

## Infiltrasjon av urbant overvann i grøntanlegg

Av Ingvild Schmidt, Helen French og Trond Mæhlum

*Ingvild Schmidt* var masterstudent hos NMBU og er nå miljørådgiver hos Norconsult.

*Helen French* er professor ved fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning ved NMBU.

*Trond Mæhlum* er forsker i avdeling grøntanlegg og miljøteknologi i NIBIO.

### Summary

Green areas can play a role as infiltration areas in sustainable local drainage systems. Infiltration capacities between  $<0,5-83$  cm/h were measured with a Modified Philip-Dunne infiltrometer on natural soil in the park at the Norwegian University of Life Sciences (NMBU) and at the research station of the Norwegian Institute of Bioeconomy Research (NIBIO) in Landvik. Ninety percent of the measurements in the NMBU-park were below 20 cm/h. On a constructed soil (USGA profile (USGA, 2018)) at NIBIOs research station infiltration capacities were between 32-107 cm/h. Repeated measurements of infiltration capacity in the same point over time (autumn/winter season 2017) showed a development over time, on average a slight increase until a solid impermeable ice was formed inside the infiltrometer. No ice was formed around it. This indicates that the measurements do not show the natural development. Based on our analysis we recommend at least one measurement for every 600 m<sup>2</sup>, to get a good estimation of the local infiltration capacity.

### Sammendrag

Grøntanlegg kan spille en viktig rolle som infiltrasjonsareal i lokal overvannsdisponering. Med Modifisert Philip-Dunne infiltrometer ble det dokumentert infiltrasjonsevne mellom  $<0,5-83$  cm/time på naturlig jord i parken rundt

Norges miljø og biovitenskapelige universitet (NMBU-parken) og på Landvik forskningsstasjon, tilhørende Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO). Nitti prosent av målepunktene i NMBU-parken lå under 20 cm/time. I konstruert jord (USGA-profil (USGA, 2018)) på Landvik forskningsstasjon var infiltrasjonskapasiteten mellom 32-107 cm/time. Infiltrasjonsevnen i samme punkt over tid (høst- og vintersesong 2017) ble målt i NMBU parken. Generelt var det først en økende infiltrasjonsevne, men etterhvert dannet det seg et islag på bunnen inne i infiltrometeret, men ikke utenfor. Dette tyder på at de gjentatte målingene påvirker jorden og ikke gjenspeiler den naturlige utviklingen.

Basert på våre analyser bør en ha minst 1 målepunkt per 600 m<sup>2</sup> for å få et godt estimat av den lokale infiltrasjonsevnen.

### Introduksjon

Grøntanlegg defineres som areal «opparbeidet overveiende med vegetasjonsdekte flater» (Store Norske Leksikon, 2009). Grøntanleggs positive effekter er mange, blant annet binding av CO<sub>2</sub>, rensing av luft, rom for biologisk mangfold og økt trivsel (Gómez-Baggethun et al., 2013). Grøntanlegg kan også spille en viktig rolle i overvannshåndtering.

Overvann er et resultat av avrenning av nedbør og smeltevann fra tette flater. Mengden

overvann øker i takt med klimaendringene og urbaniseringen vi ser i dag. Klimaendringene gir økt årsnedbør og hyppigere intense nedbør-episoder, mens urbaniseringen fjerner naturlige infiltrasjonsflater hvor vannet kan trenge ned i grunnen. I 2015 anslo nær 60 % av norske kommuner at systemene for overvannshåndtering ikke har kapasitet til å ta imot de økende mengdene overvann. Ettersom det er kostbart å bygge ut det konvensjonelle avløpsnettet bør det heller satses på lokal overvannsdistribusjon (LOD) (NOU(2015:16)). Tretrinnsstrategien for å håndtere overvannet lokalt består av: 1 – infiltrasjon og rensing, 2 – tilbakeholdelse og fordroyning, og 3 – sikre trygge flomveier til resipient (Lindholm et al., 2005). Grøntanlegg kan inngå i alle tre trinnene.

For å kunne bruke grønntanlegg i overvannshåndtering er det nødvendig med informasjon om infiltrasjonspotensialet i de allerede eksisterende grønntanleggene. Både for infiltrasjon av direkte nedbør, men også for å se om det er mulig å koble til utløp fra tette flater, som for eksempel tak eller parkeringsplasser. Mange tettbefolkede områder ligger på marine strandavsetninger, med lav forventning til infiltrasjonsevne. I denne artikkelen er det utført et stort antall målinger av infiltrasjonsevnen i et slikt område. Målet var å dokumentere variasjon og å kunne si noe om nødvendig antall målinger for å vurdere et gitt grønntanleggs rolle som infiltrasjonsareal i trinn 1. Kartlegging av infiltrasjonsevne i grønntanlegg ble utført på plenarealer i NMBU-parken og på NIBIOs forskningsstasjon på Landvik. Det ble også forsøkt å dokumentere utvikling av infiltrasjonsevne i høst og vintersesong i NMBU-parken

Arbeidet presentert i denne artikkelen er basert på masteroppgaven til Ingvild Schmidt (2018) ved NMBU. Det bygger videre på undersøkelser gjort av Solheim, French & Braskerud (2017). Her ble ulike metoder for å måle infiltrasjon vurdert, hvor de bl.a. konkluderte med at «MPD-infiltrometeret trolig er den enkleste metoden for bruk i praksis» og at den «tilfredsstillende kravene til en ”god nok” metode». Derfor ble denne metoden benyttet i dette arbeidet.

## Metode

### Infiltrasjonsmålinger

Modifisert Philip-Dunne (MPD) infiltrometer ble brukt til å undersøke infiltrasjonsevnen på arealer med plengress som vegetasjonsdekke (NMBU-Ås og Grimstad), med unntak av noen få målinger som ble utført i et lite skogholt (NMBU-Ås). Hvordan infiltrasjonsmålinger med MPD-infiltrometer utføres er forklart i artikkelen «*Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis*» (Solheim, French & Braskerud, 2017). I dette studiet er infiltrasjonsevnen målt som mettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{\text{sat}}$ ) og for å korrigere for lateral spredning ble et Matlab-skript utviklet av Paus (2016) benyttet. Matlab-skriptet er basert på formler utviklet av Nestingen (2007). Jordfuktighet før og etter måling er nødvendige parametere for utregningen.

For å kunne gi praktiske råd om infiltrasjonsmålinger ble tidsbruk for infiltrasjonsmålingene notert. En måling tok fra ca. 15 minutter til 2 timer. På det meste ble det foretatt fem målinger samtidig på den leirholdige jorden, håndtert av én person.

Tabell 1 inneholder informasjon om lokalitetene som ble undersøkt.

Den hydrauliske ledningsevnen reduseres ved lavere temperatur, fordi vannet får høyere viskositet (Schwartz & Zhang 2003), og isdannelse kan hindre infiltrasjon. Derfor ønsket vi å se om MPD-infiltrometeret kunne brukes for å måle utvikling av  $K_{\text{sat}}$  utover høsten. På en av prøvelokalitetene i NMBU parken ble det satt ned MPD-sylindere. Det ble gjennomført én måling hver uke i én sylinder fra uke 40 til 46. I uke 47 ble det satt ned fem sylindere til for å gi et bedre statistisk grunnlag. Tre av disse ble satt ned ved et skogholt. *Målingene* fortsatte i 5 uker til. I uke 1 i 2018 var det et ca. 5 cm tykt islag i bunnen av alle sylindrene. Ettersom det ikke stod igjen vann etter forrige måling må det frosne vannet ha blitt tilført som nedbør. I starten stod vannkannene ute, for å gi en temperaturutvikling lik den utendørs. Fra 15. november ble vannkannene plassert i et kjølerom (rundt 4°C) ettersom vannet ville frosset ute. Da bakken frøs

Tabell 1. Beskrivelse av lokaliteter undersøkt med MPD-metoden i dette studiet.

Lokalitet	Kommune	Areal undersøkt m <sup>2</sup>	Antall målepunkt	Vegetasjonstype	Ca. høydeforskjell	Jordtype ifølge egen vurdering og kart <sup>1</sup>	Testperiode (ukenummer)
NMBU Store-plen	Ås	3600	35	Gress	±0,5 m	Humusrik lettleire <sup>2</sup>	32
NMBU Tivoli	Ås	1300	20	Gress/trær	±2 m	Humusrik siltig lettleire <sup>2</sup>	27
Fidja	Grimstad	150	8	Gress	±0,5 m	Siltig sand <sup>3</sup>	33
Landvik lysimeter	Grimstad	160	7	Gress	± 0,2 m	30 cm sand- og torvblanding over 10 cm drengsgrus. Konstruert med USGA-profil <sup>4</sup> .	33

<sup>1</sup> [http://geo.ngu.no/kart/losmasse\\_mobil/](http://geo.ngu.no/kart/losmasse_mobil/)<sup>2</sup> Børresen 2018, Personlig meddelelse<sup>3</sup> Hole og Solbakken (1985)<sup>4</sup> for mer informasjon: <http://archive.lib.msu.edu/tic/usgamisc/monos/2018recommendationsmethodputtinggreen.pdf>

var det ikke mulig å bruke fuktighetsmåleren, så utvikling over tid er ikke korrigerert for med tanke på lateral spredning.

### Semivariogramanalyse

For å undersøke om det er en underliggende romlig struktur som påvirker infiltrasjonsevnen ble en semivariogramanalyse utført på de målte dataene. Den eksperimentelle semivariansen, beregnes ved

$$\gamma_h = \frac{\sum_i^{n-h} (X_i - X_{i+h})^2}{2n} \quad (1)$$

Der  $X_i$  er infiltrasjonsraten i punkt 1 og  $X_{i+h}$  er infiltrasjonsraten i en gitt avstand,  $h$ , dette gjøres for ulike avstandsintervaller av  $h$ ,  $n$  er antall par (Davis & Sampson, 1986).

Semivariansen ble regnet ut med programmet System for Automated Geoscientific Analyses (SAGA). Mer om informasjon om programmet kan leses her: <http://www.saga-gis.org/en/index.html>. Semivariansen ble videre plottet og tilpasset et sfærisk variogram (formel 2) for hver lokalitet i Microsoft Excel (Davis & Sampson, 1986). Range, sill og nugget ble tolket manuelt fra variogrammene.

$$\gamma_h = \sigma_0^2 \left( \frac{3h}{2a} - \frac{h^3}{2a^3} \right) \quad (2)$$

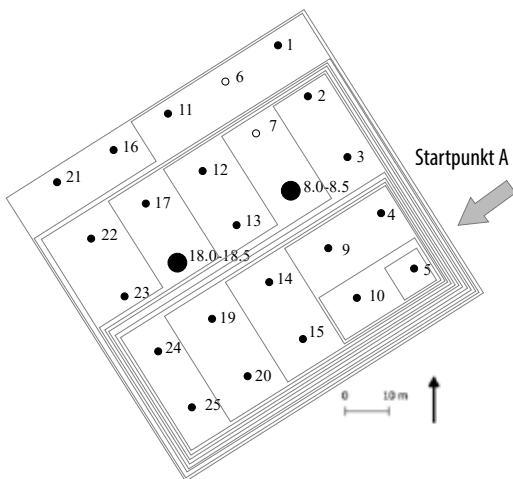
### Nødvendig antall målepunkter for å få representativ infiltrasjonsevne

Det er kjent at den mettede hydrauliske ledningsevnen kan ha stor variasjon (Schwartz & Zhang, 2003), samtidig er det lite realistisk å kunne utføre mange infiltrasjonsmålinger i et utbyggingsprosjekt. I denne studien ble  $K_{sat}$ -verdiene fra Storeplen brukt for å estimere hvor mange infiltrasjonsmålinger som er nødvendig for å gi en representativ  $K_{sat}$ -verdi for et grøntanlegg. Det er kjent at variansen i en undersøkelse vil minke med økende antall målinger, men vi ønsket å finne ut hvor mye gjennomsnittet endret seg med økende antall prøvepunkter. En metode var å plote gjennomsnittsverdiene av alle mulige kombinasjoner av  $n$  antall  $K_{sat}$ -verdier i et spredningsdiagram, for å se hvor mange målinger som skulle til før det nærmet seg gjennomsnittsverdien basert på alle målingene. Ufra spredningsdiagrammet får man et visuelt inntrykk av når det er tilstrekkelig med målinger for å få et akseptabelt gjennomsnitt. Dette ble gjort ved bruk av tre ulike Matlab-koder. Første koden, «nchoosek», fant alle mulige kombinasjoner av  $K_{sat}$ -verdiene, andre koden, «mean», regnet ut gjennomsnittene av de ulike kombinasjonene, og tredje koden, «datasample» gjorde en tilfeldig utvelgelse av 1000 resultater. De utvalgte resultatene ble plottet i et spredningsplott hvor de gjennomsnittlige  $K_{sat}$ -verdiene ble

plottet langs y-aksen mot antall målinger på x-aksen.

Ettersom antall kombinasjoner øker eksponentielt med antall prøvepunkter, var det bare praktisk gjennomførbart opp til og med kombinasjoner med 14 ulike  $K_{\text{sat}}$ -verdier.

Den andre metoden var å se på hvordan gjennomsnittsverdien endret seg dersom man begynte i et punkt og beveget seg over området, slik man kan tenke seg feltarbeid blir utført. Gjennomsnittsverdiene ble regnet ut for en parvis økende mengde kombinasjoner av nabopunkter fra 2 til 30. Dette ble utført tre ganger (A, B og C), hvor startpunktet ble endret for hver gang. En illustrasjon av hvordan punktene ble valgt ut for A er presentert i Figur 1, hvor startpunktet er i nummer 5. Det samme oppsettet ble laget for B, med startpunkt i nummer 25, og C med startpunkt i nummer 21. Punkt 6 og 7 er ikke tatt med i noen av analysene ettersom det ikke var mulig å beregne  $K_{\text{sat}}$  for disse punktene.



Figur 1. Illustrasjon av fremgangsmåte for utvalgelse av nabopunkter til dataanalyse.

## Resultater

### Romlig variabilitet av infiltrasjonsevne

Resultatene fra kartlegging infiltrasjonsevne i NMBU-parken (Storeplen og Tivoli) og på Landvik (Fidja og Landvik lysimeter) er presentert i Figur 2-5. Målepunktene nummer er presentert med fet skrift etterfulgt av tilhørende

infiltrasjonsevne. Punktene hvor infiltrasjonsevnen ikke er korrigert har det vært enten for få avlesninger under måling eller manglet data om jordfuktighet for å korrigere den målte verdien. Disse er presentert med grå skrift. Det er også laget et boksdiagram for å visualisere spredning av data (Figur 6). Her er kun de korrigerte verdiene tatt med. I Tabell 2 er gjennomsnitt, median og varians oppgitt for de ulike lokalitetene.

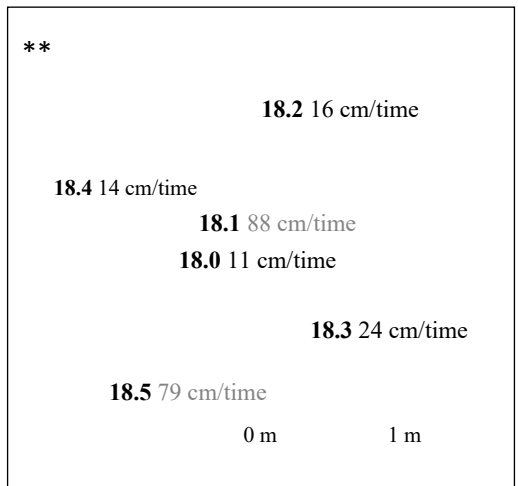
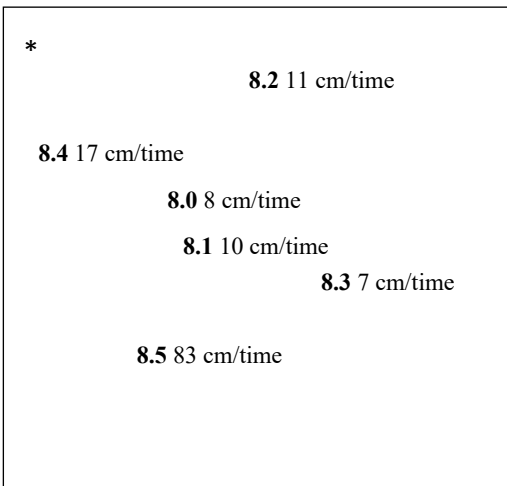
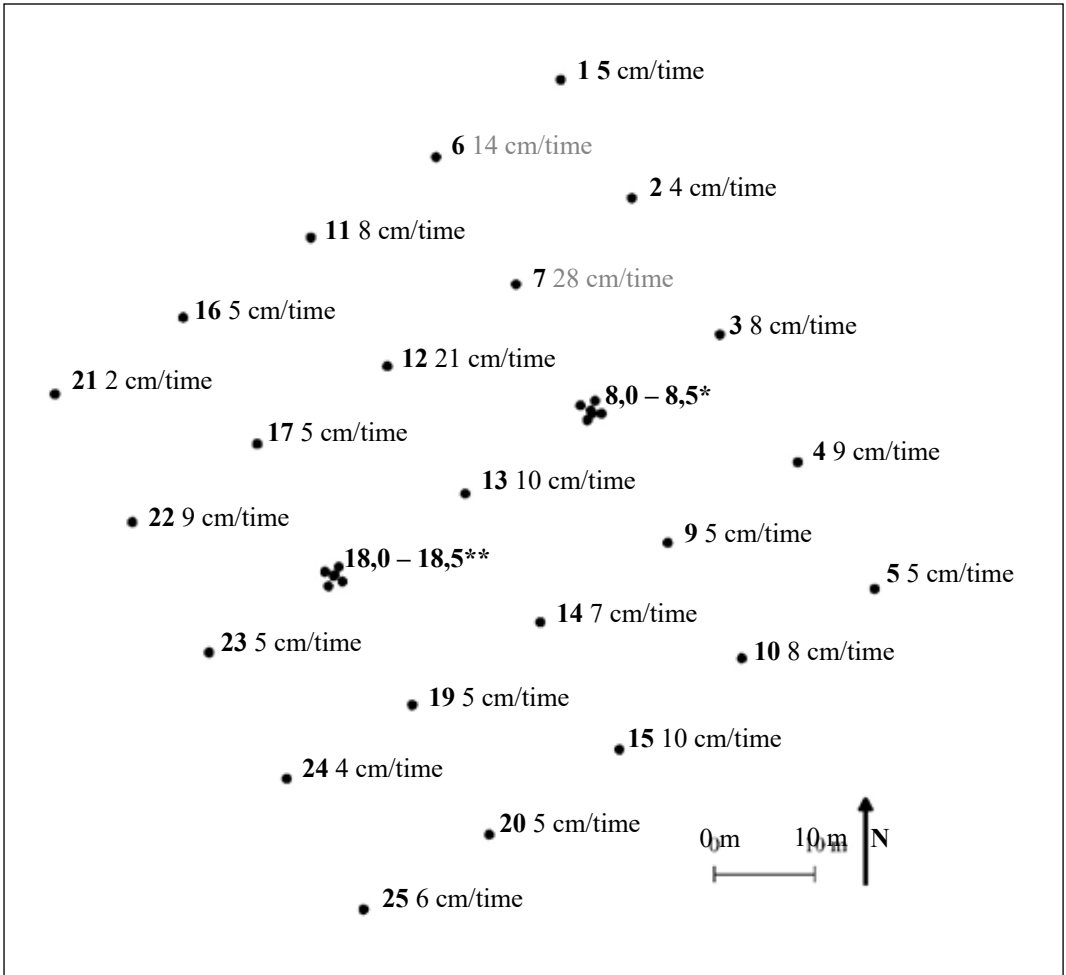
Resultatene viser at i NMBU-parken er 90% av  $K_{\text{sat}}$ -verdiene lavere enn 20 cm/time.  $K_{\text{sat}}$ -verdiene fra Fidja har samme størrelsesorden, noe som kan forventes ettersom begge plenene er anlagt på samme jordtype (marin strandavsetning). Landvik lysimeter med konstruert jord har høyere  $K_{\text{sat}}$ -verdier, medianen er 15 ganger høyere enn på Fidja.

### Semivariogramanalyse

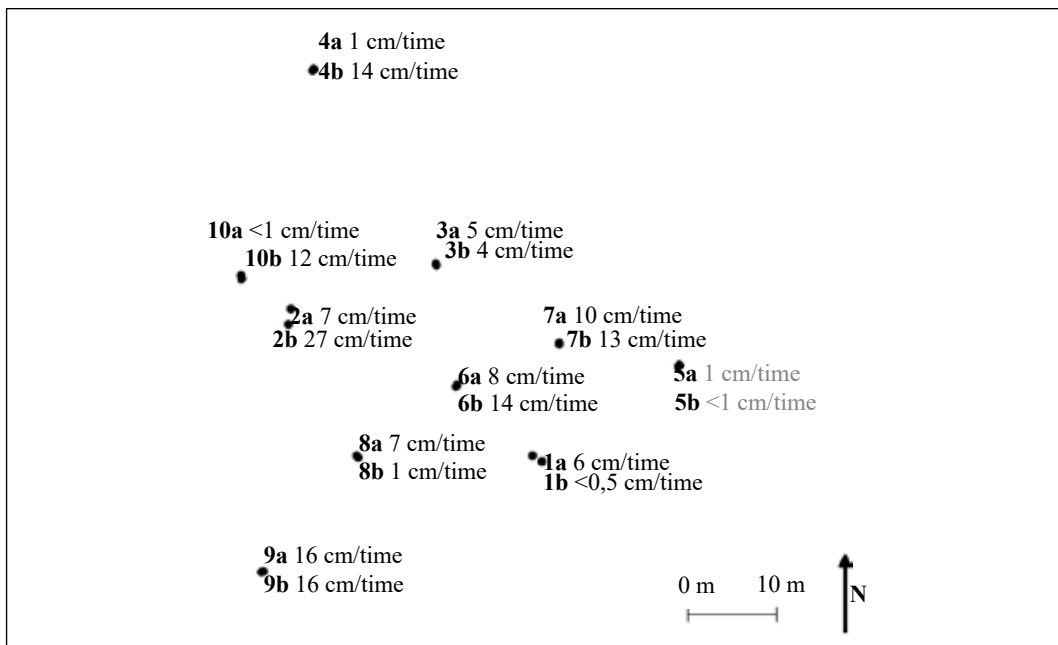
Som man ser av Figur 7 (variogrammene for de ulike lokalitetene) er det stor spredning av dataene og ingen korrelasjon (ren nugget) er mulig tolkning av semivariogrammodell (linje). En annen tolkning av range, sill og nugget ut fra disse variogrammene er listet opp i Tabell 2. Det ble da fokusert på å tilpasse modellen best mulig med fokus på enkeltkryss basert på større antall par. Variogrammene er laget med fullsirkelsøk. Merk at variogrammene har ulik skala.

### Utvikling utover høsten

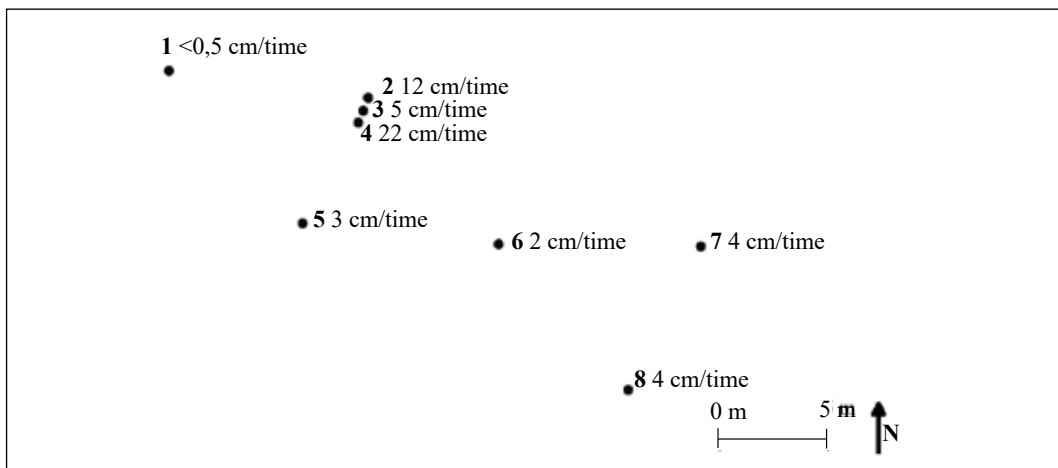
Resultatene fra måling av infiltrasjonsevne utover høsten er presentert i Figur 8. Serien «S1 gress» presenterer målinger på gressvegetasjon i ett infiltrometer gjort fra 3. oktober til 19. desember 2017 (uke 40-51). Målingene viser en synkende trend. Serien «S3 gress» presenterer gjennomsnittet av målinger fra tre infiltrometre på gressvegetasjon fra 15. november til 19. desember (uke 46-51). Målingene viser økende infiltrasjonshastighet. Serien «S3 skogholt» presenterer gjennomsnittet av infiltrometre plassert ved et skogholt. Målingene viser først en synkende trend, men siste målingen ga en så høy infiltrasjonsrate at den generelle trenden er stigende. I første uken i januar var det derimot



Figur 2. Infiltrasjonsevne på Storeplen (NMBU). Punktnummer er presentert med fet skrift, korrigerte  $K_{sat}$ -verdier er presentert med svart skrift, og ukorrigerte  $K_{sat}$ -verdier er presentert med grå skrift.



Figur 3. Infiltrasjonsevne på Tivoli. Hvert punkt ble målt med to MPD-sylindere ved siden av hverandre, som har fått benevningene a og b. Punktnummer er presentert med fet skrift, korrigerte  $K_{sat}$ -verdier er presentert med svart skrift, og ukorrigerede  $K_{sat}$ -verdier er presentert med grå skrift.



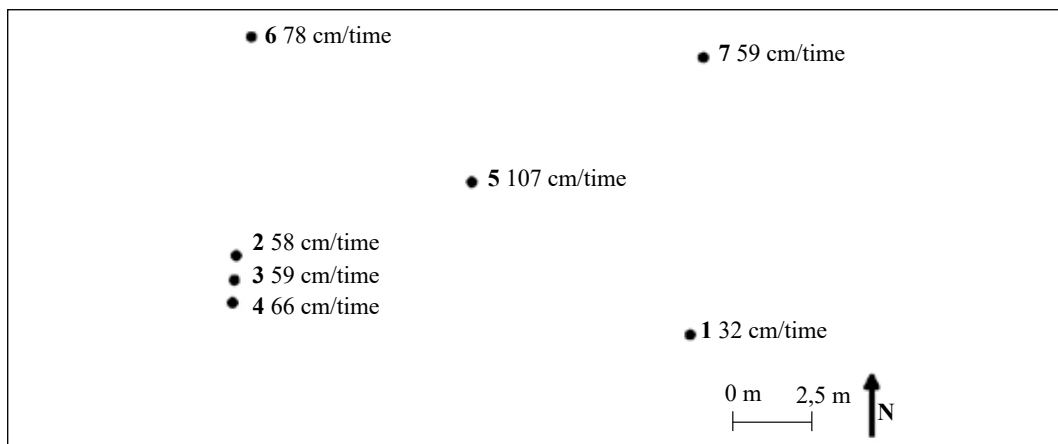
Figur 4. Infiltrasjonsevne på Fidja. Punktene er nummererte med fet skrift etterfulgt av tilhørende  $K_{sat}$ -verdi. I nedre venstre hjørne er det satt inn et histogram basert på  $K_{sat}$ -verdiene.

ingen infiltrasjon i noen av målepunktene på grunn av islag i bunn av hver sylinder.

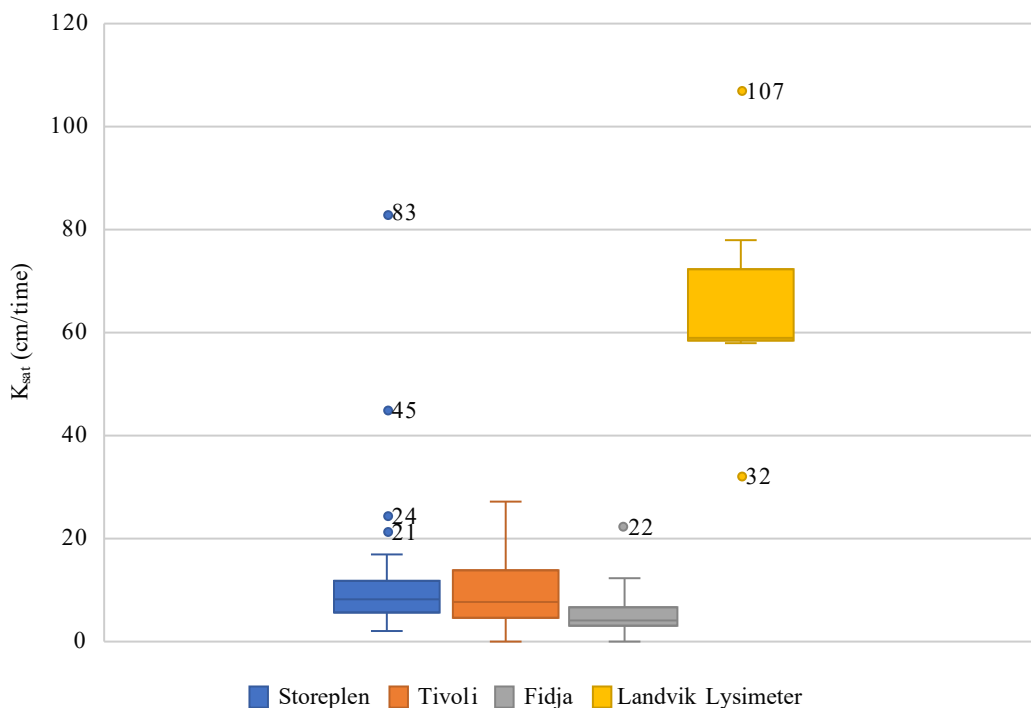
### Nødvendig antall målepunkt

Figur 9 viser gjennomsnittlig  $K_{sat}$ -verdi for Storeplen (basert på korrigerte infiltrasjons-

rater) som funksjon av antall målinger brukt i beregningen. Resultatet av n=14 målepunkter ble av ukjente årsaker ikke plottet i diagrammet, men er spredt mellom 7-19 cm/time. Ettersom det var en tidkrevende prosess ble det ikke prioritert å kjøre skriptet på nytt for å få med n=14.



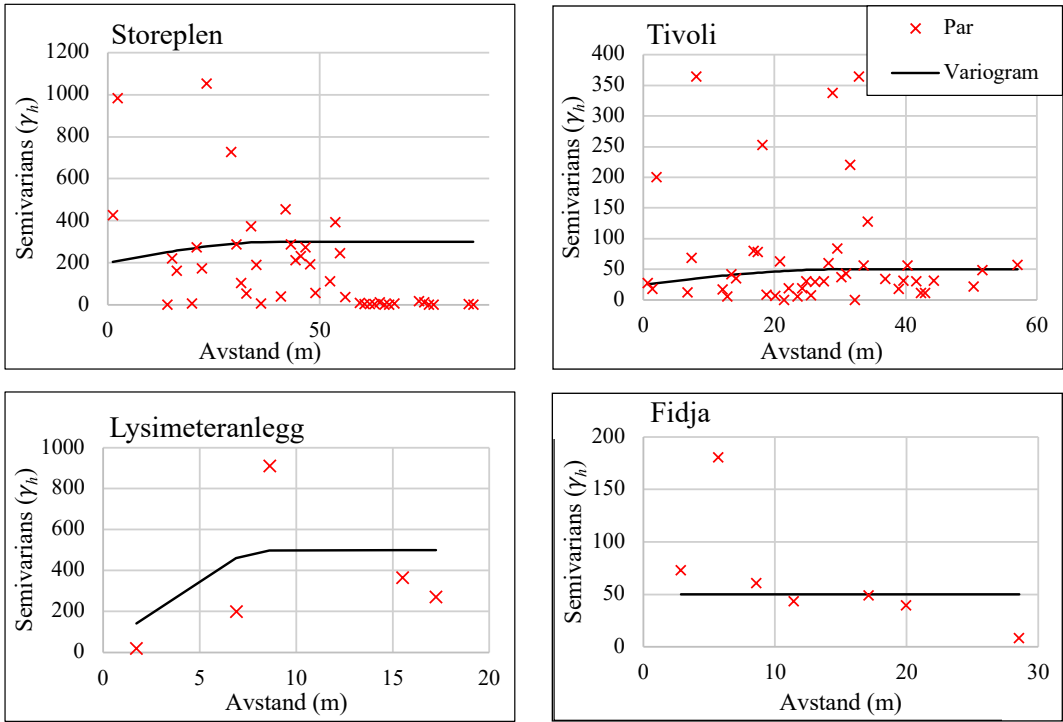
Figur 5. Infiltrasjonsevne på Landvik lysimeter. Punktene er nummererte med fet skrift etterfulgt av tilhørende  $K_{sat}$ -verdi.



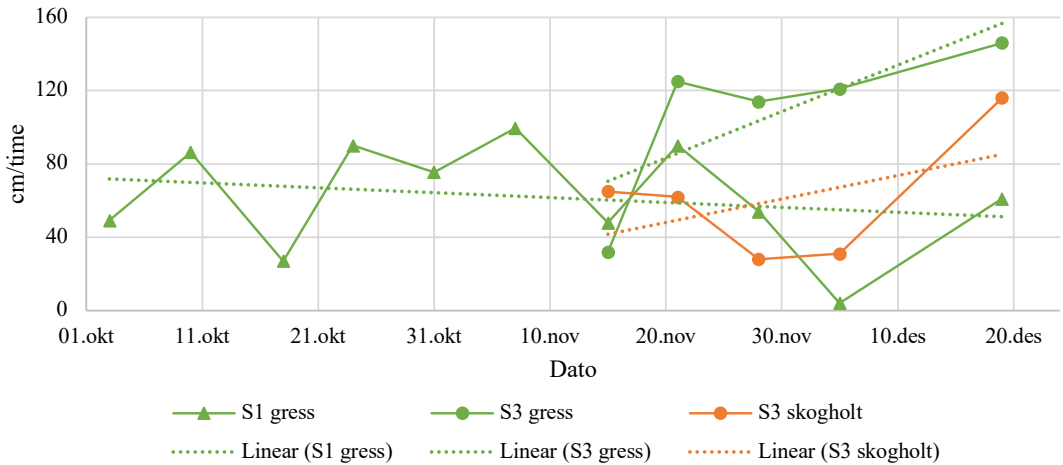
Figur 6. Boksdiagram av  $K_{sat}$  fra de ulike lokalitetene.

Tabell 2. Statistiske parametere for de ulike lokalitetene.

Lokalitet	Gjennomsnitt	Median	Varians
Storeplen	13	8	1,2
Tivoli	9	8	0,8
Fidja	7	4	1,1
Landvik lysimeter	66	59	0,4



Figur 7. Variogrammer basert på fullsirkelsøk på de ulike lokalitetene i studiet.



Figur 8. Infiltrasjonsratene for målinger målt ved ulike tidspunkt i samme målepunkt ved Tivoli, Campus Ås. «S1 gress» består av målinger gjort på et punkt på gressvegetasjon. «S3 gress» er snittet av målinger gjort på tre punkter på gressvegetasjon og «S3 skogholt» er snittet av målinger gjort på tre punkter ved et skogholt.

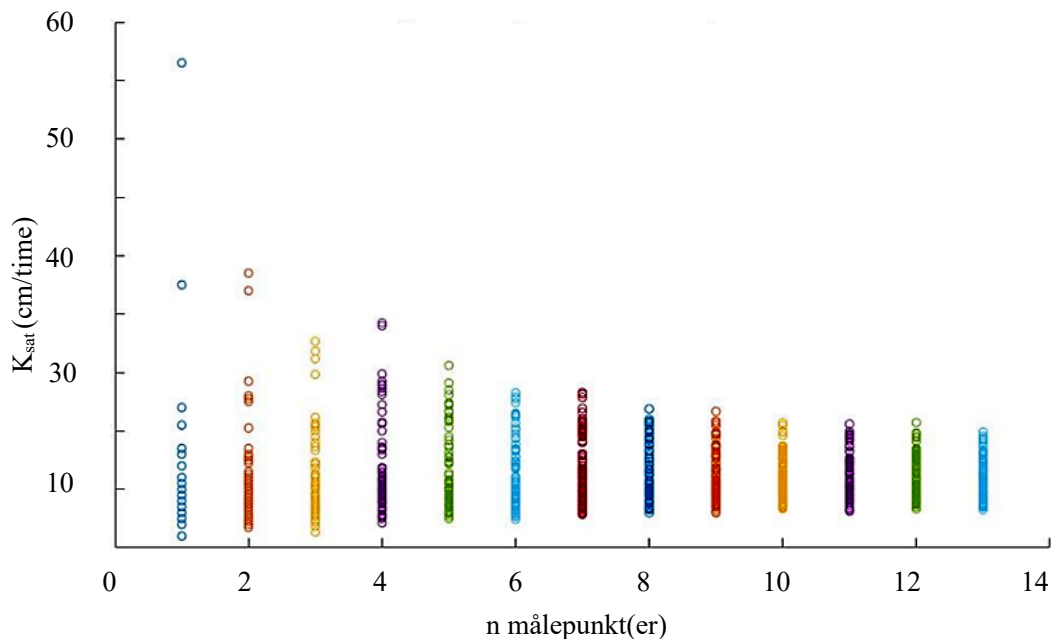
Figur 10 viser endring i gjennomsnittlig  $K_{sat}$ -verdi med økende antall målinger ved start i ytterkanten av Storeplen (A-C).

## Diskusjon

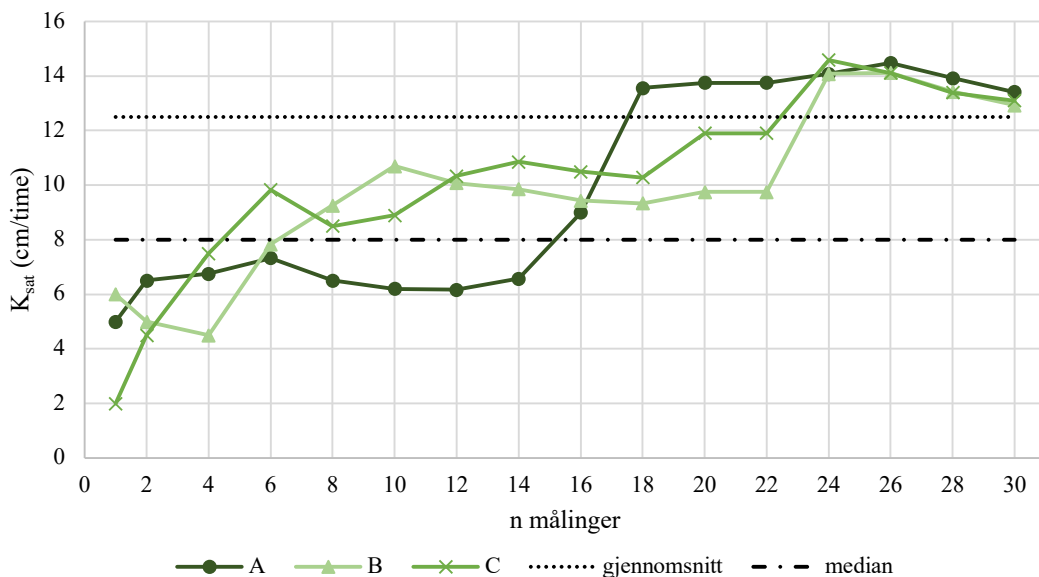
### Romlig variabilitet av infiltrasjonsevne

Resultatene fra kartlegging av romlig variabilitet av infiltrasjonsevne fra NMBU-parken og Landvik





Figur 9. Spredningsplott av 1000 tilfeldige utvalg av gjennomsnitt for kombinasjoner av  $n$  tilfeldige målepunkter fra Storeplen. Gjennomsnittsverdien for det totale datasettet er 13 cm/time.



Figur 10. Gjennomsnittlig  $K_{sat}$ -verdi som funksjon av antall målinger, fra ulike startpunkt (A-C) på Storeplen. Stiplede rette streker viser gjennomsnitt og median basert på alle 35 målepunkter.

forskningsstasjon viser en lav variabilitet sammenlignet med  $K$ -verdier oppgitt i litteraturen, hvor for eksempel silt kan variere mellom  $3,6 \times 10^{-4}$  og  $7,2$  cm/time, og sand kan variere fra

$0,072$  til  $2160$  cm/time (Schwartz & Zhang 2003, s. 51). Solheim (2017) utførte undersøkelser med MPD-metoden i ulike grøntanlegg i Oslo kommune, kartlagt som marine strandavsetninger

(NGU) og fikk resultater av samme størrelsesorden (1,1-36,5 cm/time) som på NMBU og Landvik. Variasjonskoeffisientene (Tabell 2) tilsier at Storeplen har den største variabiliteten av  $K_{\text{sat}}$ -verdier. Dette kan forklares av de målte ekstremverdiene (Figur 6). At ikke Tivoli og Fidja har slike ekstremverdier kan skyldes at de ikke har blitt målt, ettersom det er færre målepunkter på disse lokalitetene. Landvik lysimeter har som forventet den laveste variabilitetskoeffisienten, ettersom den har konstruert jord.

Årsaker til variabiliteten i parkjord etablert på naturlig jordsmonn kan være både antropogene og naturlige. Antagelig har områdene i NMBU-parken blitt påvirket i stor grad av menneskelig aktivitet under utbygging og anleggelse av parken, og senere som følge av ombygginger og infrastruktur (fjernvarme, avløp mm). Det er mulighet for at massene som ble gravd opp under bygging av universitetsbygningene ble liggende i nærområdene, og det kan ha blitt tilkjørt jord og anlagt drenering for å gi et bedre vekstgrunnlag. Ved Tivoli har det i senere tid vært flere graveprosjekter i forbindelse med anleggelsen av regnbedet og fjernvarmekabelstrekk (Børresen, 2018, personlig meddelelse). Fidja har vært brukt som forsøksplen siden 2015, noe som kan ha påvirket jordegenskapene.

Naturlige årsaker til ulik infiltrasjonsevne kan være biologisk aktivitet, som meitemark og rotutvikling, eller at lokalitetene ligger på marine strandavsetninger (klassifisert av NGU). Ulike soner på slike avsetninger kan ha hatt ulik påvirkning av bølgevasking og strømmer i strandsonen, og energinivået til erosjonsprosessen og innvirket på kornfordeling og dermed  $K_{\text{sat}}$ .

Den kartlagte variabiliteten viser at kartlegging av grøntanlegg er nyttig om det skal brukes til LOD. Det vil gi et bedre mål på den faktiske infiltrasjonsevnen, enn vurdering kun basert på kartlagt enhet, og dersom man finner soner med høyere ledningsevne vil man for eksempel kunne koble et taknedløp til disse områdene.

### Romlig korrelasjon

Det tyder på at det ikke er fanget opp en romlig korrelasjon på Storeplen, Tivoli og Fidja. I vario-

grammene (Figur 7) er punktene spredt, noe som gjorde tilpasningen av kurvene vanskelig. I tillegg krysser variogrammene y-aksen over 0, noe som kalles for nugget-effekt. På grunn av de nevnte årsakene til variabilitet kan mangelen på tydelig korrelasjonsavstand (range) (Figur 7) skyldes at det naturlig ikke finnes slik korrelasjonsstruktur på denne typen avsetninger. Eventuelt kan det være vanskelig å fange opp. En sandstrand vil antagelig ha systematiske forskjeller med avstand fra sjø, men dette kan ha vært i en større størrelsesorden enn arealet undersøkt i dette studiet.

Ekstremverdier (outliers) kan for eksempel forklares av lokale prosesser som meitemarkkanaler og derfor ikke ha sammenheng med underliggende strukturer. Figur 2 og 3 viser at infiltrasjonsratene fra Storeplen og Tivoli har store forskjeller på kort avstand, hvor da meitemarkkanaler kan være en mulig forklaring.

Kanaler laget av røtter vil antagelig ha noe mer romlig korrelasjon, ettersom de sprer seg ut ifra et midtpunkt. Det samme kan gjelde antropogen påvirkning, som for eksempel en grøft. For å fange opp et slikt korrelasjonsmønster måtte man hatt langt flere målinger. Eventuelt kunne dette vært kartlagt på andre måter, f.eks. med detaljerte høydemålinger med laser. På Storeplen ligger de fleste målepunktene med ca. 15 meters mellomrom. Kortere avstand mellom punktene ville kanskje gitt et bedre bilde av den romlige strukturen. Likevel kan det virke som om det er en tendens til at de lavere infiltrasjonsratene ligger langs kantene av rutenettet (Fig. 2), og de høyere i midten. Dette kan skyldes mer tråkk og kjøring fordi kantene alltid må krysses.

Landvik lysimeter ga derimot et variogram som krysser y-aksen i 0, og variansen øker med avstand. Her er det derfor romlig korrelasjon ut ifra de innsamlede dataene. I likhet med Storeplen viser resultatene at kantene av området har lavere infiltrasjonsevne enn midten (figur 5). Dette kan være tilfeldig, ettersom det kun er ett målepunkt i midten. Om det ikke er tilfeldig, så kan det muligens skyldes at folk holder seg i kantene for ikke å trække på forsøksjorden.

## Utvikling av infiltrasjonsevne utover høsten

Generelt er det en svak økning i infiltrasjonsevne fra sommeren ut i desember (Fig. 8), men etter dette blokkeres infiltrasjon helt av et islag som dannes i slutten av desember tidlig januar. Også for disse målingene var det stor variabilitet på kort avstand. Målingene gjort ved trær viser en synkende trend i infiltrasjonsevne i starten, men siste målingen er såpass høy at den generelle trenden er stigende. I LOD-tiltak forklares vanligvis sesongvariasjoner i infiltrasjon av endring i evaporasjon og biologisk aktivitet, men at disse endringene er ubetydelige i forhold til den forventede endringen grunnet temperaturendringer (Emerson & Traver, 2008). På Risvollan regnbed anlagt i Trondheim har Balstad (2017), Dalen (2012) og Paus et al. (2016) målt utvikling over tid. Målingene viser en senkning av infiltrasjonsevne i vintermånedene og det relateres til de kalde temperatuere.

Ut ifra egne observasjoner ser det ut til at frosten har gitt iskrystaller som har økt infiltrasjonsevnen. En annen mulig årsak til utviklingen over tid kan være at de gjentatte infiltrasjonsmålingene har påvirket jordstrukturen, eller det har oppstått foretrukne strømningsveier for vannet horisontalt ut av sylindere. Uansett føyer resultatene seg inn i rekken av studier som viser at infiltrasjonsevne fluktuere over tid (Bagarello & Sgroi, 2004; Emerson & Traver, 2008; Gadi et al., 2017). Endringene vil kunne ha konsekvenser for overvannshåndtering da det kan oppstå uventet avrenning i periodene med lav infiltrasjonsevne.

Ved måling av utvikling over tid av infiltrasjonsevne egnet det seg ikke å la MPD-sylindrene stå i samme punkt da det kom frost i bakken. Det samlet seg is i bunnen av sylindrene (ca. 5 cm) i slutten av desember, og det var ikke mulig å gjøre målinger. Ettersom det ikke var et islag på bakken rundt rørene tyder det på at det ikke var naturlige forhold innenfor sylindernes vegger, og det kan stilles spørsmål ved om målingene gjenspeiler den naturlige utviklingen. En mulig forklaring på islaget kan være at sylindrene står i umettet jord, hvor porene er fylt både med luft og vann. Selv om vannet i porene fryser vil det

fortsatt være mulig for vann å infiltrere der porene er fylt med luft (Staepli, Jansson, & Lundin, 1996). Ettersom jorden innenfor sylinderveggene regelmessig mettes med vann vil porene antagelig tettes igjen med is raskere enn utenfor, og danne en barriere. Nedbør som kom utenom måletidspunktet kan derfor ha infiltrert på utsiden av sylindrene, men blitt igjen på overflaten innenfor og frosset. Sannsynligvis har dette størst betydning i jordarter med lav hydraulisk ledningsevne, fordi vannet fra forrige måling ikke har drenert ut mellom hver måling.

Balstad (2017) gjennomførte et casestudium om sesongvariasjoner av infiltrasjon i regnbed i kalde klima. Balstad benyttet MPD-metoden, men i motsetning til dette studiet ble sylindrene satt ned på nytt for hver måling. For å kunne gjennomføre målinger gjennom vintersesongen modifiserte Balstad sylindere ved å sette på et støpejernsrør på enden. Metoden fikk navnet Balstad Modifisert Philip-Dunne Infiltrimeter (BMPD). På bakgrunn av dette anbefales det derfor å heller bruke BMPD.

## Nødvendig antall målepunkter for å få representativ infiltrasjonsevne

Spredningen av gjennomsnittlige infiltrasjonsevne (Figur 9) viser at disse snevres inn og jevnes ut allerede ved 6 målepunkter. Her ligger verdiene mellom ca. 4 og 28 cm/time. Til sammenligning ble Figur 10 basert på kombinasjoner av naboverdier, for å vise hvordan gjennomsnittet ville utvikle seg om man begynner i et punkt og beveget seg over området. Fordi de laveste verdiene ble målt i ytterkanten av området økte gjennomsnittet etter hvert som flere av de sentrale punktene ble inkludert. Fra Figur 10 ser man at median oppnås ved ca. 6 målinger. Det anbefales å bruke medianen fordi den påvirkes mindre av ekstremverdiene enn gjennomsnittsverdien, som kan overestimere områdets evne til å ta imot overvann. Basert på våre resultater, hvor 6 målinger gir en representativ infiltrasjonsevne for et grøntområde anlagt på marin strandavsetning, og med et areal på 60 x 60 meter, anbefales det en måletetthet på én måling per 600 m<sup>2</sup>. Det er også forutsatt at man har en flat og veletablert

gressplen. Or (2010) forsøkte i sin masteroppgave ved University of Alberta å finne en minimums utvalgsstørrelse for geostatistiske analyser. Konklusjonen ble at det ikke var mulig fordi det optimale antallet vil være en funksjon av den underliggende variasjonen. Også i vår studie er semivariogrammodellene svært usikre, også for datasettet med størst antall målinger.

Selv om det alltid vil være best å ta så mange målinger som mulig, viser studien som er utført på jordarter der man forventer lav infiltrasjonsevne at én måling per 600 m<sup>2</sup> gir en relativ robust verdi. Videre er det en god idé å tenke gjennom hvor det er viktig at det er god infiltrasjonsevne, for eksempel i forsengkninger i terrenget, eller ved taknedløp, og hvor kritiske punkter vil være for å hindre uventet avrenning.

## Oppsummering/konklusjoner

- I denne studien tok en måling med MPD metoden ca. 15 minutter til 2 timer. Hvor mange målinger som kan gjennomføres samtidig vil variere med infiltrasjonsraten. Det ble på det meste håndtert fem målinger samtidig.
- Infiltrasjonsevnen ( $K_{sat}$ ) på leirrik parkjord i NMBU-parken og på NIBIOs forskningsstasjon på Landvik, dokumentert med Modifisert Philip-Dunne infiltrrometer, varierte fra <0,5 til 83 cm/time. Nitti prosent av målingene i NMBU-parken gav infiltrasjonsevne under 20 cm/time.
- Det ble ikke funnet en tydelig romlig korrelasjon mellom de målte infiltrasjonsevnene på den naturlige jorden. Det ble funnet en romlig korrelasjon på den konstruerte jorden, men med usikkerhet grunnet et lavt antall målepunkter.
- Å måle utvikling av infiltrasjonsevne i samme punkt over tid i høst- og vintersesong ble problematisk. Det kom et islag på jordoverflaten i bunnen av infiltrrometerne, men ikke utenfor, noe som tyder på at de gjentatte infiltrasjonsmålingene påvirker jorden, og målingene ikke vil gjenspeile en naturlig utvikling. Sannsynligvis har dette størst betydning i jordarter med lav hydraulisk

ledningsevne, fordi vannet fra forrige måling ikke har drenert ut mellom hver måling.

- Et grovt estimat tilsa at det trengs én måling per 600 m<sup>2</sup> for et grøntanlegg med samme forhold som Storeplen i NMBU-parken. Altså en flat, opparbeidet gressplen, på marine strandavsetninger.
- For videre undersøkelser anbefaler vi tilsvarende undersøkelser på flere jordarter og vegetasjonstyper

## Takk til

Takk til NIBIO for økonomisk støtte til feltarbeid. Prosjektet inngår i NIBIO sitt strategiske instituttprogram Grønne byer – multifunksjonelle grøntmiljø for å begrense forurensninger og flommer i byer og tettsteder (2015-2019) som er finansiert av Klima- og miljødepartementet. Jeg vil også takke Aude Berbigé og Åsmund Mikalsen Kvifte for hyggelig samarbeid i felt.

## Referanser

- Bagarello, V. & Sgroi, A. (2004). Using the single-ring infiltrometer method to detect temporal changes in surface soil field-saturated hydraulic conductivity. *Soil and Tillage Research*, 76 (1): 13-24. doi: <https://doi.org/10.1016/j.still.2003.08.008>.
- Balstad, S. N. (2017). *Seasonal Variations in Infiltration in Cold Climate Raingardens*. Masteroppgave: NTNU.
- Dalen, T. (2012). *Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima: Risvollan, Trondheim*. Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Davis, J. C. & Sampson, R. J. (1986). *Statistics and data analysis in geology*, b. 646: Wiley New York.
- Emerson, C. H. & Traver, R. G. (2008). Multiyear and seasonal variation of infiltration from storm-water best management practices. *Journal of irrigation and drainage Engineering*, 134 (5): 598-605.
- Gadi, V. K., Tang, Y.-R., Das, A., Monga, C., Garg, A., Berretta, C. & Sahoo, L. (2017). Spatial and temporal variation of hydraulic conductivity and vegetation growth in green infrastructures using infiltrometer and visual technique. *Catena*, 155: 20-29.
- Gómez-Baggethun, E., Gren, Å., Barton, D. N., Lange-meyer, J., McPhearson, T., O'Farrell, P., Andersson, E.,

- Hamstead, Z. & Kremer, P. (2013). Urban Ecosystem Services. I: Elmqvist, T., Fragkias, M., Goodness, J., Güneralp, B., Marcotullio, P. J., McDonald, R. I., Parnell, S., Schewenius, M., Sendstad, M., Seto, K. C., et al. (red.) *Urbanization, Biodiversity and Ecosystem Services: Challenges and Opportunities: A Global Assessment*, s. 175-251. Dordrecht: Springer Netherlands.
- Hole, J. & Solbakken, E. (1985). Jordsmonnkartlegging på Landvik, Jordsmonnrapport nr 11/86: Jordregisterinstituttet.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægvog, S. & Jakobsen, G. (2005). Veiledning i overvannshåndtering. NORVAR prosjektrapport, 144.
- Nesting, R. S. (2007). *The Comparison of Infiltration Devices and Modification of the Philip-Dunne Permeameter for the Assessment of Rain Gardens*. Masteroppgave: University of Minnesota.
- NOU(2015:16). (2015). *Overvann i byer og tettsteder - Som problem og ressurs*. Oslo: Klima- og miljødepartementet
- Or, Y. M. (2010). *A study in determining the sample size in Geostatistics*. Masteroppgave. USA: University of Alberta.
- Paus, K. A. H. (2016). *Toxic Metal Removal and Hydraulic Capacity in Bioretention Cells in Cold Climate Regions*. Doktorgrad: Norwegian University of Science and Technology
- Paus, K. H., Muthanna, T. M. & Braskerud, B. C. (2016). The hydrological performance of bioretention cells in regions with cold climates: seasonal variation and implications for design. *Hydrology Research*, 47 (2): 291-304.
- Schmidt, I. (2018). *Infiltrasjon av urbant overvann i grøntanlegg*. Masteroppgave: NMBU.
- Schwartz, F. W. & Zhang, H. (2003). *Fundamentals of Groundwater* John Wiley & Sons. New York, 583.
- Solheim, E. B., French, H. K. & Braskerud, H. C. (2017). Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis. *Vann*, 03: 278-290.
- Staepli, M., Jansson, P. E. & Lundin, L. C. (1996). Preferential water flow in a frozen soil—a two-domain model approach. *Hydrological processes*, 10: 1305-1316.
- Store Norske Leksikon. (2009). *Grøntanlegg*. I: Bruun, M. (red.). Tilgjengelig fra: <https://snl.no/gr%C3%B8ntanlegg> (lest 26.04.2018).
- Personlige meddelelse:  
Børresen, T. (2018) Professor ved fakultet for miljø og naturforvaltning, NMBU, e-post.