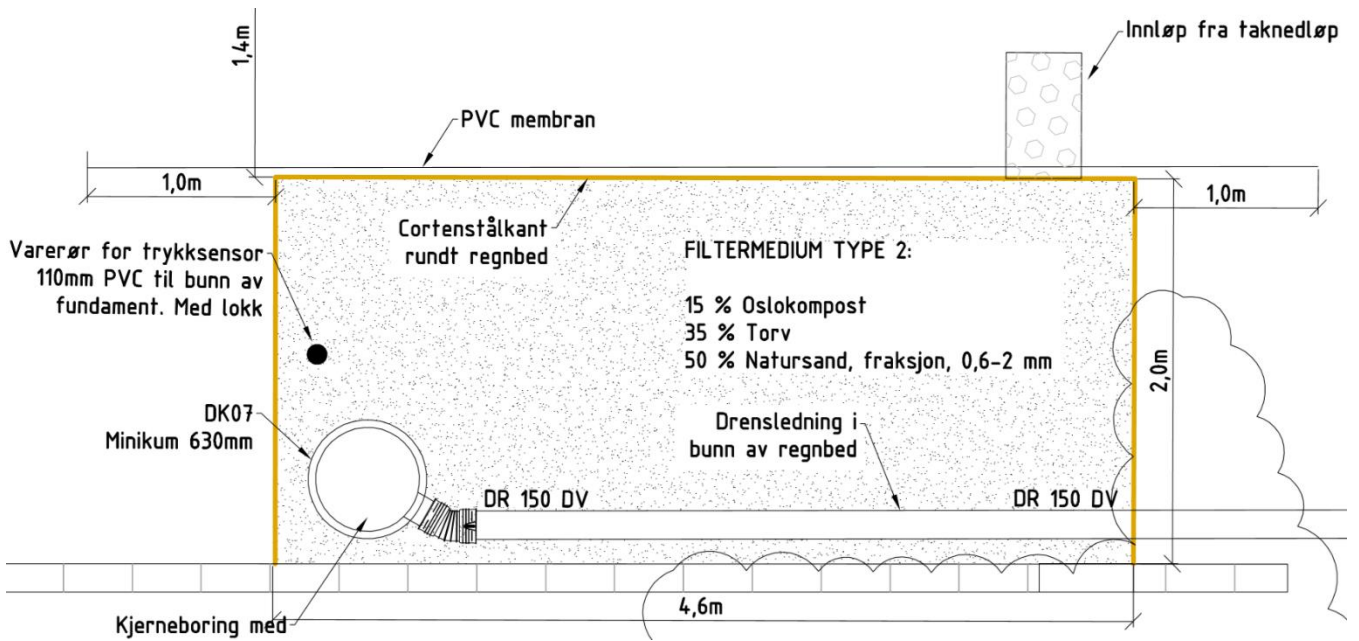
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 8 er lokalisert i gata.



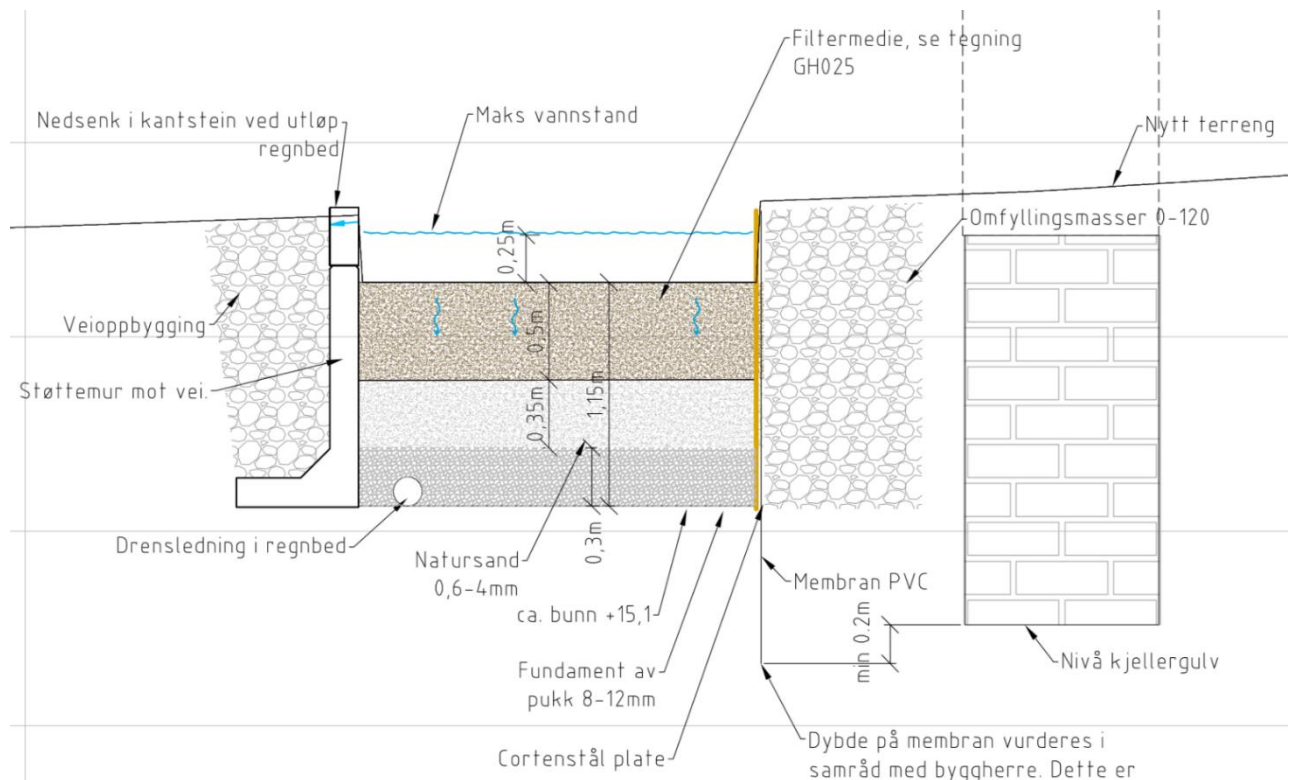
Bilde 1: Viser regnbed 8. (Foto: Janicke R. Egeberg, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 8. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike felttypene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	8 m ²
Tilknyttet delfelt	143 m ² (A _{tak} = 85 m ² , A _{grønt} = 38 m ² , A _{gatestein} = 20 m ²)
Avrenningskoeffisient (C _{midlere})	0,70
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Konstruksjonstype	B - Regnbed med tradisjonell utførelse
Filtermedieblanding (volumprosent)	2 - 15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand



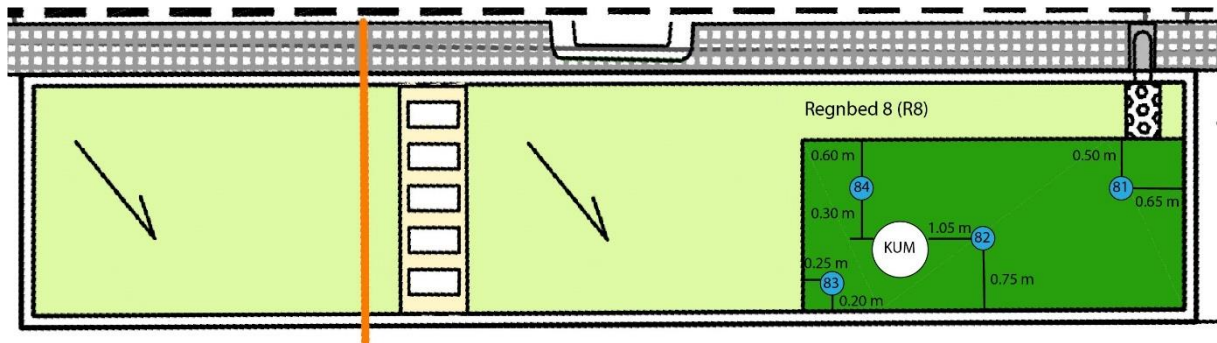
Figur 2: Plantegning av overflaten på regnbed 8. Regnbedet består av et innløp fra taknedløp, et peilerør og en drenskum (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 3: Snittegning av regnbed 8 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 8 er utført 21.06.19, og det er utført totalt 4 målinger (Figur 4). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Været var veldig varmt og tørt. Målepunktet R81 er ved innløp og R82 er ved kum.

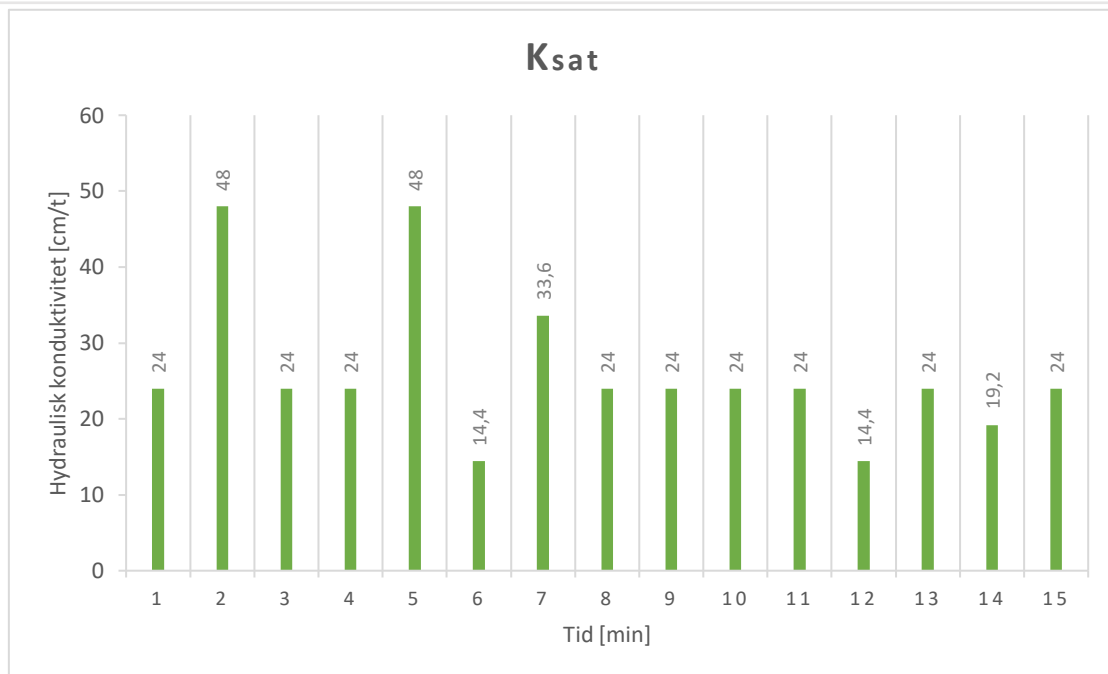
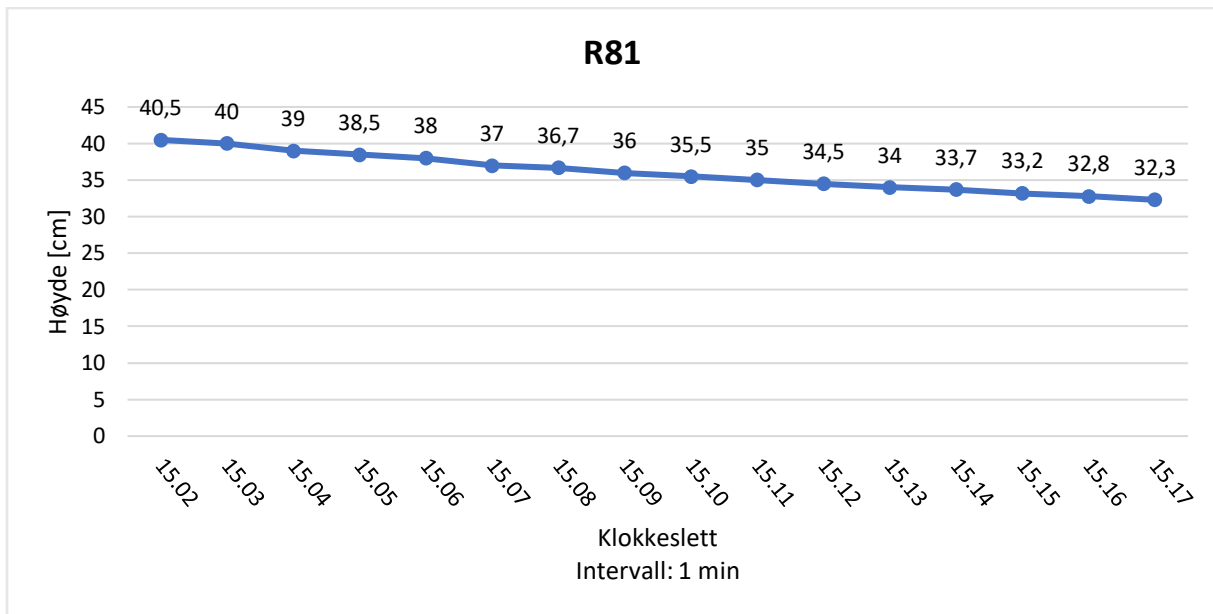


Figur 4: Oversiktskart over målepunkter for målingene som er gjort i regnbed 8. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

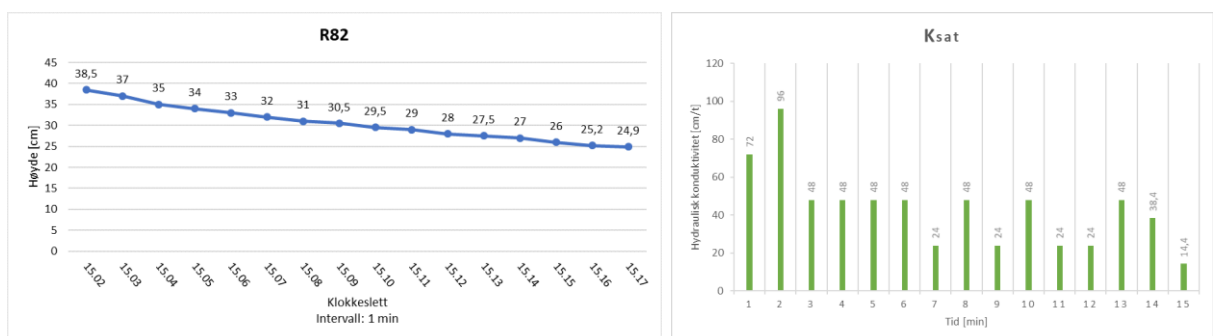
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres stabil infiltrasjon i bedet, som indikerer homogen jordsammensetning. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 5 – Figur 8.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 8, og gjennomsnitt- og medianverdien av disse.

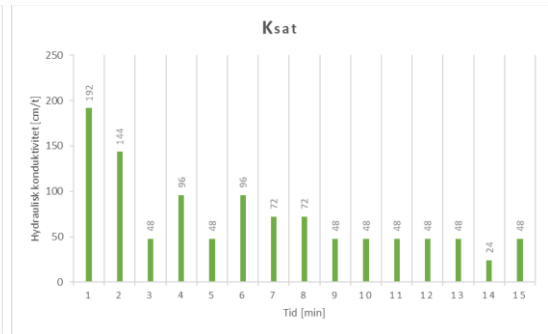
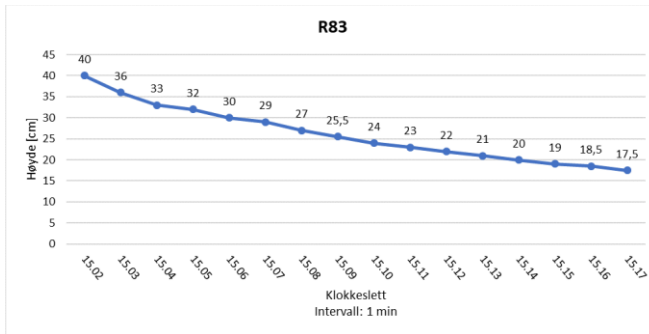
K_{sat} [cm/t]	R81	R82	R83	R84	Gjennomsnitt	Median
	24	24	48	24	30	24



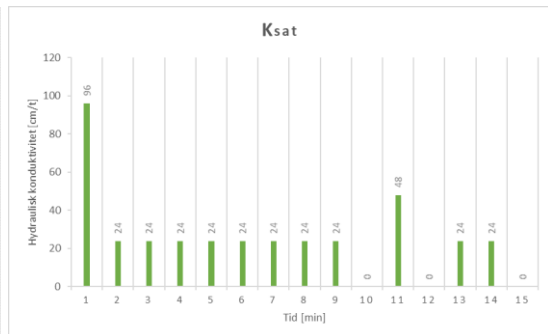
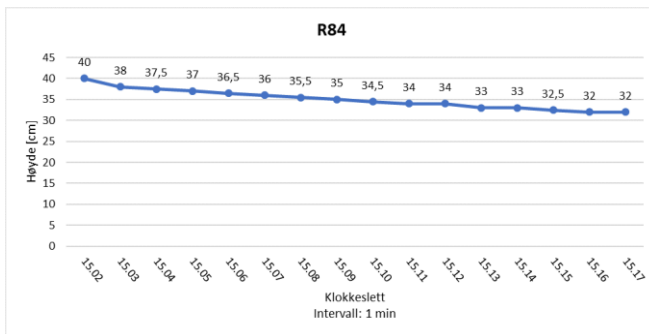
Figur 5: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 8 (R81), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 24$ cm/time.



Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt R82: $K_{sat} \approx 24$ cm/t. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



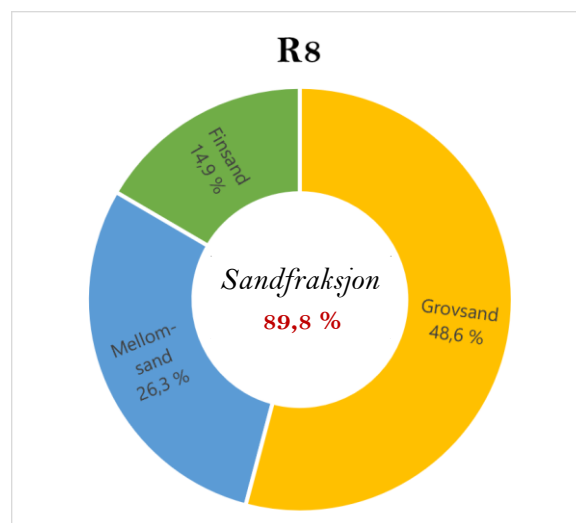
Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R83: $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R84: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

Regnbed 8 har filtermedietype 2, som vist i Tabell 1: 15 % Oslokompost, 35 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt én felles jordprøve fra hele regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 9. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (0,7 %). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 10,0 %. Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,5. Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 88,7 cm/t.



Figur 9: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 8. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 16,6 %. Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vann gjennomstrømmingen bremses.

Vedlegg 9 – Regnbed 9

Detaljer om regnbed 9 vises i Bilde 1, Figur 1 – Figur 3 og Tabell 1.



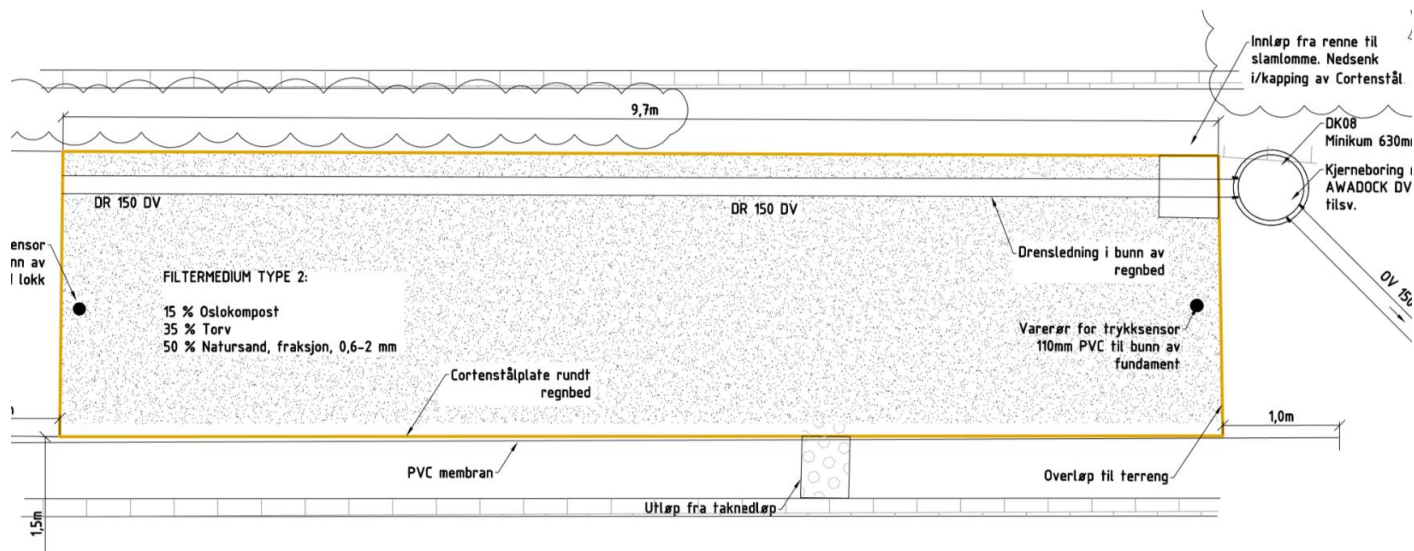
Figur 1: Landskapsplan av Deichmans gate/Wilses gate (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). Rød sirkel viser hvor regnbed 9 er lokalisert i gata.



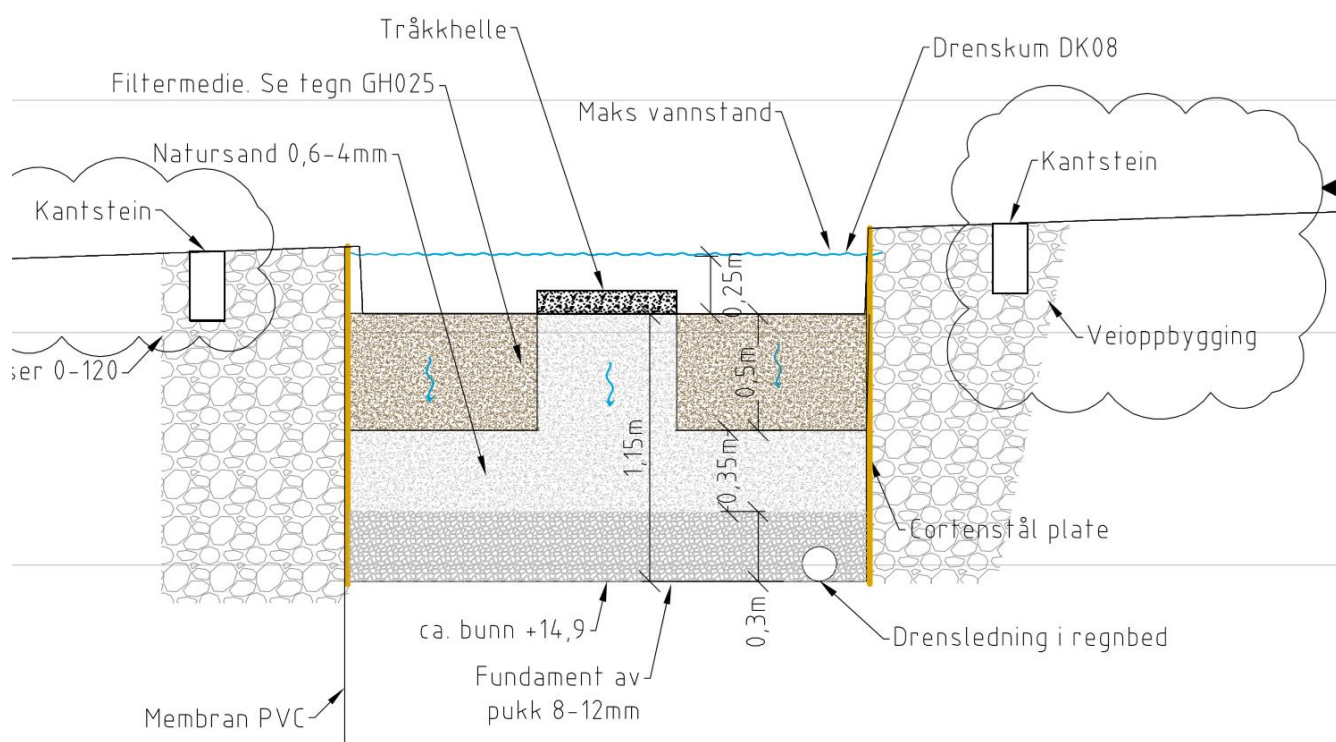
Bilde 1: Viser regnbed 9. (Foto: Åse Holte, Asplan Viak)

Tabell 1: Opplysninger om regnbed 9. I raden for tilknyttet delfelt vises også arealandelen til de ulike feltpene; tak, plantefelt/grøntareal og gatestein. Midlere avrenningskoeffisient er beregnet gjennom disse opplysningene og ved bruk av avrenningskoeffisienter fra Tabell 2.5.

OPPLYSNINGER	
Overflateareal	23 m ²
Tilknyttet delfelt	466 m ² (A _{tak} = 82 m ² , A _{grønt} = 47 m ² , A _{gatestein} = 337 m ²)
Avrenningskoeffisient (c _{midlere})	0,62
Maksimal vannstand (h _{maks})	25 cm
Type	C - Regnbed med drenerende lag i midten
Filtermedieblanding (volumprosent)	2 - 15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand



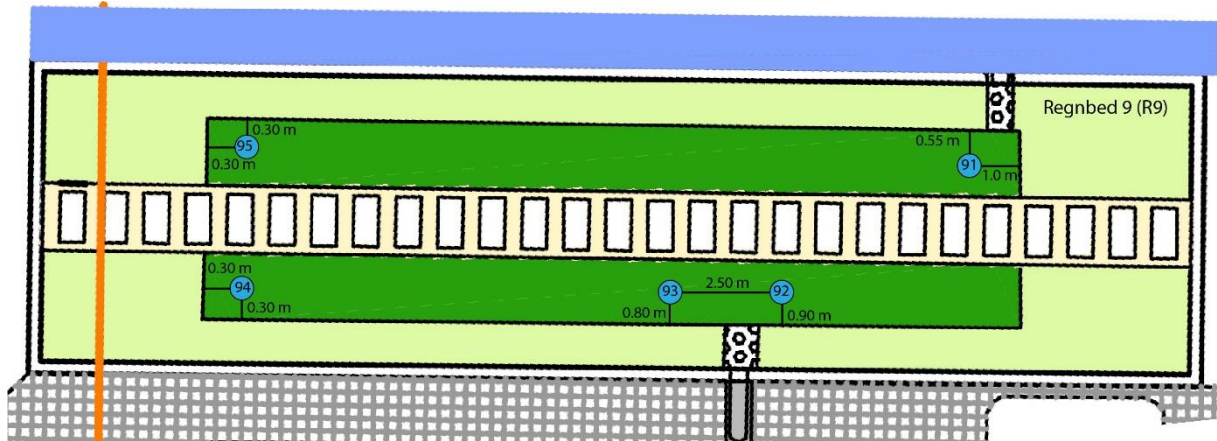
Figur 2: Plantegning av overflaten på regnbed 9. Regenbedet består av et innløp fra renne til innløpskasse, et utløp fra taknedløp og et peilerør (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)



Figur 3: Snittegning av regnbed 9 (Oslo kommune Bymiljøetaten, 2015). (Illustrasjon: Endre Langeland)

1. MPD-målinger

Målinger med MPD-infiltrometeret i regnbed 9 er utført 21.06.19, og det er utført totalt 5 målinger (Figur 4). Alle målingene er gjort til sommertid (klokkeslettet). Været var veldig varmt og tørt. Målepunktene R91, R92 og R93 er ved innløp.

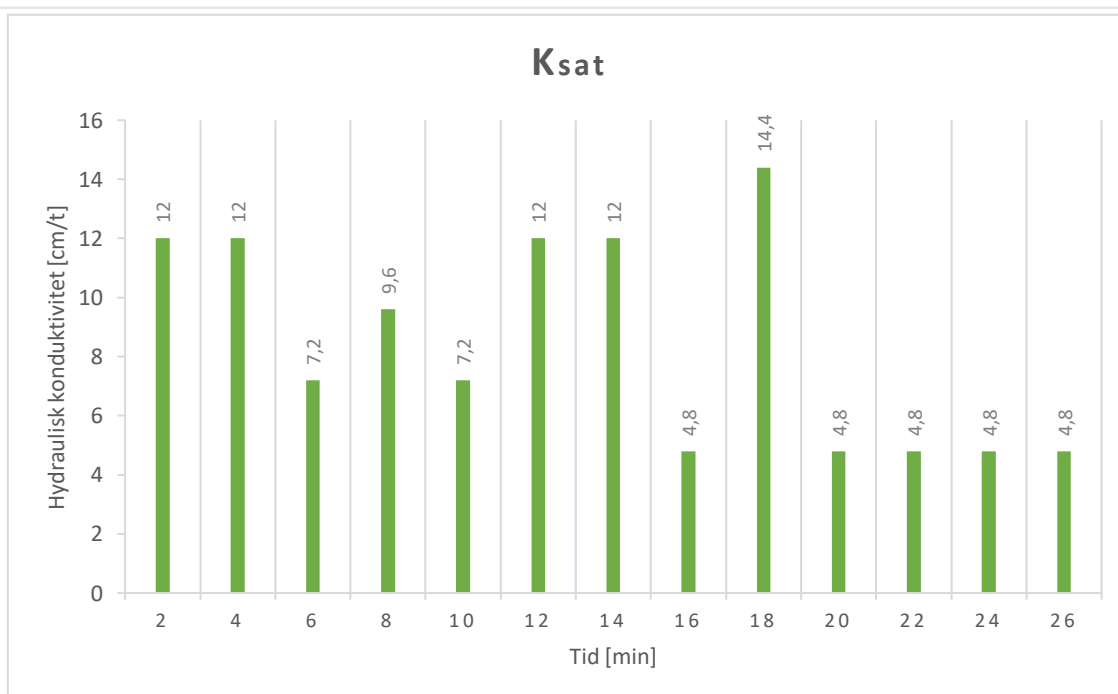
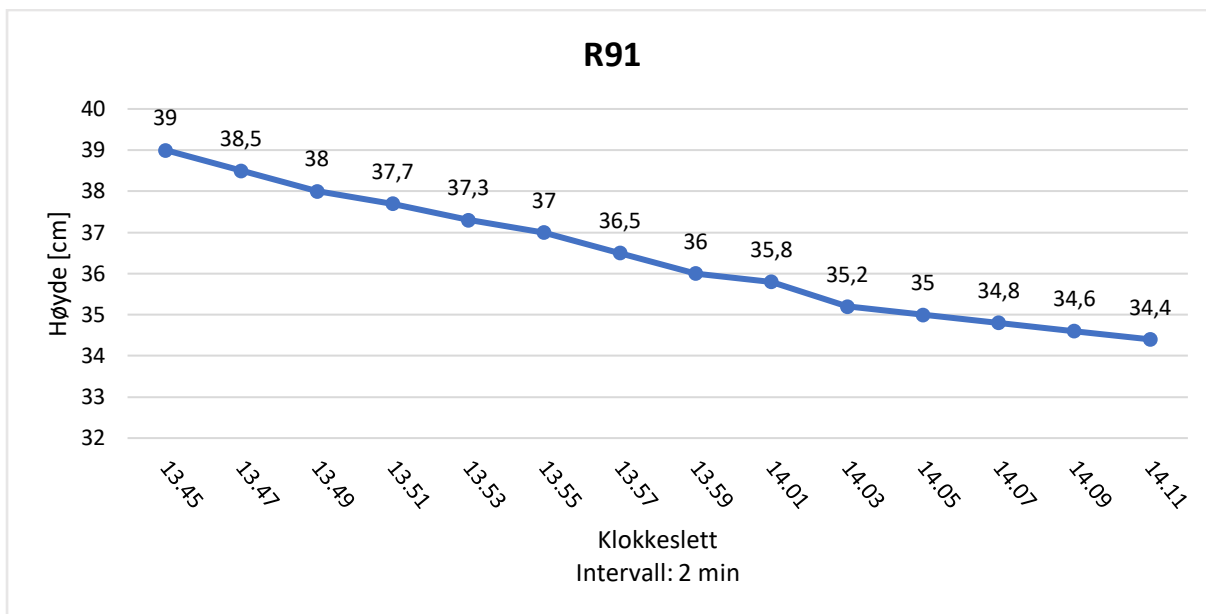


Figur 4: Oversiktskart over målepunkter for målinger som er gjort i regnbed 9. (Illustrasjon: Mallory P. Chamberlain)

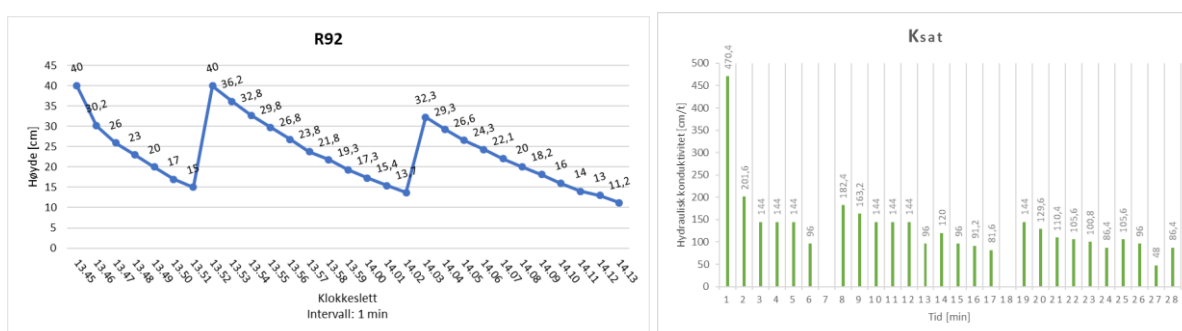
Gjennom resultatene i Tabell 2 observeres varierende infiltrasjon i bedet. For ytterligere informasjon om målingene se Figur 5 – Figur 9.

Tabell 2: Viser K_{sat} -resultatene ved alle målepunkter i regnbed 9, og gjennomsnitt- og medianverdien av disse.

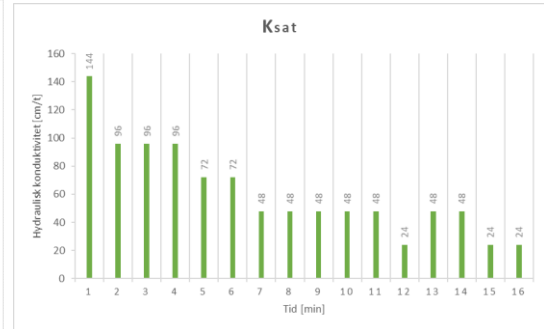
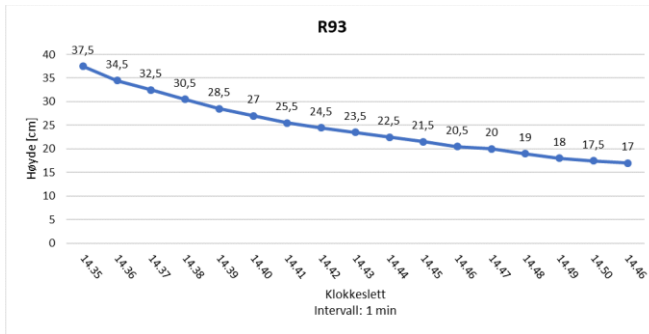
K_{sat} [cm/t]	R91	R92	R93	R94	R95	Gjennomsnitt	Median
	4,8	86,4	24	48	96	51,8	48



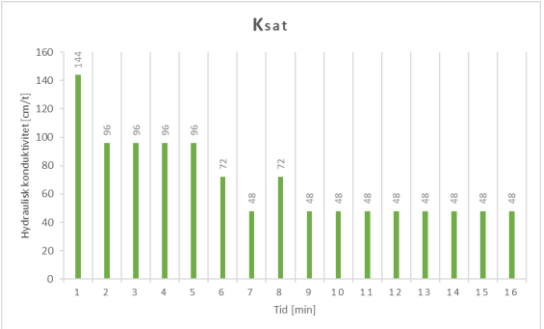
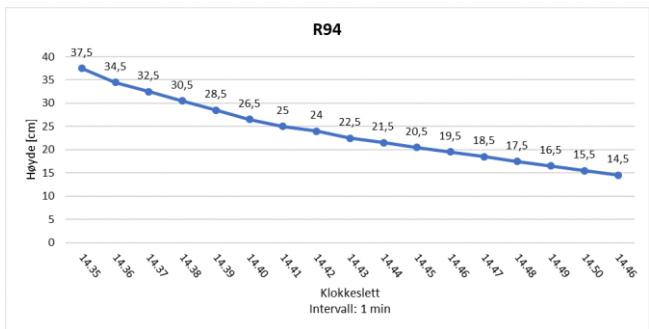
Figur 5: Diagrammene representerer målepunkt 1 i regnbed 9 (R91), og det er utført ingen påfyll av vann under denne målingen. Øverste graf viser endring i vannhøyde i MPD-infiltrometeret per tidsintervall (minutt). Nederste diagram viser hydraulisk konduktivitet (infiltrasjonshastighet), der de målte hastighetene er multiplisert med en korreksjonsfaktor på 0,8. Mettet hydraulisk konduktivitet oppnås ved slutten av tidsintervallet: $K_{sat} \approx 4,8$ cm/time.



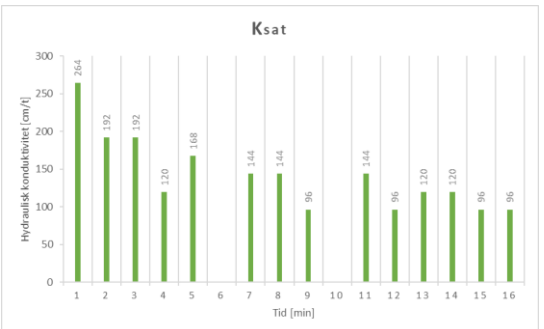
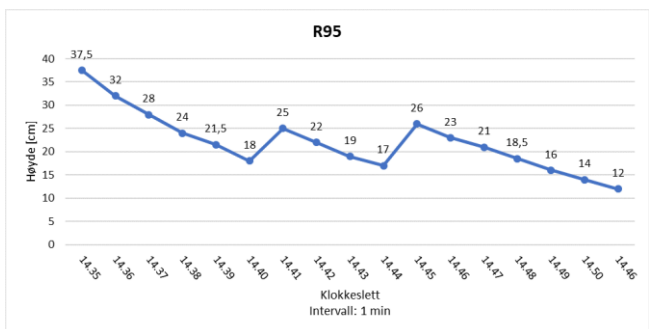
Figur 6: Diagrammene representerer målepunkt R92: påfyll = 2, $K_{sat} \approx 86,4$ cm/t. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 7: Diagrammene representerer målepunkt R93: $K_{sat} \approx 24 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



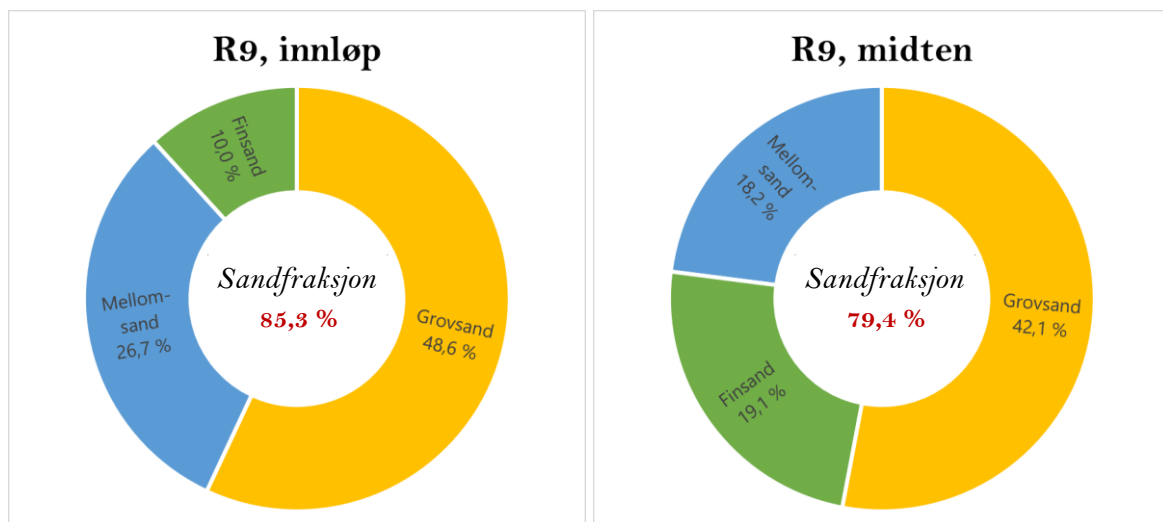
Figur 8: Diagrammene representerer målepunkt R94: $K_{sat} \approx 48 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.



Figur 9: Diagrammene representerer målepunkt R95: påfyll = 2, $K_{sat} \approx 96 \text{ cm/t}$. Se figurtekst i Figur 5 for detaljert figurbeskrivelse.

2. Jordprøver

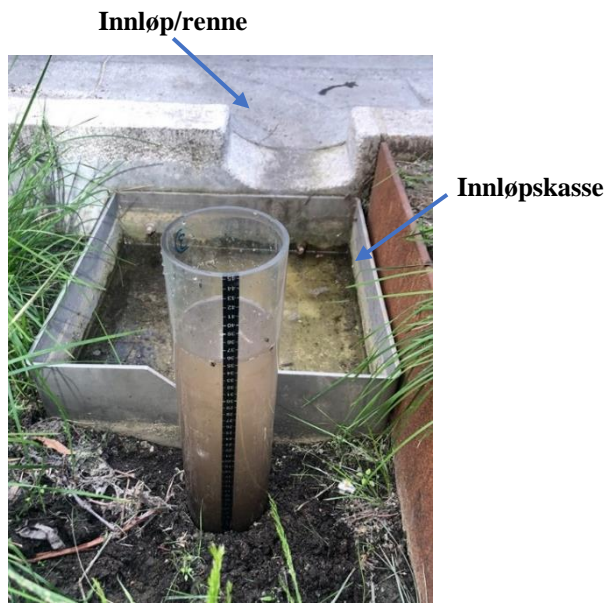
Regnbed 9 har filtermedietype 2, som vist i Tabell 1: 15 % Oslokompost, 35 % torv og 50 % natursand (fraksjon 0,6 – 2,0 mm). Det er tatt 2 jordprøver, ett ved innløp og ett i «midten» av regnbedet. Sandfraksjonen dominerer og er vist i Figur 10. Det er ubetydelig leire og silt i filtermediet (1,0 % i innløpet og 2,9 % i «midten»). Av prøven som ble tatt ut var andel partikler grovere enn 2 mm (grus og stein) 12,9 % ved innløpet og 19,2 % i «midten». Graderingstallet (d_{60}/d_{10}) er beregnet til 2,4 ved innløpet og 3,5 i «midten». Kornfordelingsresultatene indikerer engradert sortering og store kornstørrelser, og det fremstår dermed god infiltrasjonsevne i regnbedet. Grove partikler slipper vann raskere igjennom enn små partikler, og godt sortert jord gir større hulrom for vannet å sive igjennom. K_{sat} er beregnet til 113,8 cm/t i innløpet og 51,6 cm/t i «midten».



Figur 10: Viser sandfraksjonsresultatene fra kornfordelingen, både fra innløp (venstre) og fra «midten» (høyre) av regnbed 9. Finsand er av kornstørrelse 0,063 – 0,25 mm, mellomsand er av kornstørrelse 0,25 – 0,5 mm og grovsand er av kornstørrelse 0,5 – 2,0 mm.

Glødetapsanalysene viste at innholdet av organisk materiale var 13,8 % i innløpet og 24,0 % i «midten». Analysene viser dermed en stor andel organisk materiale, som tilsier redusert infiltrasjonsevne fordi vanngjennomstrømningen bremses, særlig i «midten».

Vedlegg 11 – MPD-målepunkter



Bilde 6: Måling ved innløp med innløpskasse.



Bilde 5: Måling ved innløp med grus/stein.



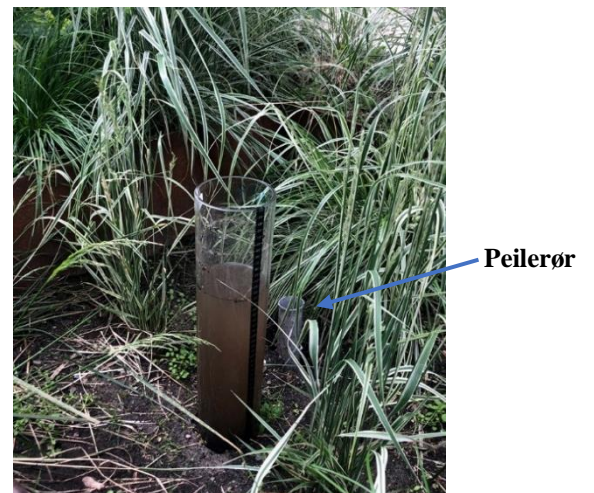
Bilde 4: Måling ved vegetasjon.



Bilde 3: Måling ved drenskum.



Bilde 1: Måling ved overløp til infiltrasjonskammer.



Bilde 2: Måling ved peilerør.

Vedlegg 12 – Jordprøveanalyser

Overvannsprosjekt - Kornfordeling ved tørrsikting

Til analysen ble 2/3 av totalt materiale benyttet.

Prøve	Dato	Lokalisasjon	Prøvested	Til analyse (g)	< 63µm	> 63µm	> 125µm	> 250µm	> 500µm	> 1 mm	> 2 mm	> 4 mm	> 8 mm	> 16 mm	Sum av fraksjoner	Differanse
1	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 1 Innløp	27,281	0,1224	0,2763	0,8855	8,6597	10,5640	2,9579	1,4938	2,2241	0,0000	0,0000	27,1837	-0,10
2	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 1 Midten	15,986	0,1654	0,4498	1,2015	2,6759	5,3434	3,8200	1,5587	0,7566	0,0000	0,0000	15,9713	-0,01
3	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 2 Innløp	17,141	0,1890	0,5384	1,5336	2,6936	4,3973	5,0079	2,4750	0,4342	0,0000	0,0000	17,2690	0,13
4	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 2 Midten	20,764	0,1442	0,5379	2,0384	5,5250	6,6614	3,2546	2,0006	0,6192	0,0000	0,0000	20,7813	0,02
5	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 3 Innløp	14,693	0,0779	0,1970	0,7963	3,5380	4,9928	2,2876	1,2232	1,4801	0,1199	0,0000	14,7128	0,02
6	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 3 Midten	17,895	0,1212	0,5640	1,7286	4,2223	4,7138	4,0280	2,2503	0,4409	0,0000	0,0000	18,0691	0,17
7	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 4 Innløp	24,433	0,0971	0,4402	1,9281	4,1242	8,1411	4,4239	2,0080	3,4767	0,0000	0,0000	24,6393	0,21
8	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 4 Midten	34,063	0,2817	1,5165	5,6676	9,9127	10,8296	3,3486	2,1730	0,2945	0,0000	0,0000	34,0242	-0,04
9	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 5 Innløp	17,677	0,1654	0,3580	0,9465	1,9567	4,0520	3,7832	4,6541	1,9189	0,0000	0,0000	17,8348	0,16
10	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 5 Midten	12,365	0,1276	0,3929	1,2581	3,0325	3,9050	1,9152	1,0088	0,1689	0,7002	0,0000	12,5092	0,14
11	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 6 Innløp	14,228	0,0524	0,1449	0,7198	4,0976	5,4712	2,5399	1,2289	0,0846	0,0000	0,0000	14,3393	0,11
12	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 6 Midten	10,805	0,1175	0,4018	1,4125	2,7319	2,7758	1,5328	1,0201	0,8946	0,0000	0,0000	10,8870	0,08
13	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 7	17,732	0,1092	0,4045	1,8477	4,3088	6,1191	3,0679	1,4310	0,5126	0,0000	0,0000	17,8008	0,07
14	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 8	15,868	0,1166	0,4937	1,8691	4,1806	5,1797	2,5336	1,4677	0,1159	0,0000	0,0000	15,9569	0,09
15	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 9 Innløp	16,007	0,1602	0,3290	1,2774	4,2735	4,6158	3,1657	0,8378	1,2304	0,0000	0,0000	15,8898	-0,12
16	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 9 Midten	13,847	0,4033	0,8405	1,8052	2,5268	3,5217	2,3060	1,5542	1,1039	0,0000	0,0000	14,0616	0,21

Overvannsprosjekt - Analyse glødetap

Til analysen ble 1/3 av totalt materiale benyttet.

Prøve	Dato	Lokalisasjon	Prøvested	Digelvekt	Vekt før gløding	Vekt etter gløding m/digel	Vekt etter gløding
1	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 1 Innløp	28,84	13,759	41,169	12,329
2	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 1 Midten	25,67	8,004	31,7962	6,1262
3	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 2 Innløp	26,12	9,199	34,1208	8,0008
4	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 2 Midten	18,21	10,766	27,3695	9,1595
5	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 3 Innløp	26,04	7,6166	32,3103	6,2703
6	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 3 Midten	26,08	9,3748	33,7237	7,6437
7	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 4 Innløp	29,28	12,801	41,0496	11,7696
8	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 4 Midten	25,87	16,7768	41,4058	15,5358
9	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 5 Innløp	28,69	8,8331	36,3003	7,6103
10	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 5 Midten	25,91	6,2748	30,8936	4,9836
11	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 6 Innløp	26,04	7,562	32,354	6,314
12	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 6 Midten	28,84	5,4147	33,2251	4,3851
13	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 7	29,04	8,9776	36,4088	7,3688
14	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 8	28,2	7,9921	34,8639	6,6639
15	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 9 Innløp	29,28	8,473	36,5828	7,3028
16	16.07.2019	Deichmans gate	Regnbed 9 Midten	26,12	7,6032	31,8954	5,7754

Vedlegg 13 – Rapport fra brukerundersøkelser

Rapport_Deichmans gate forbipasserende

1. Kjønn

Navn	Prosent
Kvinne	51,7%
Mann	44,8%
Vet ikke	3,4%
N	29

2. Alder

Navn	Prosent
<18	0,0%
19-40	89,7%
50+	10,3%
N	29

Regnbed- noen av blomsterbedene er lavere enn andre, vet du hvorfor?

Et regnbed er en type nedsenket plantebed som holder igjen overvann enten helt eller midlertidig.

Overvann er vann som kommer fra hustak, gårdsplasser, P-areal og vei.

Ved å sende overvannet inn i regnbed forsinker man vannet så rørene under oss ikke blir overbelastet med for mye vann. Dette er tiltak som kan forhindre oversvømmelser i kjellere og lignende.

12. Ønsker du et lignende tiltak der du bor?

Navn	Prosent
Ja, i stor grad	63,0%
Ja, i mindre grad	22,2%
Nei	3,7%
Vet ikke	0,0%
Annet	11,1%
N	27

Rapport_Beboere i Deichmans gate

5. Hvor fornøyd er du med bedene i Deichmans gate?

Spørsmål	N	Gjennomsnitt	Standardavvik	Median
Hvor fornøyd er du med bedene i Deichmans gate?	36	4,22	0,82	4,00

Navn	Prosent
Svært lite tilfreds	0,0%
Lite tilfreds	2,8%
Nøytral	16,7%
Tilfreds	36,1%
Svært tilfreds	44,4%
N	36

6. Har du noen kommentarer til disse elementene (steinkuler, grus, trær, sykkelstativ, bed)?

Sykkelstativ malplassert, gjerne mer benk

Likte ikke beskjæring/felling av trærne

Bedre stell av bedene, flere sykkelstativ (ordentlig)

Finere med grønt under trærne

Bedene er omkranset av cortenstål som blir tagget på og ikke lengre ser freshe ut, ikke blitt fjernet.

Fint at det har blitt en gågate

Bedene veldig grønne, ikke mye annet.

Bruker ikke stativ

Siste regnbed er litt glissent. Lyst til å plante ut, men usikre om det liv

Syklene blir ofte stjålet

Ser ville og overgrodde

Vil ha flere trær, men færre benker

Kunne vært mer nytteplanter, matvekster

Ville heller hatt plen enn grus under trærne!

Graffiti på bygningene ødlegger helhetsinntrykket

Bruker ikke sykkelstativene.

Hunder bruker bedene og ødelegger

Jeg er utrolig takknemlig for arbeidet som har blitt utført i Deichmansgate. Spesielt med tanke på at det utføres jevnlig vedlikehold av bedene. Jeg fryktet at det skulle se pent ut i en sesong og så forfalle. Så vær så snill og fortsett med vedlikeholdet.

12. Synes du det er positivt eller negativt med regnbed der du bor?

Litt lite vedlikehold, shabby utseende plantet

Positivt, mest mulig grønt er fint

Tenker det høres bra ut med regnbed, fører til mindre trafikk

Har opplevd kjelleoversvømmelse. Rotete og dårlig stelt. Det må fungere

Ikke tenkt at de tar plass, står mye ulovlig parkerte biler som de o 1. Slipper

Positivt innstilt, droppe bilen

Høres bra ut, kan ikke nok om det til å ha en formening. Sikkert fint i andre gater, grepene passer til denne gata og gir et finere preg enn de hadde før

Fint fordi det pynter opp, og fint for gata

Fint tiltak, observert overvannproblemer i møllergata

Hvis de fungerer er det greit.

Greit at bilene ikke får mer plass.

Bare positivt, fjerner trafikk og støy, grønnere by.

Veldig positivt, hadde parkering før men nå kan ikke bilene ødelegge fasaden eller glassene.

Etter en regnvåt dag i sommer var det vann på gulvet, bodd her i 8 år.

Supert, hvis det funker

Ingwn oversvømmelse i gata, så funker bra

100% positiv til løsning.

Positiv til tiltaket!

Greit med de, gir noe grønt i tillegg til trør

Positivt

Positivt

Positivt

Positivt

Veldig førnøyd i gata, god vibe med unntak av de uvelkomne i benkene

Positivt

Positiv

Positivt

Positivt

Positivt når det funker!

Positivt, men kunne ønske flere benker

Positivt, kreativ og fint

Veldig positiv til tiltaket, funksjonelt og estetisk

Positivt

Kjempebra

Jeg syntes det er kjempe positivt. Det ser jo ut til å virke, så det er helt suverent. i tillegg er det veldig fint.

13. Regnbed er et viktig tiltak

Navn	Prosent
Helt enig	30,6%
Enig	63,9%
Nøytral	2,8%
Uenig	2,8%
Helt uenig	0,0%
N	36

14. Det er riktig bruk av kommunens penger å legge inn regnbed.

Navn	Prosent
Helt enig	19,4%
Enig	61,1%
Nøytral	13,9%
Uenig	0,0%
Helt uenig	2,8%
Annet	2,8%
N	36

15. Jeg føler ubehag ved at regnbedene brukes som pissoar

Navn	Prosent
Helt enig	5,6%
Enig	11,1%
Nøytral	55,6%
Uenig	25,0%
Helt uenig	2,8%
N	36

16. Jeg synes parkeringsplasser er viktigere enn regnbed i gata.

Navn	Prosent
Helt enig	0,0%
Enig	5,6%
Nøytral	11,1%
Uenig	55,6%
Helt uenig	27,8%
N	36

2019:

Logg for skjøtsel

PROSJEKT: Deichmansgate	PROSJEKT NR.:	RODELEDER / PROSJEKLEDER:	RODE NR.:	Marker besøksuke med dato (nr i mnd)																										
		Jan	Feb	Mars				April					Mai				Juni				Juli									
Deichmansgate		1-4	5-9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30						
Utplantingsplanter/stauder																														
Opptak/plante														x																
Beskjære						x																								
Gjødsle														x																
Sprøyte/luke														x	x	x				x										
Løv/renhold										x		x																		
Vanne														x																
Annet																														
Kontroll							x																							
Sprøyte faste dekker																														
Søppel/avfall																														
Tilleggsjobber Innplanting																														
														x																



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway