

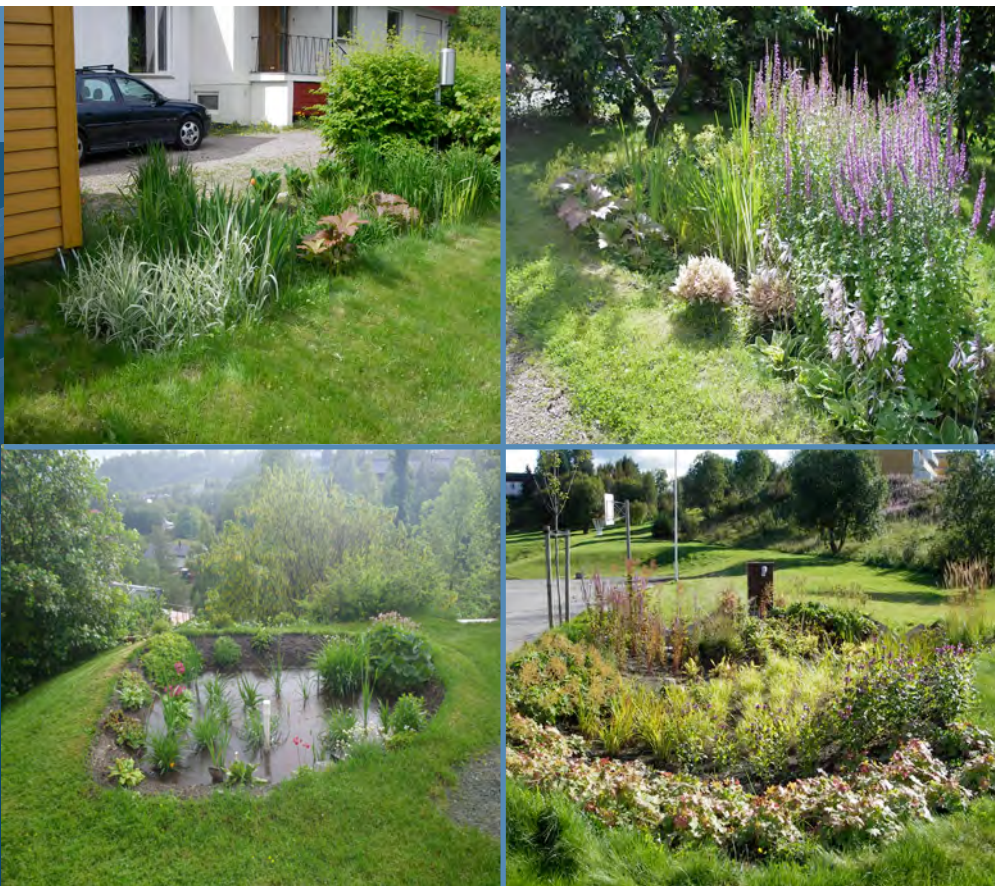


Anlegging av regnbed

En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed

3
2013

R
A
P
P
O
R
T



Exflood



Anlegging av regnbed

En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed

NVE rapport nr 3-2013

Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed.

Utgitt av: Norges vassdrags- og energidirektorat

Forfattere: Bent C. Braskerud, Kim H. Paus og Arvid Ekle

Trykk: NVEs hustrykkeri

Opplag: 50 + PDF

Forsidefoto: B.C. Braskerud og R.A. Grande

ISBN: 978-82-410-0871-9

ISSN: 1501-2832

Sammendrag: Regnbed er et tiltak for Lokal OvervannDisponering (LOD). Teknologien er relativt ny i Norge, og foreløpig er det anlagt relativt få anlegg. Det er imidlertid gjennomført undersøkelser i 4 testanlegg i Oslo og i Sør-Trøndelag som viser at regnbed kan fungere godt også under norske forhold.

Denne rapporten er en billedkavalkade over anleggingen av testanleggene, og er ment som et supplement til en artikkel i tidsskriftet Vann: *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold*, av Paus og Braskerud (Vann nr 1/2013).

Vårt håp er at flere regnbed blir anlagt og evaluert, slik at teknologien kan utvikles til å bli like populær som i Nord-Amerika og Australia. Ved å vise bilder av anleggingen håper vi at terskelen for å prøve tiltaket reduseres.

Emneord: Regnbed, raingarden, bioretention, lokal overvannsdisponering (LOD), blågrønt tiltak, flomdemping, oversvømmelse, urbanhydrologi, mottiltak for klimaendring og fortetting.

Norges vassdrags- og energidirektorat
Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstua
0301 OSLO

Telefon: 22 95 95 95
Telefaks: 22 95 90 00
Internett: www.nve.no

Mars 2013

Innhold

Forord	4
Extended summery	5
1 Anlegging av regnbed	9
1.1 Innledning	9
1.2 Huskeliste ved anlegging	10
1.3 Test-regnbed i Norge	11
2 Langmyrgrenda 34b, Oslo	13
2.1 Anlegging av L34b	13
2.2 Beplanting	16
2.3 Forsøksanlegget	17
3 Nils Bays vei 21, Oslo	20
3.1 Anlegging av NB21	20
3.2 Beplanting	26
3.3 Forsøksanlegget	27
4 Hammondsvei 8, Melhus	28
4.1 Anlegging av H8	28
4.2 Beplantning	30
4.3 Forsøksanlegget	31
5 Risvollan brl., Trondheim	32
5.1 Anlegging av RIS	32
5.2 Beplanting	36
5.3 Forsøksanlegget	37
5.4 Vadi	39
6 Forbedringspotensial	40
7 Takk	41
8 Referanser	42
9 Vedlegg	43
9.1 Planteliste	43
9.2 Stell av regnbed	44
9.3 Dimensjonering og vurdering av ytelse	45
9.4 Bruk av MPD (Modified Phillip-Dunne infiltrometer)	47
9.5 Måling av vannstand i V-overløp	49

Forord

Klimaet er i endring. Økt årsnedbør de siste hundre år er allerede observert de fleste steder i landet, og modellberegninger viser at trenden vil fortsette (NOU 2010:10)¹. Trolig vil framtidig regn forekomme som mer intense styrtregn.

Parallelt pågår en økt urbanisering; hager og parker bygges ned og byene vokser i størrelse og omfang. Resultatet er flere tette flater, der vannet har minimal evne til å infiltrere grunnen.

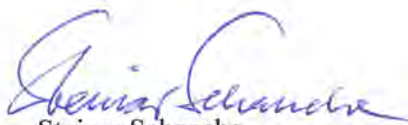
Disse to prosessene gir samme resultat: Mer vann på tette flater som skal transporteres til elver og innsjøer. Dette gir store utfordringer for oss som bor i byer og tettsteder. På vegen mot havet kan dette vannet gjøre stor skade, fordi terrenget vanligvis ikke er tilpasset håndtering av vann på overflaten når rørkapasiteten er oversteget.

Lokal overvannsdiskonering (LOD) er en samlebetegnelse for metodikk som søker å håndtere overvann lokalt. Norsk vann har i rapport 162/2008 gitt en oversikt over flere mulige løsninger². Det er imidlertid mangel på gode eksempler prøvd ut for norske forhold. Denne rapporten er et bidrag i så måte, og omhandler anlegging av regnbed. Regnbed er et populært tiltak i andre land. Vi håper informasjonen som er framskaffet kan bidra til å gjøre denne teknologien anvendbar i Norge. En PDF-versjon av rapporten kan lastes ned fra NVEs hjemmeside³.

Oslo, mars 2013



Morten Johnsrud
avdelingsdirektør



Steinar Schanche
Seksjonssjef

¹ Noregs offentlege utgreiingar (NOU), *Tilpassing til eit klima i endring. Samfunnet si sårbarheit og behov for tilpassing til konsekvensar av klimaendringane* (NOU 2010:10).

² Norsk Vann. *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, Rapport, 162/2008.

³ <http://www.nve.no/no/Om-NVE/Publikasjoner>. Velg år: **2013**, velg serie: **rapport**. Rapport nr. **3**

Extended summery

Facing the threat of increased heavy rainfalls a *3-point strategy* is suggested (Lindholm et. al, 2008): 1) retain runoff from small rain event on site, 2) detain runoff from heavy rain as far as possible, and 3) convey runoff for extreme rainfall in a safe manner. Raingardens are a possible measure to hinder category 1 and 2 rainfalls becoming harmful floods in small, urban watersheds.

Raingardens are constructed as shallow vegetated depressions and are typically covering 5% of the watershed area. Runoff is stored at the surface before it percolates to the ground or discharged into the stormwater system (Fig. 1). Flood risk is reduced through retention and volume reduction of the runoff. This report is an extension of the paper: *Suggestions for designing and building raingardens for Norwegian conditions*, published in Vann no1/2013 (in Norwegian).

Raingardens have become a popular stormwater management practice in many parts of the world, but are so far not implemented as a common practice in Norway. In order to make raingardens a more appealing practice in Norwegian cities and communities, this report seeks to give guidance on how to build raingardens by showing how four full-scale pilot raingardens were build. The four raingardens are located in Oslo (L34b, and NB21), and in mid-Norway (H8 and RIS)⁴.

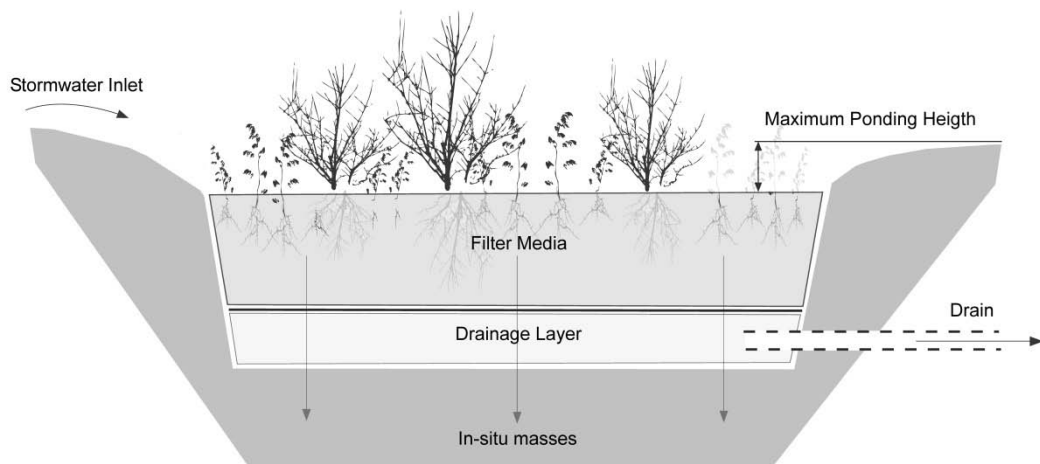


Figure 1. Raingardens receives runoff, detain it for some time through surface storage and infiltration. If clay soils dominates, excavating, replacing the filter media, and also drainage may be necessary (after Erle Stenberg)

Table 1 shows the surface area, surface volume, filter media volume, type of watershed, ratio raingarden:watershed and if the raingarden is under-drained. NB21, H8, and RIS are

⁴ NB21, H8 and RIS were built as a part of the EU Interreg4b project SAWA. The Municipality of Oslo and *Cities of the future* paid 50 % of NB21 and RIS, respectively. NVE paid 50% of the experimental equipment.

constructed on clay soils and therefore have drain pipes installed. The local (autochthonous) soil was excavated and filled with new filter media classified as loamy sand. Figure 3 show the four raingardens 2 to 4 years after construction. Figure 4 illustrates differences in media layering and drain pipe construction for the four facilities. Furthermore, Table 2 summarizes soil characteristics and organic matter content (*i.e.*, lost of ignition) for the respective filter media compositions.

L34b

L34b was constructed in 2006, and is most likely the first raingarden in Norway. It receives water from a gravel and asphalt backyard. As the local soil is well drained (sandy loam moraine), the building was relatively easy and inexpensive; work load was mainly related to the construction of a low brim for water retention (Fig. 5 and 6) and vegetation establishment. Large stones available on site were put underground as a stone box to increase the storage capacity (Fig. 5). Based on our results L34b has the highest infiltration capacity of the four pilot facilities.

NB21

NB21 was constructed in a private garden in 2009, receiving runoff from a roof (Fig. 19). Clay soil made changing the filter media necessary (Fig. 20-26). The drainage layer of sand was sloped so that a part of it reached the raingarden surface (Fig. 4 and 22). This was done to ensure at least some infiltration in case the media would be clogged. A fiber mesh was applied to divide the drainage layer from the filter media layer (Fig. 23). Retrospective, this was probably unnecessary since both layers are sandy. The filter media was created as a mixture of sand and compost. Finally, 5 % of the local garden soil with good quality was added (Fig. 24 and 25). A 100 mm in diameter drainage pipe lead water to the stormwater network (Fig. 26 and 27). Before entering the stormwater system, the drainage pipe is blocked and two small pipes reduce the possible maximum outlet discharge from the raingarden (Fig. 27). The drainage pipe starts 5 cm below the outlet (Fig. 28). The pipe perforation starts approx. 1 m from the end; however, the lid is perforated. If water entering exceeds the infiltration rate the available surface storage will be filled up quickly. In such case, some of the water could enter the drainage system and fill up the pore volume from within.

H8

H8 was also constructed in 2009 and receives runoff from a roof. As the original soil is silt loam, drainage was necessary. Since it was difficult to use an excavator on the plot, the homeowner dogged out a major part of the drainage layer and filter media layer by hand (Fig. 4 and 32). Loamy sand was refilled as drainage layer, and covered by a fiber mesh (Fig. 34), before a plunge well was installed as an outlet. Note how the grass was peeled off in a gentle way before making the brim, saving the trouble of sawing new grass (Fig. 33). Some of the local soil (loamy sand) was refilled (Fig. 4 and 35). As a result, the infiltration capacity in H8 is rather low. The top layer was loamy sand. A vertical sandy layer, connecting the top and drainage layer would most likely have increased the infiltration capacity.

RIS

RIS was built in 2010, and receives water from a playground (asphalt) and lawn on clay soils. The local soil was excavated (Fig. 40 and 41). Before refilling with filter media (mixture of loamy sand and compost), a 1.5 mm PP membrane was placed to mitigate any possible intrusion of ground water to the raingarden (fig. 42). RIS has no distinct drainage layer (Fig. 4). When refilling the filter media the soil was compacted a little too much (Fig. 44). As a result, the infiltration capacity is not satisfying. A swale (vadi) collects the stormwater and leads it to the raingarden (Fig. 54 and 55). Figure 56 gives an overview over the complete raingarden area including the swale.

Infiltration Capacity

Using results from MPD (Modified Phillip-Dunne) infiltrometer measurements (Appendix 9.4), all pilot raingardens exceeds the recommendations on infiltrating capacity of 2.54 cm/hour set by Prince George County, USA (2007). However, the infiltration capacities vary among the facilities: from 2.6 to 69.3 cm/h for L34b, from 3.8 to 121 cm/h for NB21, and from close to 0 to 16.2 cm/h for RIS. MPD measurements have not yet been conducted on H8, however, the results from controlled runoff tests indicate that the infiltration capacity is about 8 cm/h.

Pretreatment

Pretreatment of the inlet water can be useful if sediment and litter is expected. A slab of slate was put at the inlet in L34b (Fig. 8). RIS had a small inlet pond (Fig. 46).

Vegetation

We tried to use wetland vegetation, like Typha, in some of the raingardens (Fig. 11 and 36), but the raingardens were not wet enough for these types of species. Even though we have tried more than 30 species (e.g., Fig. 18, 30, 37, 47 and appendix 9.1), we have not done any systematic evaluation of vegetation, and can not give any good advice in that respect. However, plants did need some nursing; weeding, irrigation and a little fertilizer to get started.

Instrumentation

All sites are evaluated as possible measures for retaining stormwater. L34b and RIS have V-notches placed in the inlet and outlet configurations (Fig. 15 and 17, and 46 and 47). Water entering and leaving is monitored in 1 minute intervals. All raingardens have ground water pipes with pressure gauges for monitoring the water table in the filter media (Fig. 16, 23, 36, 52). For L34b and RIS, data are automatically sent to a Sutron logger (Fig. 51) For NB21 and H8 RuggedTroll@100 loggers are used.

For the raingardens with drain pipes it is possible to monitor the water leaving the drainage system. In RIS the drain pipes enter a water resistant plywood box with a V-notch (Fig. 49). For NB21 and H8 the bucket-time method can be used in experimental campaigns (see below). Short time precipitation (Lambrecht) and air temperature are measured close to the station L34b and RIS (Fig. 18). NB21 is situated a few km from the Norwegian met. office and L34b. H8 has a simple rain gauge close by.

For L34b, NB21 and H8, artificial storms were made by entering water with high intensities (5-50 yr rain in Oslo). Results showed that even small raingardens can reduce runoff discharge peaks with 70 % if the ratio raingarden:watershed is 7 % (Braskerud et.al, 2012).

Preliminary Recommendation

Figure 2 summarizes up some of our design recommendations for making a raingarden: Maximum water depth 15-30 cm, filter media depth > 40 cm. Infiltration rate (K_s) > 10 cm/h. In addition for clay soils: Drainage layer > 30 cm, and drain pipe diameter \geq 10 cm.

Følgende institusjoner og prosjekter har bidratt til å virkeliggjøre disse 4 regnbedene. Se også kapittel 7 Takk:



Denne rapporten kan refereres til som:

Braskerud, B.C., K.H. Paus og A. Ekle (2013). *Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed*. NVE rapport 3/2013, Oslo, Norge.

For citation in English:

Braskerud, B.C., K.H. Paus and A. Ekle (2013). *Construction of raingardens. A pictorial cavalcade over 4 constructed raingardens in Norway*. NVE report 3/2013, Oslo, Norway.

1 Anlegging av regnbed

1.1 Innledning

Regnbed er ett lokalt tiltak for overvannshåndtering som mottar overvann fra hustak, gårdsplasser, P-areal, veger og andre mer eller mindre tette flater. Anlegget er utformet som en vegetert forsenkning i terrenget og består av et filtermedium med god infiltrasjonsevne. Dette fremmer at vann som mottas holdes tilbake i overflatemagasinet, før det infiltreres ned gjennom filtermediet. Figur 2 viser oppbyggingen av et regnbed og navn på de viktigste komponentene.

Etter at begrepet regnbed (eng. rain garden og bioretention) oppstod i Maryland, USA på slutten av 80-tallet har det i dag blitt et meget populært tiltak for disponering av overvann i Nord Amerika og Australia. En sterk drivkraft for den omfattende anvendelsen av regnbed er at tiltaket regnes å være økonomisk besparende sammenliknet med konvensjonelle løsninger på overvannshåndtering. En viktig egenskap ved regnbed er at de ofte lar seg ettermonteres i nedbørfelt med overvannsutfordringer. I tillegg kan regnbed tilbakeholde forurensninger i overvannet, øke biodiversiteten, forbedre og forsterke grønnstrukturen og opplevelsen av byen, beskytte urbane vassdrag mot erosjon, etterfylle grunnvannet og ikke minst; involvere befolkningen i løsningsrettet adferd.

Det er imidlertid også utfordringer med anlegging av regnbed. Sett i forhold til tilknyttet nedbørsfelt er regnbed relativt arealkrevende. Videre, hvis stedegne masser er tette (for eksempel leire), må stedegne massene byttes ut som tilslag i filtermediet og regnbedet må i tillegg dreneres. Regnbed krever vedlikehold. Graden vil avhenge av plantevalg og tilførsler av partikler og andre forurensninger gjennom overvannet. På tross av disse utfordringene viser erfaringer fra regioner med temperert klima at regnbed, sammenliknet med konvensjonelle løsninger, er økonomisk gunstige (PGC 2007 og MPCA 2008). I Norge er det i tillegg en del potensielle utfordringer rundt virkningsgraden av regnbed i vinterhalvåret pga. frost, vinterhydrologi, veisalt, og strøing.

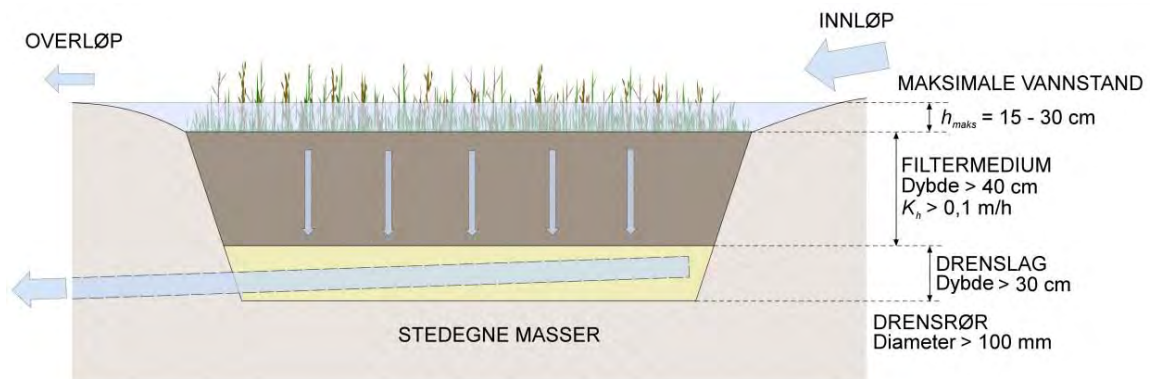
Norsk vann (Lindholm m.fl., 2008) anbefaler bruk av *3-punktstrategien* for håndtering av overvann: 1) Fang opp og infiltrer små regn, 2) forsink og fordrøy større regn, og 3) sikre trygge flomveger ved styrtregn. Hvilke nedbørhendelser som kommer innen hver kategori vil variere med mengde og intensitet, og ha regionale forskjeller. Regnbed kan i utgangspunktet bidra i pkt. 1 og 2.

Et regnbeds mulige størrelse avgjøres ofte av tilgjengelig areal. Som et utgangspunkt vil vi foreslå at de lages som 5-10 % av nedbørfeltets areal. Ettersom regnbed er ett tiltak for håndtering av mindre nedbørsmengder er det viktig å være klar over at alle regnbed, uansett størrelse, vil bidra til å redusere overflateavrenning. Ønsker man derimot å oppnå spesifikke krav i forhold til 3-punktstrategien, trenger man kunnskap om forventede nedbørintensiteter, nedbørfeltets størrelse og karakteristikk, og grunnforhold.

1.2 Huskeliste ved anlegging

På bakgrunn av utprøvinger har vi laget denne lista som kan tjenes om en huskeliste for etablering av regnbed (Paus og Braskerud, 2013), i tillegg til figur 2:

1. Kartlegg vannveier for å finne egnet lokalitet. Velg tilstrekkelig avstand til bygninger.
2. Bestem nedbørsfeltets areal, gjennomsnittlig avrenningskoeffisient og dimensjonerende nedbørshendelse (mengde og varighet) iht. mål i 3-leddsstrategien.
3. Bestem maksimale vannhøyde, anta mettet hydraulisk konduktivitet og beregn overflateareal, for eksempel ved bruk av formel i vedlegg 9.3.
4. Vurder om stedege masser har tilstrekkelig infiltrasjonskapasitet, eller om nytt filter og drenering må benyttes.
5. Benytt filtermedium med god infiltrasjonskapasitet for effektivt å håndtere overvann gjennom hele året. Vurder skråstilt drenslag og drensrør i kontakt med regnbed-overflate.
6. Gi regnbedet en form der vannet ledes over hele overflaten. Vurder forbehandling for tilbakeholdelse av partikler og søppel.
7. Benytt vegetasjon tilpasset lokalt klima. Vær bevisst på beplantningsstrategi (vedlegg 9.2).
8. Vann, gjødsle og fjern ugress til ønsket vegetasjon har etablert seg.
9. Vedlikehold regnbedet etter behov.



Figur. 2. Oppsummering av de viktigste kriterier ved anlegging av regnbed (fra Paus og Braskerud, 2013). H_{maks} er mulig vannstand, K_s er infiltrasjonshastigheten.

1.3 Test-regnbed i Norge

I Norge er det anlagt fire pilot-regnbed: Langmyrgrenda 34b (L34b) og Nils Bays vei 21 (NB21) i Oslo, Hammondsvei 8 (H8) i Melhus, og ett i Trondheim på Risvolla borettslag. (RIS). L34b ble etablert i 2006, NB21 og H8 2009, og Ris i 2010. Tabell 1 gir en oversikt over regnbedene.

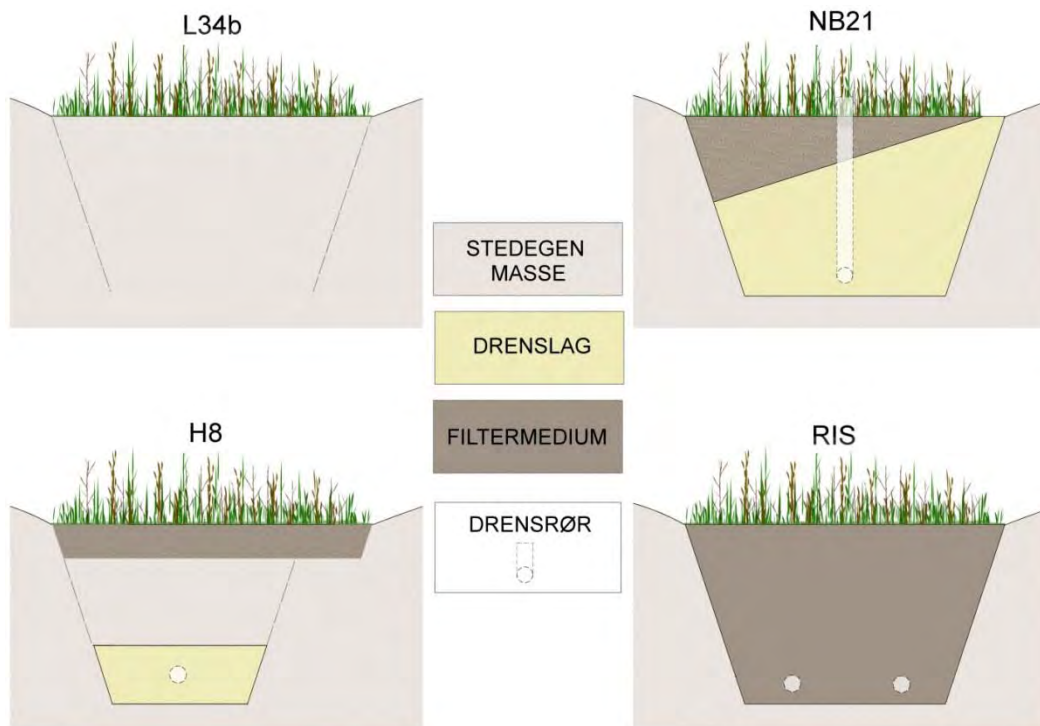
Tabell 1. Norske regnbed under utprøving. Overflate ved avrenning betyr når regnbedet er fylt.

Regnbed	Overflate ved avrenning (m ²)	Overflatevolum (m ³)	Volum i filter (m ³)	Type nedbørfelt	Andel av nedbørfelt (%)	Drenert
L34b	5,9	0,41	> 0,6	Gårdsplass	2,0	nei
NB21	10,3	1,68	0,92	Tak	7,4	ja
H8	5,1	0,86	0,45	Tak	4,8	ja
RIS	39,8	5,2	ca 7,8	Asfalt og plen	0,5	ja

Alle regnbed med drenering har skiftet ut hele eller deler av stedegen masse, med sandig ”matjord” (tabell 2). I denne rapporten vil vi presentere hvordan regnbedene i tabell 1 ble anlagt gjennom en fotokavalkade. Regnbedene ble i hovedsak anlagt for å håndtere overvann, i liten grad tilpasset rensing av overvann. Det skyldes at anleggene i hovedsak mottar ”rent” vann fra tak og friområder (figur 3).



Figur 3. Testregnbed i Norge omtalt i tabell 1. Fra venstre til høyre, øverst L34b og NB21, nederst H8 og RIS (foto: BCB og RAG).



Figur 4. Prinsippsskisse av testregnbedene. Oppbygningen av filteret og valg av filtermedium har varierte i betydelig grad.

Tabell 2 Kornfordeling i filtermediet i testregnbedene.

	L34b	NB21	H8	RIS
Leir	8 %	6 %	1 % / 16 %	3 %
Silt	23 %	17 %	12 % / 62 %	21 %
Sand	69 %	77 %	87 % / 22 %	75 %
Organisk materiale	8 %	8 %	Ikke målt	4 %

Resultater fra målinger utført med infiltrometer om sommeren tyder på at alle pilotanleggene har høyere infiltrasjonshastighet enn det som anbefales av Prince George County, USA (2007). Vi har målt infiltrasjon ved hjelp av infiltrometer, MPD (Modified Phillip-Dunne infiltrometer, vedlegg 9.4). Det har også blitt utført fylling av regnbedene med vann for deretter å registrere infiltrasjonshastigheten (Saksæther og Kihlgren, 2012, Dalen, 2012, Braskerud m.fl., 2012, Dalen m.fl., 2012 og Paus og Braskerud, 2013). MPD-resultatene tilsier at det er stor variasjon mellom regnbedene, og også innad for hvert regnbed: fra 2,6 til 69,3 cm/t for L34b, fra 3.8 til 121 cm/t for NB21, og fra nær 0 til 16,2 cm/t for RIS. MPD-målinger har så langt ikke blitt utført for H8. Resultater fra doseringsforsøkene tyder imidlertid på at infiltrasjonen ligger på rundt 8 cm/t. Variasjonen i infiltrasjonskapasitet mellom regnbedene kan skyldes måten anlegget ble bygget og er nærmere beskrevet i de påfølgende kapitler og i Paus og Braskerud (2013).

De fleste foto er tatt av Bent Braskerud og er derfor ikke merket. Rolf A. Grande har bilder av H8 merket med RAG, mens Arvid Ekle har bilder av RIS merket AE.

2 Langmyrgrenda 34b, Oslo

Regnbedet ble ettermontert i et boligområde fra 1963-64. Anlegget ble laget sommeren 2006 i forbindelse med rehabilitering av Braskeruds bolig med utvendig isolasjon av kjelleren og ny drenering. Med gravemaskin på plassen var det lett å etablere et regnbed. Regnbedet ligger på morene av siltig sand 220 moh. Der det før var en hekk mellom to naboeiendommer, er det nå et regnbed. Familiene Bugge og Braskerud deler regnbedet.

Nedbørfeltet er på ca 290 m² hvorav 220 m² er gårdsplass. Overvannet renner raskt ned mot lavbrekket der regnbedet ligger. Tidligere rant vannet inn på Bugges plen. Etter etableringen av regnbedet vil vannet fortsatt gjøre det hvis kapasiteten overstiges. Detaljer om regnbedets utforming og funksjon kan leses i Saksæther og Kihlgren (2012) og i Braskerud m. fl. (2012).

2.1 Anlegging av L34b

Design og planlegger: Bent C. Braskerud. Entreprenør: Anleggsgarterfirmaet Torstein Skjaker. Anlagt i 2006 på 2-3 timer. I tillegg kommer planting av vegetasjon. Eiere: Harald og Vibeke Bugge, og Sigrunn Slaathaug og Bent Braskerud.



Figur 5. Kantsnor markerer regnbedets plassering. Sentralt i regnbedet graves overskuddsmasse av stor stein ned (steinkiste). Det ble ikke benyttet fiberduk rundt "steinkista", og den vil derfor trolig fylles med partikler over tid.



Figur 6. Terrenget har fall mot plenen, og en brem (jordvoll) av stedlig masse lages for å holde overvannet.



Figur 7. Toppjord (matjord) fra plen og hekk/blomsterbed spres som topplag på undergrunnsjorda.



Figur 8. En helle med lave, åpne kantstein leder vannet inn i regnbedet. Systemet er en forbehandling av overvannet, og holder tilbake løv, kvist og søppel, som er lett å fjerne.



Figur 9. Ferdig utgravd regnbed. Anlegget ligger svært nær garasjen, men den høye infiltrasjonskapasiteten gir liten bekymring for skade på fundamentet. Etter 6 års drift har ingen skade skjedd. Vanligvis anbefales 1,5 m avstand til bygningsfundament og over 8 m til kjeller (PGC, 2007).



Figur 10. Utløpet leder overvannet inn på naboens plen, på samme måte som vannet har rent fra 1964. Det er imidlertid svært sjelden vann går i overløp (mindre enn en gang per år). Vanndybden før overløp er kun 6,5 cm. Vanligvis er dybden 15-30 cm (figur 2).

2.2 Beplantning

Bruk av vegetasjon er et av regnbedets viktigste kjennetegn. Valgmulighetene er mange og det ligger mange forslag på beplantningsplaner på internett. Med bakgrunn i Braskeruds fortid som våtmarksforsker ble tre arter hentet fra fangdammen Berg i Aurskog-Høland (Braskerud, 2001). Artene var brei dunkjevle (*Typha latifolia*), kalmusrot (*Acorus calamus*) og sverdlilje (*Iris pseudoacorus*). Disse ble plantet i anleggsåret 2006.



Figur 11. Bremmen er sådd med gras og har begynt å spire (sommeren 2006). I regnbedet var typiske våtmarksplanter som brei dunkjevle (*Typha latifolia*), kalmusrot (*Acorus calamus*) og sverdlilje (*Iris pseudoacorus*). Våtmarksplanetene hadde varierende tilslag (figur 12).



Figur 12. Regnbed L34b august 2008. Godt tilslag på de fleste arter (ca 10 plantede og noen innvandrede). Brei dunkjevle derimot, blomstrer for siste gang, og kalmusrot utkonkurreres.



Figur 13. Venstre bilde 4. mai. Høyre bilde 28. mai. Om våren kan vegetasjonen ha en treg start, og regnbedet kan se stusselig ut. Planting av div. løk kan gi spennende liv til regnbedets øvrige vegetasjon kommer i gang.



Figur 14. Regnbed i høstfarger september 2008.

2.3 Forsøksanlegget

I 2009 ble regnbedet inkludert i EU prosjektet SAWA for uttesting av tiltak som kan dempe avrenningen etter styrtregn i urbane strøk. Anlegget ble samkjørt med et tilsvarende forsøk om grønne, vegetasjonsdekkede tak på garasjen. Det ble montert V-overløp for måling av vannføring inn og ut av regnbedet, jordtemperatur og jordfuktighetsmåler (Vegetronix VH400) 5-15 cm under regnbedoverflata, lufttemperaturmåler og en kortidsnedbørsmåler (Lambrecht 1518 H3). Nedbør og

vannføring registreres hvert minutt. De øvrige parametre hvert 15. minutt. Alle data samles i en Sutron 9210XLite logger som sender data til NVEs hydrologiske database Hydra 2. Stasjonen har reg. nr. 6.74 i Hydra 2.



Figur 15. Skiferhella i innløpet ble skiftet ut med en vannfast kasse med 90 graders V-overløp. Trykksensor (4tech) ligger i det grønne røret. En varmekabel holder rør og kasse frostfri (enda ikke montert på bildet).



Figur 16. Grøft for tilkobling av markvannsrør (venstre). Gjennomboret markvannsrør til ca 10 cm under regnbedoverflata (høyre). Røret er også gjennomboret ca 2 cm over overflata og opp. Trykksensor (4tech) ligger i overgangen mellom markvannsrøret og det grønne tilførselsrøret. Sensoren ligger ca 52 cm under regnbedoverflata, og måler både vannstand i regnbedfilteret, på overflata og eventuelt overløp ut av regnbedet.



Figur 17. 160 graders V-overløp i rustfritt stål, måler tap av vann når regnbedets kapasitet er overskredet.



Figur 18. Oversiktsbilde over L34b med Lambrecht kortidsnedbørmåler, V-overløp inn (under skiferhelle) og V-overløp ut (skjult bak vegetasjon ved garasjen). 2. juni 2011.

3 Nils Bays vei 21, Oslo

Regnbedet ble ettermontert i et boligområde fra 1950-tallet. Anlegget ble laget sommeren 2009. Året før hadde familien Fremstad opplevd vann i kjelleren etter sterk nedbør. Vannet var trolig inntregning av takvann som var koblet til dreneringen rundt huset/kom i kontakt med dreningen. De var derfor svært motivert for å håndtere overvannet ved hjelp av et regnbed. Motivasjonen ble styrket da EU prosjektet SAWA og Oslo VAV delte regningen ved opparbeidelse av regnbedet. Regnbedet ligger på leirjord, så full utskifting av filtermediet og drenering var nødvendig. Fremfor at takvannet skulle gå i kommunalt nett, blir det nå fordrøyd i regnbedet.

Nedbørfeltet er det meste av taket 139 m². Overvannet renner i nedløpsrør fra takrennene til regnbedet ca 10 m fra huset. Vannet filtreres gjennom filtermediet og ledes via drenerør tilbake til kommunalt nett. Når regnbedets kapasitet overstiges, ledes overvannet videre inn på egen plen. Flere detaljer om regnbedets utforming og funksjon kan leses i Saksæther og Kihlgren (2012) og i Braskerud m. fl. (2012).

3.1 Anlegging av NB21

Design og forslag til planteplan: Elin T. Sørensen (COWI). Planlegger og ansvarlig på byggeplassen: Bent C. Braskerud. Entreprenør: Uteanlegg A/S. Anlagt i 2009 på 38 timer, hvorav 60 % av tiden gikk til å grave grøft og montere rør fra takrenner til regnbed og drenering fra regnbed til kommunalt nett. I tillegg kommer planting av vegetasjon som ble gjort av eierne. Eierne: Eivind og Sigfrid Fremstad.



Figur 19. Takvann fra huset skal ledes i rør til regnbed ved epletreet.



Figur 20. Regnbedets størrelse er markert og plen med røtter skrapes av. Jorda under er leirholdig, men med meget god kvalitet (grynstruktur). Vi ønsker å blande 5 % av denne inn i filtermediet seinere.



Figur 21. Regnbedet er gravd ut i ca 1 meters dybde. Grøft til rør fra taknedløp til regnbed, og med returvann via drenering til kommunalt nett er også ferdigstilt.



Figur 22. For å sikre meget god infiltrasjon, er drenslaget skråstilt slik at det når regnbedoverflata. 100 mm drensrør sees i bakgrunnen. To hvite markvannsrør står til høyre. Disse er for måling av vannstanden i drenslaget og i filtermediet.



Figur 23. En fiberduk ble lagt mellom drenslag og filtermedium for å unngå at finstoff ble vasket nedover. I ettertid tviler vi på om den var nødvendig siden begge lag er sandjord. Kan fiberduken slemmes igjen og reduserer infiltrasjonshastigheten over tid, eller virke som en rotsperre?



Figur 24. Filtermedium ble laget av sand av samme type som ble brukt i drensaget (ca 50 %), blandet med Oslokompost® (50 % hageavfall og 50% sand) og ca 5 % stedegen hagejord av god kvalitet. Vi kunne kanskje ha økt andelen Oslokompost noe mer i forhold til sand for å gi plantene enda bedre vekstforhold?



Figur 25. Fylling av filtermedium laget i figur 24.



Figur 26. Regnbed NB21 med skråstilt drenslag i dagen og filtermedium (venstre bilde). Drensrør på 100 mm ledes fra regnbedoverflata og mot overvannskum (høyre bilde). Drensrøret var uten slisser (tett overflate) den første meteren, og lå ca 5-10 cm over bunnen på drenslaget, slik at jordfuktigheten ble forbedret i tørre perioder.



Figur 27. Drensrøret er avsnørt og to mindre rør med forskjellig kapasitet, leder vannet inn i overvannskummen. Blending av ett rør er derved mulig. Maksimal avrenning i begge rør, ble målt til 0,6 l/s, men var vanligvis mye lavere.



Figur 28. Ferdig regnbed før tilplanting. Under innløpsrør er en skiferhelle plassert for å hindre erosjon i regnbed bunnen. En liten stein ble satt i enden av skiferhella seinere, for å redusere vannets hastighet inn i regnbedet. Et V-formet overløp av to skiferheller leder vann til plen ved svært store nedbørintensiteter. Drensrøret til høyre har et perforert lokk som overvannet kan renne ned i. Drensrørets innløp er ca 5 cm lavere enn overløpet.

Ved intens nedbør vil først overflatevolumet fylles. Vannet infiltreres kontinuerlig i det sandholdige filtermediet og drenslaget. Hvis tilrenningen overstiger overflatevolumet og infiltrasjonskapasiteten, vil overvannet ledes inn i det blendede drensrøret. Ofte er den intense nedbøren av kort varighet og kapasiteten på filtermediet og drenslag vil ikke være fullt utnyttet. Ved å lede vann i drensrøret, vil drenslaget fylles opp innvendig. Denne funksjonen fungerer også hvis regnbedoverflata har isdekke.

V-formet utløp vil lage oppstuvning i regnbedet, slik at noe mer overvann enn det regnbedet er dimensjonert for kan holdes tilbake midlertidig.

3.2 Beplanting

En beplantningsplan ble foreslått av landskapsarkitekten, men mange av artene kunne ikke skaffes på plantekolene i nærheten. Arter som ”lignet” ble derfor valgt, i tillegg til noen improvisasjoner. Etter få år fremstod regnbedet som et frodig element i hagen.

Der drens laget kommer opp i dagen (figur 26, venstre) var tilslaget dårligst. Trolig fordi innholdet av organisk materiale er lavt. Om mulig kan drens lagets oppslag i regnbedet legges sentralt. Da vil redusert vekst synes i mindre grad.



Figur 29. Beplanting av regnbed august 2009. Brem ble tilsådd med gras umiddelbart etter anlegging.



Figur 30. Regnbed 1. juli 2011. Stormarikåpe (*Alchemilla mollis*) trives meget godt. Stripegraset var imidlertid utsatt for sterke bladlusangrep hvert år.



Figur 31. NB21 i full blomstring sommeren 2012. Kattehale (*Lythrum salicaria*) trives også godt og blomstrer lenge.

Ved valg av høye arter som tetter godt, vil behovet for ugrasbekjempelse ikke være så stort.

3.3 Forsøksanlegget

I 2009 ble regnbedet inkludert i EU prosjektet SAWA for uttesting av tiltak som kan dempe avrenningen etter styrtregn i urbane strøk.

To markvannsrør er plassert i regnbedet (figur 22 og 28). Det ene røret har åpninger i drenglaget, det andre i filtermediet. Begge har åpninger i overflatebassenget ca 5? Cm over regnbedbunnen. På den måten vil det være mulig å måle hvor ofte regnbedet blir overbelastet og hvor lenge vannet står i filtermediet og drengslag.

Det er montert en LevelTROLL® 100 trykksensor i hvert rør. I tillegg henger det en tilsvarende versjon (BaroTROLL®) på nordveggen på huset. Loggerne utligner ikke trykket mot atmosfæren. Derfor må det vanntrykket i markvannsrørene justeres for det atmosfæriske trykket som barometeret måler. Alle sensorer måler også temperatur. LevelTROLL loggeren i det ene markvannsrøret gikk i stykker etter ca ett år. Den ble skiftet med en RuggedTROLL® som har fungert utmerket. Loggerne registrerer hver time ved ingen vannføring og hvert minutt ved endringer i vannstanden.

NB21 ligger mellom L34b og Blindern (met.no) slik at nedbøren skulle bli godt dekket. Stasjonen har nummer 6.75 i NVEs database Hydra 2.

4 Hammondsvei 8, Melhus

Regnbedet ble ettermontert i hus fra 1972 i Melhus kommune. Eieren, Rolf A. Grande, er et ivrig medlem i det lokale hagelaget og var svært interessert i en ny mulighet for valg av spennende planter. Anlegget ble laget sommeren 2009. Regnbedet ligger på leirjord, så full utskifting av filtermediet og drenering var nødvendig. Det ville være vanskelig å få gravemaskin frem til anleggsplassen uten å ødelegge blomsterbed og plen. Rolf bestemte seg derfor for å grave ut hele regnbedet for hånd!

Nedbørfeltet er taket på eneboligen på 107 m². Overvannet renner i nedløpsrør fra takrennene til regnbedet 1-2 m fra huset. Fremfor at takvannet skulle gå i kommunalt nett, blir det nå fordrydd i regnbedet og ledet ut over terreng (skråning). Når regnbedets kapasitet overstiges, ledes takvannet i et styrt nedløpsrør ut på terrengoverflata. Skulle dette nedløpet overbelastes, ledes vannet over plen. Flere detaljer om regnbedets utforming og funksjon kan leses i Saksæther og Kihlgren (2012) og i Braskerud m. fl. (2012).

4.1 Anlegging av H8

Forslag til plan: Bent Braskerud. Design og valg av planter: Rolf A. Grande, som også har anlagt regnbedet egenhåndig i 2009 på 38 timer (samme som NB21). I tillegg kommer planting av vegetasjon som ble gjort av Rolf. Eiere: Rolf A. og Målfrid Grande.



Figur 32. Plenen fjernes der regnbedet skal anlegges. En vid grøft graves for drenerør og filtermedium (foto: RAG).



Figur 33. Plenen skjæres og rulles tilbake slik at bredden kan bygges opp. Ferdig oppbygd rulles plenen tilbake (foto: RAG).



Figur 34. Drenslag i sand er lagt over drensørret (venstre foto). Fiberduk legges som massesperre for filtermediet (høyre foto). Styrt nedløpsør er satt på plass for håndtering av vannmengder som overstiger regnbedets kapasitet (foto: RAG).



Figur 35. Filtermediet består av to lag. Stedegen siltig lettleire er fylt tilbake over drenslaget (figur 34). Det viste seg å redusere infiltrasjonen drastisk. Sandig jord legges som toppjord over lettleira (foto: RAG).

4.2 Beplantning

Innsetting av vegetasjon har skjedd i flere omganger. Rolf Grande har prøvd seg fram.



Figur 36. Rolf Grande har startet beplantningen i 2009. Dunkjevla sentralt i bildet trivdes ikke og ble byttet ut. Legg merke til styrtnedløpsrør med perforert, blått lokk i venstre hjørne. To takrennedløp ledes inn i regnbedet fra motsatte hjørne.



Figur 37. Regnbed i blomsterflor sommeren 2011. Rolf ønsket et relativt åpent vegetasjonsdekke. Det krever mer ugrasrenhold, men er etter Rolfs mening "ingen sak".

4.3 Forsøksanlegget

I 2009 ble regnbedet inkludert i EU prosjektet SAWA for uttesting av tiltak som kan dempe avrenningen etter styrtregn i urbane strøk.

Ett markvannsrør er plassert i regnbedet (figur 36 og 38). Røret har åpninger i drenslaget, og i filtermediet. I tillegg er det åpninger i overflatebassenget ca 5 cm over regnbedbunnen. På den måten vil det være mulig å måle hvor ofte regnbedet blir overbelastet og hvor lenge vannet står i filtermediet og i drenslaget.



Figur 38. H8 september 2011. Trykksensor er montert i det hvite markvannsrøret. Legg merke til steinplata som reduserer vannhastigheten inn i regnbedet.

Det var opprinnelig montert en LevelTROLL® 100 trykksensor markvannsrøret. I tillegg henger det en tilsvarende versjon (BaroTROLL®) i et tre. Loggeren utligner ikke trykket mot atmosfæren. Derfor må vanntrykket i markvannsrøret justeres for det atmosfæriske trykket som barometeret måler. Alle sensorer måler også temperatur. LevelTROLL loggeren i det ene markvannsrøret gikk i stykker etter ca ett år (garantitiden). Den ble skiftet med en RuggedTROLL® som har fungert utmerket. Loggerne registrerer hver time ved ingen vannføring og hvert minutt ved endringer i vannstanden.

H8 har en enkel kortidsnedbørsmåler montert på verandaen til boligen. Den leses av daglig i sommerhalvåret, og med akkumulerte verdier i ferier. Nærmeste kortidsnedbørsmåler ellers er trolig Risvollan urbanstasjon i Trondheim. Stasjonen har registreringsnummer 122.37 i NVEs database Hydra 2.

5 Risvollan brl., Trondheim

Regnbedet ble ettermontert i et boligområde fra tidlig 1970-tallet. Anlegget ble anlagt sommeren 2010 som en del av EU prosjektet SAWA. Nedbørfeltet drenerer til Fredlybekken, en lukket bekk som ved flomvannføring har skapt oversvømmelse i enkelte boliger i nedbørfeltet.

Trondheim kommune deltar i prosjektet *Framtidens byer* og ønsket å bidra til å teste regnbedteknologien for mulig bruk andre steder i byen. Risvollan borettslag var positive til å være forsøksvert. Borettslaget er Norges største frittstående borettslag og har allerede lang erfaring med undersøkelser av overvann, siden Sveinn Thorolfsson (NTNU) tok initiativet til å anlegge Risvollan urbanhydrologiske stasjon i 1986. Stasjonen er et samarbeid mellom Trondheim kommune, NTNU og NVE.

Framtidens byer/Trondheim kommune og SAWA delte i hovedsak regningen ved anlegging. I tillegg betalte NTNU 50 % av en membran for å sikre kontrollen på vanngjennomstrømningen i regnbedet. NVE bekostet 50 % av måleinstrumentene.

Nedbørfeltet består av en asfaltert ballplass på 1090 m² og plen på 7250 m². Jorda i nedbørfeltet er leire. Overvannet renner på plenen, over ballplassen og ned i en vadi (gressdekket vannveg) før det ledes inn i regnbedet, som vi kaller RIS. Vannet filtreres gjennom filtermediet og ledes via to drenerør over en kasse med V-overløp. Etter ca 10 meter over plen fanges vannet opp i nedløpskum og inn på overvannsnettet. Når regnbedets kapasitet overstiges, ledes overvannet over egen plen. Flere detaljer om regnbedets utforming og funksjon kan leses i Dalen (2012) og i Dalen m. fl. (2012).

5.1 Anlegging av RIS

Design og forslag til planteplan: Erle Stenberg (Link landskap). Planlegger og ansvarlig på byggeplassen: Bent C. Braskerud. Innspill til plan: Kim H. Paus (NTNU) og Tone Muthanna (NTNU). Anleggsgartner og innspill til plantevalg og vekstsubstrat: Arvid Ekle, Anlegg og utemiljø A/S. Regnbedet ble anlagt i 2010 på ca 300 timer, hvorav 20 % av tiden gikk til beplantning og tilsvarende til rigging og tilbakesetting av terrenget rundt etter anlegging. RIS er et forsøksanlegg der en god del av tida gikk med til montering av trekkerør til trykksensorer, fundament til instrumentskap, montering av 3 V-overløp, tett membran og andre forskningsrettede aktiviteter (se kapittel 5.3). Vi anslår at anlegget ville tatt ca 100 timer, med ca 50/50 i fordeling maskinarbeid, manuelt arbeid, hvis forsøksaktiviteten hadde vært unntatt. Eier: Risvollan borettslag.



Figur 39. Før anlegging (venstre bilde tatt fra åsen i høyre bilde). Gras ble kjemisk bekjempet et par uker før anlegging for å unngå at rotugras skulle etablere seg. I tillegg letter det iblanding av stedegen toppjord i filtermediet der det er ønskelig (foto: AE).



Figur 40. Utskifting av stedegen masse var nødvendig fordi leirjord har lav infiltrasjonskapasitet. Bremmen blir laget med en kjerne av stedegne masser.



Figur 41. Regbedet er ferdig utgravet. Innløpet er til venstre og drenerør legges i grøfta midt i bildet. Filterdybden er planlagt til ca 0,75 m (foto: AE).



Figur 42. Tett membran legges i for å hindre evt. grunnvannstilsig til anlegget (NB! kun aktuelt der forskning skal utføres). To drenerør leder vann ut av anlegget.



Figur 43. Montering av V-overløp inn og ut av regnbedet for å måle vannføring inn og eventuelle overløp. Deretter ble filtermasse bestående av kompostblandet sandjord fylt inn.



Figur 44. Filtermassene jevnes ut. For å unngå setninger pga. høyt porevolum og nedbryting av organisk materiale det første året, ble massen presset litt sammen med gravemaskinskuffa. Det må *ikke* gjentas, fordi infiltrasjonskapasiteten avtar drastisk! I store anlegg kan anleggning ett år, og planting året etter være det beste alternativet.



Figur 45. Ferdig anlagt regnbed på Risvolla sett fra utløpet. Bremmen er dekket med samme jord som filtermediet. Enden på drenerørå går i dagen for å lette evt. vedlikehold og muliggjøre for infiltrasjon som i NB21 (figur 28).

Regnbedet på Risvolla har U-form. Vannet må renne i en bue gjennom anlegget før det evt. går i overløp. Formen gir forurenset overvann mest mulig kontakttid i anlegget; dvs. ”kortslutningstrøm” mellom inn- og utløp hindres.



Figur 46. Måledammen ved innløpet. For å måle korrekt må det være en måledam forand V-overløpene (se vedlegg 9.4 for måling av vannstand i V-overløp). I nedbørfelt der tilførsel av partikler og søppel er sannsynlig, kan en forbehandling av vannet i et sedimentasjonskammer lette vedlikeholdet (foto: AE).

5.2 Beplanting

En beplantningsplan ble foreslått av landskapsarkitekten, men mange av artene kunne ikke skaffes på plantekolene i nærheten. Arter som "lignet" ble derfor valgt i samarbeid mellom anleggsgartner og planteskole (se vedlegg 9.1).



Figur 47. Planting av regnbed anleggsåret. Vanning og ugrasbekjempelse må til om etableringen skal gå godt (foto: AE).



Figur 48. Ferdig plantet regnbed 19. aug. 2010. Gras er sådd i bremmen (foto: AE).

5.3 Forsøksanlegget

Regnbedet på Risvolla er anlagt for å teste teknologiens flomdempende virkning. For å måle vanngjennomstrømningen ble det montert V-overløp for måling av vannføring inn og ut av regnbedet; både som dreisvann og som overløp. Tre Aquistar® PT-12 trykksensorer registrerer vannstand. Det er varmekabler i alle trekkerør med trykksensorer. I tillegg ble det montert jordtemperatur måler og jordfuktighetsmåler (Vegetronix VH400) i to dyp; 5-15 cm under regnbed overflata, og ca 60 cm under overflata. Jordfuktighetsmålerne sluttet å fungere det første året, og kun det i overflata ble erstattet. En lufttemperaturmåler er montert ca 50 cm fra instrumentkassas nordvegg. Nedbør måles på Risvolla urbanstasjon ca 1 km unna, med kortidsnedbørsmåler (Lambrecht 1518 H3). Nedbør og vannføring registreres hvert minutt. De øvrige parametre hvert 15. minutt. Alle data samles i en Sutron 9210X Lite logger som sender data til NVEs hydrologiske database Hydra 2. Stasjonen har reg. nr. 123.113 i NVE.

V-overløpene inn og ut av regnbedet er vist i figur 46 og 47. V-overløpene er på henholdsvis 150 og 120 grader. Det betyr at utløpet er ”strupet” noe, og at vannstanden øker i regnbedet. Måling av dreisvannet blir gjort ved overløp i en kasse av vannfast finér (figur 49).



Figur 49. Vannet fra to dreisrør ledes til kasse med 90 graders V-overløp.



Figur 50. 220 V ledes til fundament for instrumentskap. Herfra går trekkerør til 3 trykceller, to jordtemp. følere og en jordfuktighetsmåler.



Figur 51. Instrumentskap plassert på fundamentet i figur 50: Sutron logger, automatisk mobiloverføring av data, 12V batteri for drift ved strømutfall, med mer.

Figur 52. Markvannsrør ved overløpet (V-ut) gjennomhulles 10 cm under regnbedoverflata og mot bunnen av filtermediet for å kunne følge vannstanden i filteret. Røret gjennomhulles også ca 5 cm over filteroverflata (regnbedbunnen) og oppover for å måle vannstanden i regnbedet og eventuelle overløp. Trykksensor ligger i trekkerøret ved koblingen i messing (foto: AE).



Figur 53. Ved utbygging av Risvollan brl. ble det naturlig jordprofilet ødelagt pga. masseforflyttinger. Jorda ved regnbedet bestod av leire med partier av sand og grus. Vi ønsker å ha full kontroll over vannet som strømmer til regnbedet. For å hindre grunnvanntilsgig til filteret, ble en 1,5 mm PP plastmembran lagt over hele det utgravde regnbedområdet (se figur. 42).

5.4 Vadi

For å kunne samle vannet fra det 0,83 ha store nedbørfeltet, måtte vi lage en grunn grøft, en gressdekket vannveg eller en vadi (figur 54). Vadien går på nedkanten av ballplassen, og ender i måledammen forand V-overløpet inn i regnbedet (figur 46).



Figur 54. Vadi formet i terrenget slik at maskinell gressklipping er mulig. Et tynt dekke med kompostholdig sandjord (det samme som i filtermediet) ble lagt som toppdekke og tilsådd med gress.



Figur 55. Grasveksten i vadien ble sterk og frodig (foto: AE).



Figur 56. Regnbødet på Risvollan ferdig anlagt med vadi som leder vann til V-overløp inn, overløp og måling av drenevasn (1). Foto: AE.

6 Forbedringspotensial

Hvis regnbødene skulle vært laget om igjen ville vi ha:

- Lagd overflatevolumet i L34b noe dypere for å bedre kapasiteten for korte intense regn (figur 10, figur A i vedlegg 9.3). Regnbødets overflate er kun 6,5 cm dypt og dekker kun 2 % av nedbørfeltet. Gårdsplassen er imidlertid av grus, slik at noe infiltrasjon skjer også der.
- Vegetasjonstilsaget i NB21 er ikke dårlig (figur 31), men kunne trolig vært bedre om drenelaget hadde vært mindre mektig (figur 22). Økt volum av filtermediet ville gi plantene gunstigere vilkår. Økt andel av Oslokompost® i forhold til sand i filtermediet ville dratt i samme retning.
- Der drenelaget i NB21 kommer opp i dagen (figur 26, venstre) var forholdene for planter dårlig. Drenelaget kunne kanskje kommet opp sentralt i regnbødet i stedet?
- Lett kompaktering av filtermediet for å unngå setning må unngås (figur 44). Det kan være vanskelig å vite hva den faktiske infiltrasjonshastigheten i et anlegg er etter anlegging. Ved å la et drene lag i RIS komme opp sentralt i anlegget, ville eventuelle feil under anlegging kunne minimeres og infiltrasjonen økes. Testing av faktisk yteevne kan gjøres i ettertid (vedlegg 9.3 og 9.4).

- Det kan være ønskelig med litt iblanding av stedegen toppjord i filtermediet. Det forutsetter imidlertid at toppjorda har meget god kvalitet. Det var tilfelle i NB21 (figur 24) der toppjorda var gammel hagejord. I RIS derimot, var topplaget av meget dårlig kvalitet (figur 53). Massene lot seg ikke blande inn på en god måte, men ble til klumper i filteret. Toppjord uten grynstruktur og levebetingelser for meitemark er uegnet i filtre. Hvis jorda er leirholdig må kun ca 5 % innblandes i filtermediet. I H8 ble en stor del av den opprinnelige jorda ført tilbake mellom drengslag og topplag (figur 4). Det reduserte infiltrasjonshastigheten kraftig.

7 Takk

Arbeidet som er presentert i denne artikkelen er en del av prosjektet Exflood, finansiert av Norges Forskningsråd. Regnbedene NB21, H8 og RIS er anlagt med støtte fra EU interreg 4b prosjektet SAWA, i tillegg til Oslo VAV (NB21), Trondheim kommune/Framtidens byer (RIS) og NVE (instrumentering).

Takk til våre gode feltverter: Familiene Bugge og Braskerud (L34b), Fremstad (NB21), Grande (H8) og Teknisk avdeling ved Risvollan brl. (RIS).

En ekstra takk til Rolf Grande for gode bilder/foto og kommentarer til manuskriptet, og til Torstein Dalen, Kjetil S. Kihlgren og Vegard Saksæther for inspirerende samarbeid under gjennomføring av masteroppgavene. Det tverrfaglige samarbeidet med landskapsarkitektene Elin T. Sørensen og Erle Stenberg har gitt mersmak.

Ansatte ved hydrologisk avdeling NVE har vært meget behjelpelige for montering av overvåkingsutstyr og oppfølging av L34b og RIS. Stor takk til Knut Møen, André Krogsæter, Graeme Whittington, Frode Kvernhaugen, Bjørg Ree Lirhus, Trine Lise Sørensen og Eydis Dalen.

8 Referanser

- Braskerud, B. C., Kihlgren, K. S., Saksæther, V. and Bjerkholt, J. T. (2012). *Hydrologisk testing av regnbed for bruk som LOD-tiltak i småhusbebyggelse*. Vann, 4 (47), 490-503.
- Braskerud, B.C. (2001). *The influence of vegetation on sedimentation and resuspension of soil particles in small constructed wetlands*. J. of Environmental Quality, 30 (4); 1447-1457.
- Dalen, T. (2012). *Hydrologisk dimensjonering av regnbed i kaldt klima*. M.Sc. Thesis, Institutt for vann- og miljøteknikk, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- Dalen, T., Paus, K.H., Braskerud, B.C. and Thorolfsson, S. T. (2012). *Målt og modellert hydrologisk ytelse til regnbed i Trondheim*. Vann, 3 (47), 328-339.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*, Norsk Vann rapport, 162/2008.
- Minnesota Pollution Control Agency (MPCA) (2008). *Minnesota Stormwater Manual*. St.Paul, Minnesota, USA.
- Paus, K.H. og Braskerud, B.C. (2013). *Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold*. Vann, 1 (48), 52-67.
- Prince George's County (PGC) (2007). *Bioretention Manual*. Environmental Service Division. Department of Environmental Resources, Maryland, USA.
- Saksæther, V. and Kihlgren, K. S. (2012). *Regnbed som tiltak for overvannshåndtering i småhusbebyggelse*. M.Sc. Thesis, Institutt for matematiske realfag og teknologi, Universitet for miljø- og biovitenskap, Ås.

9 Vedlegg

9.1 Planteliste

Opprinnelig planteliste til de fleste regnbed måtte endres fordi lokal planteskole ikke hadde arten/sorten, eller at valgt art ikke trivdes. Et regnbed skal inneholde mange arter, så utgang av enkeltarter er normalt ikke noe problem. Man må likevel være forbredt på at utgang kan skje. Under er foreslått og faktisk plantet vegetasjon i RIS.

Vi har ikke gjort en systematisk evaluering av plantevalg og tilslag, men kan konstatere at artene som ble valgt i RIS har klart seg godt de to sesongene regnbedet har vært i drift (tabell 3).

Tabell 3. Foreslåtte og plantede arter i regnbedet på Risvollan.

Vitenskapelig navn	Norsk navn	Areal	Erstatning
<i>Alchemilla mollis</i>	Stormarikåpe	3 m ²	
<i>Astrantia major</i>	Storstjerneskjerm	2 m ²	
<i>Butomus umbellatus</i>	Brudelys	1,5 m ²	<i>Lythrum salicaria</i>
<i>Caltha palustris</i> 'Alba	Bekkeblom	7 m ²	<i>Caltha palustris</i> 'multiplex'
<i>Carex crinita</i>		2.5 m ²	<i>Acorus</i>
<i>Carex pseudocyperus</i>	Dronningstarr	2 m ²	<i>Onoclea sensibilis</i>
<i>Carex muskingumensis</i>	Skråningstarr	2 m ²	
<i>Carex pendula</i>	Hengestarr	2 m ²	<i>Calmagrostis acut.</i> 'Karl Forster'
<i>Filipendula rubra</i>	Mjødurt	4m ²	<i>Filipendula rubra</i> 'Venusta'
<i>Filipendula vulgaris</i>	Knollmjødurt	2m ²	
<i>Fragaria vesca</i>	Markjordbær	9m ²	
<i>Geranium macrorrhizum</i> 'Spessart	Rosenstorkenebb	5m ²	
<i>Geum rivale</i>	Enghumleblom	5m ²	<i>Hosta</i> 'Fortunei Aureomarginata'
<i>Glyceria maxima</i>	Kjempesøtgras	1,5m ²	<i>Deschampsia cespitosa</i> 'Bronzeschleier'
<i>Matteuccia strutiopteris</i>	Strutseving	5m ²	
<i>Mentha aquatica</i>	Vassmynte	2m ²	<i>Chelone obliqua</i>
<i>Iris chrysographes</i> 'Black form'	Stråleiris	3m ²	<i>Iris chrysographes</i>
<i>Iris ensata</i> 'Gracieuse	Tvillingisris	2m ²	<i>Iris pseudoacorus</i>
<i>Potentilla palustris</i>	Potentilla	3m ²	<i>Primula florindae</i>
<i>Sanguisorba officinalis</i>	Blodtopp	2m ²	<i>Sanguisorba officinalis</i> 'Purpurea'

Fra L34b og NB21 har iris som sverdlilje og blå iris (*Iris pseudoacorus*, *I. x germanica*), kastangebrønseblad (*Rodgersia aesculifolia*), stormarikåpe (*Alchemilla mollis*) og kattehale (*Lythrum salicaria*) klart seg bra. I L34b har vi observert at arter med robust stengel (sverdlilje) har laget smeltehull i isdekket om våren og dermed fremmet infiltrasjonen. Arter vi har mindre god erfaring med er brei dunkjevle (*Typha latifolia*) som ikke fikk tilstrekkelig fuktighet i regnbedet, kalmusrot (*Acorus calamus*) som ble utkonkurrert og som frøs ved første frostnatt, og stripegras som var svært utsatt for bladlus.

9.2 Stell av regnbed

Stell av regnbed vil avhenge av hva slags type vegetasjon som er valgt. I hovedsak kan man dele regnbed i *tradisjonelt grøntanlegg* og *naturlikt vegetasjonsdesign*. I våre pilot-regnbed er det hovedsakelig brukt pryddplanter, som vil kreve mer arbeidsinnsats mht. oppfølging enn mer naturlikt vegetasjonsdesign. Denne typen anlegg gir imidlertid også spesielle estetiske kvaliteter i nærmiljøet. Generelt kan en si at dersom et regnbed er en del av en hage eller et parkanlegg så ønsker en at bedet skal fremstå velkjøttet. Jo mer tid en anvender på stell av plantene og fjerning av ugras etc, desto flottere fremstår bedet som et staudebed.

RIS ble anlagt av anleggsgartnerfirmaet Anlegg og utemiljø AS, som også fulgte opp sommeren 2011 og 12. I dette vedlegget gir vi innspill på stell av regnbed.

På Risvollan har vi fulgt en plan om 3 besøk i løpet av sesongen, og vurdert det som tilstrekkelig. Bedet ligger i et fellesareal som ikke blir parkmessig skjøttet, men i en grønnstruktur som grenser mot natur som med noe lengre intervaller jevnlig blir slått. Bedet har fremhevet seg positivt i dette området.

Det er brukt ca 45 timer årlig med å skjøtte Risvollan Regnbed inklusive beplantningen rundt. Det har skjedd ved 3 bolker:

- Våronn hvor dødt plantemateriale er fjernet, det øverste jordlaget er løst opp og plantene både i bedet og rundt bedet er vårgjødslet. Også vadien, den grønne vannveien som leder vann til bedet er vårgjødslet.
- Midtsommers har vi rensket bedet for ugras og løsnet på øverste jordlag.
- Første halvdel i august, som midtsommers.

Gjødsling er som normalt i et staudefelt, med ca 10 kg klorfattig NPK-gjødsel (11/5/18) pr 100 m². Gjødsla kan fordeles vår og midtsommers. Etter hvert som bedet er etablert kan en gjødsle noe lettere, for eksempel 50-70 % av hva en bruker i etableringsfasen. Gjødslingsbehovet vil uansett avhenge av tilførslene av næring gjennom overvannet. Takvann regnes som "rent" og næringsfattig. Overvann fra P-plasser og lignende kan være næringsrikt.

Det har ikke vært nødvendig å foreta ekstra vanning i løpet av de to sesongene etter etablering. Med unntak av på Øst- og innlandet og vestlige deler av Sørlandet vil det sannsynligvis ikke være behov for vanning unntatt i etableringsåret, da bør en ha et våkent øye for vannbehov.

Plantene ser ut til å leve bra i RIS. Det er svært liten utgang og plantepaletten som er valgt (vedlegg 9.1) for bedet ser ut til å fungere godt med det godt drenerende vekstsubstratet som er anvendt, og de utfordringer det gir plantene.

Regnbedet H8 minner om RIS mht. stell og fremtoning, mens L34b er på mange måter motsatsen mht. skjøtsel. Regnbedet står i privat hage, der interessen for ugrashold er lavt. Regnbedet blir kun "grovluket" en gang per år. Vegetasjonen som er valgt er imidlertid høy og dekker gressvegetasjonen som har utviklet seg på bunnen ganske godt. Regnbedet blir gjødslet to ganger per år (samtidig med plenen) og vannet ved tørke.

9.3 Dimensjonering og vurdering av ytelse

Retningslinjer anbefaler at regnbedets overflateareal er på mellom 5 og 10 % av nedbørfeltets areal. I USA benyttes ofte ett «Water Quality Volum» (WQV) på 13 til 24 mm for dimensjonering av regnbed. Selv om det ikke er tradisjon for ett tilsvarende begrep i Norge kan en benytte andre spesifikke krav, f.eks. i forhold til *3-leddsstrategien*. Gitt at nedbøren faller med relativt konstant intensitet over en bestemt varighet er det mulig å bestemme det nødvendige arealet på regnbedet som:

$$A_{regnbed} = \frac{A_{felt} \cdot c \cdot P}{h_{maks} + K_h \cdot t_r} \quad (1)$$

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

A_{felt} er nedbørfeltets størrelse [m^2],

c er nedbørfeltets gjennomsnittlig avrenningskoeffisient [-],

P er dimensjonerende nedbørsmengde [m],

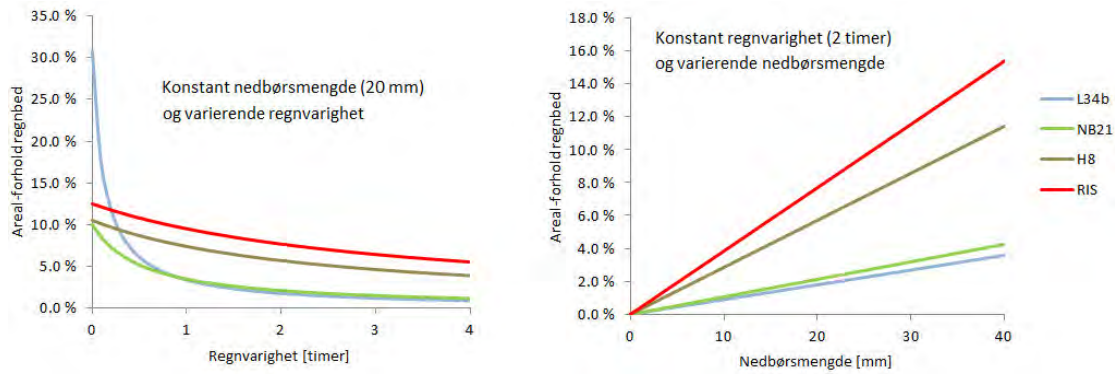
h_{maks} er den maksimale vannstanden på overflaten før vannet går i overløp [m],

K_h er filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet [m/t]

t_r er dimensjonerende varighet på tilrenningen til regnbedet [t]

I små nedbørfelt er tidsforskyvningen mellom nedbør og avrenning liten og derfor vil t_r tilsvare regnvarigheten. Mens den maksimale vannstanden på overflaten (h_{maks}) vil ha betydning for regnbedets evne til å håndtere avrenning fra styrtregn, vil filtermediets mettede hydrauliske konduktivitet (K_h) ha betydning for regnbedets evne til å klargjøre seg til neste nedbørshendelse, samt også håndtering av langvarige nedbørshendelser. Ved dimensjonering kan det være utfordrende å forutsi hvilken verdi av K_h som faktisk vil opptre i felt. Delvis gjelder dette også verdi av h_{maks} hvis grad setninger i regnbedet kan forårsake en annen verdi enn det som var planlagt. I våre pilot-regnbed har vi verdier på både K_h og h_{maks} etter anlegning, noe som gjør det mulig å evaluere regnbedets generelle ytelse i ettertid.

En måte å sammenlikne regnbedenes generelle ytelse er å beregne arealforholdet, $A_{regnbed}/(A_{felt} \cdot c)$, dvs. forholdet mellom regnbedets overflateareal og arealet av tett/impermeabel overflate nedbørfeltet. I figur A er dette gjort for de fire pilot-regnbedene. Verdien av arealforholdet illustrerer her hvor stort hvert regnbed måtte ha vært om de skulle vært dimensjonert for ulike nedbørsmengder og regnvarighet. Verdiene av K_h i beregningene er gjennomsnitt av MPD målinger (L34B, NB21 og RIS) og doseringsforsøk (H8).



Figur A. Beregnet arealforhold ($A_{regnbet} / (A_{felt} \cdot c)$) for L34b, NB21, H8 og RIS for varierende regnvarigheter (venstre) og nedbørsmengder (høyre).

Stort overflatevolum for kortvarig regn: Bare ved svært korte og intense nedbørstilfeller (f.eks. 20 mm på 10 minutter) vil L34b kreve større areal enn RIS og H8 (figur A, venstre side). Maksimal vannstand i L34b er kun 6,5 cm, mens den er 20 cm i NB21. Dette illustrerer hvordan en for lav h_{maks} kan bli begrensende for håndtering av kortvarige styrtregn. Ved regnvarigheter på mer enn ca. 30 minutter vil imidlertid K_h ha større betydning for arealforholdet.

God infiltrasjonshastighet reduserer behovet for store regnbet: Høye verdier av K_h i L34b og NB21 sørger for å holde arealforholdet relativt lavt for de aller fleste kombinasjoner av regnvarighet og nedbørsmengde. Figur A (høyre) viser at 40 mm på 2 timer (50årsregn på Blindern), kan håndteres av L34b og NB21 hvis regnbedet er under 4 % av nedbørfeltet.

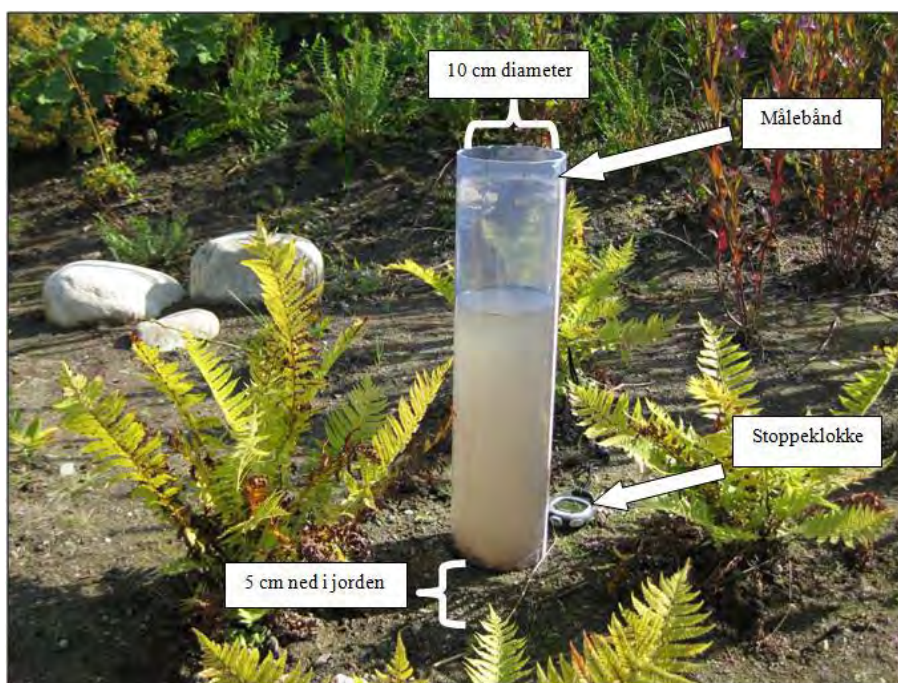
Selv om både RIS og H8 har relativt høy h_{maks} , (henholdsvis 16 og 19 cm) vil begge regnbedene kreve relativt store areal ved lengre nedbørstilfeller, fordi infiltrasjonshastigheten er betydelig lavere enn for L34b og NB21. NB21 har relativt høye verdier for både K_h og h_{maks} og havner derfor godt ut sammenliknet med de andre regnbedene (se kap.1.3).

Ved tett isdekke settes K_h til 0. Da er det kun overflatevolumet som håndterer vannmengdene.

9.4 Bruk av MPD (Modified Phillip-Dunne infiltrometer)

«Modified Philip-Dunne Infiltrometer» (MPD) er et infiltrometer utviklet ved University of Minnesota, USA, for bestemmelse av infiltrasjonskapasitet (mettet hydraulisk konduktivitet) i felt. MPD måler infiltrasjon på overflaten av terrenget som beregnes basert på forholdet mellom endring av tid og vannhøyde. Metoden er relativt rask å gjennomføre og krever lite utstyr. Dette gjør den godt egnet for infiltrasjonsmåling i regnbed. Selve infiltrometeret består av en kolonne med indre diameter ca. 10 cm og høyde ca. 50 cm (se f.eks. <http://stormwaterbook.safl.umn.edu/content/infiltration>).

Et målebånd er limt på utsiden av kolonnen for avlesning av vannhøyde (figur B). Utformingen av MPD gjør at en kan lage disse selv, og gjerne også flere slik at en kan måle infiltrasjonen på mange steder samtidig. Det henvises for øvrig til Nestingen (2007)¹ og Asleson m.fl. (2009)² for ytterligere informasjon vedr. bakgrunn, prinsipper, bruk og validering av MPD. Videre følger en kort fremgangsmåte for bruk av MPD.



Figur B. MPD kolonne for måling av infiltrasjon i regnbed

Utstyr: *MPD, liten spade, stoppeklokke, hammer, lufttette plastikkposer og skrivesaker.*

1. Velg lokalitet for måling av infiltrasjonskapasitet. Unngå å plassere infiltrrometeret i nærheten rør, planter med store røtter eller andre elementer under bakken som vil kunne påvirke infiltrasjonen.
2. Ta en jordprøve 10 til 20 cm fra lokaliteten. Jordprøven (ca. > 100 g) tas fra overflaten og ned til dybde på ca. 5 cm ved bruk av spade. Prøven lagres i lufttett plastikkpose og merkes.
3. Børst vekk stein, kvister og annet som kan hindre at bunnen på infiltrrometeret kommer i kontakt med jordoverflaten. Plasser infiltrrometeret loddrett 5 cm ned i jorden på ønsket lokaliteten. Det kan være nødvendig å benytte en hammer til å lett «banke» infiltrrometeret tilstrekkelig ned i tilfeller der jorden er kompakt.
4. Fyll infiltrrometeret med vann opp til et bestemt nivå (f.eks. 43 cm). Start stoppeklokken. Noter med jevne mellomrom hvordan vannhøyden synker over tid (f.eks. hvert 5 til 10 minutt). Sørg for å ha i hvert fall 5 til 10 målinger.
5. Når alt vannet har infiltrert fjernes infiltrrometeret og det tas en jordprøve (tilsvarende pkt. 2) fra lokaliteten der infiltrrometeret har stått. I tilfeller der infiltrasjonskapasiteten er begrenset vil det kunne ta svært lang tid før alt vannet har infiltrert (> 3 timer). Om ikke nøyaktige verdier på infiltrasjonskapasiteten er nødvendig kan det da være hensiktsmessig å avslutte forsøket før alt vannet har infiltrert.
6. Jordprøvene (før og etter) analyseres for volumetrisk vanninnhold på laboratoriet (vei prøven, tørk ved ca 100 grader og vei igjen).
7. Beregningene av mettet hydraulisk konduktivitet gjøres ved hjelp av iterasjon. Høyde-tid dataene og vanninnholdene brukes om input. Programfiler og forklaring for disse beregningene gis ved forespørsel (kimpaus@gmail.com).

¹ Nestingen, R. S. (2007). *The Comparison of Infiltration Devices and Modification of the Philip-Dunne Permeameter for the Assessment of Rain Gardens*. M.Sc. Thesis, Department of Civil Engineering, University of Minnesota, Minneapolis, USA.

² Asleson, B. C., Nestingen, R. S., Gulliver, J. S., Hozalski, R. M. and Nieber, J. L. (2009). *Performance Assessment of Rain Gardens*. Journal of the American Water Resources Association, 45 (4), 1019-1031.

9.5 Måling av vannstand i V-overløp

Hvis man kjenner lysåpningen til et V-overløp, og måleprofilen for øvrig er satt opp forskriftsmessig, kan man finne vannføringen som passer hvis vannstanden over 0-punktet (spissen) er kjent. Trykksensoren måler vannhøyden, men kan fluktuere noe. Med jevne mellomrom må derfor vannstandverdien i loggeren kontrolleres og justeres. For å kunne få rette verdier er det viktig at høyden i V-overløpet måles inn nøyaktig og at tidspunktet noteres. Kalibrering etter denne metoden gjøres først og fremst ved vannføringer større enn 2 cm og lavere enn 12 cm.

Nødvendig utstyr: Stor rettvinklet linjal (mer enn 15 cm lang) med 2 x 45 grader og vater med 45 graders vinkel. Merk at linjalen MÅ starte med 0-punktet i enden av linjalen. Hvis det bores 2 hull øverst i linjalen, kan vateret stripses fast. Du kan da bruke en hånd for avlesningen. En hvit tape på baksiden av skalaen vil kunne lette avlesningen.



Trekantvinkel og vater kan brukes til avlesning av vannhøyden i V-overløp (foto: T. Dalen).

1. Sett spissen av trekantlinjalen i spissen av V-overløpet. Vannhøyden må måles noe oppstrøms V-overløpet siden vannet krummes idet det faller over kanten.
2. Plasser 45 graders vateret på trekantlinjalen, og la libellen spille (luftboble mellom målestrekene).
3. Les av vannhøyden. I NVE gjøres alt om til meter. Noter den ned (5,7 cm blir 0,057 m). MERK: Det er lett å notere tallet over vannspeilet. Registreringen blir da 1 cm for høy!
4. Les av vannhøyden på loggeren. Sammenlign avlesningene og noter avlest (observert i V-overløpet) samt registrert i logger.
5. Noter tidspunkt (dato og klokkeslett, vintertid/normaltid) og vannhøydene i henholdsvis V-overløpet, og i loggeren.

Bruk av metodikken er også vist på <http://www.youtube.com/watch?v=K7Cn0Fu2D5U> (ca 4:30 min ut i videoen).

Denne serien utgis av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE)

Utgitt i Rapportserien i 2013

- Nr. 1 Roller i det nasjonale arbeidet med håndtering av naturfarer for tre samarbeidende direktorat
- Nr. 2 Norwegian Hydrological Reference Dataset for Climate Change Studies. Anne K. Fleig (Ed.)
- Nr. 3 Anlegging av regnbed. En billedkavalkade over 4 anlagte regnbed



Norges
vassdrags- og
energidirektorat

Norges vassdrags- og energidirektorat

Middelthunsgate 29
Postboks 5091 Majorstuen
0301 Oslo

Telefon: 09575
Internett: www.nve.no

