

# Evaluering av overvannshåndteringen i urbane regnbed i Deichmans gate i Oslo

Av Nevedda Sivakumar, Bent C. Braskerud og Anne K. Fleig

Nevedda Sivakumar (M.Sc) er sivilingeniør VA hos Erichsen og Horgen.

Bent C. Braskerud (Ph.D) er sjefsingeniør i Oslo kommune.

Anne K. Fleig er senioringeniør i NVE.

Denne artikkelen er et sammendrag av en mastergradsoppgave ved NMBU (Sivakumar, 2020).

## Summary

*Evaluation of the stormwater management of urban rain gardens in a street in Oslo.* Urbanization and more extreme weather require sustainable urban drainage systems (SUDS). However, there is limited knowledge regarding the function of these systems in Norway. In this article we evaluate the functionality of nine rain gardens, which were built in 2016 in Deichmans gate, in central Oslo. Three methods are used to measure the functions of the rain gardens: 1) Direct infiltration measurements with MPD-instrument, 2) indirect evaluation through soil texture samples, and lastly 3) two of the nine investigated rain gardens were flooded. The results show that the rain gardens had high infiltration capacities. Compared to the inundation test, the MPD-tests provided satisfactory estimates whereas the soil sample overestimated infiltration. The majority of the rain gardens handle rainfalls according to the municipality requirements. However, some rain gardens have shortcomings in their construction: Sloping soil surface reduce the available volume for infiltration, and the inlet arrangement does not always have the capacity to receive the desired volume of water.

## Sammendrag

Med økning i urbanisering og hyppigere hendelser med intens nedbør, er det et voksende ønske i Norge å anlegge flere lokale og åpne overvannsløsninger. Det finnes imidlertid lite informasjon om deres funksjon i Norge. I denne artikkelen evalueres funksjonaliteten til ni regnbed som ble bygd i 2016 i Deichmans gate, sentralt i Oslo. For å måle regnbedenes funksjon til å forsinke og tilbakeholde vann, ble det benyttet tre ulike metoder: 1) Direkte infiltrasjonsmålinger med MPD-instrument, 2) indirekte ved vurdering av jordprøver, samt 3) oversvømmelse av 2 av 9 regnbed. Funnene viser at regnbedene hadde god infiltrasjonsevne. MPD-infiltrometeret gir tilfredsstillende estimater på infiltrasjonsevnen, mens jordprøvene overvurderte infiltrasjonen betydelig, sammenlignet med oversvømmelse av anleggene. Testingen viser at de fleste regnbedene i stor grad håndterer nedbørshendelser i samsvar med krav fra kommunen, men at anleggene har mangler i konstruksjonen som hindrer full utnyttelse av kapasiteten: Skjev jordoverflate reduserer volumet, og innløpsarrangementet kan mangle tilstrekkelig kapasitet til å lede ønskede vannmengder til anlegget.

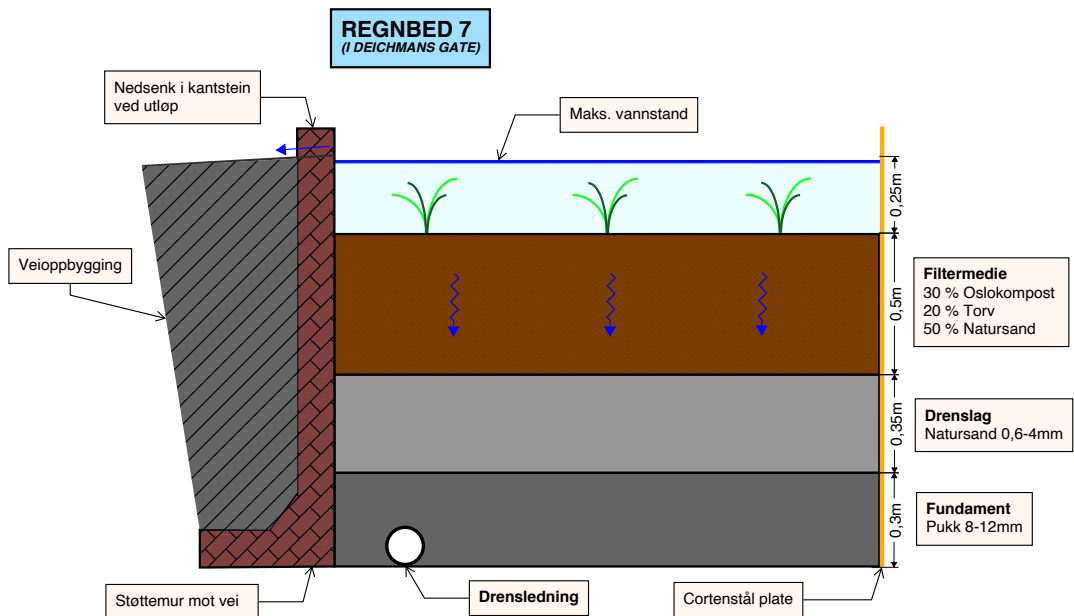
## Introduksjon

I dagens samfunn forårsaker urbanisering en nedbygging av natur og en økning av tette flater, noe som igjen hindrer vannet fra å trenge ned i grunnen. I tillegg fører klimaendringene til hyppigere ekstremvær med mer intens nedbør. Begge tilfeller medfører at nedbøren i større grad renner av på overflaten som overvann. Overvann er regn- og smeltevann fra takflater, veier og andre tette flater, som strømmer på overflaten før det infiltreres i grunnen, eller havner i ledningsnett, i grøfter og vassdrag.

Tradisjonelt er overvann i urbane områder håndtert ved å lede vannet direkte til lednings-systemer, men med økt nedbørmengde og -intensitet har ledningsnett begrenset med kapasitet, noe som gjør at dagens ledningsnett ikke tilfredsstiller kravene for overvannshåndtering. 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 tiltak betegnes som åpen, lokal

overvannsdisponering (LOD), og innebærer å la vannet finne naturlige veier til grunnen gjennom infiltrasjon, renne bort via åpne vannveier eller fordampe gjennom evapotranspirasjon (Lindholm mfl., 2008). Tiltakene kan også innebære løsninger som rørmagasiner som bidrar til fordrøyning og infiltrasjon. Norsk Vann anbefaler *3-trinnsstrategien*: Strategien innebærer å fange opp, infiltrere og fordampe når det regner litt (trinn 1), forsinke og fordrøye når det regner mye (trinn 2), og trygg avrenning mot resipient på flomveier ved ekstremregn (trinn 3). Dette sikrer at avrenning håndteres og påfører minimalt med skader, samtidig som byen får blågrønne innslag (Oslo kommune, 2014; Oslo kommune, 2019).

Regnbed er et LOD-tiltak som kategoriseres under trinn 1 og 2 i *3-trinnsstrategien*, avhengig av kapasiteten det er laget for. Et regnbed er et infiltrasjonsanlegg forsenket i terrenget, som bidrar til oppsamling, fordrøyning og infiltrasjon av overvann. Tiltaket fremstår som et blomsterbed med et rikt vegetativt mangfold. Anlegget



Figur 1. Eksempel på et regnbed (R7) i Deichmans gate, der det er plass til 25 cm vann på overflata som infiltrerer delvis ned i grunnen, delvis til et dreinsrør som er strupet for minimalt påslipp til VA-nettet. R7 er eksempel på et typisk regnbed av tradisjonell utførelse. Illustrasjonen er basert på prosjekterte tegninger fra Asplan Viak.

fungerer godt i både private hager og gårds-plasser, og i offentlige parkeringsplasser, gater og parker. Vannet holdes tilbake på regnbedoverflaten før det infiltrerer ned gjennom filtermediet til grunnen, eller overvannsnettet dersom grunnene er tett eller forurenset (Figur 1). Filtermediet er dermed en viktig del av regnbedet, og påvirker regnbedets evne til å rense overvann, bevare fuktighet ved tørre perioder og tilrettelegge for vegetasjonens vekst. Hovedhensikten er å tilbakeholde overvann helt eller midlertidig (Paus & Braskerud, 2013).

I Norge er det anlagt flere regnbed, og tiltaket er attraktivt. Det første regnbedet ble etablert i Oslo i 2006, og forskningen relatert til regnbed i Norge er derfor relativ ny. Fokuset på LOD har økt, og det planlegges etablering av flere regnbed i fremtiden (Oslo kommune, 2019). I en spørreundersøkelse fra Paus (2020) svarte hele 49 % av kommunene at de kjente til regnbedtiltaket, og 67 % svarte at de i stor grad hadde behov for erfaringer (gode og dårlige) fra etablerte tiltak. I Norge er det gjort forskning om ytelsen av regnbed, 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 i Oslo i 2016, som et samarbeidsprosjekt mellom Bymiljøetaten og Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune. Asplan Viak var prosjekterende. I tillegg til å ruste opp en «sliten» byggate, var prosjektet et testprosjekt for å få mer erfaring med LOD i en urban gate. Regnbedene er av ulike størrelser og er bygd gjennom tre forskjellige konstruksjonsløsninger. De skal kunne håndtere en nedbørshendelse med 20 års gjentakintervall og klimapåslag på 20 %, og har som hensikt å føre minimalt med overvann til kommunalt nettverk. Denne artikkelen ønsker å evaluere disse anleggene for å finne:

1. I hvilken grad fungerer regnbed som mottar overvann fra urbane områder mht. trinn 1 og 2 i 3-trinnstrategien?
2. På hvilken måte kan regnbeds infiltrasjonsevne, og dermed funksjon, vurderes ved å sammenligne 3 ulike testmetoder?

## Metode

### Måling av infiltrasjon

Infiltrasjon er prosessen der vann trenger ned i grunnen gjennom løsmasser eller oppsprukket fjell. Infiltrasjon av vann er en viktig prosess i det hydrologiske kretsløpet, siden den påvirker hvor stor del av nedbøren som siver ned i jorda og opprettholder grunnvannsnivået og er tilgjengelig for evapotranspirasjon fra grunnen, og hvor stor del som eventuelt renner av på overflaten. Hydraulisk konduktivitet er et mål på hvor raskt infiltrasjonen skjer.

### 1) Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrrometer

Det ble utført infiltrasjonsmålinger i regnbedene i Deichmans gate ved hjelp av metoden Modified Philip-Dünne (MPD) infiltrrometer, i juni 2019. MPD-infiltrometeret er et 50 cm høyt rør med en indre diameter på 10 cm (Figur 2). Infiltrasjonshastigheten måles ved observasjon av vannets nedrivningshastighet i røret. Målingene ble avsluttet når det var oppnådd 2 – 3 like målinger, eller når endringene i infiltrasjonshastigheten var på  $\pm 20$  %, slik Solheim m.fl. (2017) anbefaler. MPD-instrumentet måler i utgangspunktet for rask infiltrasjon, siden vannet i sylindren både renner vertikalt og horisontalt i jorda. Det blir derfor benyttet en korreksjonsfaktor basert på jordmassene infiltrasjonstestene utføres på (Solheim m.fl., 2017). Grunnet sandholdig jord i regnbedene er korreksjonsfaktoren 0,8 brukt for å finne mettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{sat}$ ).

### 2) Jordprøver

Det ble tatt jordprøver fra de øverste 5 cm fra regnbedene i juli 2019. Det ble som regel tatt en prøve ved regnbedenes innløpsparti, og en prøve som en blanding av jord fra flere steder i resten av anlegget. Jordprøvene ble tørrsiktet gjennom sikter med hullåpning fra 0,63  $\mu\text{m}$  til 16 mm ved NVEs laboratorium. For å bestemme infiltrasjonshastigheten basert på kornfordeling ble Harleman m.fl. (1963) benyttet, anbefalt av Haugen (2016). Sorteringsgraden, mål på innhold av ulike kornstørrelser, er

bestemt av d60/d10, dvs. hullstørrelsen av siktet som 60 % / 10 % av materialet passerer. Innholdet av organisk materiale i jordprøvene er målt som glødetap, dvs. massetapet av innveid prøve, etter gløding ved 480° C i 2 timer.

### 3) Oversvømmelse med «kasseregn»

Regnbedene ble oversvømt med vann fra brannbiler (Figur 2), for å finne den totale infiltrasjonsevnen til regnbedene. Hensikten var å undersøke om anleggene faktisk håndterer vannmengder tilsvarende kommunens krav for overvannshåndtering, da de ble anlagt. Testene ble gjennomført over to dager i juni 2019. Vannføringen fra nedbørshendelser med gjentakintervall på 2 og 20 år ble beregnet med den rasjonelle metoden (Ødegaard, 2014). Midlere avrenningskoeffisienter ble beregnet basert på feltegenskapene til nedbørfeltene. Nedbørintensiteter er hentet fra Intensitet-Varighet-Frekvens-kurven (IVF-kurven) for Blindern i Oslo (Norsk Klimaservicesenter). Det var vanskelig å justere vannmengdene fra brannslangen, og det ble derfor benyttet ulike varigheter mellom 10 og 20 minutter. For å måle vannføringen fra vannslangen ble «vann-i-bøtte» metoden benyttet, hvor bøttens volum og hastigheten den fylles med vann måles. To regnbed ble testet på denne måten: Regnbed 1 (R1) og regnbed 7 (R7) (Tabell 1).

Vannet ble ført inn i regnbedene forskjellig, grunnet ulike konstruksjoner før innløpene. R1 har to innløp; ett med taknedløpet fra bygningen og ett fra en grunn renne i gata. Oversvøm-

melsen skjedde gjennom vannrenna. I R7 er innløpet konstruert slik at vannet renner inn gjennom et kunstelement (Figur 2), hvor overvannet kommer fra taknedløp. Innløpene i regnbedene består av sedimentasjonskasser av stål (innløpskasse) (Figur 2). Hensikten med innløpskassene er å holde tilbake partikler og søppel fra gata, samt redusere energien i vannet for å forhindre erosjon i filtermediet.

Det ble gjort ulike tiltak for å måle vannføringen i regnbedene. 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°). Det dannes en fri og luftet stråle fra innløpskassen, som er et av forutsetningene for at V-overløpet kan benyttes til måling av vannføring (Otnes & Ræstad, 1978). Målinger i overløpet benyttes for kalibrering av «vann-i-bøtte» metoden. En rist ble satt ved innløpet for å hindre for stor vannhastighet (overkritisk strømning) i innløpskassene. Tømmestokker (målestaver) ble satt i innløpskassen, på regnbedoverflaten og i drengskummen til R1 (Figur 3). Som *back up* ble det montert loggere (Rugged TROLL 100, fra In-Situ Inc.) i tilsvarende steder, som målte vannstand. Ved å måle vannstand når vanntilførselen tar slutt, er det mulig å beregne synkehastigheten til regnbedene. Dette tilsvarer en samlet infiltrasjonsevne for regnbedet fordi det er mettet.

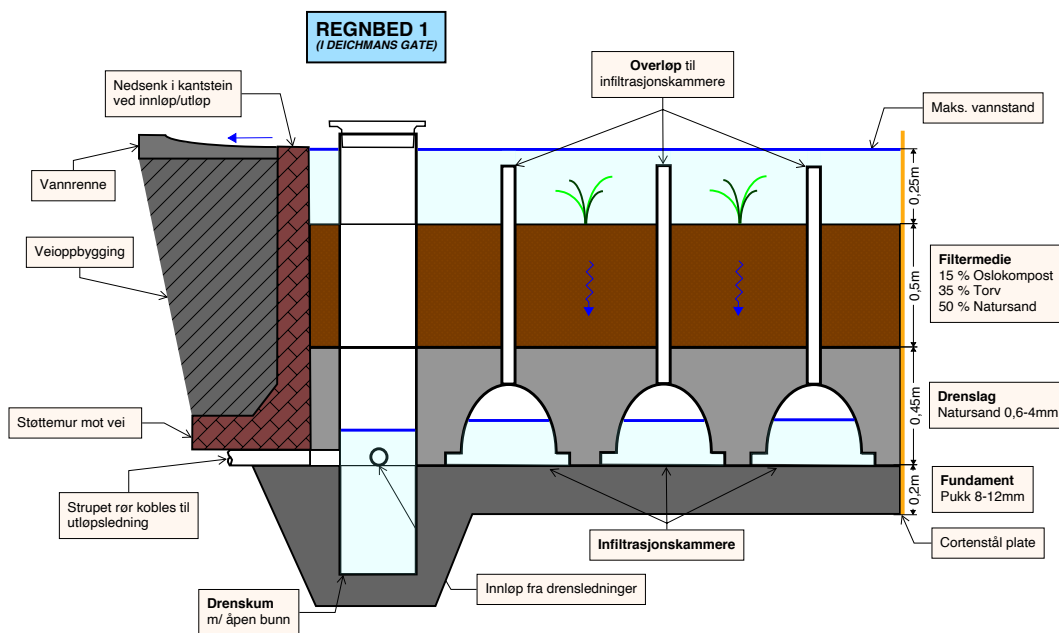
Infiltrasjon er målt gjennom de overnevnte metodene i regnbedene i Deichmans gate. I denne



Figur 2. Venstre: Viser utseendet til MPD-infiltrometeret, og størrelsesforhold. Midten: Feltforsøk «oversvømmelse» i R7. Høyre: Innløpet i R1, med forlenget V-overløp og verktøy som er benyttet i testingen.

Tabell 1. Informasjon om R1 og R7s størrelse og oppbygging, samt areal og arealbruk for tilknyttet nedbørfelt. Oppgitt informasjon er basert på prosjekterte verdier av Asplan Viak.

	Regnbed 1 (R1)	Regnbed 7 (R7)
Overflateareal	27 m <sup>2</sup>	14 m <sup>2</sup>
Tilknyttet delfelt	504 m <sup>2</sup> (A <sub>tak</sub> = 158 m <sup>2</sup> , A <sub>gront</sub> = 24 m <sup>2</sup> , A <sub>gatestein</sub> = 322 m <sup>2</sup> )	161 m <sup>2</sup> (A <sub>tak</sub> = 118 m <sup>2</sup> , A <sub>gront</sub> = 24 m <sup>2</sup> , A <sub>gatestein</sub> = 19 m <sup>2</sup> )
Avrenningskoeffisient (c <sub>midlere</sub> )	0,47	0,78
Maksimal vannstand (h <sub>maks</sub> )	25 cm	25 cm
Konstruksjonstype	m/ nedgravde infiltrasjonskammerer	m/ tradisjonell utførelse
Filtermedieblending (volumprosent)	15 % Oslokompost, 35 % Torv, 50 % Natursand	30 % Oslokompost, 20 % Torv, 50 % Natursand



Figur 3. Prinsippskisse av regnbed 1 i Deichmans gate, der det er plass til 25 cm vann på overflata som infiltrerer delvis ned i grunnen, delvis til infiltrasjonskammerer gjennom overløp som ledes til drenskum med strupet utløpsrør. Illustrasjonen er basert på prosjekterte tegninger fra Asplan Viak.

artikkelen fokuseres det i hovedsak på R1 og R7, ettersom oversvømmelsestestene kun ble utført i disse regnbedene. Artikkelen bygger imidlertid på masteroppgaven til Sivakumar (2020), og mer informasjon finnes der. Braskerud (2020) har laget en film som viser oversvømmingen av R1 og R7.

Det ble gjort totalt 49 MPD-målinger i alle 9 regnbed. Antall MPD-målinger varierte med størrelsen til regnbedoverflaten: 6 målinger i R1 og 3 målinger i R7. Begge regnbedene er av ulike konstruksjoner: Ett med tradisjonell utførelse (R7) og ett med nedgravde infiltrasjonskamrer (R1) (Figur 1 og Figur 3).

## Resultater og diskusjon

### Infiltrasjonsmålinger med MPD

Infiltrasjonsevnene målt ved bruk av MPD-infiltrometeret fulgte et generelt mønster; alle lokalitetene i regnbedene viser høy infiltrasjonsrate på starten, da jorda var tørr og umettet, for deretter å avta ved oppnådd mettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{sat}$ ). Tiden det tok før infiltrasjonen stabiliserte seg mot en konstant verdi ( $K_{sat}$ ), varierte både innad hvert regnbed og mellom regnbedene (12 – 34 minutter).

MPD-målingene viser at infiltrasjonsevnen varierer både innad i regnbedene og mellom regnbedene. I R1 var variasjonen fra 19 – 93 cm/t. R7 har ingen variasjoner i målingene, der alle målinger viser lik infiltrasjon på 48 cm/t. I de øvrige 7 regnbedene varierte median  $K_{sat}$  fra 22 til 60 cm/t i det enkelte regnbed, med en median på 36 cm/t for alle (Tabell 2).  $K_{sat}$  verdiene gav en positiv skjev fordeling for alle regnbedene; median er derfor best til å beskrive  $K_{sat}$  for hvert enkelt regnbed. Infiltrasjonsevnen til regnbedene i Deichmans gate er betydelig større enn den foreslåtte  $K_{sat}$  på minst 10 cm/t i filtermedier for regnbed i Norge (Paus & Braskerud, 2013).

### Infiltrasjon basert på kornfordeling

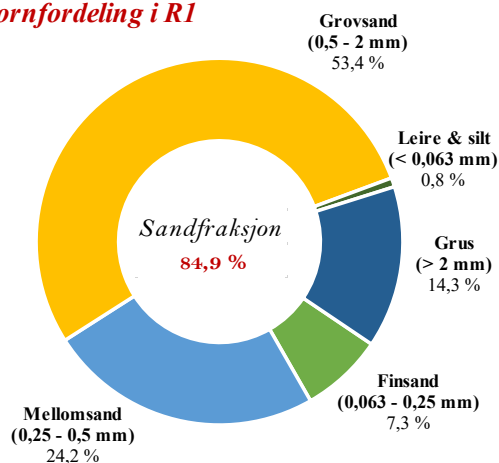
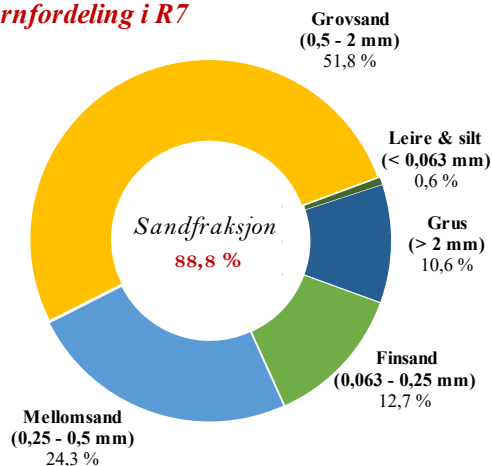
Infiltrasjonsevnen påvirkes av mange faktorer, blant annet av jordartenes permeabilitet (gjen-

nomtrengelighet). Permeabiliteten er avhengig av kornstørrelse, sorteringsgrad og hvor hardt løsmassene er pakket sammen. Dersom jorda er godt sortert og inneholder store kornstørrelser, vil vannet strømme lett gjennom filtermediet. Kornfordelingsresultatene viser at regnbedene inneholdt mindre enn 2 % leire og silt. Resterende jord var av sand, stein eller grus. Sand (fraksjon 0,063 – 2,0 mm) dominerte regnbedene (Figur 4). Sorteringstallet er mindre enn 5 for alle regnbed, og dermed anses jorda også som godt sortert. På bakgrunn av kornfordelingsanalysene har regnbedene generelt god infiltrasjon.

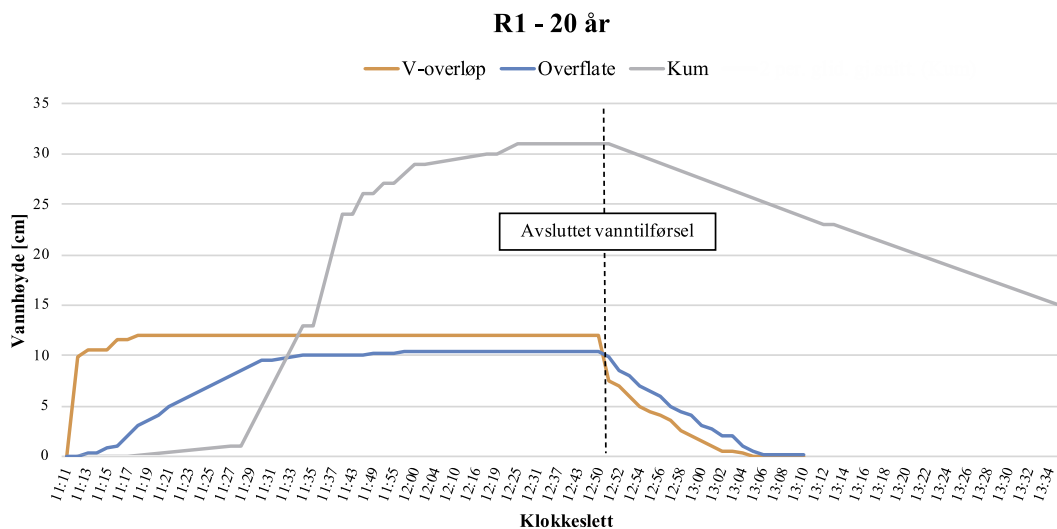
Innholdet av organisk materiale i jorda er viktig for både vegetasjon og for mikrobiologisk aktivitet. Det organiske stoffet reduserer imidlertid infiltrasjonen ved å fylle porene som vannet kan strømme gjennom (Paus, 2015). Resultatene fra glødetapet viste 16,9 % innhold av organisk materiale i R1, og 17,9 % i R7. Dette er et større innhold av organisk materiale sammenliknet med innholdet i hagejord (< 10 %) (Becker mfl., 2016), og skyldes andelen torv og Oslokompost (Tabell 1). De øvrige regnbedene inneholdt også store mengder organisk materiale (13,4 – 18,9 %), med unntak av R4 som kun hadde 7,7 %. Dette regnbedet hadde også den største infiltrasjonshastigheten (Tabell 2). Dette funnet støtter Paus (2015) sine observasjoner.

Tabell 2. Oversikt over minste og største areal,  $K_{sat}$ -resultater, samt en middelværdi beregnet som gjennomsnitt og median for hvert enkelt regnbed.

Regnbed	Areal [m <sup>2</sup> ]	$K_{sat, min}$ [cm/t]	$K_{sat, maks}$ [cm/t]	Gjennomsnitt, $K_{sat}$ [cm/t]	Median, $K_{sat}$ [cm/t]
R1	27	19,2	96	47,2	24
R2	54	9,6	48	24	24
R3	25	14,4	48	24	21,6
R4	10	24	36	60	60
R5	20	24	240	68	36
R6	14	24	96	52,8	48
R7	14	48	48	48	48
R8	8	24	48	30	24
R9	23	4,8	96	51,8	48
<b>Sum / Middel</b>	<b>195</b>	-	-	<b>45,1</b>	<b>36</b>

**Kornfordeling i R1****Kornfordeling i R7**

Figur 4. Resultatene fra kornfordelingen i R1 og R7. Resultatene vises som gjennomsnittlige verdier i R1, ettersom det ble tatt 2 jordprøver i dette regnbedet.



Figur 5. Grafene viser endringer i vannstand i ulike målepunkter i R1 ved vanntilførsel tilsvarende et 20 års nedbør. V-overløp (rød graf) representerer målinger gjort i innløp, og viser perioden vann tilføres regnbedet. Overflate (blå graf) viser økning av vannstand inni regnbedet, basert på måling i regnbedoverflaten. Kum (grå graf) viser endring i vannstand inne i drenskummen.

**Oversvømmelse av regnbed**

R1 og R7 ble, som tidligere nevnt, oversvømt av vann fra brannbiler. Målingene fra «vann-i-bøtte» testene og beregninger gjort med målinger i V-overløpene, hadde god overenstemmelse. Begge regnbedene håndterte 2 års nedbøren problemfritt. Vanntilførselen pågikk lengre enn den beregnede varigheten på 20 minutter, og

regnbedene håndterte dermed *trinn 1* vannføringer godt. I begge regnbedene stabiliserte vannstanden seg, og vannføringen inn tilsvarte derfor infiltrasjonen i regnbedene (Tabell 3).

20 års oversvømmelsene ble håndtert ulikt av regnbedene:

- R1 kunne håndtere store vannmengder, og høy intensitet ettersom det ble benyttet en

varighet på kun 10 minutter (Figur 5). Det ble observert at regnbedet hadde klart å håndtere en vannmengde tilsvarende et 20 års regn uten å ta i bruk de nedgravde infiltrasjonskammerne. Vann tilsvarende 46 mm over nedbørfeltet ble tilført på mindre enn en time uten at vannstanden i regnbedets overflate endret seg (Figur 5). Forsøket ble derfor avbrutt. Det betyr at R1 kan håndtere sjeldnere nedbør enn 200 års hendelsen. Ulempen er imidlertid at innløpet til regnbedet er laget slik at ønskede vannføringer *ikke* kommer inn i anlegget. Det måtte derfor lages en lederenne for å føre vann fra gata og inn i regnbedet. Det betyr at store vannmengder ikke håndteres.

- I R7 ble ikke hele regnbedets overflatevolum benyttet, grunnet skjev overflate. Vannet rant fra innløpet mot det laveste punktet i regnbedet. Etter 8 minutter flommet vannet ut av regnbedet (Tabell 3). Regnbedets gode infiltrasjonsevne ble derved ikke utnyttet.

Vannets synkehastighet varierte, selv med mettede filtermedier. Dette kan skyldes målefeil, men også at infiltrasjonen varierte innad i regnbedet ved at vannet strømmet til ulike områder av overflata.

### Sammenlikning av metoder for infiltrasjonsmålinger

Resultatene fra kornfordelingen kan benyttes til beregning av  $K_{sat}$ , basert på den empiriske relasjonen mellom kornfordelingsdata og hydraulisk

konduktivitet (Harleman mfl., 1963).  $K_{sat}$ -resultater fra alle 3 metoder er vist i Tabell 4. Kornfordelingsresultatene viser betydelig større  $K_{sat}$  enn MPD- og oversvømmelsesresultatene. Dette kan være fordi den benyttede empiriske metoden kun baserer seg på kornfordelingsdata, og utelukker andre faktorer som kan påvirke infiltrasjonen:

- Filtermediet inneholdt f.eks. mye organisk materiale.
- Tråkk av folk og dyr i regnbedene har komprimert overflata.

Kornfordelingsresultatene for  $K_{sat}$  er derfor ikke representative.

MPD-instrumentet måler infiltrasjonshastigheten i punkter på filtermediet, og medianen av disse målingene gjengir infiltrasjonen til regnbedene. Oversvømmelsen derimot, måler vannets infiltrasjon i regnbedet som en helhet. Oversvømmelse gav 10 cm/t større infiltrasjonshastighet i R1 og 1 cm/t mindre i R7, sammenliknet med MPD (Tabell 4). R1 inneholder flere elementer enn R7 som kan ha påvirket infiltrasjonen. Vannet kan f.eks. ha rent raskere langs kanten på drengskummen (Figur 3). Infiltrasjonskapasiteten til R7 er for det meste avhengig av filtermediet ettersom det er et tradisjonelt regnbed (Figur 1). Dette kan forklare likheten mellom MPD- og oversvømmelsesresultatene. Sammenliknet med kornfordelingsanalyser fungerer MPD-infiltrometeret bedre med hensyn til infiltrasjonstesting i regnbed. Førstnevnte har gitt fra 1,7 til 6,7 cm/t høyere infiltrasjonshastighet.

Tabell 3. Tilførsel av vann i R1 og R7 ved oversvømmelsene som tilsvarer 2- og 20 års regn. Prosjektert er beregnet tilført vannføring ved 2- og 20 års gjentakintervall. Tilført vannføring representerer vannmengder som ble tilført regnbedene under testing.

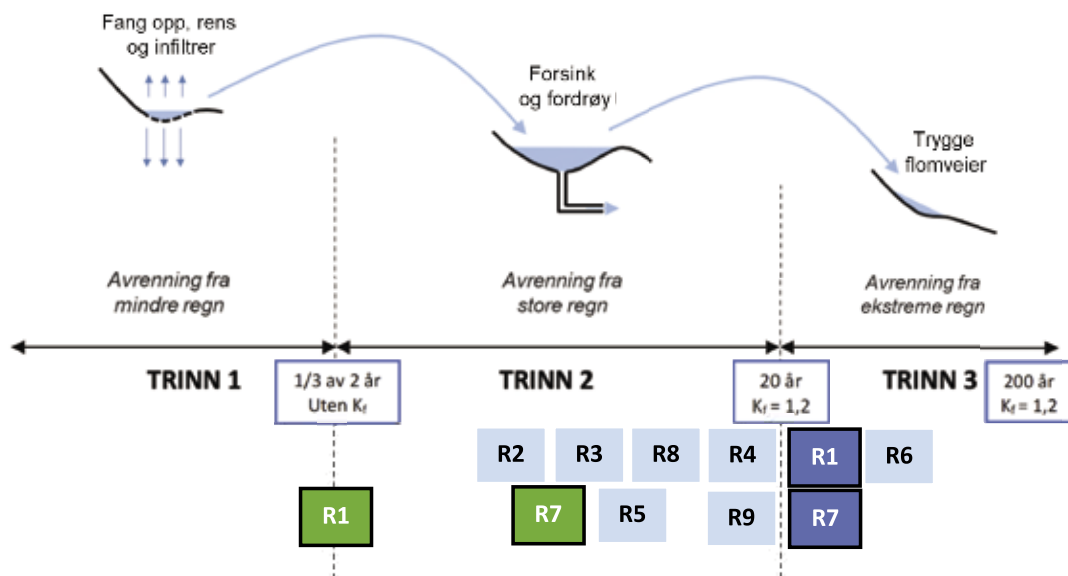
Regnbed	Prosjektert			Tilført			
	Gjentaksintervall	Varighet	Vannføring	Vannføring	Varighet (vanntilførsel)	Varighet (infiltrasjon)	$K_{sat}$
R1	2 år	20 min	2,8 l/s	2,9 l/s	118 min	32 min	31 cm/t
	20 år	10 min	7,1 l/s	7,1 l/s	99 min	27 min	35 cm/t
R7	2 år	20 min	1,5 l/s	1,5 l/s	55 min	15 min	47 cm/t
	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  $K_{sat}$ .



Tabell 4.  $K_{sat}$ -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	-



Figur 6. Dimensjonerende gjentakintervall som regnbedene håndterer med hensyn til deres prosjekterte nedbørsfelt, overflateareal, maksimale vannstand ( $h_{maks}$ ), og målte  $K_{sat}$ . Regnbedene er plassert i typiske grenser for tretrinnsstrategien (Paus, 2018). Blå bokser viser MPD-resultater, og grønne bokser viser oversvømmelsesresultater.

### Regnbedenes evne til å håndtere trinn 1 og trinn 2 nedbør

Paus-formelen for dimensjonering av regnbed kan benyttes til å estimere hvilke gjentakintervaller regnbedene teoretisk er dimensjonert for, basert på  $K_{sat}$  og regnbeds overflate og dybde (Paus & Braskerud, 2013). Det er beregnet tilhørende gjentakintervall til hvert enkelt regnbed, ved bruk av MPD-resultater og antakelser

for nedbørsfelt, avrenningskoeffisienter og andre parametre benyttet under prosjekteringen. Beregningene er gjort for alle tilgjengelige varigheter på nedbøren, hvor størst verdi er benyttet. Dybdene på regnbedene er satt til 25 cm. Resultatene for alle 9 regnbed vises i Figur 6 som blå bokser. Oversvømmelsene viste de faktiske/testede kapasitetene til R1 og R7, og er vist som grønne bokser.

Selv med god infiltrasjonsevne, kunne hverken R1 eller R7 håndtere et 20 års regn i praksis (Figur 6). For R1 fungerte innløpsløsningen ikke som planlagt, og overvannet strømmer vanligvis forbi regnbedet. Ved gjennomføring av oversvømmelsesforsøkene laget vi en barriere for å likevel lede all vannet til regnbedet. Regnbedet hadde en god kapasitet til å håndtere overvann grunnet anleggets konstruksjonsløsning med nedgravde infiltrasjonskammere, og kunne håndtere over et 200 års regn under oversvømmelsestesting. Det er derfor svært uheldig at den store kapasiteten ikke blir utnyttet fordi overvannet ikke når tiltaket. Renna som skal føre vann inn til regnbedet bør derfor konstrueres annerledes, f.eks. dypere med rist over det siste stykket. Evalueringen viser at regnbed med infiltrasjonskamre kan ha redusert overflateareal. Et forslag er at filtermediet håndterer trinn 1 – nedbørmengden, mens infiltrasjonskammerne bidrar til å håndtere trinn 2 – nedbørmengden, der det er begrenset med plass.

R7 klarte ikke å håndtere et 20 års regn, fordi helningen på jordoverflaten på regnbedet påvirket vannvolumet som kunne holdes tilbake i anlegget i stor grad. Overflaten var skjev og ujevn, og volumet på overflata og det tilgjengelige arealet for infiltrasjon ble derfor vesentlig redusert. Det er ikke forventet at filtermediet i regnbed skal være helt flatt og jevnt, ettersom løsmasser 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 må unngås.

En fordel med åpne LOD-tiltak er at de er lett tilgjengelige for endringer og oppgraderinger hvis anleggenes skulle ha feil og mangler. Lukkede løsninger er vanskeligere å kontrollere virkningen til, vedlikeholde og evt. utvide om kapasiteten skulle være for liten. Hvis det settes av plass for utvidelse, vil tiltak som regnbed kunne bygges for korte tidshorisonter. Dagens investeringer kan derved holdes lavere, fordi tiltaket kan utvides/forbedres hvis behov (Haugård m.fl., 2019). Åpne LOD-tiltak har med dette en innebygget sikkerhetsfaktor.

## Konklusjon

Utformingen av regnbed er vesentlig. Ved bruk av Paus-formelen, kan nødvendig størrelse på et regnbed beregnes for å håndtere nedbør i trinn 1 og 2. Det forutsetter at tiltenkte vannmengder faktisk renner inn i anlegget, og at overflata på filtermediet er relativt flatt, slik at overflatevolumet utnyttes. Gitt disse to forutsetningene, kan funksjonen til regnbed vurderes ved å måle infiltrasjonen med MPD-infiltrrometer. Dette forutsetter videre at infiltrert overvann ikke stopper opp i regnbedet, men ledes videre ned i grunnen.

Kunnskap om kornfordelingen i filtermediet kan være veiledende ved prosjektering, men vil trolig ikke gi rett informasjon om den faktiske virkningen etter at slike anlegg er ferdig bygget.

Infiltrasjonsevnen varierer mellom og innad de enkelte regnbedene. Ved bruk av MPD-infiltrrometeret er det beregnet en samlet mettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{sat}$ ) på 36 cm/time for regnbedene i Deichmans gate. Dagens tommelfingerregel i Norge anbefaler en  $K_{sat}$  på 10 cm/time for dimensjonering av regnbed. Velges en filtertype lignende den som er benyttet i Deichmans gate, med høy  $K_{sat}$ , vil det bidra til at regnbed kan lages mindre.

Regnbed med nedgravde infiltrasjonskammere har økt kapasitet til å håndtere overvann. Denne økte kapasiteten bidrar til at overflatearealet kan reduseres i regnbed med liknende konstruksjonsløsning, og kan være aktuelt når arealet som er til disposisjon er en minimumsfaktor.

## Takk til

Takk til Oslo kommune, Brann- og rednings-etaten, Vann- og avløpsetaten (VAV) og Mallory P. Chamberlain for bistand til utførte feltforsøk. Takk til Oslo VAV og NVE for økonomisk støtte til lab- og feltarbeid. Takk til informantene Endre Langeland og Kim H. Paus. Artikkelen ble utviklet som en del av SURF-prosjektet som støttes av Norsk forskingsråd (NFR nr.: 281022). Funn i artikkelen har i tillegg vært et bidrag til et FoU-arbeid om urbane regnbed av Asplan Viak.

## Referanser

- Becker, M. A., Muthanna, T. M. & Braskerud, B. C. (2016). *Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnettene ved å frakoble taknedløp*. Vann nr. 4 (51); 359-369.
- Braskerud, B.C. (2020). *Testing av regnbed Deichmansgate*. Tilgjengelig fra URL: <https://www.youtube.com/watch?app=desktop&v=2xdlmwCwMGE>
- 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.
- Haugård, P.Å.S., O.G. Lindholm, V. Nilsen & J. Kvitsjøen. (2019). *Metode for valg av kostnadseffektive overvannstiltak i et endret klima*. Vann nr. 4 (49); 279-292.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann Rapport 162, Hamar.
- Norsk Klimaservicesenter. (u. å.). *Nedbørintensitet (IVF-verdier)*. <https://klimaservicesenter.no/ivf?-locale=nb&locationId=SN18701> (lest 11.02.2020).
- Oslo kommune. (2014). *Strategi for overvannshåndtering i Oslo. 2013-2030*.
- Oslo kommune. (2019). *Handlingsplan for overvannshåndtering i Oslo kommune - kortversjon*.
- Otnes og Ræstad. (1978). *Hydrologi i praksis*. Ingeniørforlaget.
- Paus, K.H. og B.C. Braskerud. (2013). *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold*. Vann nr. 1(48); 54-67.
- Paus, K. H. (2018). *Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann*. Vann nr. 1 (48); 52-67.
- Paus, K. H. (2020). *Kunnskapsbehov innen overvannshåndtering og klimatilpasning*. Norsk Vann Rapport B26.
- Paus, K. H. (2015). *Toxic Metal Removal and Hydraulic Capacity in Bioretention Cells in Cold Climate Regions*. Philosophiae Doctor: NTNU.
- Sivakumar, N. (2020). *Regnbed i gate - Evaluering av ni regnbed i Deichmans gate med hensyn til overvannshåndtering, drift og vedlikehold*. Master: NMBU.
- Solheim, E.B., H.K. French og B.C. Braskerud (2017). *Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis*. Vann nr. 3 (52); 278-290.
- Ødegaard, H. (Red.). (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. Norsk Vann, Hamar.