

## Trinn 1: Reduser overvannet i avløpsnettet ved å frakoble taknedløp

*Av Mareike A. Becker, Tone M. Muthanna og Bent C. Braskerud*

Mareike A. Becker var masterstudent ved NTNU og arbeider nå i Norconsult.

Tone M. Muthanna er PhD og førsteamanuensis samme sted.

Bent C. Braskerud er sjefsingeniør i Oslo Vann- og avløpsetaten, VAV.

### Abstract

#### **Step 1: Reduction of stormwater into the sewerage system by downspout disconnection.**

An increasing amount of precipitation and continuing urbanization resulting in increasing stormwater runoff, can cause harmful flooding. The Stormwater 3-Step Approach (S3SA) is a technique, which manages the stormwater through three steps: 1 infiltration, 2 attenuation and 3 safe flood ways. Downspout disconnection is well known, and often mentioned, but not commonly implemented measure in the first category. We have investigated the area required for infiltration in a residential area in Oslo with predominantly clay soils. Infiltration was measured at 11 properties and used together with a model developed to calculate infiltration potential for a given event. Using a 5 years rain event (27.4 mm/2 hours), the results showed that in average 70 % of the precipitation is infiltrated using an infiltration area equal to ¼ of the roof area. When the infiltration area is equal to the roof area, the amount of infiltrated water varies between 90 and 100 % for most of the areas. The required infiltration area depends on the initial soil moisture. Downspout disconnection will in many places be a good measure to prevent storm-

water from entering the combined sewer system with resulting combined sewer overflows, or worse, localized downstream flooding.

### Sammendrag

Økt nedbør og urbanisering øker mengden overvann i avløpssystemet, som igjen kan gi skadelige oversvømmelser. Lokal overvannsdiskonering (LOD) er teknikker som håndterer overvannet åpent gjennom tre trinn: 1 infiltrasjon, 2 fordroyning og 3 flomveier. Frakobling av takvann fra avløpsnett, med utkast på terreng, er et anerkjent, men lite studert tiltak i den første kategorien. Vi har undersøkt arealbehovet for infiltrasjon om dette gjøres i et småhusområde i Oslo som domineres av leirholdig jord. Infiltrasjons- evnen er målt på 11 eiendommer og resultatene er bearbeidet i en egenutviklet beregningsmodell som beregner arealbehovet for overvannshåndtering ved infiltrasjon. Ved et 5-årsregn (27,4 mm/2 timer) viste resultatene at infiltrasjons- områdene i gjennomsnitt klarte å infiltrere 70 % av avrenningen når størrelsen på infiltrasjons- området er lik en fjerdedel av takarealet. På plen med lik størrelse som taket klarer de fleste feltene å infiltrere mellom 90 og 100 % av avrenningen. Arealbehovet vil variere med jordfuktigheten idet regnet starter. Frakobling av taknedløp vil på

steder der det er felles avløpssystem være et godt grep for å hindre at rent overvann tilføres avløpsnett og ledes til renseanleggene.

## Innledning/bakgrunn

Overvann er i det hydrologiske kretsløpet den delen av regnvannet som ikke infiltreres i bakken, men renner av på overflaten (Dingman, 2008). Både klimaendringer, som fører til mer intense regnhendelser, og urbanisering, som fører til økning av tette flater, gir en økning av mengden overvann i avløpssystemet. Denne økningen fører til økt press på det eksisterende avløpsnett, et nett som ofte allerede er underdimensjonert og overfylt. Kapasiteten vil derfor overskrides oftere, som igjen resulterer i oversvømmelser og skade på bygninger og infrastruktur. For å bedre denne situasjonen har det i nyere tid blitt mer fokus på åpen, lokal overvannsdisponering, LOD.

For å sikre en god overvannshåndtering har Norsk Vann foreslått *3-trinnsstrategien*. Den minste nedbøren infiltreres (trinn 1), den større forsinkes og fordroyes (trinn 2), mens de store vannmengdene ledes bort i trygge flomveier i trinn 3 (Lindholm et al., 2008).

Et tiltak som håndterer overvannet på overflaten, og dermed reduserer belastningen på det eksisterende ledningsnett, er frakobling av taknedløp med utkast på terreng. Dette er et tiltak som kan brukes i første trinn i *3-trinnsstrategien*. Vannet fra taket blir ofte ledet direkte inn på det lokale ledningsnett via taknedløpene, gjerne via dreneringssystemet rundt husets kjeller. I områder med store takarealer genererer dette store vannmengder som når ledningsnett raskt og bidrar i stor grad til en økning av mengden overvann i avløpssystemet.

Frakobling av taknedløp er et tiltak som ofte regnes som et rimelig og enkelt tiltak. Noen kommuner pålegger frakobling, mens andre overveier å gjøre det, men det finnes overraskende lite dokumentasjon på tiltakets effekt i litteraturen. Effekten av frakobling av taknedløp er blant annet avhengig av å ha stor nok infiltrasjonskapasitet i jorden, som ofte er vanskelig å estimere. For lav infiltrasjonskapasitet kan føre til at lite vann infiltreres, og heller ledes ned i det

nærmeste sluket. Urban jord er ofte sterkt modifisert og/eller sammenpakket, som gjør at effekten varierer fra område til område, i tillegg til dette vil også topografi, helling og overflatens beskaffenhet påvirke infiltrasjonen, og det vil derfor være vanskelig å forutsi effekten uten å gjøre feltundersøkelser.

Formålet med denne artikkelen er å undersøke i hvilken grad frakobling av taknedløp med utkast på terreng tilfredsstiller første trinn i *3-trinnsstrategien*. Hvor mye areal trengs, og hva påvirker virkningsgraden mest? Undersøkelsen baserer seg på masteroppgaven til Becker (2016).

## Metode

### Utvikling av MATLAB-program

For å kunne beregne effekten av frakobling av taknedløp som et tiltak for overvannshåndtering, ble det utviklet en enkel modell i MATLAB (MATLAB (2015) versjon R2015a, Mathworks), som kalkulerer mengden vann som infiltrerer og mengden vann som renner av på overflaten (Becker, 2016). Basert på feltundersøkelser og jorddata, kalkulerer modellen mengden vann som infiltrerer og mengden vann som renner av på overflaten gitt en spesifikk regnhendelse.

Ideen bak var å utvikle en modell som krever et begrenset antall input-parametere for å beregne infiltrasjonen gitt en kjent regnhendelse. Modellen kan bli sett på som et verktøy i evalueringen av om området egner seg for forskjellige LOD-tiltak eller ikke. Videre kan modellen brukes til å vurdere om et område egner seg for frakobling av taknedløp, om området trenger modifikasjoner som for eksempel utskifting av deler av jordmassene, eller om området ikke er egnet for dette tiltaket i det hele tatt. For mer detaljert informasjon om modellen henvises det til Becker (2016).

På grunn av infiltrasjonsprosessens kompleksitet ble det gjort noen antagelser og forenklinger under utviklingen. Regnet som faller på taket, samt regnet som faller direkte på infiltrasjonsarealet, utgjør mengden vann som skal infiltreres. Det blir antatt at vannet fordeles jevnt utover infiltrasjonsområdet. I virkeligheten vil jorden nærmest takrennens utløp bli mettet

først, og det infiltrerte vannet i jorden vil bevege seg både vertikalt og horisontalt nedover og bortover i jorden. Modellen inkluderer per i dag verken strømning på overflaten eller horisontalt i jordmassene. Den beregner derfor bare vertikal infiltrasjon og kan derfor bli sett på som en modell for punktinfiltasjon.

### Valg av infiltrasjonsmodell

Det finnes flere forskjellige matematiske beskrivelser av infiltrasjonsprosessen. Noen av de mer kjente er Philips, Green Ampt, Richards, og Horton. Green Ampt og Philips ble valgt på grunnlag av tilgjengelige inputparametere og tidligere litteraturstudier. Resultatene fra beregningene gjort i Becker (2016) viste konsekvent en noe lavere mengde infiltrert vann ved bruk av Philips enn ved bruk av Green Ampt infiltrasjonsmodell. Imidlertid ble det ikke gjort nok målinger i felt til å kunne verifisere modellen, og det var derfor ikke mulig å avgjøre hvilke av disse to modellene som gjenspeiler virkeligheten best. For å begrense antall beregninger, ble det valgt å bare bruke Philips infiltrasjonsmodell for beregningene gjort i denne artikkelen. Dette er også modellen som Modified Philip-Dunne (MPD) infiltrasjonstesten, som beskrives i det etterfølgende, er basert på.

### Philips modell

Philips infiltrasjonsmodell bruker Richards infiltrasjonslikning ved å anta at jordens hydrauliske konduktivitet og vannets diffusjon i jorda varierer med fuktinnholdet. Philips infiltrasjonslikning kan dermed skrives slik:

$$f(t) = \frac{S_p}{2} t^{-\frac{1}{2}} + K_p \quad (1)$$

hvor  $S_p$  er sorpsjon,  $t$  er tiden og  $K_p$  er en parameter med dimensjon lik hydraulisk konduktivitet (Dingman, 2008).

Nødvendig inputparametere er: Mettet hydraulisk konduktivitet, porøsitet (porevolumet) til jorden, matrix-potensial, bubling pressure (innløpsluftrykket), poresize distribution index (porestørrelse fordelingsindeks), fuktinnholdet i jorden før regnhendelsen, sorpsjon og en para-

meter  $K_p$ . I tillegg trenger en data for en gitt regnhendelse samt størrelsen på takarealet og infiltrasjonsområdet. For å få så nøyaktige beregninger som mulig bør, hvis mulig, parametrene som beskriver jordegenskapene bli målt i feltet.

### MPD-måleutstyret

Mettet hydraulisk konduktivitet ( $K_{sat}$ ), ofte kalt  $K_h$  på norsk, beskriver jordens evne til å føre vannet gjennom jordprofilet, og kan bli målt i felt ved bruk av MPD-infiltrometer (Modified Philip-Dunne infiltrometer). Utstyret som brukes for denne målingen er enkelt. Infiltrometeret består av en sylinder med en indre diameter på 10 cm og en høyde på 50 cm. På siden av sylindere er det festet et målebånd for å kunne lese av vannhøyden over tid. Infiltrasjonsraten kan dermed beregnes fra endringen i vannhøyden over tid (Ahmed et al., 2011). Sylindere bankes ca. 5 cm ned i bakken, og fylles deretter med vann. Avhengig av hvor fort vannet infiltrerer i bakken bør avlesningsintervallet vurderes, men det anbefales å ha 5-10 avlesninger (Ahmed et al., 2014). For å kunne beregne forskjellen i vanninnhold i jorden før og etter gjennomføring av MPD-forsøket, blir det tatt to jordprøver. Den første prøven tas ved siden av kolonnen før gjennomføringen av MPD-forsøket, mens den andre prøven tas i borehullet etter gjennomføringen av MPD-forsøket (Braske-rud et al., 2013). De registrerte vannstandene samt jordens vanninnhold før og etter gjennomføringen av MPD-forsøket danner input til beregning av  $K_{sat}$ .

### Feltmålinger i praksis

Siden resultatene fra infiltrasjonstesten skal brukes til å vurdere hvilken effekt frakobling av taknedløp har på ledningsnett, ble det gjennomført fem MPD-målinger i hvert av feltene undersøkt i denne artikkelen (figur 1). Kolonnene ble plassert på en linje ut fra punktet hvor taknedløpet fører vannet ut på gresset, og avstanden mellom kolonnene varierte avhengig av størrelsen på feltet. For hvert felt ble så en gjennomsnittsverdi for mettet hydraulisk konduktivitet beregnet basert på de fem målte verdiene. Denne



Figur 1. Foto av oppstilling av MPD-rør i L34. Fem MPD-rør fordeles i plenen der takvannet er forventet å renne fra takutkastet. Rørene er merket fra a-e, der a er nærmest takutkastet. (Foto: Bent C. Braskerud).

gjennomsnittsverdien ble brukt i de videre beregningene. For å vise den store variasjonen i mettet hydraulisk konduktivitet i hvert felt, kan også den minste og den største målte verdien for  $K_{\text{sat}}$  ses i tabell 1. Verdiene som er brukt for hvert felt i beregningene kan ses i tabell 1.

### Tilpasninger av modellen

Porøsiteten kan beregnes basert på jordens romvekt. For mer nøyaktige beregninger bør den måles i feltet, men for beregningene gjort i forbindelse med denne artikkelen ble porøsiteten basert på tabeller over romvekt for de forskjellige jordtypene, hentet fra litteraturen.

Både matrix-potensialet, bubbling pressure (luftinnløpstrykket) og poresize distribution index (porestørrelse fordelingsindeks) kan måles i felt, men det er også utviklet likninger for beregning av disse parameterne. Matrix-potensialet ble beregnet ved bruk av likningen (Brakensiek, 1977).

$$\psi_f = \frac{2 + 3\lambda}{1 + 3\lambda} * \frac{\psi_a}{2} \quad (2)$$

hvor  $\psi_a$  er bubbling pressure og  $\lambda$  er poresize distribution index. For å kunne løse likning 2 har det blitt utarbeidet flere tilnærminger for å relatere de forskjellige parameterne til jordegenskaper. En av disse tilnærminger ble utviklet av Rawls and Brakensiek (1985), hvor de brukte regresjonsanalyse til å relatere bubbling pressure og poresize distribution index til jordegenskapene. Disse likningene, brukt for å beregne bubbling pressure og poresize distribution index, kan finnes i Rawls et al. (1992).

### Sammenhengen mellom $K_{\text{sat}}$ og $K_p$ i Philips' modell

Faktoren  $K_p$  er ofte antatt lik mettet hydraulisk konduktivitet  $K_{\text{sat}}$ , men basert på teoretiske og eksperimentelle analyser vil ifølge Sharma et al. (1980) en  $K_p$ -verdi, for korte regnhendelser, van-

Felt	Jordtype	Leire (%)	OM (%)	Ksat (cm/t)			Porøsitet	$\psi_f$ (cm)	$\psi_a$ (cm)	$\lambda$	Fukt
				Snitt	Min.	Max.					
B20	Lettleire	23,5	7,7	12,1	6,0	16,9	0,4	27,8	36,3	0,29	0,33
B28	Siltig mellomleire	29,3	7,5	15,3	10,3	19,1	0,45	49,4	63,2	0,26	0,33
B30	Lettleire	12,7	5,0	10,5	0,5	18,3	0,34	17,7	24,4	0,41	0,26
B65	Lettleire	20,6	8,4	15,2	0,0	42,5	0,4	30,6	40,2	0,32	0,31
E14	Lettleire	20,1	8,2	15,2	0,05	30,9	0,4	39,2	51,8	0,32	0,33
L34	Sandig lettleire	10,7	7,9	35,0	12,8	59,9	0,34	12,8	17,8	0,43	0,31
R5	Lettleire	22,0	7,7	6,3	0,0	20,0	0,4	23,6	30,9	0,30	0,31
R29	Lettleire	12,8	7,6	18,4	9,0	27,1	0,34	18,1	24,9	0,41	0,28
R44	Siltig sand	7,6	7,6	46,0	12,9	88,8	0,32	13,9	19,7	0,48	0,30
S10	Lettleire	20,5	7,0	2,5	0,0	6,1	0,4	20,7	27,4	0,32	0,32
S75 (bcde)	Lettleire	20,6	6,4	18,8	8,7	27,9	0,4	38,7	51,1	0,31	0,30
S75 (a)	Siltig sand	9,7	3,5	30,0	-	-	0,34	11,7	16,4	0,45	0,19

Tabell 1. Oppsummering av de forskjellige inputparameterne som ble målt i felt, og brukt i beregningene. Tabellhodene er forklart i teksten og ved ligning (1) og (2). Kornfordelingen ble gjort med Pipettemetoden, og det organiske innholdet (OM) er glødetap.

ligvis ligge nærmere  $K_{sat}/3$ . Dette er derfor brukt som verdi for  $K_p$  i de videre beregningene. Inputparameterne for hvert av feltene er oppsummert i tabell 1.

### Forsøksfeltet

Et boligområde på Ekeberg i Oslo ble undersøkt. Dette området er utsatt for store problemer både relatert til overvannshåndtering og kapasiteten på det eksisterende avløpssystemet. Avløpsledningene er gamle og underdimensjonert i forhold til dagens behov. Feltundersøkelser og geologiske kart viste at området er preget av mye leirholdig jord. Kart over dreneringslinjene (teoretiske flomveier) i området og observasjoner gjort under kraftige regnskyl, viste at det genereres store mengder overvann som renner av på overflaten. Disse store vannvolumene kombinert med det til tider bratte terrenget, fører til at vannet oppnår høy hastighet, noe som igjen resulterer i store skader på asfalten og eiendommene i området. Figur 2 viser oversikt over de ti feltene som

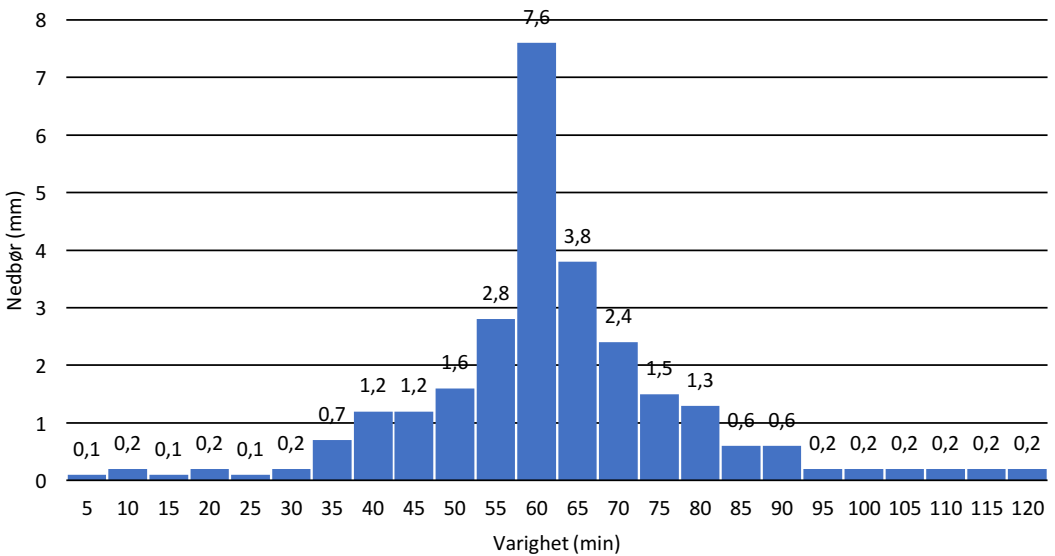
ble undersøkt på Ekeberg. I tillegg til disse feltene ble det også gjennomført en test av utstyret på Nordberg i Oslo. Resultatene fra denne testgjennomgangen ble også tatt med i vurderingen, og har fått navnet L34. De ti feltene på Ekeberg ble valgt tilfeldig blant de adressene hvor vi hadde fått tillatelse av eieren til å gjennomføre infiltrasjonstestene.

### Valg av nedbørhendelse

IVF-kurven for Blindern i Oslo i perioden 1968-2015 ble brukt til å konstruere et symmetrisk regnhyetogram som beskriver regnhendelsen brukt i beregningene. Denne regnhendelsen har en varighet på 120 minutter, er på 27,4 mm og tilsvarer en regnhendelse med gjentaksintervall på 5 år. Tidsoppløsningen for hyetografen er 5 minutter, og i modellen er det ingen konsentrasjonstid. En hyetograf over regnhendelsen er vist i figur 3. Valg av hendelse baserer seg på forslag i Lindholm m.fl. (2008) der Trinn 1 skal kunne infiltrere ca. 20 mm. Varigheten er ikke gitt, men



Figur 2. Kartet viser de forskjellige feltene som ble undersøkt på Ekeberg i Oslo (maps.google.no).



Figur 3. Hyetograf over nedbørhendelsen som ble brukt i beregningene. Denne regnhendelsen er basert på IVF-kurven over Blindern i Oslo i perioden 1968-2015.

120 minutter er valgt i dette tilfellet for å stress systemet noe.

## Resultater og diskusjon

For å illustrere hvordan dette programmet beregner mengden infiltrasjon og mengden vann som renner av på overflaten har det blitt gjennomført tre forskjellige simuleringer. Dette har blitt gjort for å kunne vurdere effekten av frakobling av taknedløp som et tiltak for lokal overvannshåndtering, og for å kunne se hvordan de forskjellige parameterne påvirker mengden infiltrert. Den første simuleringen blir videre omtalt som referansesimuleringen. I denne simuleringen ble verdiene som ble målt i feltet brukt som inputparametere, tabell 1. I den andre simuleringen ble jordens fuktinnhold endret, for å kunne se hvordan dette vil påvirke infiltrasjonen. Disse verdiene ble så sammenliknet med verdiene fra referansesimuleringen. Den tredje simuleringen undersøker i hvilken grad lengden på regnhendelsen påvirker resultatene.

### Referansesimulering: Lite kan være godt nok

For å kunne sammenlikne resultatene fra de ulike feltene ble det brukt et fast takareal på 100 m<sup>2</sup>.

For å kunne se hvordan forholdet mellom takarealet og infiltrasjonsområdet påvirker mengden vann som infiltreres, ble størrelsen på infiltrasjonsområdet variert fra 0,25 ganger takarealet til 3 ganger takarealet. Resultatene fra referansesimuleringen er gjengitt i tabell 2.

Tallene i de siste fem kolonnene i tabell 2 viser mengden av vannet som genereres etter nedbøren i figur 3 og som infiltrerer på de forskjellige feltene avhengig av forholdet mellom størrelsen på infiltrasjonsområdet og størrelsen på taket. Som tabellen viser klarer de utvalgte feltene å infiltrere store mengder av det genererte overvannet, noe som styrker frakobling som et tiltak for lokal overvannshåndtering. Mengden infiltrasjon er i stor grad avhengig av forholdet mellom takarealet og størrelsen på infiltrasjonsområdet. De fleste feltene infiltrerer ofte mer enn 60 % av nedbøren allerede når infiltrasjonsområdet kun er en fjerdedel av størrelsen på taket. I dette eksempelet ble i gjennomsnitt 70 % av takvannet infiltrert på 25 m<sup>2</sup> plen, mens 86 % ble håndtert på 50 m<sup>2</sup>. Likevel er det først når infiltrasjonsområdet er fra like stort til dobbelt så stort som takarealet, at de fleste feltene klarer å infiltrere oppimot 100 % av det genererte over-

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

Tabell 2. Resultater fra referansesimuleringen. Mengden (%) infiltrert vann på gressplen ved å bruke et infiltrasjonsområde med en størrelse på 0,25, 0,5, 1, 2 og 3 ganger takarealets størrelse på 100 m<sup>2</sup>.

vannet. Dette samsvarer med Lindholm et al. (2008) som anbefaler at infiltrasjonsområdet bør være 1-2 ganger størrelsen på takarealet.

**Stor variasjon i samme jordtype**

Til tross for at jorden ble karakterisert som den samme jordtypen, er det store forskjeller på mengden infiltrert vann fra felt til felt. For eksempel varierer infiltrasjonen i feltene med lettleire og et infiltrasjonsområde halvparten så stort som takarealet, mellom 46 og 99 %. Grunnen til de store forskjellene i infiltrert vann er trolig urbanisering av jorden. Det betyr at jorda kan være påført ulike mengder «matjord» fra kompostert hageavfall og tilkjørte masser i forbindelse med opparbeiding av hagen. I tillegg er jorden trolig komprimert ved tråkk og kjøring ulike steder. Konsekvensen av urbanisering kan tydeligst ses på  $K_{sat}$ -verdiene for hvert av feltene som er karakterisert med den samme jordtypen (tabell 2 og 3). Dette gjør at bruk av løsmassekart er uegnet for å finne en representativ  $K_{sat}$ -verdi.

**Måling av  $K_{sat}$  i felt er viktig**

Dersom vi ser på  $K_{sat}$ -verdiene til de forskjellige feltene, ser en at det er store forskjeller her også. Feltet S10, som er det feltet som har den laveste infiltrasjon, er også det feltet med den laveste målte  $K_{sat}$ -verdien, på 2,5 cm/t. Dette i kontrast til felt S75, som er det feltet med den høyeste infiltrasjonen, og som også har den høyeste målte  $K_{sat}$ -verdien, på 18,8 cm/t. Siden jordens mettede hydrauliske konduktivitet,  $K_{sat}$ , beskriver jordens evne til å lede vann gjennom de forskjellige lagene i jordprofilen, er denne parameteren svært viktig når en undersøker infiltrasjonskapasiteten. Målingene viser at denne kan variere stort, ikke bare mellom feltene, men også mellom forskjellige punkter innen samme jordtype (tabell 3).

Disse undersøkelsene viste at mengden vann som infiltreres minker med minkende  $K_{sat}$ -verdi, noe som også er logisk ved definisjonen av jordens mettede hydrauliske konduktivitet, som også kan ses fra likning 1.

**Effekten av jordfuktighet ved nedbørens start**

Ifølge Pitt et al. (2002) blir infiltrasjonskapasiteten i stor grad påvirket av jordens fuktinnhold. For å kunne vurdere effekten av endring i jordens fuktinnhold ved målingenes start, ble det gjennomført simuleringer med mettet og umettet jord. I simuleringene med umettet jord ble verdien for jordens feltkapasitet brukt. Denne verdien ble brukt fordi den representerer mengden vann jordpartiklene klarer å holde igjen mot gravitasjonskraften. I simuleringen med mettet jord ble jordens fuktinnhold satt lik jordens porøsitet, dvs. at porevolumet er fylt med vann. Resultatene ble så sammenliknet med resultatene fra referansesimuleringen basert på et infiltrasjonsområde halvparten så stort som takarealet. For å kunne sammenlikne resultatene ble alle de andre parameterne holdt konstant. Tabell 4 viser de forskjellige verdiene brukt i simuleringene med umettet jord, referansesimuleringen og vannmettet jord.

Dersom vi ser på verdiene brukt i referansesimuleringen, dvs. de verdiene som ble målt i feltet, ser en at jordens startfuktinnhold varierer fra område til område, noe som mest sannsynlig skyldes forskjellen i jordtype og innhold av organisk materiale. Leire har for eksempel en større evne til å holde på vannet i jorden enn sand (Nyborg and Olsen, 2014). Infiltrasjonsmålingene ble tatt under en periode med lite nedbør, både under gjennomføringen av testene og dagene før. Maksimal målt lufttemperatur disse dagene var i gjennomsnitt 20 °C, noe som

Jordtype	Spekter av målte verdier for $K_{sat}$
Siltig mellomleire	10,4-19,1
Lettleire	0,5-42,5
Sandig lettleire	0,6-46,0
Siltig sand	12,9-88,8

Tabell 3. Variasjon av målte verdier for  $K_{sat}$  for de forskjellige jordtypene.



Område	Fuktinnhold			Infiltrasjon (%)		
	Umettet ( $\theta_{fc}$ )	Referanse ( $\theta_i$ )	Mettet ( $\theta_n$ )	Umettet ( $\theta_{fc}$ )	Referanse ( $\theta_i$ )	Mettet ( $\theta_n$ )
B20	0,21	0,33	0,399	96	83	56
B28	0,29	0,33	0,449	100	100	64
B30	0,12	0,26	0,339	90	77	51
B65	0,20	0,31	0,399	100	92	63
E14	0,22	0,33	0,399	100	92	64
L34	0,09	0,31	0,339	100	92	84
R5	0,19	0,31	0,399	83	70	38
R29	0,12	0,28	0,339	99	87	67
R44	0,08	0,30	0,319	100	95	89
S10	0,18	0,32	0,399	60	46	20
S75 (bcde)	0,22	0,30	0,399	100	99	69
S75 (a)	0,09	0,19	0,339	100	99	80

Tabell 4. Resultater som viser hvordan jordens fuktighet påvirker infiltrasjonen på et plenareal tilsvarende 0,5 av takarealet.  $\theta_{fc}$  refererer til et fuktinnhold lik feltkapasiteten,  $\theta_i$  refererer til et fuktinnhold lik målt i feltet og  $\theta_n$  refererer til et fuktinnhold satt lik porøsiteten.

kan ha ført til fordamping fra vegetasjonen. Disse forholdene indikerer at jorden ikke var mettet før testene ble satt i gang, og at forholdene for infiltrasjon derfor var gode. Tabell 4 viser resultatene fra de tre simuleringene.

Resultatene viser at mengden infiltrert vann minker med økende mengde fuktinnhold i jorden. For eksempel ser en at mengden infiltrasjon på felt S10 minker fra 60 % til 20 % når jordens fuktinnhold øker fra 0,18 til 0,40. I gjennomsnitt sank mengden infiltrert vann på gressplenen fra 86 til 62 % når bakken var fullstendig vannmettet.

Resultatene i tabell 4 viser også at mengden infiltrert vann basert på de målte verdiene i feltet, er nærmere mengden infiltrert ved beregnet feltkapasitet enn mengden basert på en jordfuktighet lik porøsiteten. Dette er med på å bekrefte antakelsen om at jorden på de fleste feltene var nærmere umettet da målingene ble gjennomført.

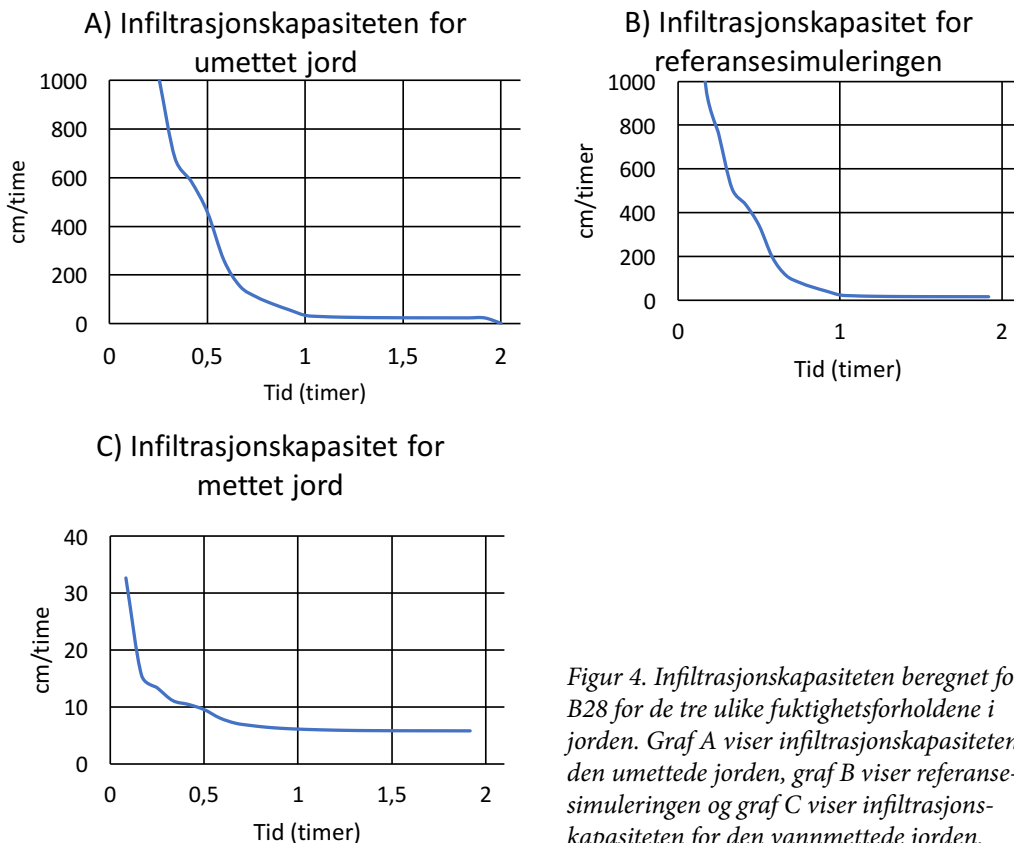
Effekten av endring i jordens fuktinnhold kan ses ved å studere grafene over jordens infiltrasjonskapasitet. Selv om det ikke er noen endring i mengden infiltrert vann i felt B28, når en

beregner med et fuktinnhold lik umettet og målt i feltet, er det likevel en stor endring i jordens infiltrasjonskapasitet. Figur 4 viser infiltrasjonskapasiteten beregnet for felt B28 for de tre ulike simuleringene.

Figur 4 viser at det er store forskjeller i jordens infiltrasjonskapasitet om jorden er mettet eller umettet. Det er derfor viktig å ta variasjonen i jordens fuktinnhold i betraktning når en dimensjonerer for tiltak som frakobling av taknedløp. Ofte vil de største hendelsene på Østlandet skje om sommeren etter varmt vær. Da vil bakken som oftest ikke være vannmettet.

### Lengden på regnhendelsen

For å se hvordan lengden på regnhendelsen påvirker resultatene ble det gjort en simulering med en symmetrisk regnhendelse som varte i 30 minutter (50-80 min i fig. 3). Dette tilsvarer 19,7 mm nedbør og er også et 5-årsregn på Blindern. Denne simuleringen ble gjort for tre områder som presenterer felt med dårlig (S10), middels (B30), og god infiltrasjon (B28) på et infiltrasjonsareal lik 0,25 og 0,5 ganger takarealet (tabell 5).



Figur 4. Infiltrasjonskapasiteten beregnet for felt B28 for de tre ulike fuktighetsforholdene i jorden. Graf A viser infiltrasjonskapasiteten for den umettede jorden, graf B viser referansesimuleringen og graf C viser infiltrasjonskapasiteten for den vannmettede jorden.

Område	0,25* takareal (%)	0,5*takareal (%)
S10	24	38
B30	52	75
B28	89	100

Tabell 5. Infiltrert nedbør (19,7 mm/30 min) i plen med 0,25 og 0,5 av takarealet.

For jord med dårlig infiltrasjon (S10) avtok infiltrasjonen med 7-8 % enheter sammenlignet med 2-timersregnet, tabell 2. For middels god infiltrasjon (B30) var forskjellen enda mindre, 2-6 % enheter. Infiltrasjonen økte med 3 % enheter i jorda med god infiltrasjonsevne (B28). Grunnen til dette er usikker, men det beregnede matrix-potensialet ( $\psi_f$ ) er betydelig høyere i B28 enn i de to andre jordtypene, tabell 1. En teori kan derfor være at oppfuktingen i 2-timersregnet (4 mm i dette tilfellet) kan ha redusert «jordsuget» så mye at jord uten denne oppfuk-

tingen lettere holder et kortvarig, intenst styrt-regn tilbake.

### Konklusjoner

Mengden overvann i avløpsnett som genereres fra hustak kan ifølge våre beregninger reduseres kraftig dersom taknedløpene kobles fra ledningsnett og ledes til et egnet infiltrasjonsområde. Mengden infiltrert vann vil variere avhengig av blant annet jordtype og forholdet mellom takarealet og infiltrasjonsarealet, men resultatene viser at de fleste av de undersøkte feltene klarer å

håndtere 90-100 % av avrenningen når takarealet er like stort som infiltrasjonsarealet.

Modellen inkluderer ikke helling i terrenget, og det er forutsatt at vannet fordeler seg jevnt utover flaten som infiltreres. Av den grunn bør modellen ikke brukes til dimensjonering uten modifikasjoner. Vi mener likevel at modell og metode gir en god indikasjon på hvilke forventninger man kan ha til tiltaket lokalt. Det er f.eks. ganske oppmuntrende at et infiltrasjonsområde med størrelse lik 25 % av takarealet i snitt håndterte 70 % av 2-timersregnet, dvs. ca. 19 mm. Det burde være mulig å legge til rette for et slikt areal på mange eiendommer, også på leirholdig jord. For å øke mengden infiltrasjon ytterligere kan dette tiltaket enkelt kombineres med for eksempel et regnbed eller en infiltrasjonsgrøft.

Jordens mettede hydrauliske konduktivitet varierer mye pga. urbaniseringen; mellom felt og innen samme felt. Det må derfor måles flere steder i samme felt for å kunne finne en representativ verdi. God kunnskap om feltets infiltrasjonsevne er en forutsetning for å beregne tiltakets krav til areal.

Hva kan man forvente av frakobling av taknedløp som tiltak? Undersøkelsen har vist at i prinsippet kan et 5-årsregn i Oslo håndteres om infiltrasjonsarealet er like stort som takflata. Arealbehovet kan øke om jorda ofte er vannmettet, eller om nedbørens varighet er kort og intens. 3-trinnstrategien har i sin nåværende form ingen krav til håndtert vannmengde. Denne undersøkelsen viser imidlertid at Lindholms m.fl. (2008) forslag om 20 mm i Trinn 1 er innen rekkevidde, selv på relativt små areal hvis disse tilpasses. Hvis slike vannmengder kan holdes unna avløpsnett, vil man få mindre overløpsdrift og mindre overvann inn på renseanleggene.

Forslag til videre arbeid: Kunnskap om infiltrasjon er viktig. Det er derfor ønskelig med ytterligere felldata for verifikasjon av modellen. Antall målinger og plassering av måleutstyr er trolig avhengig av infiltrasjonsflatens beskaffenhet. Helning på terrenget vil være en avgjørende faktor som det er viktig å kartlegge ytterligere.

## Takk til

Takk til Manar Al Khayaat som deltok i feltarbeidet som sommervikar i Oslo VAV da MPD-målingene ble gjort. Takk til Kim H. Paus for nyttige kommentarer til manuskriptet.

## Referanser

AHMED, F., GULLIVER, J. & NIEBER, J. A new technique to measure infiltration rate for assessing infiltration of BMPs. 12th International Conference on Urban Drainage, 2011.

AHMED, F., NESTINGEN, R., NIEBER, J., GULLIVER, J. & HOZALSKI, R. 2014. A Modified Philip-Dunne Infiltrometer for Measuring the Field-Saturated Hydraulic Conductivity of Surface Soil. *Vadose Zone Journal*, 13.

BECKER, M. A. 2016. *Assessment of Downspout Disconnection by Modeling Infiltration Potential in Urban Areas* NTNU, <http://hdl.handle.net/11250/2402865>.

BRAKENSIEK, D. L. 1977. Estimating the effective capillary pressure in the Green and Ampt Infiltration Equation. *Water Resources Research*, 13, 680-682.

BRASKERUD, B., PAUS, K. & EKLE, A. 2013. Anlegging av regnbed. En billedkavakade over 4 anlagte regnbed. NVE rapport 3/2013. Oslo, Norge.

DINGMAN, S. L. 2008. *Physical hydrology*, Long Grove, Ill, Waveland Press.

LINDHOLM, O., ENDRESEN, S., THOROLFSSON, S., SÆGROV, S., JAKOBSEN, G. & AABY, L. 2008. Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering Norsk Vann Rapport 162, Hamar.

NYBORG, Å. & OLSEN, H. 2014. *Tekstur i plogsjikt* [Online]. Available: [http://www.skogoglandskap.no/filearchive/fakta\\_15-2014\\_tekstur\\_i\\_plogsjikt.pdf](http://www.skogoglandskap.no/filearchive/fakta_15-2014_tekstur_i_plogsjikt.pdf) [Accessed 21.12.15].

PITT, R., CHEN, S.-E., CLARK, S., STRECKER, E. W. & HUBER, W. C. 2002. Compacted urban soils effects on infiltration and bioretention stormwater control designs.

RAWLS, W. J., AHUJA, L. R., BRAKENSIEK, D. L., SHIRMOHAMMADI, A. & MAIDMENT, D. 1992. *Infiltration and soil water movement*, McGraw-Hill Inc.

RAWLS, W. J. & BRAKENSIEK, D. Prediction of soil water properties for hydrologic modeling. *Watershed Management in the Eighties*, 1985. ASCE, 293-299.

SHARMA, M., GANDER, G. & HUNT, C. 1980. Spatial variability of infiltration in a watershed. *Journal of Hydrology*, 45, 101-122.