Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning

2020
ISSN 2535-2806

MINA fagrapport 68

Lokal overvannshåndtering – regnbed Bolstadhagen, Drammen

Helen K. French
Line Rosef
Leif Jakobsen
Ingvild Schmidt
Dagny Vannebo
Marina Bakhtina
Joris Stuurop



French, H.K., Rosef, L., Jakobsen, L., Schmidt, I., Vannebo, D., Bakhtina, M. & Stuurop, J. 2020. **Lokal overvannshåndtering – regnbed Bolstadhagen, Drammen.** - MINA fagrapport 68. 50 s.

Ås, desember 2020

ISSN: 2535-2806

RETTIGHETSHAVER
© Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU)
Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET
Åpen

PUBLISERINGSTYPE
Digitalt dokument (pdf)

KVALITETSSIKRET AV
Forskningsutvalget, MINA, NMBU

OPPDRAGSGIVER
Drammen kommune

FORSIDEBILDE
Undersøkelser i Bolstadhagen, oktober 2017. Foto: Helen K. French, NMBU

NØKKELORD
Regnbed, infiltrasjonsevne, plantevalg, plantevekst, vannbalanse

KEY WORDS
Raingarden, infiltration, plant selection, plant growth, water balance

Helen K. French (helen.french@nmbu.no), Leif Jakobsen, Ingvild Schmidt, Dagny Vannebo & Joris Stuurop: Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Line Rosef (line.rosef@nmbu.no) & Marina Bakhtina: Fakultet for landskap og samfunn, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Ås.

Sammendrag

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) har i samarbeid med Drammen kommune gjennomført et forskningsprosjekt for å vurdere hvordan Bolstadhagen regnbed (som består av 4 deler i serie, bed 1-4) fungerer i driftsfasen. I dette inngår måling av infiltrasjonsevne, kapasitet (vannbalanse), vinterforhold, vannkvalitet og plantenes egnethet. Jordsammensetningen som er lik i alle bedene har en kornfordeling og organisk innhold som oppgitt av produsenten (Lindum). Gjennomsnittlig infiltrasjonsevne i regnbedet var i 2017 ca 9 cm/t som er litt i underkant av anbefalt grense på 10 cm/t. Gjentak av målingene i 2020 ga en gjennomsnittlig infiltrasjonsevne (kun målt i de to nederste bedene, 3 og 4) på 22 cm/t i 2020, denne økningen samsvarer med målinger i forskningsregnbedet på NMBU. I de to øverste bedene ble det observert stående vann fra vinteren 2019 frem til høsten 2020. Dette skyldes mest sannsynlig økt partikkel transport på grunn av manglende tømming av sandfang. Dette har sannsynligvis også inkludert finmateriale som har sedimentert i dammene som dannes i bed 1 og 2 og tettet porerommene.

Basert på vannføringsmålinger i kum som fordeler vann inn på regnbedet, i utløpskum og i overløpskum ettervinteren 2018, var anlegget overdimensjonert i forhold til vannmengdene som ble tilført. Mer vann ble derfor tilkoblet i 23.04.18, dette økte vannføringen inn på anlegget og ga vann til overløp (dette skjedde ved enkelte nedbørhendelser >10-20mm/døgn). Vannmengdene var en størrelsesorden lavere enn det som ble målt i innløpskummen. Forutsatt at man bedrer tømmerutinene i sandfang før innløpet til regnbedet, og utbedrer infiltrasjonsevnen i bed 1 og 2, kan man fortsatt optimalisere mengder vann til anlegget og om mulig redusere vann til overløp ettersom det fortsatt er ubrukt kapasitet på regnbed/Q-bic magasin.

Basert på vannanalyser fra inn- og utløpskummene til Bolstadhagen, er vannet lite påvirket av veisalt (maks 26 mg Cl/l, sammenliknet med 380 mg Cl/l i et veinært regnbed i Drammen kommune: Bjørnstjerne Bjørnsonsgate). Generelt er det lite forurensinger i vannet som infiltrerer i regnbedet, og det er heller ikke observert utlekking av næringsstoffer fra jordfilteret som kan oppstå i konstruerte jordfilter pga innblanding med kompost. Generelt kan det ta noen år før nyplantinger etablerer seg. Fra mai 2018 ble det ekstremt varmt og tørt og dette varte til begynnelsen av august, dette gav svært dårlig plantevekstvekst utover sommeren. Det var tydelig forskjell mellom arter i løpet av sesongen. Til tross for vanning gjennom sommeren 2018 var det først etter større nedbørmengder i august at plantene kom i god vekst. Etter første leveår (2017/18) var det ingen av plantene som hadde gått ut, bortsett fra de som hadde fått tråkkskader. Salttoleranse kunne ikke vurderes da det var lite salt i vann som infiltrerte regnbedet denne vinteren. Etter vinteren 2019/20 hadde mange planter i bed 1 og 2 fått varige skader på grunn av langvarig stående vann.

Både planter og infiltrasjonsevne ble påvirket av vinterforhold og frost i bakken. Vinteren 2017/18 var snørik med 89-207mm vannekvivalenter ved slutten av snøsesongen. Et islag ble observert i bunnen av flere av regnbedene allerede i januar, og til tross for at snøen hadde smeltet i begynnelsen av april var ikke islaget borte før i slutten av april i regnbedene. Dette redusert infiltrasjonsevnen både gjennom vinteren og i snøsmeltingen. Dette kan gi problemer med oksygentilgjengelighet for planter, det utsetter også vekstsesongen. Etter vinteren 2017/18 ble det installert jordtemperatur og fuktsensorer i regnbedet, som det er viktig å følge opp slik at man får observasjoner som kompletterer overflate observasjonene gjennom flere vintre. Attraksjonsverdi er ikke vurdert generelt, men i forhold til hvordan plantene fremsto vår og sommer 2018, hadde både isbrann og tørke virket negativt inn på plantene. Etter godt med nedbør i august 2018 var plantene frodige og hadde høy attraksjonsverdi. Regnbedet fremstod da som et positivt element i skolegården og for turgåere i området. På grunn av nevnte problemer med stående vann i bed 1 og 2 opptrer regnbedet som noe redusert høsten 2020 sammenliknet med tilstanden høsten 2018.

Summary in English

The Norwegian University of Life Sciences (NMBU) has in collaboration with Drammen municipality carried out a study of the functionality of Bolstadhagen raingarden (consisting of 4 sections in series, 1-4) during the operational phase. This includes measuring infiltration, capacity (water balance), winter conditions, water quality and the suitability of the plants. The soil composition has a grain distribution and organic content as stated by the producer (Lindum). The average infiltration capacity in the raingarden in 2017 was 9 cm/h, which is slightly lower than the recommendation of 10 cm/h, but in 2020 the infiltration capacity had increased to 22 cm/h (could only be measured in the two lower sections, 3 and 4). In the two upper sections (1 and 2) standing water was observed from winter 2019 until autumn 2020, most likely because the sand trap upstream was not emptied as prescribed (causing input of fine sediments and sedimentation in the ponded water).

Based on water flow measurements in manholes that distribute water into and out of the rain garden and via the overflow (by-passing the rain garden), the initial capacity of the rain garden appears to be over dimensioned. Surface water pipes from a larger area was connected to the raingarden 23.04.18, this increased the discharge into the raingarden and caused water to overflow (this occurred during some precipitation events > 10-20mm/day). The water volumes out of the raingarden during these events were an order of magnitude lower than what was measured in the inlet manhole. Assuming improved emptying routines of the sand trap before the inlet to the raingarden, and improved infiltration in sections 1 and 2, discharge rates could still be optimized further as there is unused storage capacity in the raingarden plus the storage volume below the raingarden (Q-bic reservoirs).

Based on water analyses, there is little contaminants in the incoming water to the raingarden, and no leakage of nutrients in the water drained from the raingarden filter material (soil). No or low salt concentrations were observed in snow and meltwater that infiltrated the raingarden.

In general, it may take a few years before new plantings (2017) are established. From May 2018 it became extremely hot and dry and this lasted until the beginning of August, this gave poor plant growth over the summer. There was a clear difference between species. Despite irrigation during the summer, improvements in plant growth could only be observed after heavy rainfall in August. After the first year (2018) since the establishment of the raingarden, none of the plants had died, except for those that had been exposed to trampling. Salt tolerance could not be evaluated as there was little salt in the water that infiltrated the raingarden that winter. The winter of 2019/20 gave permanent damage to many of the plants in section 1 and 2 because of prolonged standing water.

The winter of 2017/18 was snowy with 89-207mm water equivalents at the end of the snow season. Both plants and infiltration were affected by winter conditions and frost in the ground. An ice layer was observed at the bottom of several of the raingarden sections already in January, and despite snow having melted by early April, the ice layer had not melted by the end of April in the raingarden. The reduced infiltration capacity both during winter and snowmelt can cause problems with oxygen availability for plants, it also postpones the growing season. After the winter of 2017/18, soil temperature and moisture sensors were installed in the raingarden (section 1). This provides useful seasonal information which complements surface observations. Attraction value was not assessed in general but considering how the plants appeared in spring and summer of 2018, both ice conditions of the preceding winter followed by summer drought caused a negative effect on the plants. After plentiful rainfall in August 2018, the plants were lush with a high attraction value. The raingarden appeared as a positive element in the schoolyard and by passers in the area. Due to the mentioned problems with standing water in sections 1 and 2, the raingarden appeared to be somewhat reduced in the autumn of 2020 compared to the condition in the autumn of 2018.

Innhold

Sammendrag 3
Summary in English 4
Bakgrunn og problemstilling 7
Bolstadhagen regnbed 7
Dimensjoneringsgrunnlag 7
Materiale og metoder 10
Befaringer, jord, vann og planteundersøkelser 11
Mettet vannledningsevne 11
Infiltrasjonstester med Modified Philip Dunnes metode 11
Innhold av organisk materiale 12
Registrering av hydrologiske forhold 12
Vannkvalitetsundersøkelser 13
Vegetasjonens egnethet 14
Resultater 16
Kornfordeling, Mettet vannledningsevne 16
Infiltrasjonsmålinger med MPD og innhold av organisk materiale 16
Værforhold, vannføring og kapasitet for vannhåndtering 17
Vinterforhold 20
Vår, sommer og høst 24
Vannkvalitet 25
Vegetasjon, overvintring og egnethet 27
Planteforsøk på Norsk landskapslaboratorium, Ås 28
Flom/tørkeforsøk 30
Planter i regnbedet på NMBU 31
Diskusjon 31
Konklusjon 33
Referanser 33
Vedlegg 35
Vedlegg A1 Bildeserier, vegetasjonstilstand i perioden 2017-2020 35
Vedlegg A2 Skjøtsel sommeren 2018 43
Vedlegg A3 Planteplan 44
Vedlegg B Sikteanalyser 45
Vedlegg C. Hydraulisk ledningsevne 46
Vedlegg D. Tørrstoff og Glødetapsberegninger 48
Vedlegg E Dimensjoneringsgrunnlag 50

Bakgrunn og problemstilling

Dagens klimaendringer tilsier økt nedbør og styrtregn i fremtiden. Dette fører til flere flommer og oversvømmelser med potensiale for store skader og ulemper på eiendommer og infrastruktur, samt kapasitetsutfordringer på kommunalt avløpsnett og renseanlegg. Som en oppfølging av Drammen kommunens arbeide med utvikling av en bærekraftig overvannsstrategi besluttet kommunen å gjennomføre flere pilotprosjekter med alternativ lokal overvannshåndtering, derunder bygging av 2 kommunale regnbed. Kommunen vil gjennom disse pilotprosjektene få erfaring med bærekraftige løsninger som kan redusere fremtidige problemer som følge av klimaendringene.

I forbindelse med bygging av regnbedet, søkte og fikk Drammen kommune midler til et kunnskapsprosjekt kalt «Lokal overvannshåndtering-regnbed Bolstadhagen» fra Miljødirektoratet (MD). Prosjektet skulle bidra til økt kompetanse og erfaringsformidling for denne type anlegg for lokal overvannshåndtering. Følgende spørsmål om hvordan det nyetablerte regnbedet i Bolstadhagen fungerte ble stilt:

- Hvor mye vann regnbedene tar unna? (Filtermediets infiltrasjonsevne)
- Hvor mye forurensning akkumuleres i jorda? (Filtermediets renseevne)
- Hvilke planter egner seg til regnbed? Hvilke planter tåler å stå i perioder med mye tørke og i perioder med mye nedbør?
- Hvor mye salttoleranse har de utvalgte plantene?
- Hvilken effekt har regnbedene ved en kald vinter med frost?
- Hvilken attraksjonsverdi har regnbedene for bruken av området?

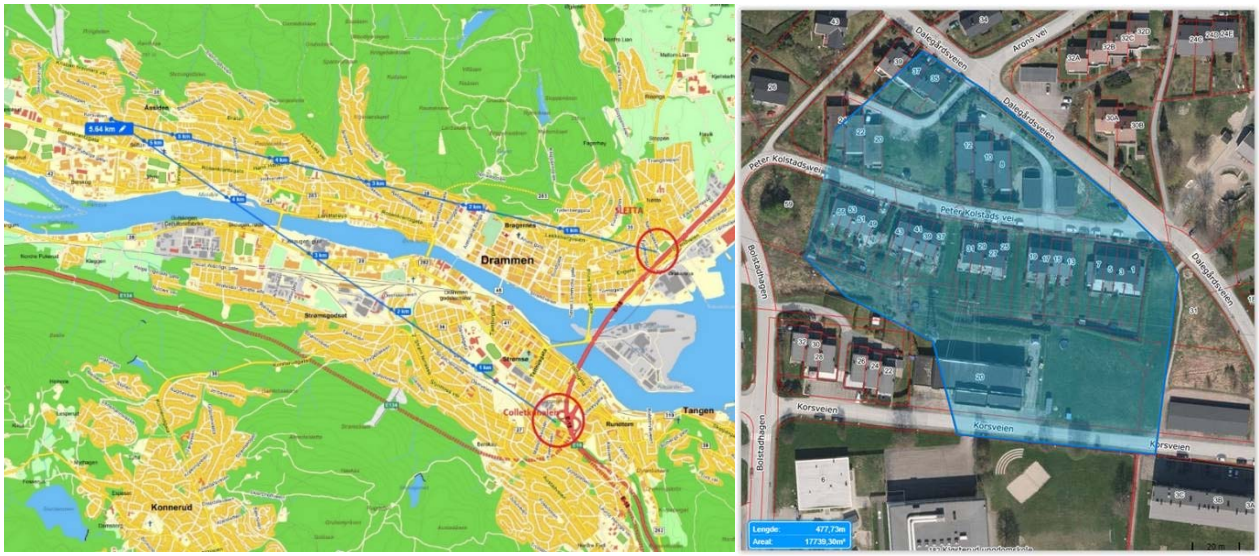
Registreringsarbeidet til Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU) startet høsten 2018, og har pågått med noen opphold, frem til høsten 2020. Arbeidet ble delt inn i to faser, der den andre fasen inkluderte erfaringsmateriale fra regnbedstudier på Norsk landskapslaboratorium i Ås. I denne rapporten er resultat av begge faser inkludert. Fokus har vært på å beskrive og kvantifisere situasjonen i Bolstadhagen, med noe støtte av forsøk og erfaringer på NMBU, samt litteratur i begrenset omfang. Noe av resultatene som er inkludert her vil utgjøre en del av doktorgradsarbeidene til Marina Bakhtina og Joris Stuurop og masteroppgaven til Dagny Vannebo. Det er derfor ventet at videre analyser av resultatene i disse arbeidene vil bli publisert i en masteravhandling og i vitenskapelige tidsskrift fra 2021 og utover.

Bolstadhagen regnbed

Regnbedet i Bolstadhagen, ligger i skolegården til Kjøsterud ungdomsskole i bydelen Åssiden i Drammen (Figur 1). Det var det første pilotanlegget som ble bygget i Drammen og det ble ferdigstilt våren 2017. Beregningene av overvannsmengder og magasineringsbehov ble utført av VA-consult. Utforming og design av detaljer er uført av Sivilingeniør Stener Sørensen AS. Innholdet i dette kapittelet er basert på informasjon fra VA consult (muntlig og fra plandokumentene, vedlegg E) og skisser fra Sivilingeniør Stener Sørensen AS.

Dimensjoneringsgrunnlag

Regnbedprosjektet hadde basis i et forprosjekt (Vidar Jellum, VA-consult pers. med) som skulle behandle overvannet som kom fra Dalegårdsveien og ble ledet ned til Betzy Kjelsbergs vei gjennom ledningsnettet på østsiden av Kjøsterud skole. Litt ut i prosjektet viste det seg at det ikke var sammenheng mellom ledningene i Dalegårdsveien og ledningene på østsiden av Kjøsterud skole. Dette endret beregningene noe. Det ble bestemt at arealet som helt sikkert drenerer til ledningene på østsiden av Kjøsterud skole skulle legges til grunn, dvs 17740 m^2 (figur 1).



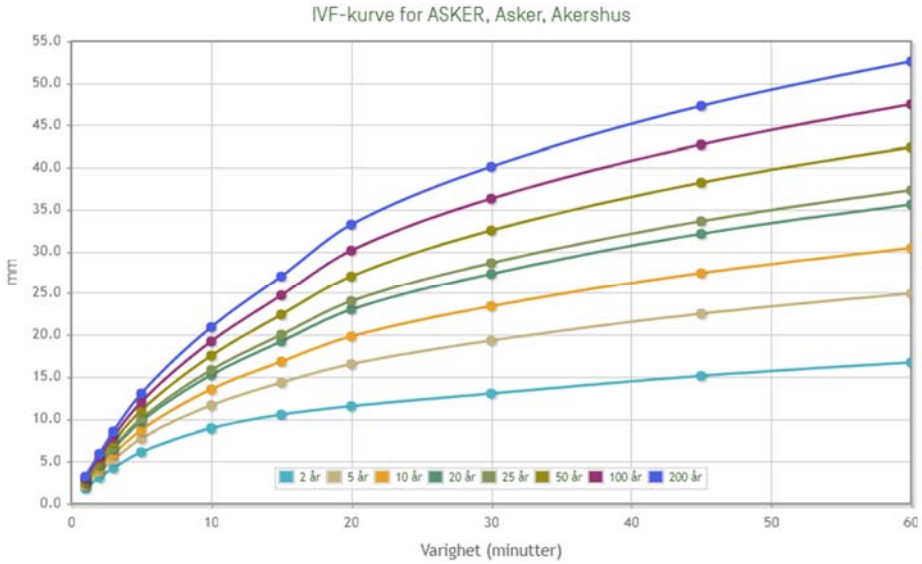
Figur 1 Venstre: Plassering av Bolstadhagen regnbed (i blått) og de nærmeste værstasjonene Sletta og Collett (røde sirkler), i kartet til venstre. Høyre: Areal som drenerer mot Bolstadhagen, ca 17.8 Da (VA consult)

Dimensjonerende vannføringer er beregnet med den rasjonelle metode (Lindholm m. fl., 2012):

$$Q = CiA \quad (1)$$

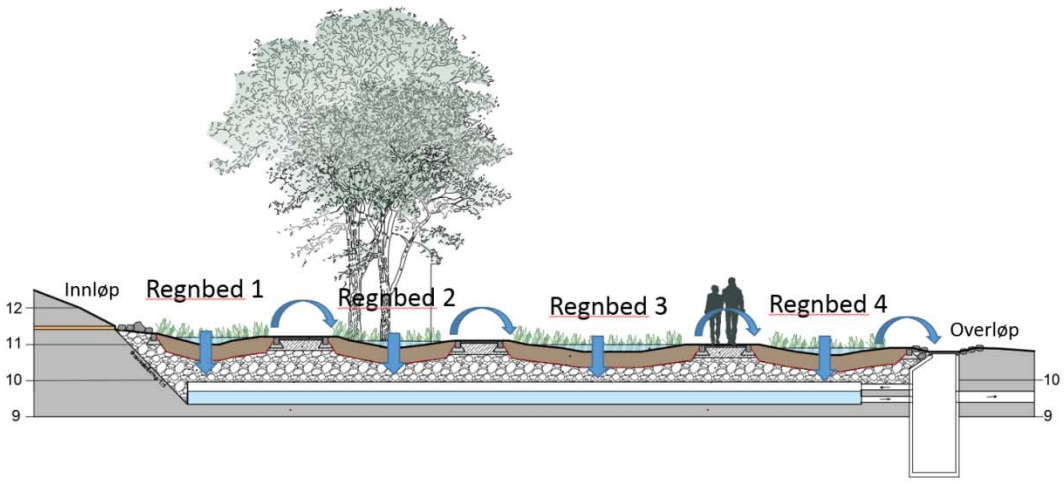
Q = Overflateavrenning fra feltet i liter pr. sekund (l/s).
C = Avrenningskoeffisient, angir andel av nedbørhendelse som renner av på overflaten (0-1)
A = Areal som drenerer mot gitt punkt (ha).
i = Nedbørintensitet (l/s ha), hentet fra lokal nedbørintensitet varighetskurve.

Et areal på 17,8 Daa (17 800 m^2) ble benyttet (Fig. 1). Det ble brukt en avrenningskoeffisient anbefalt for flerfamiliehus med åpne områder mellom husene. For kuperte områder anbefales 0,6 og flate områder 0,4. Fordi dette området har bra fall ble en faktor på 0,55 brukt her. Nedbørintensitet varighetskurven for Asker (https://klimaservicesenter.no) og 50 års gjentaksintervall er brukt for Bolstadhagen (Fig. 2). En klimafaktor på 1,2 som var anbefalt på tidspunktet for disse beregningene ble multiplisert med den dimensjonerende vannføringen Q, for å ta høyde for klimaendringene. I dag bruker Drammen kommune en klimafaktor på 1,5.

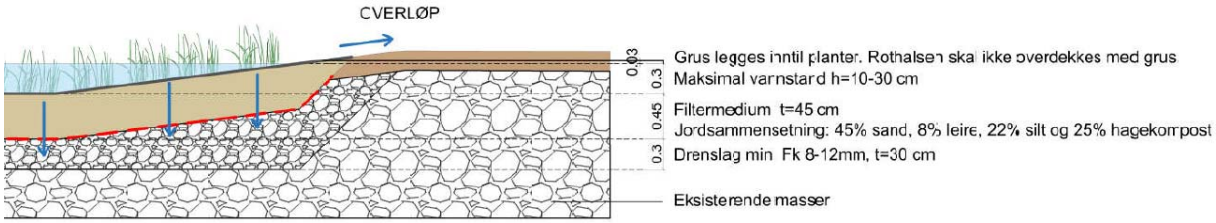


Figur 2 Nedbørintensitet og varighetskurve for ulike gjentaksintervall fra Asker, (https://klimaservicesenter.no). Verdier fra 50 års gjentaksintervall ble benyttet.

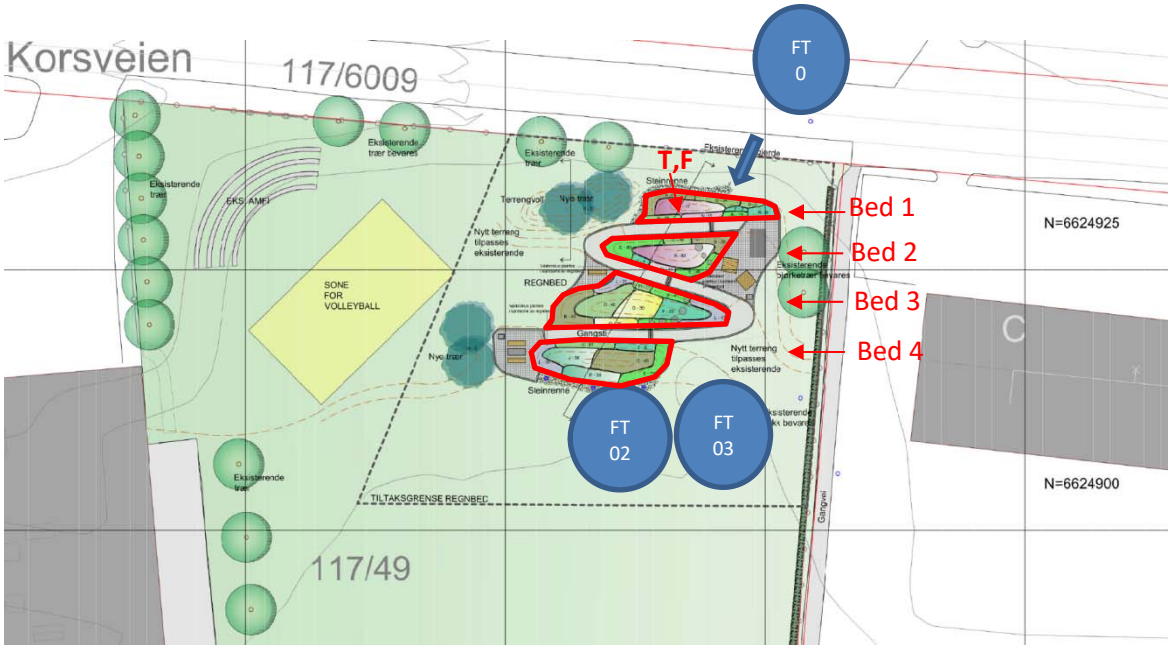
For beregning av magasineringsbehov ble regnenvelopmetoden brukt (Cederwall og Eriksson, 1977) Med denne metoden angis maksimal vannføring ut av anlegget gitt ved rørdimensjon, denne er for Bolstadhagen 30 l/s. Differansen mellom dimensjonerende vannføring (Rasjonelle metode, likn.1) og maksimalvannføring ut av anlegget, gir et magasineringsbehov på 308 m^3 (Vedlegg 1). Her er maksimalvannføring inn på anlegget beregnet å være 341 l/sek (5 min varighet).
For dimensjonering av selve regnbedet ble det tatt utgangspunkt i anbefalinger gitt av Paus og Braskerud (2013) som angir at regnbedet bør være 5-10% av nedbørfeltet som drenerer mot regnbedet. Disse anbefalingene ville gitt et regnbed som var mye større (0,9-1,78 Daa) enn det som var avsatt til formålet (0,53 Daa), i tillegg var usikkerhet knyttet til hvordan et regnbed fungerer på vinteren. Derfor ble det i tillegg til selve regnbedet inkludert et fordrøyningsvolum under regnbedet som dekket magasineringsbehovet. Selve regnbedet kunne derfor gjøres mindre enn anbefalt. Det var landskapsarkitekten hos Sivilingeniør Stener Sørensen som avgjorde hvor stort regnbedet skulle være.
Videre anbefalinger i Paus og Braskerud (2013) er at filtermediet skal ha et dyp mellom 40-80 cm, med et underliggende drenslag av grove masser på ca 30 cm. Anbefalt infiltrasjonsevne (mettet hydraulisk ledningsevne K_s) er 0.1 m/t. Med basis i disse anbefalingene ble oppbygging og design av selve regnbedet utført (Fig. 3). Som vekst/filtermedium for plantene ble jord fra produsenten Lindum AS, benyttet, denne er definert som anleggsjord for bruksområde: grøntanlegg, plen, grasbakke, prydbed, plantefelt. Sammensetning: Mineraljord (sand) med innblandet hage/park kompost (klasse I) og torv (middels omdannet), tilsatt mineralsk NS-gjødsel, moldholdig (3-6 % organisk innhold) med tekstur: Siltig mellomsand. Under filtermediet er det drenslag og filterduk med ulik tykkelse, detaljer vist i figur 4. Drenslaget består av grusfraksjoner mellom 8-12mm. Disse er omgitt av eksisterende masser. I Figur 5 vises innløpskum (FT01), utløpskum (FT02) som tar imot vann fra regnbed og Q-bic magasin (https://www.wavin.com/nn-no/produkter/overvann/fordroye-og-infiltrere/q-bic-overvannskassett) og overløpskum (FT03). Q-bic er et kassesystem designet for lagring av overvann under bakken. Dette er installert under hele regnbedet.



Figur 3. Prinsippskisse som viser hvordan regnbed i serie fungerer. Blå piler viser at vannet infiltreres ned i grunnen først i regnbed 1. Når dette er fullt, renner det over i regnbed 2 osv (Stener Sørensen AS).



Figur 4 Detaljert skisse over oppbygging av filtermasser benyttet i anlegget, utsnitt av 003_detaljert snitt, Stener Sørensen AS



Figur 5. Planskisse av regnbedet Bolstadhagen, inkludert innløpskum FT01, utløp fra regnbed og Q-bic magasin FT02 og overløpskum direkte fra FT01, samt plassering av temperatur og jordfukt sensorer markert som T og F i rødt. Innløp og strømningsretning er vist med en blå pil, regnbed delen (forsenkninger i terrenget) er rammet inn med rød strek og vist som bed-1 til bed 4. Figur er modifisert fra skisse utarbeidet av Stener Sørensen AS.

Materiale og metoder

I denne delen beskrives undersøkelser som er utført av NMBU. Det er viktig å dokumentere funksjonalitet av regnbedet med basis i kvantitative og kvalitative observasjoner for å kunne overføre kunnskap og erfaring fra Bolstadhagen i planleggingen av, og sammenlikningen med, tilsvarende systemer andre steder. Det ble utført infiltrasjonsmålinger med Modified Philippe Dunne infiltrasjonsrør (Nestingen, 2007, Solheim, m. fl. 2017), tatt jordprøver i nyetablert jord, og gjort registreringer av snødekke (snøhøyde og vannekvivalenter) gjennom vinteren 2017/18. Hvilke metoder som ble benyttet og en kort begrunnelse for disse er gitt i tabell 1.

Tabell 1 Metoder som ble benyttet og en kort begrunnelse for disse

Befaring og innledende undersøkelser	Jordprøvetaking, infiltrasjonsmålinger
Vannprøvetaking	Inn- og utløpskummer, undersøke saltkonsentrasjoner ved hjelp av elektrisk ledningsevne (EC), pH, forurensningskomponenter dersom EC tilsier at dette kan være tilstede, næringsstoffer for å avdekke eventuell lekkasje fra filterjord i regnbedet
Feltbefaring (jord/vann)	Vinterforhold, etter frost, snømengder fordeling på feltet, dannelse av islag i regnbed m.m. dette vil påvirke avrenning og infiltrasjon ved snøsmelting og nedbørhendelser
Infiltrasjonsmålinger (jord)	Det er utført infiltrasjonsmålinger i alle bed ved ulike tidspunkt
Feltbefaring (planter)	Generell vekstanalyse. Tilstand etter overvintring, sommer og høst situasjon.
Forsøk med plantekasser	Forsøk med 2 jordtyper og 3 plantesammensetninger, samt en uten plantedekke er utført på Norsk landskapslaboratorium på Ås 2019 –2020, overlevelse av planter gjennom vinteren samt effekt på infiltrasjon/overflateavrenning
Tørke/flom potteforsøk	Del av en masteroppgave som har studert planters overlevelse etter både 'flom og tørking'

Befaringer, jord, vann og planteundersøkelser

Det er i perioden siden oppstartsmøte mellom medarbeidere fra NMBU og Drammen kommune 17.10.2017 utført feltbefaringer for å vurdere tilstanden på Bolstadhagen; planter, jord og avrenningsforhold samt vintertilstand. Det er også utført stedlige målinger av jordegenskaper og laboratorieanalyser av jord og vannprøver (Eurofins og Laboratoriet ved Fakultet for miljøvitenskap og naturforvaltning (MINA), NMBU). Hvilke metoder som er benyttet er beskrevet i dette kapittelet.

Mettet vannledningsevne

Kornfordeling, Mettet hydrauliske konduktivitet (mettet vannledningsevne) kan beregnes basert på siktekurve av en tørket jordprøve og beregning f.eks. ved Hazens ligning (Schwartz and Zhang, 2003, s. 53):

$$K = C d_{10}^2 \quad (2)$$

K_s = mettet vannledningsevne (cm/s), C = konstant 100 – 150 $(cm*s)^{-1}$ for løs sand, d_{10} = effektiv kornstørrelsesdiameter cm (10% av partiklene er finere). Kornfordelingen ble utført i jordlaboratoriet på MINA, NMBU (Schmidt, 2019).

Infiltrasjonstester med Modified Philip Dunnes metode

Den mettede hydrauliske konduktiviteten ble målt ved bruk av Modified Philip-Dunne Infiltrometer (MPD-infiltrometer) (se vedlegg B). Én måling ble gjort i hvert regnbed (1-4), alle bedene består av samme jordblanding og kan derfor betraktes som gjentak. Et gjennomsiktig rør blir banket ned omtrent fem cm ned i jorden og vann blir fylt opp til mellom 30-40 cm høyde. Videre måles hastigheten vannet infiltrerer ved hjelp av målebånd på innsiden av røret og stoppeklokke. Dette gjentas til infiltrasjonshastigheten er stabil og mettet hydraulisk konduktivitet er oppnådd (Nestingen, 2007). Vi har ikke brukt korreksjon for initial vannmengde da man uansett må ta høyde for at det kan være stor romlig variasjon og metoden gir et godt nok estimat (Solheim m. fl., 2017). Ligning for å finne infiltrasjonshastighet:

$$Infiltrasjonshastighet = \frac{\Delta h}{\Delta t} \quad (3)$$

Δh = endring i vannhøyde, Δt = tidsintervall

Innhold av organisk materiale

Organisk materiale i vektprosent ble estimert gjennom glødetap på jordlaboratoriet ved NMBU (Krogstad, 1992). Det ble tatt fire prøver til sammen, én prøve fra hvert regnbed, som kan betraktes som gjentak fordi jordblanding og behandling var lik. Utstyr brukt i forbindelse med glødetap: Porselensdigel, ca. 20ml, Tørkeskap, Kalsinerende ovn, Vekt. Prøvene ble tørket i 60 timer ved romtemperatur (45°C) før de ble målt opp i hver sin digel. De ble videre plassert i et tørkeskap i over 6 timer med en temperatur på 105°C. Tørrstoff ble regnet ut på bakgrunn av vekt før og etter tørking:

$$\%\ tørrstoff = \frac{Vekt\ av\ prøve\ etter\ tørking}{Vekt\ av\ prøve\ før\ tørking} \times 100\% \quad (3)$$

Etter tørking ble prøvene plassert i en kalsinerende ovn med en temperatur på 550°C i over 3 timer. Glødetap ble regnet ut på bakgrunn av vekt før og etter kalsinering:

$$\%\ glødetap = \frac{Vekt\ av\ prøve\ etter\ kalsinering}{Vekt\ av\ prøve\ før\ kalsinering} \times 100\% \quad (4)$$

Tall brukt i utregningen er presentert i vedlegg C.

Registrering av hydrologiske forhold

Kapasiteten for vannhåndtering måles ved at akkumulert vannmengde i løpet av forrige døgn (m^3) gjennom innløpskum F01, og utløpskummene F02 og F03 (Fig. 5) registreres, fra dette avledes også gjennomsnittlig vannføring (m^3/t). Disse målingene overføres og lagres i Drammen kommunes Gurusoft webløsning for online fremstilling av døgndata, disse ble tilgjengelig for NMBU fra 6.april 2018. I tillegg kunne nedbør og temperaturmålinger fra Colletkanalen og Sletta lastes ned. Alle dataene har døgnoppløsning.

Frem til utvidelse av areal som drenerte til Bolstadhagen (Fig. 1) ble det kun registrert vannføring i innløpskummen 02.10.17 og 24.10.17. Etter påkobling av ledning fra Dalegårdsveien 23.04.18, ble mer vann tilført innløpskummen til Bolstadhagen. Det nye nedbørfeltet er antydet i figur 6, som gir en økning på 26 Ha (260 000m^2). Kombinert med opprinnelig areal, 17 800 m^2 (Fig. 1), blir det totale arealet som dreneres til Bolstadhagen 277 800 m^2. Basert på Rosim simuleringer og 10 års regn gir en vannføringskurve som også vises i figuren (Kari Motrøen Gjelten, Drammen kommune).



Figur 6. Utvidet areal til regnbed (sammenlikn med Figur 2) og estimert vannføring i ledningen som går til regnbedet i m^3/s basert på Rosim simuleringer med 10 års regn, Kari Motrøen Gjelten, Overingeniør VA Drift, Drammen kommune).

Meteorologiske observasjoner fra Sletta og Colletkanalen var allerede registrert i Gurusoft og kunne avleses for hele prosjektperioden. For høst og vinteren før 6.april 2018, finnes det kun enkeltregistreringer av vannføring i innløpskummen.

Jordfukt- og temperaturfølere ble installerte for å dokumentere jorda/filtermediets respons etter nedbør og lufttemperaturendringer. Av praktiske årsaker ble disse først installert i regnbedet etter snøsmelting, det er derfor viktig med en videreføring av prosjektet slik at forholdene gjennom vinteren også kan dokumenteres. Sensorene ble plassert i regnbed 1 (Fig. 5) en jordtemperatursensor (Pt 100 sensor med pt100 transmitter i sprutsikker boks m/10m kabel til PLS) ble plassert på 15 cm dyp, og en jordfuktsensor på ca 22 cm dyp (MAS1 4 -20 mA, 0 – 100% jordfuktsensor, 5 m kabel) (pers. med. Narong Namdaeng, Vann og avløp Drammen kommune). Også jordtemperatur og jordfukt sensorene gir data med døgnoppløsning som kan lastes ned fra Gurusofts nettløsning.

Vannkvalitetsundersøkelser

Vannprøver tatt i innløpskummen og utløpskummene til Bolstadhagen regnbedgjennom vinteren 2017/2018 og 2019/2020 ble analysert for ulike ioner, organiske og uorganiske komponenter. Vannprøver ble også samlet inn i innløpet til et annet regnbed i Drammen kommune; Bjørnstjerne Bjørnsonsgate, Statens vegvesen, og forsøksregnbedet på NMBU. Dette ble gjort for å kunne sammenlikne vannkvaliteten i Bolstadhagen, som drenerer et typisk boligområde (kombinasjon av bebyggelse, takflater, hager, naturområder og småveier) med regnbed med typisk vegavrenning (Bjørnstjerne Bjørnsonsgate) og vann nesten utelukkende fra tak (NMBU forsøksregnbed). Uorganiske komponenter ble analysert på fakultet for miljø- og naturforvaltning (MINA, NMBU), mens organiske komponenter ble analysert på Eurofins. Detaljer om analysemetoder er beskrevet i masteroppgaven til Dagny Vannebo (2021).

Vegetasjonens egnethet

Det ble gjennomført befaringer i bedene med ujevne mellomrom fra oktober 2017 til høsten 2020.

Under disse befaringene ble det tatt oversiktsbilder og tilstanden til artene (grov skala fra god til dårlig) samt plasseringen av plantene i bedet ble registrert. I tillegg ble det gjort en oppsummering av Steen og Lund i slutten av august 2018. Steen og Lund informerte om skjøtselen i løpet av sommeren 2018, dette er integrert i resultatdelen. I tillegg til registreringene på Bolstadhagen er det gjennomført to ulike planteforsøk på Ås, et i planteklasser med ulik jord og planter, og et tørke/flomforsøk.

Plantekasseforsøk: I utendørsforsøk i plantekasser ble ulik vegetasjon på to typer regnbedjord testet ut (Figur 7). Disse kassene ble utsatt for naturlig værsituasjon på Ås vinteren 2019-2020.



Som vekstmedium ble det brukt en Lindumjord, jord **1** som også er benyttet i Bolstadhagen og en med høyere andel sand (70% Lindumjord og 30 % sand) jord **2**. Det ble brukt 24 bokser til åtte behandlinger, hver kombinasjon med tre replikater, samt en kasse i ytterkant av rekken med plantekasser (dummybokser), for å unngå kanteffekt på plantene (Tabell 2). Kriteriene for artsvalg er at de i størst mulig grad skal være naturlig norske arter, tørke tolerante, ha lav til middels høyde, med litt stilk og bladverk gjennom vintersesongen (Fig. 8). Alle plantene gir god dekningsgrad, og representerer ulike rotdyp, disse er angitt i tabellen.

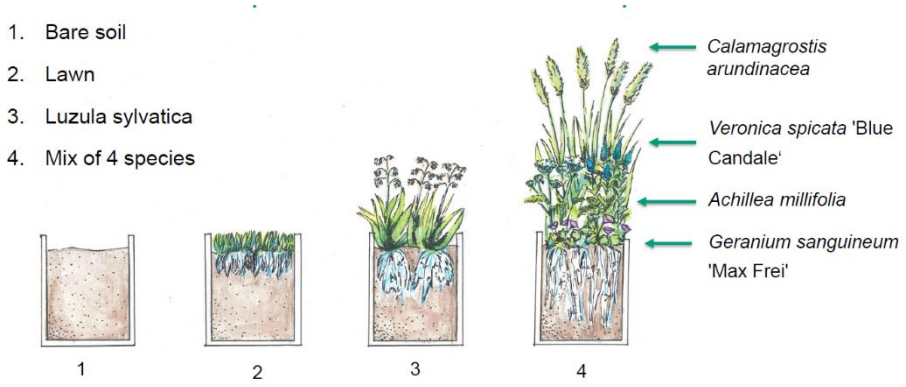
Figur 7. Forsøksoppsett med plantekasser med og uten vegetasjon og renner for oppsamling av overflateavrenning, bildet er tatt 5 November 2019 (Foto: Marina Bakhtina)

Som vist i figur 7 har plantekassene et system for oppsamling av overflateavrenning i tillegg til at det er oppsamling av vann som drenerer gjennom kassene, samt sensor for måling av jordfukt og temperatur i hver av de 4 behandlingene.

Tabell 2. Forsøksoppsett med plantekasser

#	Jordtype	Vegetasjonsblandinger, *latinske navn i kursiv*	Rotdyp	# replikater
1	Jord 1 og 2	Ingen vegetasjon (kontroll)		3 + 3
2	Jord 1 og 2	Østfoldgress (med blant annet Engrapp og Rødsvingel)	grunt	3 + 3
3	Jord 1 og 2	Storfrytle (vintergrønn), *Luzula sylvatica*	medium	3 + 3
4	Jord 1 og 2	Aksveronika, *Veromica spicata,* Ryllik, *Achillea millefolia,* Hagerørkvein, *Calamagrostis arundinacea* Blodstorknebb, *Geranium sanguineum*	dypt	3 + 3
		Totalt antall kasser med ulik behandling		24

Jord1: Lindumjord, Jord 2: Lindum jord 70% + sand 30%



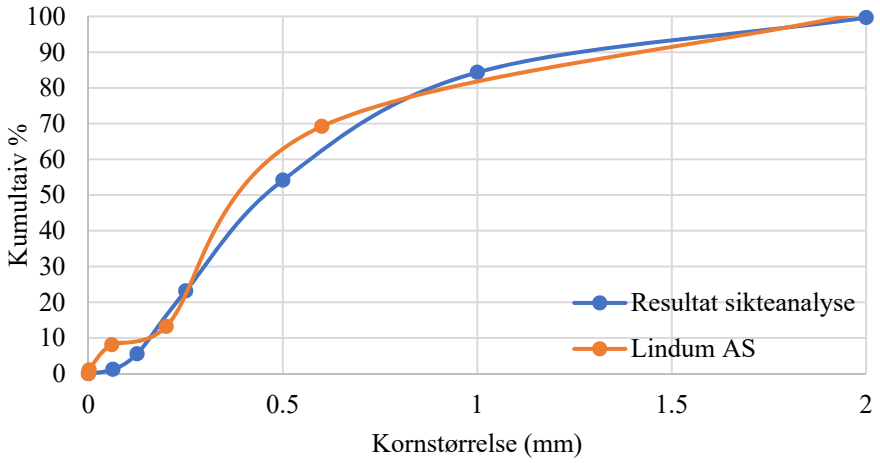
Figur. 8. Prinsippskisse for plantekassene med ulike plante-sammensetningene listet opp i tabell 2 (tegning Marina Bakhtina)

Flom/tørkeforsøk: I det andre forsøket ble to arter, mjødurt (*Filipendula ulmaria)* og hagerørkvein (*Calamagrostis* x *acutiflora* 'Karl Foerster') undersøkt. Begge artene er egnet til bruk i regnbed i nordiske klimaer. Plantene ble utsatt for fire ulike behandlinger: 'tørke' (3 dager stående i vann, 11 dager uten vann), 'flom' (3 dager stående i vann, 4 dager uten vann), 'sykluser' (1 dag stående i vann, 6 dager uten vann) og 'kontroll' (vanning normalt to ganger i uken) i 8 uker under et åpent drivhus i Ås.

Resultater

Kornfordeling, Mettet vannledningsevne

Den effektive kornstørrelsen d_{10} er lik for kornfordelingen rapportert av Lindum AS og den gjennomsnittlige kurven basert på jordprøver og sikteanalysen (Fig. 9).



Figur 9 Resultat av kornfordelingsanalyse (blå) og kornfordeling oppgitt av Lindum AS (oransje)

Mettet vannledningsevne basert på kornfordelingsanalyse (d_{10}= 0,015cm) og Hazens likning, med en C-faktor lik 100 gir en mettet vannledningsevne på 81 cm/time.

Infiltrasjonsmålinger med MPD og innhold av organisk materiale

Tabell 3 viser resultat av infiltrasjonsmålingene i 2017 og 2020 og glødetapsberegninger (innhold av organisk materiale). Infiltrasjonsmålingene viser en noe høyere infiltrasjonsevne i regnbed 1 og 4 enn 2 og 3. Målingene i 2020 kunne bare utføres i bed 3 og 4 da det var stående vann i bed 1 og 2, det hadde det vært hele sesongen og derfor ikke mulig å gjenta. I bed 3 og 4 hadde infiltrasjonsevnen sannsynligvis økt to til tre ganger, selv om vi ikke helt kan utelukke variasjon innen bedene. Innholdet av organisk materiale er svært homogen med 3-5 % organisk materiale, og samsvarer som kornfordelingen godt med det som er angitt fra produsent (Lindum). Noe mindre tørrstoff i bed 1 i forhold til de andre. Måledata for å bestemme infiltrasjonshastigheten er presentert i vedlegg B.

Tabell 3 Målt infiltrasjonsevne, tørrstoff og glødetap i Regnbed Bolstadhagen, Drammen kommune.

Regnbed	**Infiltrasjonsevne, cm/time (antall)**		**Tørrstoff, %**	**Glødetap, %**
	17.10.2017	03.04.2020		
1	15 (1)	-	89,2	5,3
2	5 (1)	-	98,4	3,1
3	5 (1)	15 (2)	99,5	3,5
4	12 (1)	30 (2)	99,6	3,6
Gjennomsnitt	9,25	-	96,7	3,9

Observasjoner på stedet indikerer to faktorer som kan ha påvirket infiltrasjonsevnen; partikkeltransport inn i anlegget (både grove og fine partikler er observert), og algevekst i vanndammene. Ved nærmere undersøkelse av kommunens driftsrutiner viste det seg at anbefalt driftsinstruks, som bl.a. inkluderer regelmessig tømming av sandfang før innløpet til regnbedet, ikke hadde blitt fulgt opp. Dette er trolig årsak til at det har vært sediment transport inn til anlegget, og en omfordeling av massene ved innløpet (figur 10).



Figur 10. Nærbilde av sedimenter i øverste dam i regnbedet i Bolstadhagen 30.04.2020, Foto: Leif Jakobsen

Årsak til gjentetting kan både være begroing, akkumulasjon av finpartikler nær overflaten og/eller at finstoff har blitt transportert gjennom filteret og redusert vannledningsevnen i jordfilteret, eller i geomembranen som skiller filterjord fra underliggende pukklag. Jordfuktighetssensoren som er plassert på 22 cm dyp i det øverste bedet, har vist høy jordfuktighet – nær metning siden begynnelsen av mars 2019 (snøsmeltingen), og har kun hatt noen få perioder der vanninnholdet har gått litt ned.

Værforhold, vannføring og kapasitet for vannhåndtering

På grunn av lagring av vinternedbør som snø, brukes hydrologisk år som 1.9 – 31.8, som periode for å vise respons av klimatiske forhold på vannføring inn og ut av regnbedet. Som forklart til figur 5, samles vann som drenerer fra nedbørfeltet i innløpskummen (FT01) før vannet går ut i regnbedet (bed 1), vann som forlater regnbedet og Q-bic lageret måles i kum FT02, og ved stor vannføring går vann direkte til overløpet og i kum FT03. Resultat av disse målingene for årene 2017/18, 2018/19 og 2019/20 vises i figurene 11A-11C. Det er ikke utført noen kalibreringer av vannmengder registrert av automatisk loggede sensorer i disse kummene. Derfor har vi foreløpig tatt ut noen ekstreme verdier for vannmengder ut av regnbedet registrert i perioden 2019-2020, vannmengden ut av regnbedet er for perioden langt høyere enn det som er registrert inn på anlegget. Disse dataene må sjekkes nærmere før de kan presenteres og inngå i en analyse av funksjonaliteten til regnbedet.

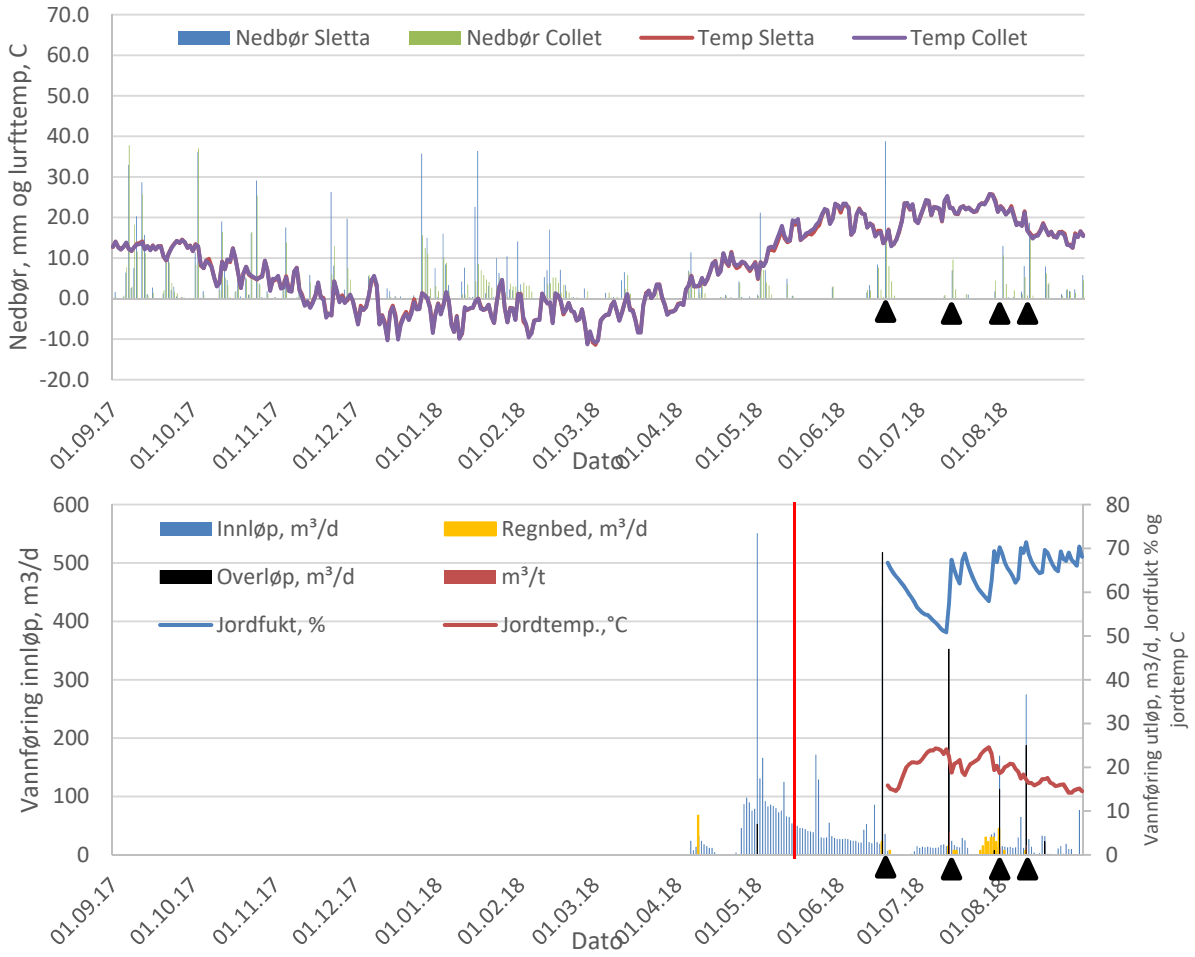
I figurene 11A-11C vises klimadata (lufttemperatur og nedbør) fra stasjonene Colletkanalen og Sletta øverst, i midten vises vannføring registrert inn og ut av anlegget, og i nederste del av figurene vises jordtemperatur og jordfuktighet (i 11A er disse kombinert med vannføringsdata). Oppsummert var nedbørsmengden større i de to siste periodene (Tabell 4) og det er ganske store forskjeller i totalnedbør mellom de to værstasjonene (fra 100-300 mm). Lufttemperaturen er nokså lik og vises derfor bare fra Sletta. Vannbalanse estimat basert på totalt vannvolum inn og ut av Bolstadhagen viser et vanntap på nær 95%, dette virker veldig høyt og må kvalitetssikres ved kalibrering av vannmengdemålere i kummene. Vanntapet kan skyldes fordampning og transpirasjon fra planter, samt infiltrasjon til arealet rundt bedene.

Tabell 4. Årsverdier for nedbør og lufttemperatur på Sletta og Colletkanalen, og totale vannmengder gjennom inn og utløpskummene på Bolstadhagen, % vanntap er basert på differanse mellom vann inn og vann ut målt i kummene.

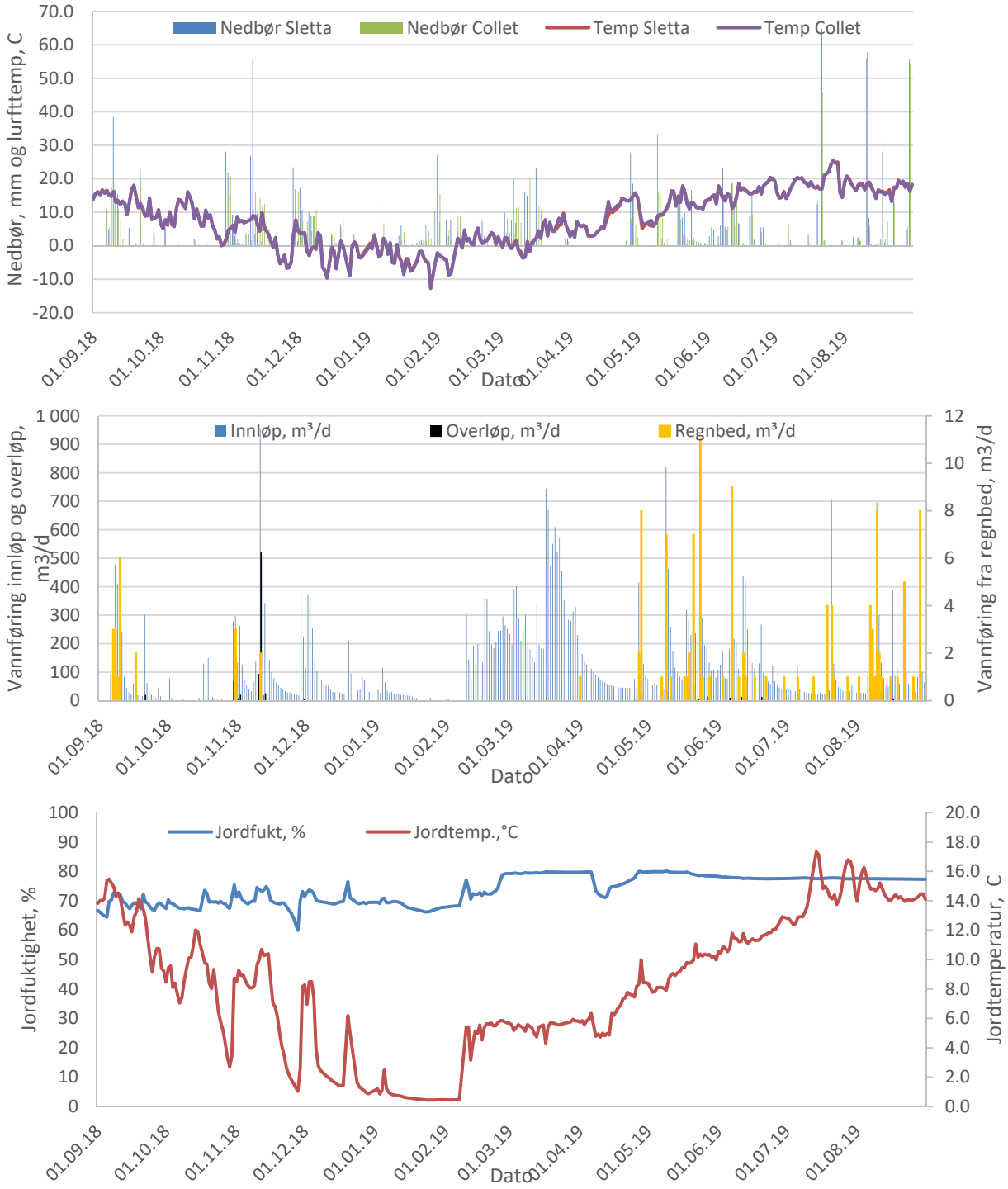
Samledata	Årsnedbør, mm		Lufttemp., °C	Totalt vannvolum, m^3			
Hydrologisk år	Sletta	Collet	Årsmiddel Sletta,	Innløp	Regnbed	Overløp	% vanntap**
2017-2018	884	732	7,5	5664*	46*	167*	96
2018-2019	1314	1074	8,6	45449	129	2029	95
2019-2020	1208	1306	8,2	37862	---	1281	---

**målinger fra 06.04 2018, med en endring i tilførselsareal fra 23.04.2018*
*** Må kvalitetssikres*

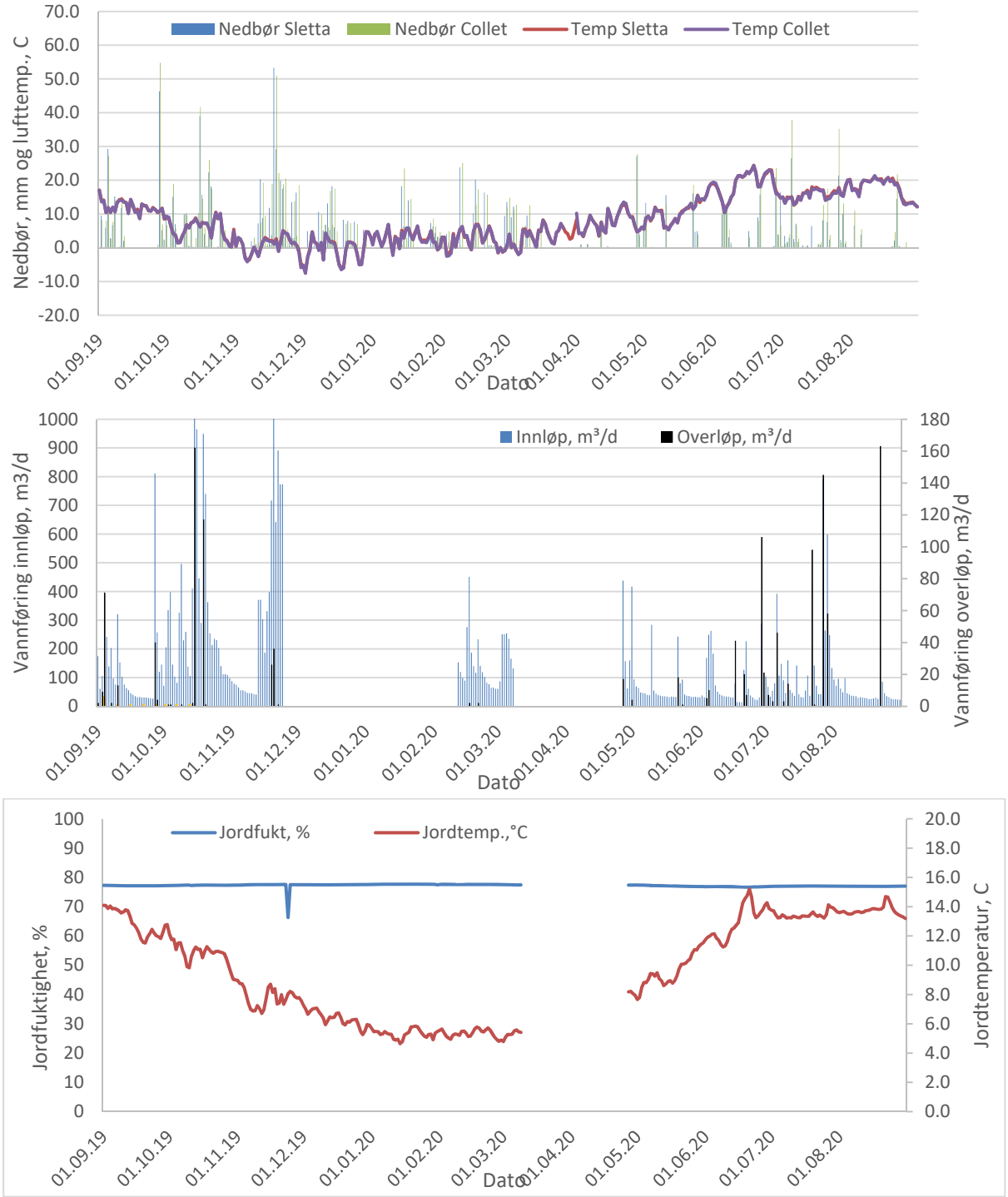
Selv om drenert område ble endret(økt) kun kort tid etter at logging av vannmengder i innløpskum startet, er det en tydelig økning i målte vannmengder (se før og etter rød vertikal strek i figur 11 A øverst). Fra april ut året i 2018 gir nedbørmengder >10mm/døgn vann i overløp (indikert med svarte trekanter i figur 11A øverst). Vannmengden gjennom overløp er ca 10 ganger lavere enn i innløpskummen, mens vannmengder ut av regnbedet er en størrelsesorden lavere, og gir maksimalt 10 m^3/døgn. Jordfuktighet og temperatur følger fluktuasjoner i vannmengder. I løpet av sommeren 2018, øker jordfuktigheten naturlig nok ved nedbørhendelser mens jordtemperaturen går ned. Generelt er jordfuktigheten høy gjennom hele måleperioden, og stabiliseres ved 80% det siste året, dette sammenfaller med perioden (t.o.m. ut august 2020) da det ble observert stående vann i bed-1 hvor jordfukt og temperaturmålerne er installert.



Figur 11A, Nedbør og lufttemperatur målt på Sletta og Colletkanalen (øverst), nederst vises vannføring i innløpskum (venstre y-akse), vannføring ut fra regnbedet og via overløp, samt jordfuktighet og jordtemperatur vises på høyre y-akse, for det hydrologiske året 2017-2018. Oppstart av automatisk logging 06.04.2018 omkobling av tilførselsledninger skjedde 23.04.2018, vist med rød vertikal linje. Episoder med mye vann til overløpskum er indikert med trekanter.



Figur 11B, nedbør og lufttemperatur målt på Sletta og Colletkanalen (øverst), i midten vises vannføring i innløpskum og overløp (venstre y-akse), vannføring ut fra regnbedet på høyre akse, nederst jordfuktighet og jordtemperatur for det hydrologiske året 2018-2019



Figur 11C, Nedbør og lufttemperatur målt på Sletta og Colletkanalen (øverst), i midten vises vannføring i innløpskum og overløp (venstre y-akse), vannføring ut fra regnbedet på høyre akse, nederst jordfuktighet og jordtemperatur for det hydrologiske året 2019-2020 (vannføringsmåler ut fra regnbed fungerer ikke).

Vinterforhold

Vinterforholdene 2017/2018 og 2019/2020 ble dokumentert ved feltbefaringer. Feltet ble fotografert, og snødekke vurdert i forhold til dekningsgrad av planter, det ble tatt snøprøver og fordelingen i feltet kartlegging av fordeling av impermeabelt islag under snødekket. Vinteren 2017/2018 var svært snørik (Figur 12-13) og det ble dannet et islag i bunnen av hvert av regnbedene. Snøen lå til april 2018 og islaget i bunnen av bedene lå til slutten av april 2018.

Fra 12.11.2017 gikk døgntemperatur under 0°C. Dersom vi for enkelhetsskyld forutsetter at nedbør som kommer etter dette tidspunktet faller som snø, blir akkumulert vannmengde som faller som snø for frostperioden (t.o.m. 3.4.2018, som er siste dag med negativ døgntemperatur) på 351mm for Sletta og 254 mm for Colletkanalen.
Fra feltbefaring 31.01.2018 (Line Rosef), ble det rapportert at området var dekket av 50 cm våt snø, men med tydelige forsenkninger der regnbedene var etablert (Figur 12 og 13). Det var lite vegetasjon som stakk opp fra regnbedene, bare noe gress og et par frøstander fra en staude. Ved graving i området kom man enkelt ned til gressplenen utenfor regnbedet. I selve regnbedet var snølaget tynnere (ca 30cm) og bunnen var dekket av is.



Figur 12 Oversiktsbilde over området. Hele området var dekket av snø, men med forsenkninger der regnbedene lå (31/1-2018).



Figur 13 Det var lett å se hvor regnbedene var plassert selv med snødekke. Snøen hadde smeltet over kummene i kontakt med Q-bic magasinet (31.01.2018)

Det var fortsatt stabile vinterforhold 20.03.2018. På nedsiden av regnbedene så man fortsatt tydelig kummene (Figur 14), her var det stedvis ikke snø eller is, dette tyder på varmetransport fra lagervolum (Q-bics) under regnbedet.







Figur 14, Fortsatt vinterforhold Snøen har smeltet over kummene som står i kontakt med Q-bic magasinet (20.03.2018), indikert med røde piler.

Snøtaksering

Mot slutten av snøsesongen (20.03.2020) ble det målt fra 89-207mm vannekvivalenter i snødekket (Leif Jakobsen). Ledningsevnen i vannet var mellom 18-49 µS/cm, dette indikerer lite forurensinger i snøen. Resultatene er oppsummert i tabell 5. Det var ikke mulig å foreta infiltrasjonsmålinger i denne perioden fordi det var isdekke i bunnen av alle 4 regnbedene (figur 15).



Figur 15 Snøtaksering som viser snødyp og islag under snødekket 20.03.017

Tabell 5 Resultat av snøtaksering på feltet 20.03.208

Sted	Snødyp, cm	Vannekvivalent, mm	EC, uS/cm
Bed1	82	207	48
Bed2	57	157	20
Bed3	49	137	21
Bed4	57	137	23
Bakgrunn	68	147	23
Bakgrunn	72	183	18
Brøytekant		89	40

Vinteren 2019/2020, var det kun enkelte episoder med snø og snøen ble ikke liggende. Det ble observert stående vann i de to øverste bedene. I motsetning til tidligere var det også en konstant vannstrøm inn i regnbedet. Dette ga mye synlig vann i den øverste delen av regnbedet (figur 16) og overflateavrenning mellom de to øverste bedene. Samtidig var det lite vann fra regnbedet gjennom utløpskummen,

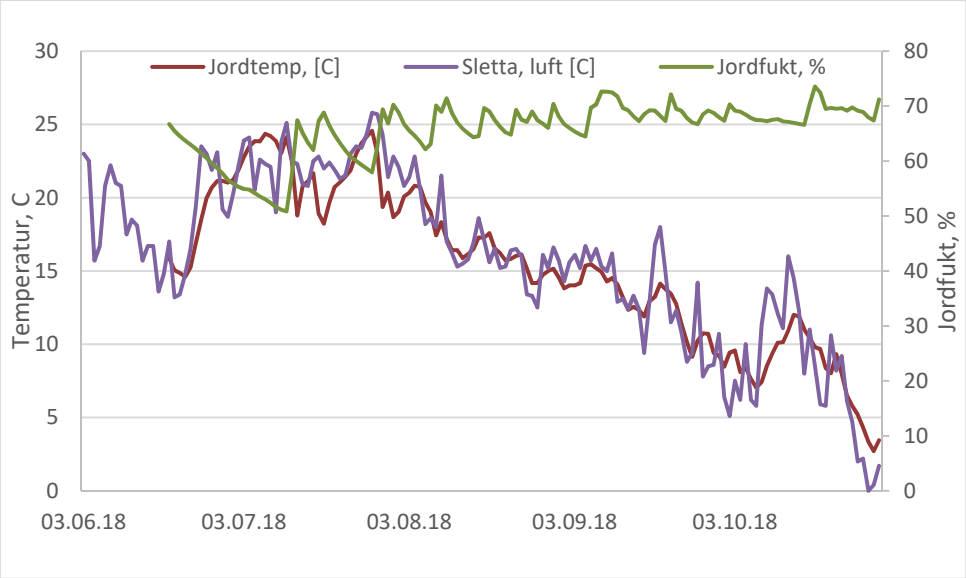


Figur 16. De to øverste regnbedene (bed 1 og 2) i Bolstadhagen 24.02.2020, Foto: Dagny Vannebo (venstre) og 27.11.2020, Foto: Line Rosef (høyre)

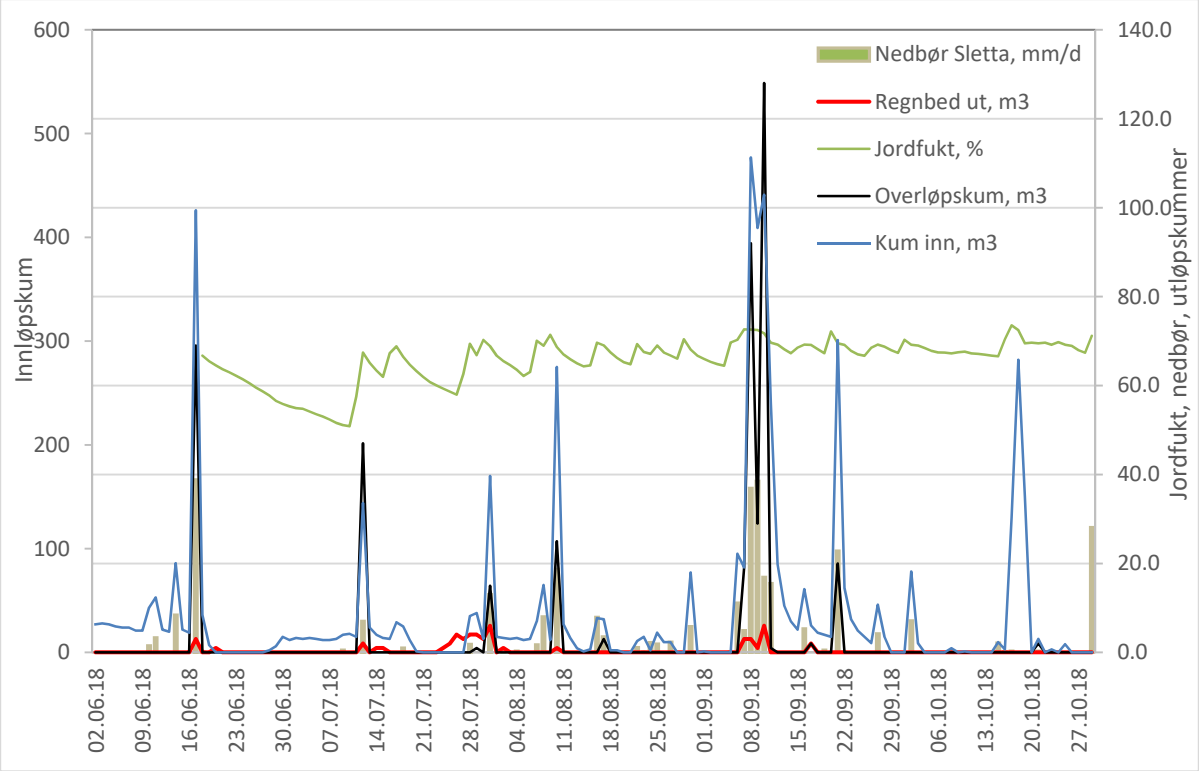
Jordtemperaturen (i det øverste bedet, ved 15 cm dyp) var over frysepunktet begge vintrene 2018/19 og 2019/20 (Fig. 11 B og 11C), til tross for at lufttemperaturene hadde frysetemperaturer begge vintrene. Jordtemperaturen var noe var varmere i 2019/20 enn året før og kun enkeltepisoder med snødekke. Selv om det ikke ble målt frost ved 15 cm dyp kan det ha vært frost helt øverst i jordlaget som kan gi isdannelse og redusert til ingen infiltrasjon. Sammenlikner vi med regnbedet på Ås hvor det heller ikke ble observert frost på 15 cm dyp, ble det ved 5 cm dyp observert rett under eller nær 0°C begge vintrene.

Vår, sommer og høst

Utsnitt av figur 11A for vår, sommer og høst situasjonen for luft og jordtemperatur samt jordfuktighet er vist i figur 17. Luft- og jordtemperatur følger samme mønster, men jordtemperaturen har avdempede verdier i forhold til luft. Temperaturene nærmer seg frysepunktet mot slutten av oktober, mens jordfuktigheten er jevnt høy på ca 70%. I figur 18 (utsnitt av figur 11A) ser vi at fluktuasjonene i jordfuktighet passer med nedbørepisoder. I tillegg blir regnbedet vannet som en del av skjødselsplanen. Ved de største nedbørepisodene er vannmengden til overløp mye større enn det som registreres og gå gjennom regnbedet.



Figur 17 Døgnmiddelverdi for jordfuktighet og jordtemperatur i regnbed 1 og lufttemperatur (Sletta) for perioden 23.06.208-31.1.2018,



Figur 18 Døgnmiddelverdi for jordfukt i regnbed 1, nedbør (Sletta), total vannmengde per døgn gjennom innløpskum, regnbed kum og overløpskum for perioden 23.06.208-31.1.2018.

Vannkvalitet

Vannprøver tatt i innløpskummen og regnbed utløpskummene i perioden fra 9.11.2017 og 24.02.2020 ble analysert for ulike ioner, resultatene er vist i tabell 6. Selv om konsentrasjonen av vanlig vei- eller bordsalt (NaCl) dominerer, er ikke verdiene veldig høye (sammenliknet med verdier målt i innløpsvannet til Bjørnstjerne Bjørnsonsgate, tabell 7), antagelig er det noe påvirkning fra salting på veg. Verdiene av kalsium og magnesium tyder på at det også er noe vann som har vært i kontakt med jordsmonnet/grunnvann, pH indikerer også dette. For noen av parameterne synker verdien etter vannet har vært gjennom regnbedet, for andre går de ned. Forskjellene er såpass små at det ikke indikerer stor utlekking fra filtermassene som er brukt.

Tabell 6. Resultat av kjemiske analyse av vannprøver fra inn- og utløpskum. Prøvene fra 2019/20 er hentet fra Vannebo (2021)

Parameter	Dato	Cl^-	NO_3-N	SO_4	EC	pH	Ca	K	Mg	Na	Tot. N	Tot. P
Enhet		mg/l	mg/l	mg/l	µS/cm		mg/L	mg/L	mg/L	mg/L	mg/l	µg/L
Innløp, FT01	29.11.17	16	1,3	6,7	159	7,5	17	1,8	1,2	11	1,4	58
Utløp, FT02	29.11.17	35	0,6	5,0	219	7,6	19	3,1	1,4	20	0,8	62
Innløp, FT01	02.02.18	37	1,3	5,1	202	7,3	17	1,5	1,3	18	1,5	43
Utløp, FT02	02.02.18	35	0,8	6,1	236	7,9	22	4	1,3	19	0,9	48
Innløp, FT01	29.11.19	37	3,2	18	324	7,7	35	2,4	2,3	24		
Utløp, FT02	29.11.19	14	1,2	8,0	167	7,6	20	2,7	1,0	10		
Innløp, FT01	13.12.19	41	2,3	13	289	7,5	26	2	1,8	26		
Utløp, FT02	13.12.19	21	1,2	7,3	191	7,5	20	2,8	0,9	15		
Innløp, FT01	23.01.20	39	2,9	16	306	7,6	32	2,2	2,4	22		
Utløp, FT02	23.01.20	15	0,5	2,5	108	7,4	7.8	1,8	0,5	10		
Innløp, FT01	24.02.20	35	2,8	16	292	7,5	28	2,1	2,3	21		
Utløp, FT02	24.02.20	8	0,5	2,8	86	7,2	8.4	1,4	0,5	5,5		

Vannkvaliteten før og etter Bolstadhagen ble prøvetatt vinteren 2019/2020 og analysert for organiske og uorganiske komponenter ved flere episoder og sammenliknes her med et annet regnbed i Drammen kommune (Bjørnstjerne Bjørnsonsgate) og forsøksregnbedet på NMBU. Fullstendige resultat er dokumentert i Vannebo (2021).

Organiske forbindseler

Det ble ikke funnet PAH i innløpsvannet ved Bolstadhagen, men det ble målt i utløpsvannet på tre ulike datoer gjennom vinteren. Konsentrasjonene lå mellom 0.025 og 0,047 µg /l, som er under grenseverdien satt i Drikkevannsforskriften (PAH<0.1µg/l). Hverken PCB eller oljeforbindelser ble målt i vannet.

Næringsstoffer

Ingen av vannprøvene (fra Bolstadhagen, NMBU-regnbed, planteforsøk) har verdier > 5mg/l, så godt under krav i Drikkevannsforskriften (<50 mg NO3/l), total fosfor er også lavt.

Uorganiske elementer, og generell vannkjemi i de ulike regnbedene (inn og ut) er gitt i tabell 7

Tabell 7, Minimums- og maksimumskonsentrasjoner av utvalgte vannkjemiske parametre målt i innløps/utløpsvann målt i regnbedet på NMBU, Bolstadhagen og Bjørnstjerne Bjørnsonsgate (siste er kun målt i innløpsvann)

	NMBU regnbed, Ås		Bolstadhagen, Drammen		Bjørnstjerne Bjørnsonsgate*,	
	Min	max	min	max	min	max
pH	6.7*	7.6	7,2	7.9	7.1	7.8
Elektrisk ledningsevne (µS/cm)	12.8*	120.4	86.3	323.6*	583.1	1925
Næringsstoffer						
PO4-Pmg/l	0.012*	0.274	0.02*	0.04	0.042	0.215
NO3-N (mg/l) i H_20	0.021*	0.66	0.48	3.2*	0.26	0.5
TOC (mg/l)	0.84*	6.8	1.6	5.7*	1.4	3.5
Typiske vegforurensninger						
Cu (µg/l)	0.52*	4.7	4	8.3*	3.4	10
Zn (mg/l)	0.0054*	1	0.0064	0.016*	0.0069	0.015
Cd (µg/l)	0.0076	0.023	0.0079	0.034*	0.0065	0.0096
Pb (ug/l)	0.072*	0.19	0.05	0.94	0.074	0.14
Vegsalt						
Na (mg/l)	0.075*	3.5*	5.5	26*	100	380
Cl (mg/l)	0.4	7.9*	8	41*	154	551

*målt i innløp

Når det gjelder utvikling gjennom Bolstadhagen (som drenerer boligområder) ser vi en generell reduksjon i næringsstoffer, ione-/mineralinnhold, noe påvirkning av salt (NaCl), og PAH i utløpet. Årsaken/kilden til PAH må undersøkes nærmere.
Vann fra regnbedet på NMBU, (som drenerer vann fra tak og noe plen) viser en generell økning i næringsstoffer ione-/mineralinnhold, ingen påvirkning av salt (NaCl).
Fra Bjørnstjerne Bjørnsonsgate har vi kun vann som renner inn i regnbedet, den største forskjellen til vann som går inn i Bolstadhagen er at det er mye mer påvirket av salt. Konsentrasjon av PAH som infiltrerer i regnbedet har omtrent samme konsentrasjon som utløpet til Bolstadhagen

Vegetasjon, overvintring og egnethet

Regnbedet i Bolstadhagen er delt opp i 4 bed, bed 1 ligger øverst og får tilført vann fra innløpskummen (FT01), mens bed 4 ligger nederst.
I oktober 2017 var vegetasjonen i regnbedet i Bolstadhagen i ferd med å visne ned for vinteren, så tilstanden var ikke lett å bedømme (Line Rosef og Sissel Torre). Tilstanden til enkelte plantearter (Fig. 19) så ikke bra ut, men dette kan skyldes at det var høst og at det var nyplantinger (For fullstendig planteliste se Vedlegg A3). Ved nyplantinger kan det ta noen år før plantene har etablert seg skikkelig og fått god vekst. Det var imidlertid svært stor variasjon mellom arter (Fig. 19).



Figur 19. Varierende plantetilstand 17.10.2017, svært dårlig vekst til venstre best vekst helt til høyre, foto: Sissel Torre

Islaget som ble etablert i alle regnbedene (1-4), beskrevet i avsnittet om vinterforhold, kan utsette plantene for isbrann og dermed oksygenmangel. Sen snøsmelting vil gi plantene en sen start på vekstsesongen. I mai så det likevel ut til at de fleste plantene hadde overlevde vinteren og kommet i gang med veksten.

Fra mai 2018 ble det ekstremt varmt og tørt og dette varte til begynnelsen av august, noe som gav svært dårlig plantevekstvekst utover sommeren, med tydelige forskjeller mellom ulike arter i løpet av sesongen. Det kom et regnskyll i midten av juni, men etter dette ble det svært tørt og førte til mange visne blader og dårlig vekst hos plantene, spesielt de på toppen av bedene. I vedlegg A vises tidsutvikling av plantetilstanden i de ulike bedene over tid. Dette gir et godt inntrykk av planteveksten gjennom sesongene.

Kantsonene av bedene er mer utsatt for tørke, fordi vannet renner ned til bunnen av regnbedet. Registeringer av plantetilstand stemmer godt med registrert jordfuktighet, som viste synkende fuktighet fra midten av juni til midten av juli (figur 18). Firmaet Steen og Lund AS har som en del av etableringsavtalen også hatt avtale om vedlikehold av bedene, dette inkluderte vanning, luking og stell i løpet av sommeren (vedlegg A2). Det ble vannet ganske ofte i juli 2018, noe som trolig har opprettholdt planteveksten gjennom sesongen. I begynnelsen av august kom det en del kraftige regnskyll og dette førte til at plantene har kommet seg bra og at veksten er god, til tross for en ekstremt tørr og varm sommer. Det ser ikke ut til at noen av plantene har gått ut, bortsett fra Hostaen som sto i enden av det øverste bedet, det kommer trolig av slitasje og tråkk ved enden av bordtennisbordet og skyldes ikke klima eller forhold i regnbedet.

Bed 1 var fylt med vann gjennom det meste av vinteren 2019-2020 og gjennom sommeren og høsten 2020. Dette har ført til at plantene i bunnen av dette bedet er døde. For at bedet igjen skal ha plantevekst må det plantes inn nye planter, men da må man passe på at dette bedet har jord med bedret infiltrasjonsevne og at det ikke har stående vann over veldig lang tid. Et regnbed bør ikke ha stående vann i mer enn 2-3 dager av gangen for å sikre god plantevekst.

I bed 2 var det også stående vann gjennom vinteren 2019-2020 og gjennom sommeren og høsten 2020. i løpet av våren og sommeren var det en stor algeoppblomstring, men også vekst av den innplantede arten kattehale (*Lythrum salicaria*). Noen av plantene ser ut til å ha overlevd til tross for at det har stått vann der gjennom hele sommeren og høsten. Videre utvikling av disse plantene vil være avhengig av om vannet blir stående utover vinteren og neste sommer. For god plantevekst bør man passe på at vannet i dette bedet blir drenert bort.

I regnbed 3 og 4 har Praktstorkenebb Johnson Blue (*Geranium himalayense* 'Johnson Blue') hatt dårlig overlevelse, mens spesielt gressene (slik som Hagerøyrkvein 'Karl Foerster'/hybridrørkevien, svenskegras og blåtopp) og starren (Carex spp.), har klart seg bra. Det ser ikke ut til at Praktstorkenebb Johnson Blue klarer seg i regnbed og bør derfor ikke brukes videre i denne type miljø.

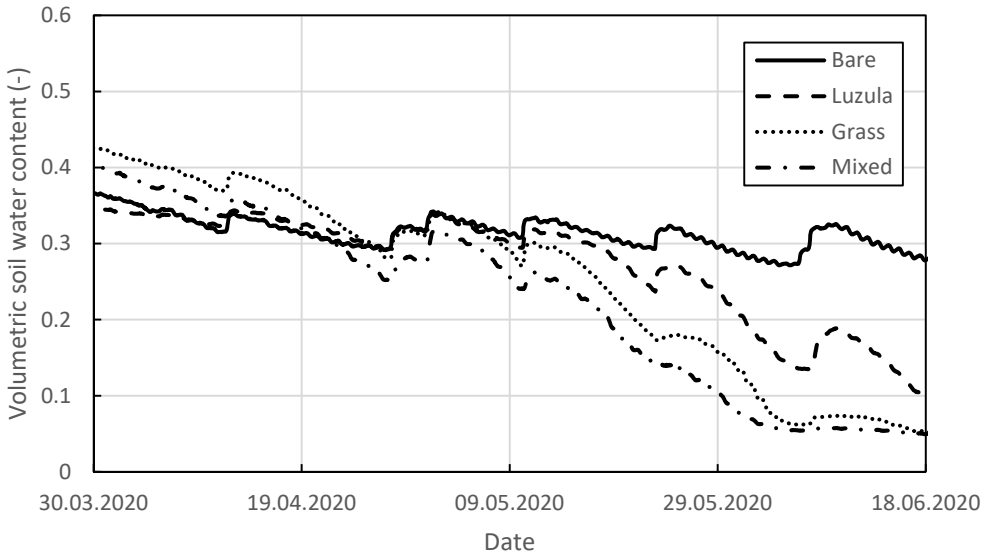
Planteforsøk på Norsk landskapslaboratorium, Ås

Alle plantene klarte seg bra gjennom vinteren 2019/20 (Fig. 20) og plantene hadde god vekst gjennom sommeren. Vinteren 2019/20 var svært mild med lite snø, så det ble derfor ikke mulig å teste ut hvordan plantene reagerer under mer normale vinterforhold. I disse forsøkene var det ikke noe stående vann slik det ble observert i Bolstadhagen.



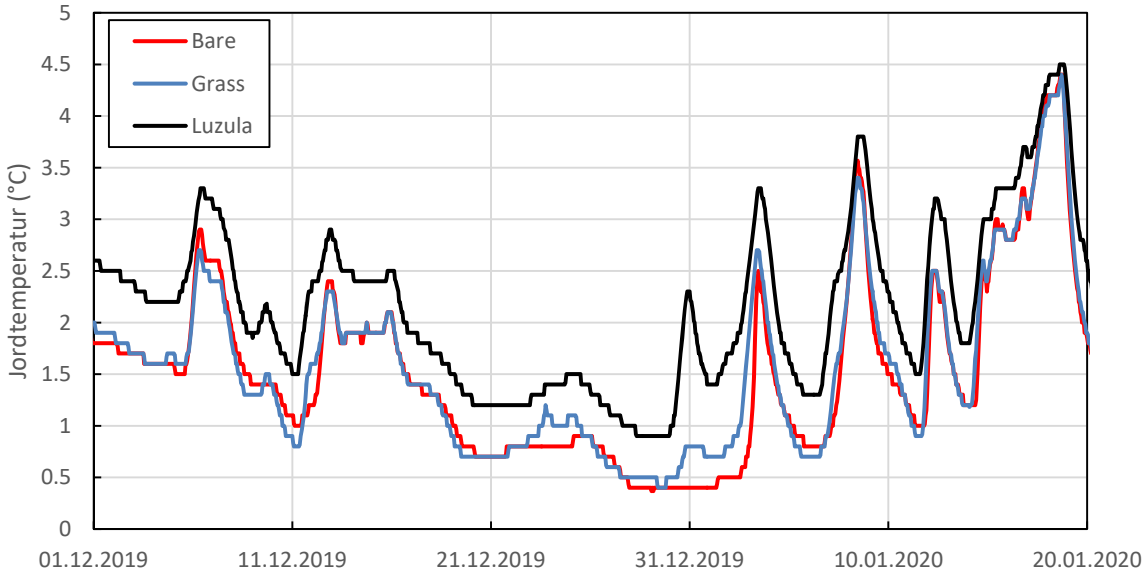
Figur 20 Plantekasseforsøk, NMBU, 15.11.2019 til venstre viser innsamling av drenert vann og overflateavrenning, til høyre plantedekket delvis dekket av snø, fra venstre mot høyre: Luzula sylvatica, gress, planteblanding (Foto: Marina Bakhtina)

Nedenfor vises noen av de foreløpige resultatene fra plantekasse-forsøkene, kun resultat fra Lindum jord 1 er presentert. Figur 21 viser effekt av vegetasjon på jordfuktighet, det er høyest jordfuktighet uten plantedekke, minst der gress og blandet vegetasjon gir størst evapotranspirasjon, sammenliknet med jorda uten plantedekke.



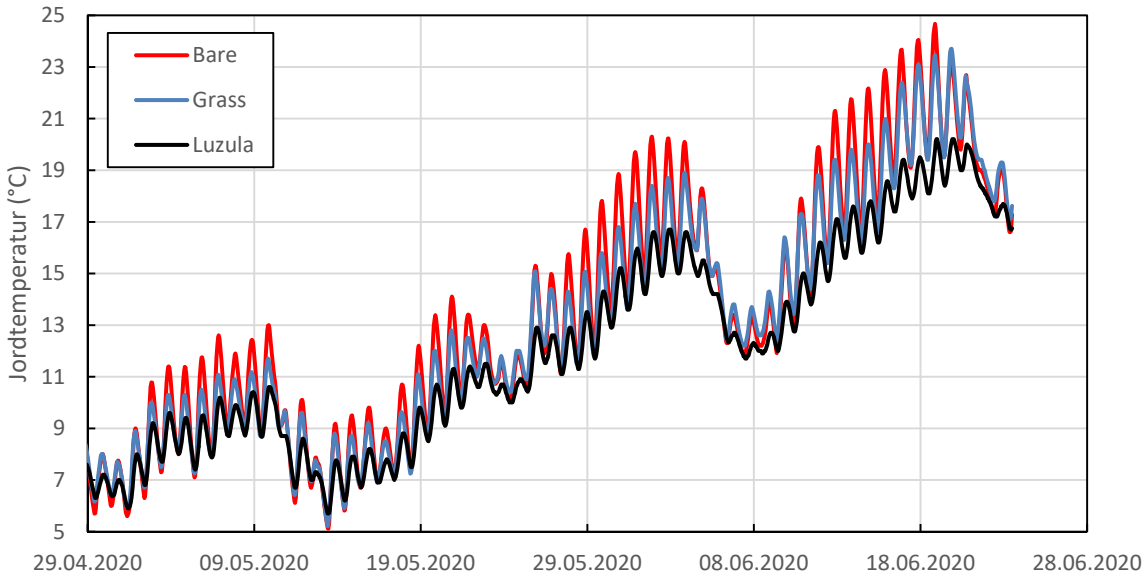
Figur 21 Jordfuktighet gjennom vekstsesongen med ulike plantesammensetninger (Bare=kontroll uten vegetasjon)

Vegetasjon påvirker også jordtemperaturen, dette vises i figur 22 Om vinteren er jordtemperaturen noe høyere enn de andre med Luzula, muligens på grunn av den isolerende effekten av biomasse over bakken. Gress gir tilnærmet lik jordtemperatur som jord uten vegetasjonsdekke.



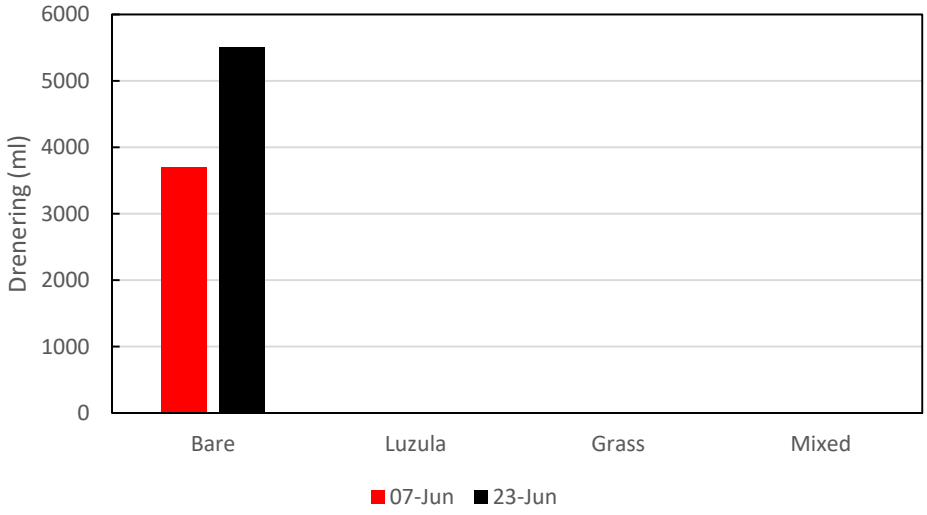
Figur 22 Jordtemperatur gjennom vinteren med ulikt vegetasjonsdekke i vintersesongen (Bare=kontroll uten vegetasjon)

Om sommeren ser vi motsatt effekt, gress og jord uten vegetasjon gir de høyeste jordtemperaturene (Fig. 23). Døgnvariasjonen er tydeligere her enn vinterstid.



Figur 23 Jordtemperatur gjennom sommeren med ulikt vegetasjonsdekke i sommersesongen.

Kun jord uten vegetasjonsdekke gir drenering i bunn av plantekassene (Fig 24), det betyr at nedbør med vegetasjonsdekke balanseres av evapotranspirasjon.



Figur 24.Drenering i plantekassene i sommerperioden, det observeres kun drenering i jorda uten vegetasjon (Bare)..

Vi har dessverre ikke resultatene klare for rotvekst, men disse resultatene vil komme i vitenskapelige publikasjoner senere.

Flom/tørkeforsøk

Alle plantene overlevde de ulike behandlingene med flom og tørke, men mjødurt tålte lengre perioder med oversvømmelse bedre enn hagerøyrkvein 'Karl Foerster', mens hagerøyrkvein 'Karl Foerster' tålte mer tørke enn mjødurt. Disse resultatene vil si at begge arter kan brukes i bunnen og på sidene av regnbedet, mens hagerøyrkvein 'Karl Foerster' også er egnet til bruk øverst i regnbed. Begge artene er egnet til bruk i regnbed i nordiske klimaer, selv om hagerøyrkvein 'Karl Foerster' ikke bør brukes på steder der temperaturen når under -15 ° C. Det ser ut til at mjødurt ikke tåler høye

saltkonsentrasjoner, spesielt ikke dersom de har vært utsatt for mye tørke, hagerøyrkvein 'Karl Foerster' ser ut til å tåle saltforurensing bedre (Jørgensen, 2020).

Planter i regnbedet på NMBU

I motsetning til Bolstadhagen som er svært solrik, er regnbedet på campus Ås skyggefullt. Det er for det meste benyttet norske plantearter som er tilpasset halvskygge/skygge og en relativt næringsrik jord. Blåtopp finner man både i regnbedet Bolstadhagen og regnbedet Ås. I bunnsonen finner vi skogburkne (Athyrium filix-femina), mjødurt (Filipendula ulmaria), sverdiris (*Iris pseudacorus*), fredløs (*Lysimachia vulgaris*) og bekkeblom (*Caltha palustris*), mens det i kantsonen er plantet ballblom (*Trollius europaeus*), storkonvall (*Polygonatum multiflorum*), skogstorkenebb (*Geranium sylvaticum)*, blåknapp (*Succisa pratensis*), storfrytle (*Luzula sylvatica*), blåtopp/blåmolinia (*Molinia caerulea*) og ormetelg (*Dryopteris filix-mas*). Konklusjonen etter 5 år fra etablering, er at de fleste artene har klart forholdene i regnbedet godt og har bydd på variasjon i blomstring og bladverk gjennom vekstsesongen. Bekkeblom og ballblom er trolig for fuktighetskrevende til å fungere godt i områder med fare for langvarig sommertørke. Regnbedet på NMBU er godt drenert og det er så godt som aldri observert stående vann her. Konkurranse blir med tiden en utfordring ved bruk av kraftigvoksende arter som sprer seg mye, slik som mjødurt og fredløs (Vike og Clewig, 2020).

Diskusjon

God infiltrasjonsevne (målt som vannledningsevne, K) er en viktig egenskap for funksjonalitet av regnbed. Denne kan beregnes fra mineraljordsammensetning, for eksempel ved bruk av Hazens ligning eller ved feltmålinger, for eksempel Modified Phillip Dunne's metode. Med basis i mineralkornstørrelssammensetningen i jord fra Bolstadhagen, som er tilnærmet lik den som oppgitt av produsenten, ble den beregnet til 81 cm/time. Ulempen med denne 'teoretiske' metoden er at den ikke får målt vannledningsevnen til porerommene i jorda som er det som bidrar til vannledningsevnen, den tar heller ikke hensyn til det organiske materialet. De målte infiltrasjonshastighetene indikerte lavere vannledningsevne med et gjennomsnitt på ca 9 cm/time da den ble målt i 2017. Dette er rett under den anbefalte nedre grensen for regnbed (Paus og Braskerud, 2013). Da infiltrasjonsevnen ble målt i felt i 2020 hadde den basert på 4 målinger i de to nederste bedene (bed 3 og 4) økt til ca 22 cm/t. Økt infiltrasjonsevne over tid er også observert i forsøksregnbedet på NMBU (studentoppgaver), Ås og i regnbedet på Risvollan, Trondheim (Paus, 2016). Når det gjelder de to øverste bedene (1 og 2), har det trolig oppstått en tiltetting med finmateriale i det øverste jordlaget (se bildeserie i vedlegg A). Det var ikke mulig å dokumentere infiltrasjonsevnen her, men basert på observasjoner har den tydelig blitt redusert. Mangel på tømming av sandfang før innløpet er trolig medvirkende årsak.

Etter at det ble stående vann i det øverste bedet, der jordfukt og temperatursensorene er plassert, har **jordtemperaturen** det siste året ligget mellom 4 og 14 ^{o}C (Fig. 11C), og fluktuert mindre enn året før (0-16^{o}C, Fig. 11B), dette skyldes stabiliserende effekt av det stående vannet på overflaten (Fig. 16). I plantekasseforsøkene på Ås ble liknende effekt (dvs utjevning av jordtemperatur), men i mindre grad, observert i kassene med Storfrytle (Luzula). Fordi vi bare har en temperatursensor kan vi ikke si noe om effekten av det store luftvolumet i Q-bic kassene under regnbedet har påvirke temperaturen i det overliggende jordvolumet. Det er ventet at dette kan ha hatt en kjølende effekt fordi Q-bic volumet er i direkte kontakt med luftvolumet via overløpskummer, der varmetap kunne observeres ved 'hull' i snødekket vinteren 2017/18 (Fig. 14). Redusert jordtemperatur på våren vil i så fall vil være en uønsket effekt fordi det kan gi forsinket vekst for plantene.

Både planter og infiltrasjonsevne ble påvirket av **vinterforhold** og frost i bakken. Vinteren 2017/18 var snørik med en lagret vannmengde tilsvarende 89-207mm ved slutten av snøsesongen. Et islag ble observert i bunnen av flere av regnbedene, og til tross for at snøen hadde smeltet i begynnelsen av april var ikke islaget borte før i slutten av april. Dette har redusert infiltrasjonsevnen mot slutten av vintersesongen og i snøsmeltingen og kan ha gitt problemer med oksygentilgjengelighet for planter,

det utsetter også vekstsesongen. Usikkerhet rundt vinterforhold er trolig en av de viktigste årsakene til at anlegg ble overdimensjonert i utgangspunktet. Samtidig har mangel på vedlikehold trolig gitt problemer med infiltrasjonsevnen i de øverste bedene og dermed redusert funksjonaliteten til anlegget.

Vannbalansen basert på målte vannføring gjennom regnbedet tilsier at kapasiteten er stor nok for vannmengdene som nå går inn på Bolstadhagen. I perioden 2017-2018 ble overvannsledningene fra et større område koblet til Bolstadhagen, likevel viste vannmengder i inn-, ut- (via regnbed) og overløpskummer at regnbedet fortsatt hadde større kapasitet enn det som ble utnyttet, og at en større andel av vann til innløpskummen kunne ledes til regnbedet. Data fra juni 2018 – juni 2019 viste det samme. Det siste året derimot var det en brå økning i vannmengder fra regnbedet 15.oktober 2019, det har ved etterkontroll av målesensoren i denne kummen vist seg at den brå økningen skyldtes feil på sensoren og vi må se bort fra disse dataene. Vi har derfor ikke tatt med måledata fra regnbedet etter 14.10.2019. Basert på akkumulerte vannmengder per dag for utvalgte nedbørsepisoder (nedbørstasjonen på Sletta, Drammen) der det er registrert vann til overløp estimerer vi at tilbakeholdelsen i regnbedet (jordfilter og kassebasseng) er mellom 79-97%. Dette vannet infiltrerer til dels og fordamper også i vekstsesongen. For hele måleperioden, forutsatt at målere i inn- og utløpskummer er riktige, viser vannbudsjettet at 95% av vannet som kommer inn på regnbedet via innløpskummen holdes igjen i regnbedet.

Basert på vannanalyser er det lite forurensinger i vannet som infiltrerer regnbedet, det er heller ikke observert utlekking av næringsstoffer fra jordfilteret som kan oppstå i konstruerte jordfiltere pga innblanding med kompost. Dette indikerer et godt valg av filtermedium brukt i anlegget. Det er ikke observert høye saltkonsentrasjoner i snø og smeltvann som infiltrerer regnbedet. Man bør likevel fortsette med målinger av elektrisk ledningsevne i vannet, og følge opp om det skjer endringer i vannkvalitet videre. Det ble ikke funnet PAH i innløpsvannet ved Bolstadhagen, men det ble målt i utløpsvannet på tre ulike datoer gjennom vinteren, ellers ble det hverken målt PCB eller oljeforbindelser i vannet. Kilden til PAH må undersøkes nærmere, dvs. filtermediet og Q-bic kassene.

Generelt kan det ta noen år før nyplantinger er godt etablerer og plantene er utvokst. Fra mai 2018 ble det ekstremt varmt og tørt og dette varte til begynnelsen av august, dette gav svært dårlig plantevekstvekst utover sommeren. Det var tydelig forskjell mellom arter i løpet av sesongen. Til tross for vanning gjennom sommeren var det først etter større nedbørmengder i august at plantene kom i god vekst. Det ser ikke ut til at noen av plantene har gått ut, bortsett fra de som har fått tråkkskader (nær bordtenninsbord) Salttoleranse kunne ikke vurderes da det var lite salt i vann som infiltrerte regnbedet denne vinteren.
Praktstorkenebb Johnson Blue (*Geranium himalayense* 'Johnson Blue') har hatt dårlig overlevelse i regnbedene i Bolstadhagen, og bør derfor ikke brukes videre i denne type miljø. Spesielt gressene (slik som Hagerøyrkvein 'Karl Foerster'/hybridrørkevien, svenskegras og blåtopp) og starren (Carex spp) har klart seg bra etter 3 sesonger (se Vedlegg A3 for fullstendig liste over arter). For en enda bedre evaluering og sikrere konklusjoner for egnethet av ulike planter for regnbed bør bedene følges opp over enda flere vekstsesonger. Både sommer (tørke/nedbør) og vinterforhold (frost og isforhold) varierer over år, og ved en lengre oppfølging vil man kunne få vurdert de ulike plantene under ulike forhold. Videre bør effekt på infiltrasjonskapasitet og rotutvikling også vurderes. En mer systematisk studie av plantene der man har like forhold (i regnbedet vil terreng, jord dyp, sol eksponering og tråkk være ulike), gi effekter som gir en objektiv vurdering av hvilke planter som egner seg best. Vi anbefaler derfor at oppfølging av anlegget sammen med mer systematiske studier av planter til bruk i regnbed videreføres. Attraksjonsverdi er ikke vurdert generelt, men i forhold til hvordan plantene fremstår, var både isbrann og tørke faktorer som virket negativt inn på plantene, men dette kan kompenseres med

vanning og gunstig vær. Regnbedet fremstår som et positivt element i skolegården og for turgåere i området.

Konklusjon

Undersøkelsene viser at Bolstadhagen selv med noe mangelfull oppfølging, f.eks. tømming av sandfang som kan ha gitt transport av sedimenter inkludert finstoff inn på regnbedet, har en positiv effekt på flomreduksjon, og at store vannmengder basert på vannbalanse beregninger kan holdes tilbake i Bolstadhagen. Dataene tyder også på at det fortsatt er ubrukt vannlagringskapasitet i magasineringsvolumet under selve regnbedet (Q-bic). Ved store nedbørhendelser, går vann til overløp, men det er fortsatt en reduksjon i vannmengde på minst 50% mellom innløpsmengder og vannmengder til overløp (Fig. 11). Trolig kan man fortsatt optimalisere mengder vann til anlegget og vannføringsgrense som gir overløp, men slik som anlegget ser ut nå med stående vann over lang tid i de to øverste bedene, vil det ikke være tilrådelig å øke vannmengden til regnbedet. Videre undersøkelser vil avdekke om det er mulig å forbedre infiltrasjonsevnen i denne delen av Bolstadhagen.

Det er veldig positivt at kommunen måler og lagrer data om vannføring i kummer, samt nedbør og temperatur på to lokaliteter i kommunen. Fordi vannmengdene måles per døgn, var det ikke mulig å beregne det detaljerte hendelsesforløpet under kortere nedbørintensive episoder. Dersom man skal beregne forsinkelse av flomtopp og reduksjon av vannmengder i regnbedet under spesifikke hendelser må tidsoppløsningen økes ved nedbørepisoder (minutt). Dette vil kunne gi svært nyttige data for å kvalitetssikre modellverktøy som brukes til å beregne dimensjoneringsgrunnlag for design av denne typen anlegg. Dette vil gjøre dataene enda mer nyttige med tanke på å kunne overføre erfaringene fra Bolstadhagen til andre lokaliteter i Drammen og andre kommuner.

Resultat av planteforsøkene viser at det er det er variasjon mellom arter og hvordan de takler de ulike forholdene i et regnbed. Ulike arter tåler fuktighet og tørke ulikt, og dette kan igjen påvirke hvor godt de tåler frost og salt. Det er viktig å passe på at vannet dreneres bort og at plantene ikke blir stående i vann for lenge av gangen.

Som en oppfølging til dette prosjektet, anbefaler vi at det utføres spørreundersøkelser eller intervju om erfaringer med regnbedet både blant brukere (elever, de som bor i området) og de som følger opp driften ved anlegget. Dette kan for eksempel gjøres gjennom Masteroppgaver.

Som en generell anbefaling for etablering av regnbed foreslår vi å bruke plantearter som naturlig vokser i Norge og trives med variabel vannstand, for eksempel langs elvebredder.

Referanser

Cederwall, K, og Eriksson, A (1977) Dimensionering av infiltrationsmagasin enligt regnenvelopemetoden, Väg og Vattenbyggaren nr. 4, 1977

Jørgensen, O. (2020). Suitability of Calamagrostis x acutiflora 'Karl Foerster' and Filipendula ulmaria for use in raingardens in Nordic climates. Master thesis, NMBU. 70 sider.

Lindum, O, Endresen, S., Tønder Smith, B. og Thorolfsson, S. (2012), Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportsystem, Norsk vann rapport nr. 193/2012

Nestingen, R. S. (2007). The Comparison of Infiltration Devices and Modification of the Philip-Dunne Permeameter for the Assessment of Rain Gardens. Ph.D. thesis, University of Minnesota.

Paus, K. & Braskerud, B.C, (2013), Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold, *VANN*, 01, 54-67

Paus, K.H. (2016). Toxic Metal Removal and Hydraulic Capacity in Bioretention Cells in Cold Climate Regions. PhD, Norwegian University og Science and Technology.

Schmidt, Ingvild, French, HK, Mæhlum, T. (2019). Infiltrasjon av urbant overvann i grøntanlegg. *VANN,* 54 (2) s. 89-101

Solheim, E.B., French, H.K. og Braskerud, B.C. (2017). Måling av infiltrasjon fra overflaten for bruk av åpen LOD i praksis. *VANN,* 03, 278-290.

Vannebo, D. (under arbeid, planlagt ferdigstilt 2021) Water quality affected by interactions with filter media in raingardens, masteroppgave, MINA, NMBU

Vike, E og C. S. Clewig (2020) Hjemlige arter i regnbedet på Campus Ås, Park & Anlegg. Nr. 3, 2020. s. 40-44

Vedlegg

Vedlegg A1 Bildeserier, vegetasjonstilstand i perioden 2017-2020

Bildeserie - Bed 1



17.10.17, Foto: Sissel Torre



20.04.18, Foto: Line Rosef



29.05.18, Foto: Line Rosef



13.06.18, Foto: Line Rosef



22 .08.2018, Foto: Janne D. Ruud



22 .08.2018, Foto: Janne D. Ruud



06.05.2020, Foto: Line Rosef



06.05.2020, Foto: Line Rosef

Bildeserie - Bed 2



17.10.17, Foto: Sissel Torre



06.05.2020, Foto: Line Rosef



29.05.18, Foto: Line Rosef



13.06.18, Foto: Line Rosef

	
22 .08.18, Foto: Janne D. Ruud	06.05.2020, Foto: Line Rosef

Bildeserie - Bed 3



17.10.17, Foto: Sissel Torre



29.05.2018, Foto: Line Rosef



13.06.2018, Foto: Line Rosef



13.06.2018, Foto: Line Rosef



22 .08.18, Foto: Janne D. Ruud



06.05.2020, Foto: Line Rosef



06.05.2020, Foto: Line Rosef

Bildeserie - Bed 4



17.10.17, Foto: Sissel Torre



20.04.18, Foto: Line Rosef



29.05.2018, Foto: Line Rosef



29.05.2018, Foto: Line Rosef



13.06.2018, Foto: Line Rosef



13.06.2018, Foto: Line Rosef



22 .08.18, Foto: Janne D. Ruud



22 .08.18, Foto: Janne D. Ruud

	
06.05.2020, Foto: Line Rosef	06.05.2020, Foto: Line Rosef

Vedlegg A2 Skjøtsel sommeren 2018

Tabell 1. Oversikt over vanning og stell sommeren 2018. Det kan være at ikke all vanning er rapportert, spesielt ved start på sesongen, Stener Sørensen AS.

Dato	**Kommentar**
15.05.2018	Bolstadhagen- gress klipping, luking
24.05.2018	vanning og luking
31.05.2018	Vanning
08.06.2018	Vanning
13.06.2018	Vanning
19.06.2018	Trimmer, luking
03.07.2018	Vanning
09.07.2018	vanning
13.07.2018	Vanning
20.07.2018	Vanning
23.07.2018	Klipping og luking
26.07.2018	vanning
30.07.2018	Vanning
15.08.2018	Klipping
21.08.2018	vanning

Vedlegg A3 Planteplan Bolstadhagen



Vedlegg B Sikteanalyser

Sikteanalyse < 2mm

Tabell 2 Resultat av sikteanalyse av prøve fra regnbed 1, Bolstadhagen, Drammen kommune

Regnbed 1			
Total vekt før sikteanalyse (g)	200	Total vekt etter sikteanalyse (g)	Ble ikke veid.
mm	g	%	kumulativ %
0-0,063	3,1	1,55	1,55
0,063-0,125	9,5	4,75	6,3
0,125-0,25	35,4	17,7	24
0,25-0,5	60,4	30,2	54,2
0,5-1,0	63,5	31,75	85,95
1,0-2,0	27,2	13,6	99,55

Tabell 3 Resultat av sikteanalyse av prøve fra regnbed 2, Bolstadhagen, Drammen kommune

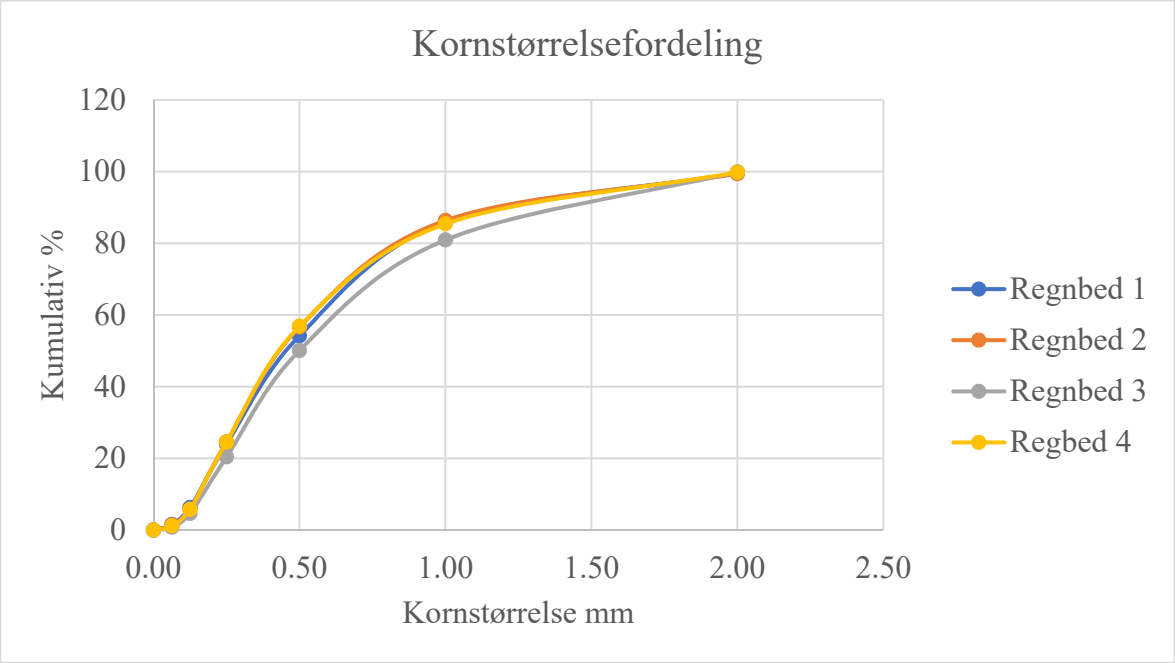
Regnbed 2			
Total vekt før sikteanalyse (g)	225,1	Total vekt etter sikteanalyse (g)	223,2
mm	g	%	kumulativ %
0-0,063	3,2	1,4	1,4
0,063-0,125	9,9	4,4	5,8
0,125-0,25	42,3	18,8	24,6
0,25-0,5	72,1	32,0	56,6
0,5-1,0	66,9	29,7	86,4
1,0-2,0	29,3	13,0	99,4

Tabell 4 Resultat av sikteanalyse av prøve fra regnbed 3, Bolstadhagen, Drammen kommune.

Regnbed 3			
Total vekt før sikteanalyse (g)	299,3	Total vekt etter sikteanalyse (g)	298,5
mm	g	%	kumulativ %
0-0,063	2,4	0,8	0,8
0,063-0,125	11,5	3,8	4,6
0,125-0,25	47,1	15,7	20,4
0,25-0,5	88,9	29,7	50,1
0,5-1,0	92,3	30,8	80,9
1,0-2,0	56,8	19,0	99,9

Tabell 5 Resultat av sikteanalyse av prøve fra regnbed 4, Bolstadhagen, Drammen kommune.

Regnbed 4			
Total vekt før sikteanalyse (g)	239,8	Total vekt etter sikteanalyse (g)	238,9
mm	g	%	kumulativ %
0-0,063	2,9	1,2	1,2
0,063-0,125	10,9	4,5	5,8
0,125-0,25	45	18,8	24,5
0,25-0,5	77,5	32,3	56,8
0,5-1,0	68,5	28,6	85,4
1,0-2,0	34,5	14,4	99,8



Figur 1 Resultat av sikteanalyse som kumulativ kornstørrelsesfordeling individuelle regnbed Bolstadhagen, Drammen kommune.

Vedlegg C. Hydraulisk ledningsevne

Tabell 6 Tall brukt i utregning av infiltrasjonshastigheten i regnbed 1 i Regnbed Bolstadhagen, Drammen kom.

Regnbed 1		
Tid (time)	h (cm)	K (cm/time)
0,125	18,7	
0,21	16,7	24
0,3	15	20,4
0,375	13,5	18

0,46	11,8	20,4
0,54	10,6	14,4
0,625	9,2	16,8
0,83	6,1	14,88

Tabell 7 Tall brukt i utregning av infiltrasjonshastigheten i regnbed 2 i Regnbed Bolstadhagen, Drammen kom.

Regnbed 2		
Tid (time)	h (cm)	K (cm/time)
0	20,5	
0,08	20,1	4,8
0,16	19,7	4,8
0,25	19,6	1,2
0,3	19,4	2,4
0,4	19,3	1,2
0,5	19,1	2,4
0,6	18,7	4,8

Tabell 8 Tall brukt i utregning av infiltrasjonshastigheten i regnbed 3 i Regnbed Bolstadhagen, Drammen kom.

Regnbed 3		
Tid (time)	h (cm)	K (cm/time)
0	31,7	
0,17	31,7	0
0,3	31,7	0
0,5	30,7	6
0,7	29,1	9,6
0,8	29	0,6
1	28,2	4,8
1,17	27,4	4,8

Tabell 9 Tall brukt i utregning av infiltrasjonshastigheten i regnbed 4 i Regnbed Bolstadhagen, Drammen kom.

Regnbed 4		
Tid (time)	h (cm)	K (cm/time)
0	20	
0,008	20	0
0,017	20	0
0,03	19,6	24

0,05	19,2	24
0,07	19	12
0,08	18,9	6
0,17	17,8	13,2
0,25	16,6	14,4
0,3	15,7	10,8
0,42	14,7	12
0,5	13,7	12
0,58	12,8	10,8
0,65	12	12

Vedlegg D. Tørrstoff og Glødetapsberegninger

Tabell 10 Informasjon tilhørende glødetapstest utført på prøver fra Regnbed Bolstadhagen, Drammen kom.

Informasjon		
Prøve nr.	Digel nr.	Vekt digel (g)
1 = regnbed 1	17	14,86
2 = regnbed 2	47	13,23
3 = regnbed 3	71	13,81
4 = regnbed 4	167	12,34

Tabell 11 Vekt av prøver etter tørking ved romtemperatur, Regnbed Bolstadhagen, Drammen kommune.

Vekt etter tørking ved romtemperatur (tørkeskap 45°C)	
Vekt digel + prøve (g)	Vekt prøve (g)
34,42	19,56
29,83	16,6
27,17	13,36
25,71	13,37

Tabell 12 Vekt av prøver etter tørking ved 105°C, Regnbed Bolstadhagen, Drammen kommune.

Vekt etter tørking ved 105°C	
Vekt digel + prøve (g)	Vekt prøve (g)
32,31	17,45
29,57	16,34
27,1	13,29
25,66	13,32

Tabell 13 Vekt av prøver etter glødetap (550°C), Regnbed Bolstadhagen, Drammen kommune.

Etter glødetap ved 550°C	
Vekt digel + prøve (g)	Vekt prøve (g)
31,38	16,52
29,06	15,83
26,63	12,82
25,18	12,84

Tabell 14 Resultat av glødetap, Regnbed Bolstadhagen, Drammen Kommune.

Resultat	
Tørrstoff (%)	Organisk materiale (%)
89,21	5,33
98,43	3,12
99,48	3,54
99,63	3,60

Vedlegg E Dimensjoneringsgrunnlag

Fra kommunen: Vidar Jellum, VA-consult, Grunnlagsberegninger

15065 Bolstadhagen

BEREGNING AV FORDRØYNINGSMAGASIN *Tabell (50 år)*

		Phi,	0,85
	17,80	Phi,	0,55
		Phi,	0,1
Totalt areal(daa)	17,80		

Phi gj.snitt = 0,55

Max. tillat utløp= 0 l/s .da = ***30,00 l/s***

Regnvarighet minutter	Regnvarighet t(s)	IVF * (50-års regn) mm/min	Intensitet (50-års regn) l/s*ha	Innløp l/s	Innløp * 1.2 Miljø F. l/s	Innløp m3	Utløp m3	Magasinvolum (Innløp - Utløp) m3
5	300	1,74	290,4	284,3	341,2	102,3	9,0	93,349
10	600	1,35	224,4	219,7	263,6	158,2	18,0	140,175
15	900	1,12	186,7	182,8	219,3	197,4	27,0	170,402
20	1200	0,99	165,0	161,5	193,8	232,6	36,0	196,610
30	1800	0,78	129,9	127,2	152,6	274,7	54,0	220,692
45	2700	0,61	101,4	99,3	119,1	321,6	81,0	240,637
60	3600	0,51	84,4	82,6	99,2	357,0	108,0	248,951
90	5400	0,37	61,6	60,3	72,4	390,8	162,0	228,785
120	7200	0,30	49,6	48,6	58,3	419,5	216,0	203,545
180	10800	0,22	36,9	36,1	43,4	468,2	324,0	144,181
360	21600	0,14	23,2	22,7	27,3	588,7	648,0	-59,284
Net.MagasinV					0,0			**249,0**

	u/sikkerhetsfakt.	m/sikkerhetsfakt.
Våtvolum magasin(m3)	**249,0**	**298,7**

Kasset eller steinmagasin:

Porevolum (Typisk 0,95 ved kassetter og ca.0,3 ved stein)	0,97	
Nødvendig volum	**308,0**	m3
Høyde	0,6	m
Bredde:	19	m
Lengde:	**27,0**	m

IVF-kurve 19710 - Asker er benyttet. Dimensjonerende intensitet er regnskyll med 50 års gjentaksintervall