



SINTEF RAPPORT

SINTEF Byggforsk Geoteknikk

Postadresse: 7465 Trondheim

Besøk: Høgskoleringen 7a

Telefon: 73 59 46 10

Telefaks: 73 59 53 40

Foretaksregisteret: NO 948 007 029 MVA

TITTEL

Urbanisering – Grønne tak i urbane strøk.
Feltforsøk avrenning.

FORFATTER(E)

Jan Ove Busklein

OPPDRAGSGIVER(E)

Nittedal Torvindustri AS

RAPPORTNR. SBF IN F09416	GRADERING Fortrolig	OPPDRAGSGIVERS REF. Morten Sandbeklien	
GRADER. DENNE SIDE Fortrolig	ISBN	PROSJEKTNR. 3C0516	ANTALL SIDER OG BILAG 31/1
ELEKTRONISK ARKIVKODE SINTEF RAPPORT Grønne tak i urbane strøk. Feltforsøk avrenning.doc		PROSJEKTLÉDER (NAVN, SIGN.) Jan Ove Busklein	VERIFISERT AV (NAVN, SIGN.) Lisbeth Alnæs
ARKIVKODE	DATO 2009-12-17	GODKJENT AV (NAVN, STILLING, SIGN.) Martine H. de Vries, forskningsleder	

SAMMENDRAG

Det er i de senere årene blitt større interesse for å benytte grønne tak i urbane strøk for å dempe belastningen på avløpsnett ved kraftige regnskyll. Flere forsøk rapportert i litteraturen viser en god effekt av å kle takflaten med ulike vekster, men forhold tyder på at effekten er avhengig av takets oppbygging og materialet som brukes som vekstmedium.

Nittedal Torvindustri AS benytter sphagnumtorv i klasse H2 til H5 som leveres i nettingsekker på 70 x 45 cm og med ca. 17 cm torvtykkelse. Disse legges direkte på taktekkingen og kan benyttes både på flate og skrå tak.

Denne rapporten presenterer resultater fra forsøk utført ved Voll Forsøksfelt, SINTEF Byggforsk i Trondheim. I forsøket ble det benyttet tre kasser hvor det ble målt avrenning og temperatur. En av kassene ble kledd med Nittedals Taktorv[®], en kasse med sedumtak og ett kun med takmembran.

Ut fra resultatene kan man trekke den konklusjonen at slik som takene var bygget opp i dette forsøket, har det grønne taket med Nittedals Taktorv[®] en bedre evne til å bremse avrenningsfronten, og å redusere den totale avrenningen, enn det grønne taket med sedum, gitt at vanninnholdet i produktet ikke er for høyt idet nedbøren inntreffer.

STIKKORD	NORSK	ENGELSK
GRUPPE 1	Byggeteknikk	Building technology
GRUPPE 2	Hus	House
EGENVALGTE	Grønne tak	Green roof
	Torv	Peat

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Bakgrunn	3
2	Oppdrag	3
3	Instrumentering	3
3.1	Oppbygging av forsøkskasser	3
3.2	Måleutstyr	8
3.2.1	Måling av avrenning	8
3.2.2	Måling av temperatur	9
3.2.3	Loggeprogram og releer	9
3.3	Dyserigg	10
3.4	Kalibrering	11
3.4.1	Temperaturfølere	11
3.4.2	Trykkmålere	11
3.4.3	Tilført vann	11
4	Forsøk	11
4.1	Bestemmelse av vanninnhold	12
4.2	Kontrollerte forsøk	13
4.3	Naturlig nedbør	15
4.4	Temperatur	15
5	Resultater	15
5.1	Avrenning ved kontrollert nedbør	15
5.2	Avrenning ved ordinær nedbør	17
5.3	Kontrollerte forsøk	17
5.3.1	Avrenning fra referansetak	18
5.3.2	Avrenning fra Nittedals Taktorv [®]	18
5.3.3	Avrenning fra sedum	19
5.3.4	Avrenning i forhold til referansetak	20
5.3.5	Oppsummering	21
5.4	Naturlig nedbør	21
5.4.1	Periode 1, begge produktene har lavt vanninnhold	22
5.4.2	Periode 2, begge produktene har et høyt vanninnhold	23
5.4.3	Periode 3, sedum nesten mett, Nittedals Taktorv [®] relativt sett tørrere	24
5.4.4	Oppsummering	26
5.5	Vurdering av resultater	26
5.6	Vanninnhold	27
5.7	Temperatur	28
6	Konklusjon	29
6.1	Total avrenning	29
6.2	Avrenningsfront	30
7	Videre arbeid	30
8	Referanser	31

Appendiks 1 Måling av varmekonduktans på taktorv

1 Bakgrunn

Nittedal Torvindustri AS er et firma lokalisert på Bjørkåsen i Åsnes kommune i Solør som leverer flere produkter fra torv, deriblant Nittedals Taktorv[®]. Årlig leverer de taktorv til ca. 150 000 m² tak både innenlands og utenlands, først og fremst til hyttemarkedet. Torva leveres i nettingsekker på 70 x 45 cm med ca. 17 cm torvtykkelse. Sekkene legges direkte på taktekingen og kan benyttes både på flate og skrå tak.

Det er i de senere årene blitt større interesse for å benytte grønne tak også i urbane strøk, både i Norge og andre land. Bedriften har levert Nittedals Taktorv[®] til flere land, men har behov for en mer helhetlig dokumentasjon på sitt produkt. Torvtakets antatte avlastende effekt for overvannssystemene er viktig å få undersøkt og dokumentert nærmere, i tillegg til eventuelle andre forhold som kan gi produktet fordeler i markedet.

På oppdrag fra Nittedal Torvindustri AS har SINTEF tidligere utført et litteratursøk angående bruk av grønne tak i urbane strøk vedrørende disses evne til å redusere belastningen på avløpssystemet, Busklein (2009). Funnene i litteratursøket viser en god effekt av å kle takflaten med ulike vekster, men også at effekten er avhengig av takets oppbygging og materialet som brukes som vekstmedium

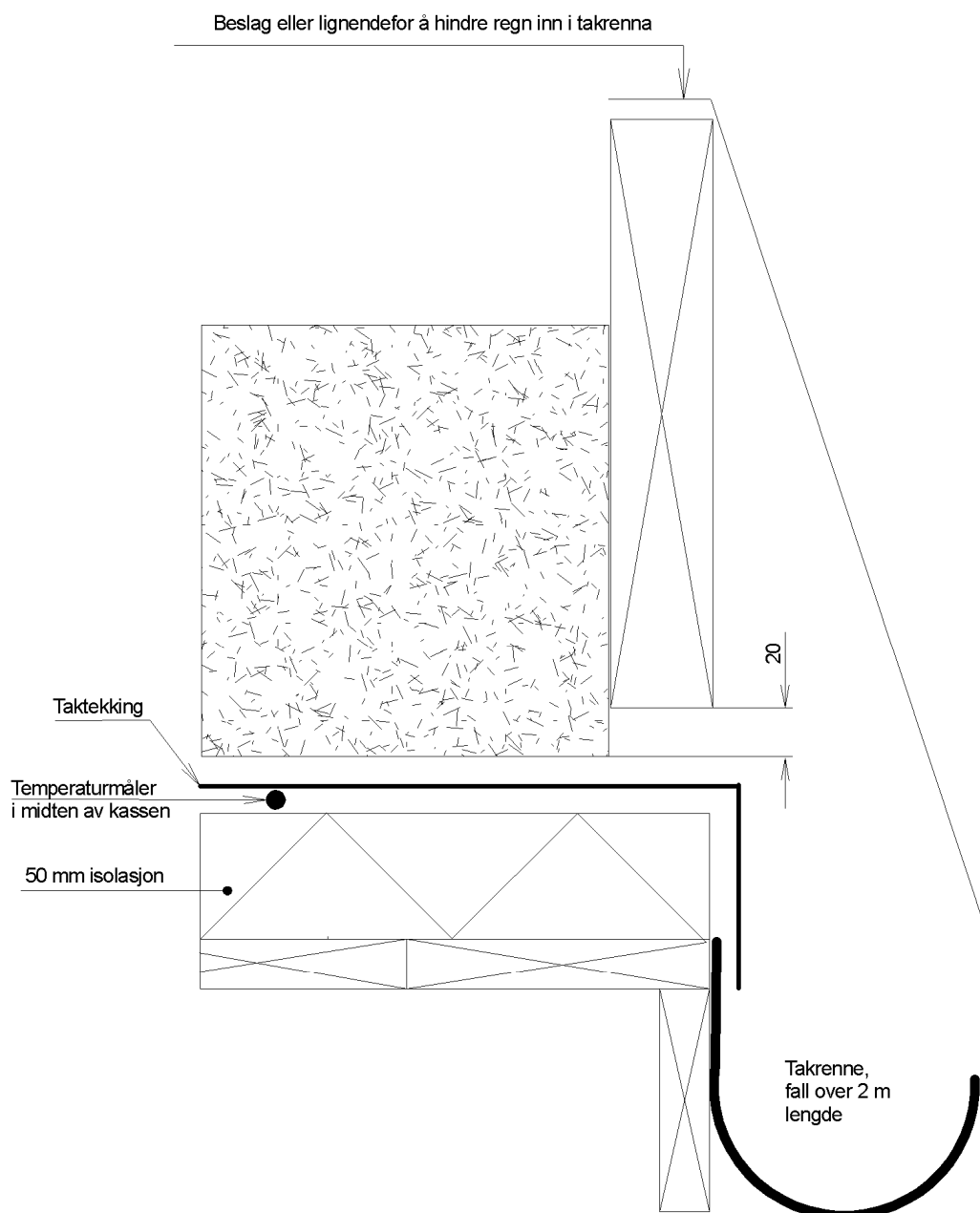
2 Oppdrag

Foreliggende prosjekt har gått ut på å undersøke Nittedals Taktorv[®] sin evne til å forsinke og fordele avrenningen fra et flatt tak over tid, og derved avlaste overvannssystemene ved større nedbørsmengder. Til sammenligning ble det benyttet et flatt tak uten beplantning og et flatt tak med et konkurrerende grønt tak-produkt.

3 Instrumentering

3.1 Oppbygging av forsøkskasser

For å måle effekten på avrenning ble det benyttet tre kasser på 2 x 2 meter som var levert av Nittedal Torvindustri AS. Alle kassene ble isolert i bunnen med 50 mm 200 Jackofoam XPS og tekket med en takmembran. Høyden fra takmembranen opp til kanten av kassen var på 200 mm. Det ble også laget et torvhold med 20 mm åpning under på den ene siden på alle kassene. Takmembranen ble ført under torvholdet og ned i ei 125 mm ISOLA takrenne med fall mot det ene hjørnet av kassen. Før takmembranen ble lagt i kassene, ble det installert en termoelementtråd type T på midten av hver kasse for, om mulig, å få en viss formening om hvilken effekt de ulike taktekingene har for temperaturen i taket. Figur 1 viser en prinsippskisse for oppbyggingen av forsøkskassene.



Figur 1 Prinsippskisse for oppbygging av kassene.

En kasse ble tekket med Nittedals Taktorv[®] som ble levert og lagt av Nittedal Torvindustri AS. Nittedals Taktorv[®] leveres i nettingsekker på 700 x 450 x 170 mm og veier ca 17 kg pr sekk. Sekkene er ferdig sådd med gressfrø.

Det ble benyttet to referansekasser som sammenligningsgrunnlag for Nittedals Taktorv[®]. Den ene kassen er tekket med et sedumtak som ble montert av Nittedal Torvindustri AS, mens den andre kun har takmembran, se Figur 3. Sedumtaket består av en ca 3 cm tykk ferdig bevokst matte av sandholdig jord bevokst med ulike sedumplanter som enten holdes sammen av to lag armeringsnett eller av et underlag av grove fibre. Under maten ligger et ca 7 cm tykt lag med Hasselfors leca-kuler hvor de øverste 1-2 cm er iblandet Plantasjen Plantejord. Det finnes flere måter å bygge opp et sedumtak på ved å benytte underlagsplater med ulike egenskaper vedrørende

drenering og oppsuging av vann. For å kunne sammenligne produktene uavhengig av oppbygging ble det her benyttet et drenerende materiale.

De tre kassene ble plassert ved siden av hverandre med et takfall på 2 % mot sørvest på SINTEF Byggforsk sitt forsøksfelt på Voll i Trondheim som vist i Figur 2. Den 15. juni 2009 ble det lagt Nittedals Taktorv[®] i kasse 1, se Figur 5, Figur 6 og Figur 7, og den 29. juni ble det lagt sedumtak i kasse 3, se Figur 4. På grunn av tørt vær ble torva vannet grundig i flere omganger fram til 9. juli. Deretter fikk takene stå urørt fram til første forsøk med påført vannmengde for å sikre at de grønne takene hadde etablert seg.



Figur 2 Kassene montert på Voll forsøksfelt.



Figur 3 Referansekasse.



Figur 4 Kasse med sedum.



Figur 5 Montering av Nittedals Taktorv®.



Figur 6 Nittedals Taktorv® ferdig montert.



Figur 7 Nittedals Taktorv® ferdig etablert.

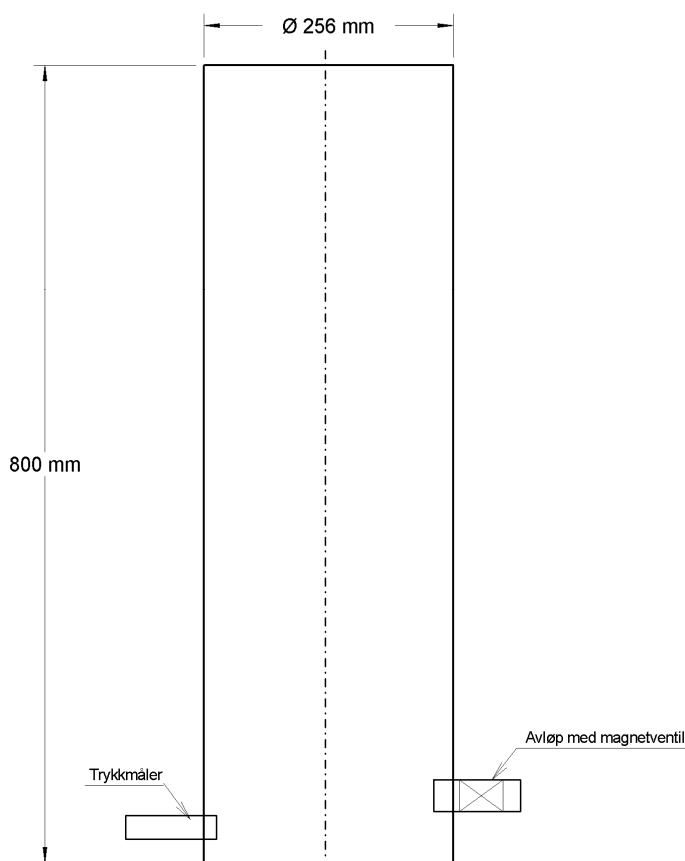
3.2 Måleutstyr

For å kunne måle avrenning fra takene trengtes egnede oppsamlingskar og en metode for å påføre en kontrollert vannmengde over et gitt tidsrom. Dette utstyret ble konstruert ved SINTEF Byggforsk sitt laboratorium i Trondheim. I samarbeid med NTNU Geoteknikk ble det utviklet et program for logging av målingene og styring av påført vannmengde.

3.2.1 Måling av avrenning

Hver kasse ble utstyrt med et 800 mm høyt rør med en indre diameter på 256 mm. Disse ble plassert under nedløpet fra takrennene for å samle opp vannet som rant av takene. Rørene var tette i bunnen og utstyrt med hver sin trykkmåler¹ til å måle vannstanden i oppsamlingsrørene. En magnetventil² var plassert i nedre del av oppsamlingsrørene. Magnetventilen ble åpnet og stengt automatisk for å regulere vannstanden i rørene. Magnetventilen var plassert høyere i røret enn trykkmåleren for å sikre at vannivået ikke kom nedenfor trykkmåleren. Konstruksjonen av oppsamlingsrørene er vist i Figur 8.

For å forhindre at det kom fremmedlegemer ned i rørene, noe som kunne ha forstyrret målingene eller satt magnetventilen ut av spill, ble toppen av rørene forseglet med fluenetting. For å forhindre at det regnet ned i rørene og takrennene ble det lagt takmembran fra overkant av torvholdet og ned på utsiden av takrennene. Ved endene av hver takrenne ble åpningen mellom takmembranen og takrenna lukket med bygningsplast. Ferdig instrumentert kasse er vist i Figur 9.



Figur 8 Oppsamlingsrør for avrent vann.

¹ Trykk Transmitter 0-100mBAR type PTX1400

² 2/2 veis magnetventil 0290-A-25,0-BB-MS-GM86-230/50-16 JF01 + MT05



Figur 9 Ferdig instrumentert kasse.

3.2.2 Måling av temperatur

For å måle temperaturvariasjonene i de tre kassene ble hver av dem utstyrt med en termoelementtråd type T midt på takflaten mellom takmembranen og isolasjonen. Kassen med Nittedals Taktorv[®] ble i tillegg utstyrt med en termoelementtråd i underkant av torva og en termoelementtråd ca 2 cm under overflaten av torva.

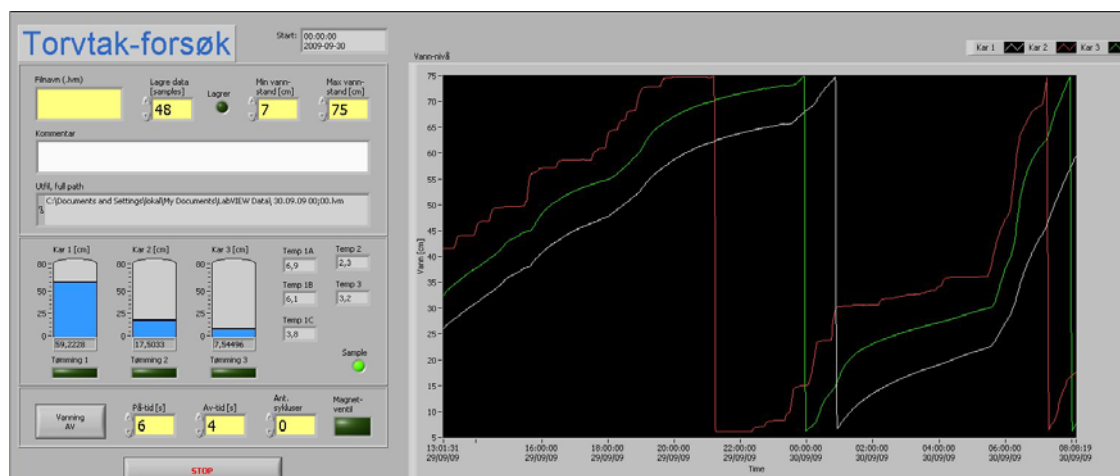
3.2.3 Loggeprogram og releer

For å overvåke avrenningen fra de tre kassene ble det utviklet et program i LabView v 8.6 som leste av trykkmålerne i de tre rørene samt temperaturfølerne, se Figur 10. Resultatet ble i tillegg til lagring på fil vist både grafisk og med verdier slik at operatøren hele tiden kunne følge med på utviklingen. En avlesningssyklus tok omtrent 1,5 sekund og antall avlesningssykluser før skriving til loggefil ble styrt av operatøren.

Programmet styrte tømningen av oppsamlingsrørene ved at høyeste og laveste tillatte vannstand i rørene ble angitt av operatøren. Når vannstanden i et oppsamlingsrør nådde høyeste tillatte nivå ble magnetventilen i avløpet fra røret åpnet. Denne forble åpen til vannstanden sank til angitt laveste tillatte nivå. På grunn av at avlesningssyklusen medførte en forsinkelse på inntil ca 1,5 sekund ble den reelle nedre vannstanden litt lavere enn angitt nedre tillatte vannnivå. Dette ble det tatt hensyn til ved valg av nedre tillatte vannnivå slik at det ikke skulle være fare for at vannstanden sank under trykkløseren.

Tilført vannmengde ble styrt ved at brukeren gav inn antall sekunder magnetventilen i dyseriggen skulle være åpen og lukket samt antall åpninger og lukninger som skulle foretas. Prosessen for

tilførsel av vann ble startet ved at operatøren trykket på en knapp. Når angitt antall åpninger og lukkinger var foretatt, ble magnetventilen for tilførsel av vann stengt av programmet.



Figur 10 Skjerm bilde for loggeprogram.

3.3 Dyserigg

For å kunne påføre kontrollerte mengder vann mest mulig jevnt fordelt i kassene ble det konstruert en dyserigg av 12mm kobberør med 16 dyser³, se Figur 11. Dyseriggen ble matet med et vanntrykk på 1,5 bar, og mengden påført vann ble regulert ved å åpne og stenge en magnetventil som ble styrt fra loggeprogrammet ut fra et forhåndsbestemt intervall. For å få lik spredning av vannet i de tre kassene kunne høyden på dyseriggen justeres slik at avstanden fra dysehodene til overflaten i kassen var 46 cm for alle kassene.



Figur 11 Dyserigg.

³ FULLJET NOZ.BSPT,BR

3.4 Kalibrering

Oppkobling og kalibrering av måleutstyret ble foretatt av SINTEF Byggforsk i samarbeid med NTNU Geoteknikk.

3.4.1 Temperaturfølere

Temperaturfølerne under takmembranen var ferdig montert i kassene før de ble satt ut på Voll forsøksfelt. Det ble derfor ikke utført kalibrering av temperaturfølerne. Derfor vet man ikke hver enkelt termoelementtråds nullpunkt og nøyaktighet. I kassen med Nittedals Taktorv[®] ble det etter legging av torv montert en termoelementtråd i underkant av torva og en ca 2 cm under overflaten av torva.

3.4.2 Trykkmålere

Kalibrering av trykkmålerne ble utført ved å legge et rør med diameter på 50 mm ned i oppsamlingsrøret. Så ble det fylt på vann til vannet akkurat dekket røret og trykket lest av. Deretter ble oppsamlingsrøret fylt helt opp med vann og trykket lest av. Korreksjonsfaktorer for hver trykkmåler ble så lagt inn i loggeprogrammet.

Kalibreringen ble kontrollert ved at vannstanden ble senket til gitte nivå og kontrollmålt med tommestokk. Hvert oppsamlingsrør ble kontrollert to ganger ved at de ble tømt og fylt opp til gitte vannivå.

3.4.3 Tilført vann

Kalibrering av mengde tilført vann ble foretatt ved at dyseriggen ble montert i kassen uten torvtekkning. Vannet ble satt på og trykkreduksjonsventilen regulert ned til det laveste trykket hvor dysene gav god spredning. Deretter ble logging av oppsamlet vannmengde startet samtidig som magnetventilen ble åpnet. Etter tre minutter ble magnetventilen stengt og mengden tilført vann ble regnet ut fra endring av vannivået i oppsamlingsrøret. Basert på denne ble nødvendig åpnings- og lukkingstid for magnetventilen, for å oppnå ønsket tilført vannmengde pr tidsenhet, regnet ut. For å kontrollere at dette stemte ble oppsamlingsrøret tømt, åpnings- og lukkingstid samt antall intervaller gitt inn i brukergrensesnittet til programmet før ny tilførsel og logging ble startet. Det ble kjørt to tester à tre minutter for å kontrollere at ønsket tilført vannmengde stemte.

4 Forsøk

For å undersøke Nittedal Taktorv[®] sin antatte evne til å forsinke avrenningen fra tak, og dermed redusere belastningen på avløpssystemet ved større nedbørsmengder, ble det kjørt både kontrollerte forsøk, hvor det ble påført en gitt vannmengde i løpet av et tidsintervall, og logget naturlig nedbør. Målingene gir en kumulativ kurve for avrent vann for hvert av takene.

Det ble tatt prøver før og etter kontrollerte forsøk for å se hvordan vanninnholdet før forsøket påvirker avrenningen og hvor mye vanninnholdet har økt under forsøket. I tillegg er det tatt prøver utenom kontrollerte forsøk for å se hvordan vanninnholdet endrer seg over tid.

4.1 Bestemmelse av vanninnhold

Vanninnholdet i de grønne takene er bestemt i laboratorium ved at det er blitt tatt materialprøver fra takene før og etter kjøring av forsøk og ellers minst en gang i uken. Prøvetak for bestemmelse av vanninnhold ble startet 18. august og avsluttet 6. oktober. Målt vanninnhold for sedum den 30. august er sett bort fra da resultatet fra dette prøvetaket ikke var troverdig.

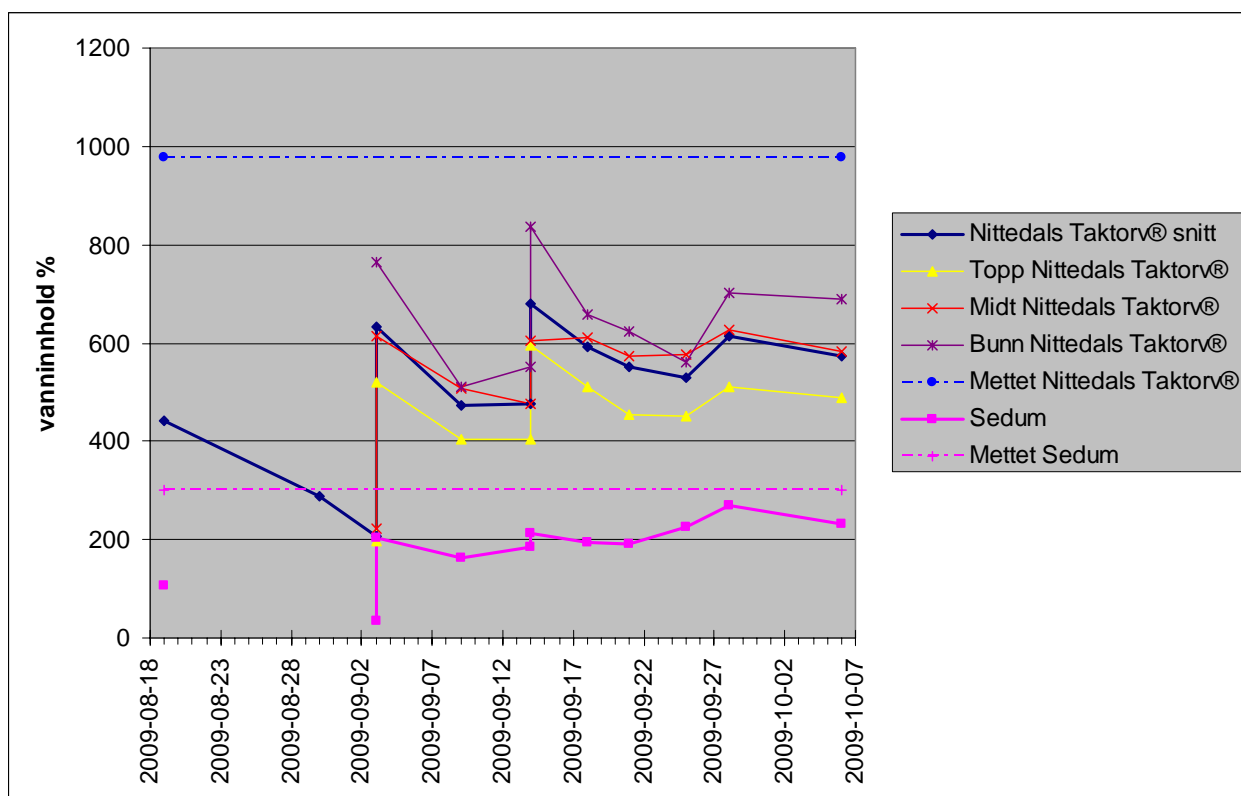
Vanninnholdet angis i henhold til NS 8013 som masse vann i forhold til masse av tørrstoffet i prøven og ble bestemt ved at prøvene ble veid før og etter tørking ved 110 °C i ett døgn.

For å finne hvor mye vann de to tekkingstypene kan ta opp er det tatt tre prøver fra hver av dem. Prøvene ble så plassert i små krukker med store hull i bunnen slik at vannet fritt kunne strømme igjennom. Nederst i hver krukke er det lagt et stykke tynn filterduk før et prøvestykke er plassert i krukken. Deretter er krukkene plassert i et kar som ble fylt med vann til vannet stod til toppen av prøvestykkene. Prøvene fikk stå og trekke vann i fire døgn. For å bestemme vanninnholdet ble hver krukke løftet opp av vannbadet, og fritt vann fikk drenere ut av prøven før den ble plassert i en petriskål, veid og plassert i tørkeskap i tre døgn. Resultatet av bestemmelse av maksimalt vanninnhold w_{\max} for de to produktene er vist i tabell 1.

	Prøve 1 (%)	Prøve 2 (%)	Prøve 3 (%)	Snitt (%)
Nittedals Taktorv®	914	1065	956	978
Sedum	306	324	277	302

Tabell 1 Maksimalt vanninnhold w_{\max}

Maksimalt vanninnhold w_{\max} for de to produktene og utviklingen av vanninnholdet i forsøksperioden er vist i Figur 12.



Figur 12 Utvikling av vanninnhold i forsøksperioden

4.2 Kontrollerte forsøk

For å undersøke Nittedals Taktorv[®] sin evne til å forsinke og fordele avrenningen fra et flatt tak over tid, og derigjennom avlaste overvannssystemene ved større nedbørsmengder, ble det valgt å kjøre forsøk på ekstrem nedbør. Nedre grense for ekstrem nedbør er i følge Wikipedia (2009-11-09) 50 mm nedbør på en time. Styringen av tilført vannmengde ble derfor kalibrert ut fra dette. For å sikre like forhold i kassene ble en forsøksserie gjennomført i løpet av en dag, og det måtte være oppholdsvær.

Hver av kassene ble tilført vann fra en dyserigg, se Figur 13 og Figur 14, i en time. Mengden vann som ble påført ble styrt av loggeprogrammet ved at åpnings- og lukkingstiden for magnetventilen ble innstilt på henholdsvis 6 og 4 sekunder. Med 360 intervaller og et vanntrykk på 1,5 bar gav dette en vannmengde som tilsvarer en nedbørsmengde på 52 mm på en time. Vanntrykket i oppsamlingsrørene ble logget ca hvert tredje sekund og loggingen startet samtidig som påføring av vann startet. Når ønsket antall intervaller for påføring av vann var gjennomført, stengte loggeprogrammet automatisk magnetventilen for dyseriggen slik at det ikke ble tilført mer vann. Loggingen av vanntrykket i oppsamlingsrørene fortsatte imidlertid til den ble stoppet av operatøren. Dette skjedde først når kurvene hadde flatet ut i så stor grad at avrenningen fra taket ble ansett for å ha stoppet. For å bestemme vanninnholdet ble det i hvert grønt tak tatt to prøvetak både før og etter forsøket.

Det ble gjort to forsøk med kontrollert vannmengde. Det første kontrollerte forsøk ble utført 3. september, det andre ble utført 14. september. Begge dagene hadde meget like forhold med sol og svak vind. I dagene mellom forsøkene hadde det vært nedbør slik at vanninnholdet i torva ved starten av andre forsøk var høyere enn vanninnholdet i torva ved starten av første forsøk.



Figur 13 Nittedals Taktorv[®] påmontert dyserigg.



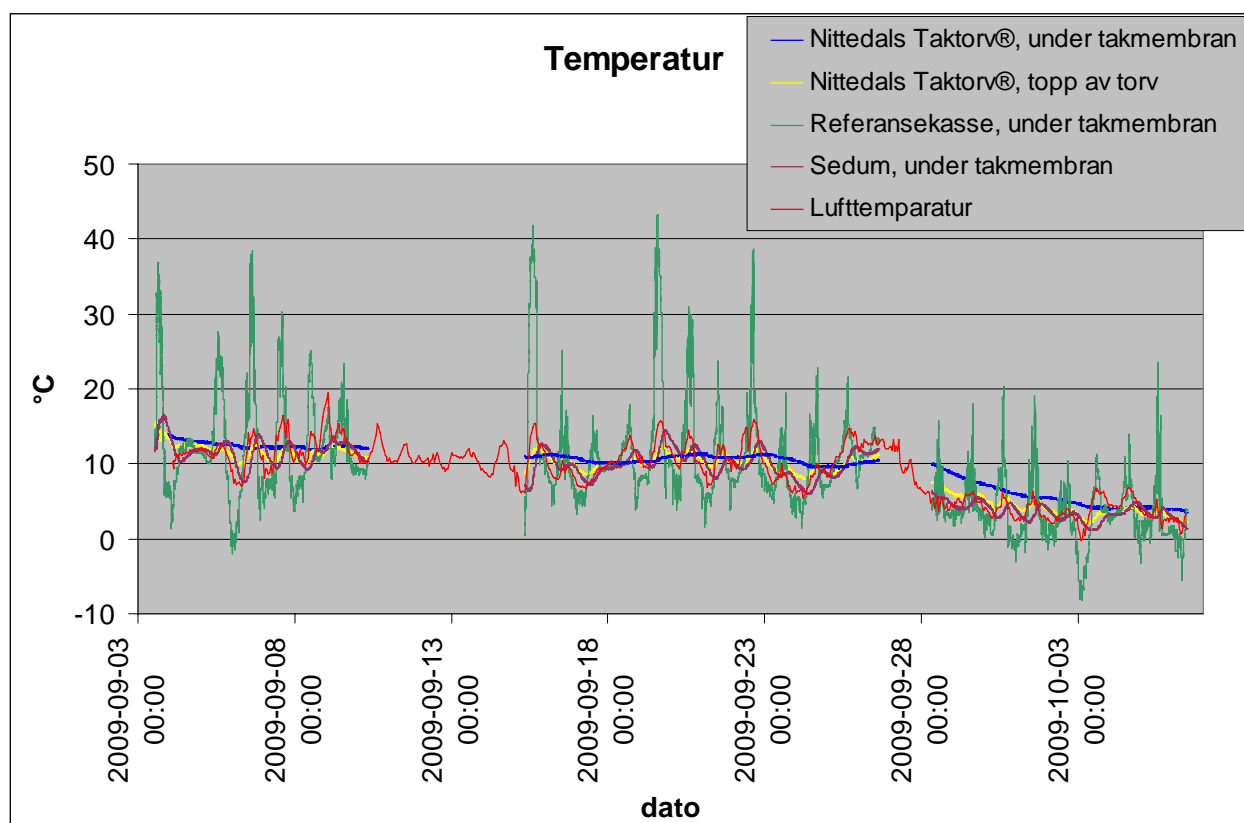
Figur 14 Kjøring av forsøk, Nittedals Taktorv[®].

4.3 Naturlig nedbør

Mellom de kontrollerte forsøkene ble avrenningen fra de tre kassene logget kontinuerlig. Det har vært jevnt med nedbør siden avrenningsforsøket ble startet den 3. september og til det ble avsluttet den 6. oktober. I denne perioden har vi hatt to avbrudd i loggingen på grunn av at PC av ukjent årsak har restartet. Det mangler derfor data for til sammen sju dager på grunn av disse avbruddene. Det er foretatt to prøvetak i hver kasse med ulike mellomrom for å se på utviklingen av vanninnholdet i torvene.

4.4 Temperatur

I alle kassene er det lagt inn ett eller flere termoelementtråder. Alle kassene har en termoelementtråd under takmembranen. I kassen med Nittedals Taktorv[®] er det i tillegg lagt inn termoelementtråder i underkant av torva og ca 2 cm under toppen av torva. Lufttemperaturen er hentet fra den meteorologiske målestasjonen på Voll. De målte verdiene er vist i Figur 15.

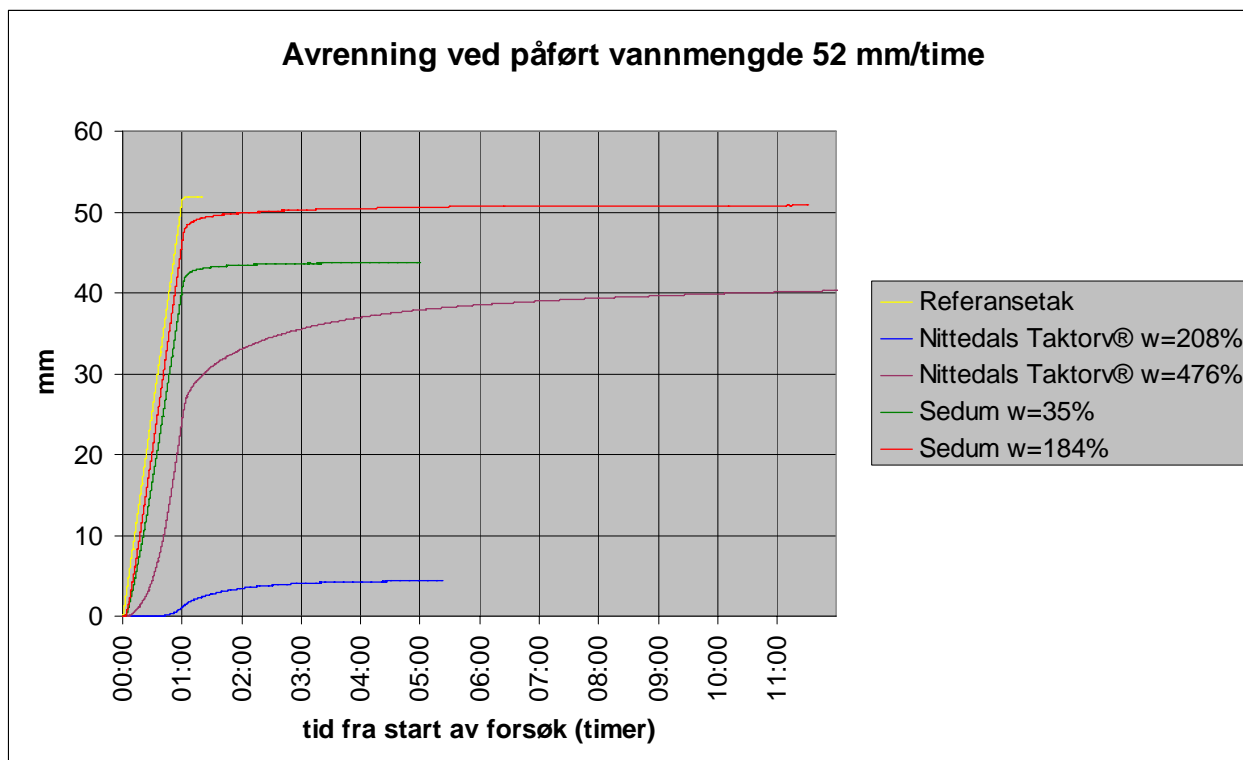


Figur 15 Lufttemperatur og temperatur målt i kassene i forsøksperioden.

5 Resultater

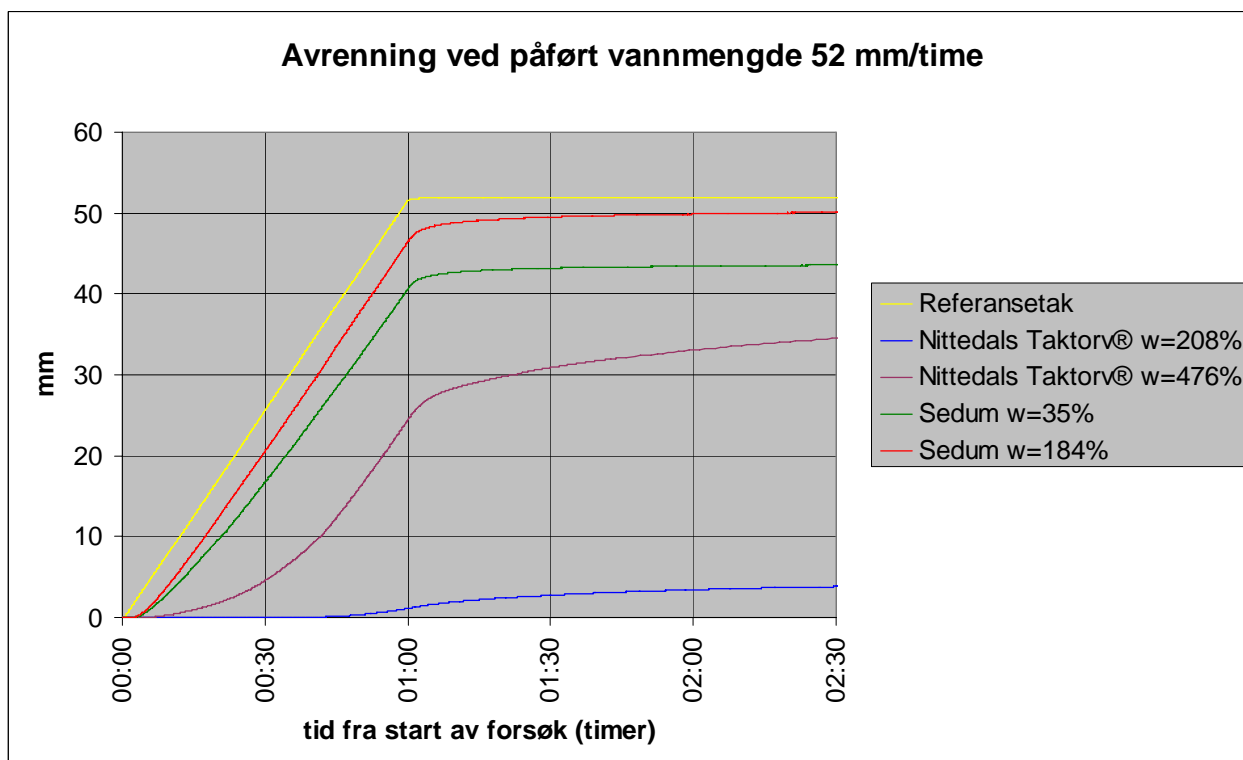
5.1 Avrenning ved kontrollert nedbør

Det er kjørt to forsøk på de tre takene hvor vannivået i oppsamlingsrørene er logget mens takene er dusjet med vann. Loggingen har fortsatt etter at tilførsel av vann var stoppet inntil endringen av vannivået i oppsamlingsrørene flatet ut. De målte vannivåene i oppsamlingsrørene for de tre takene er deretter regnet om til mm nedbør og vist i Figur 16.



Figur 16 Kumulativ mengde avrent vann for de kontrollerte forsøkene.

Figur 17 viser et utsnitt av Figur 16 for å gi et bedre inntrykk av forløpet av avrenningen i den første tiden av de to forsøkene.



Figur 17 Kumulativ mengde avrent vann i den første tiden av de kontrollerte forsøkene.

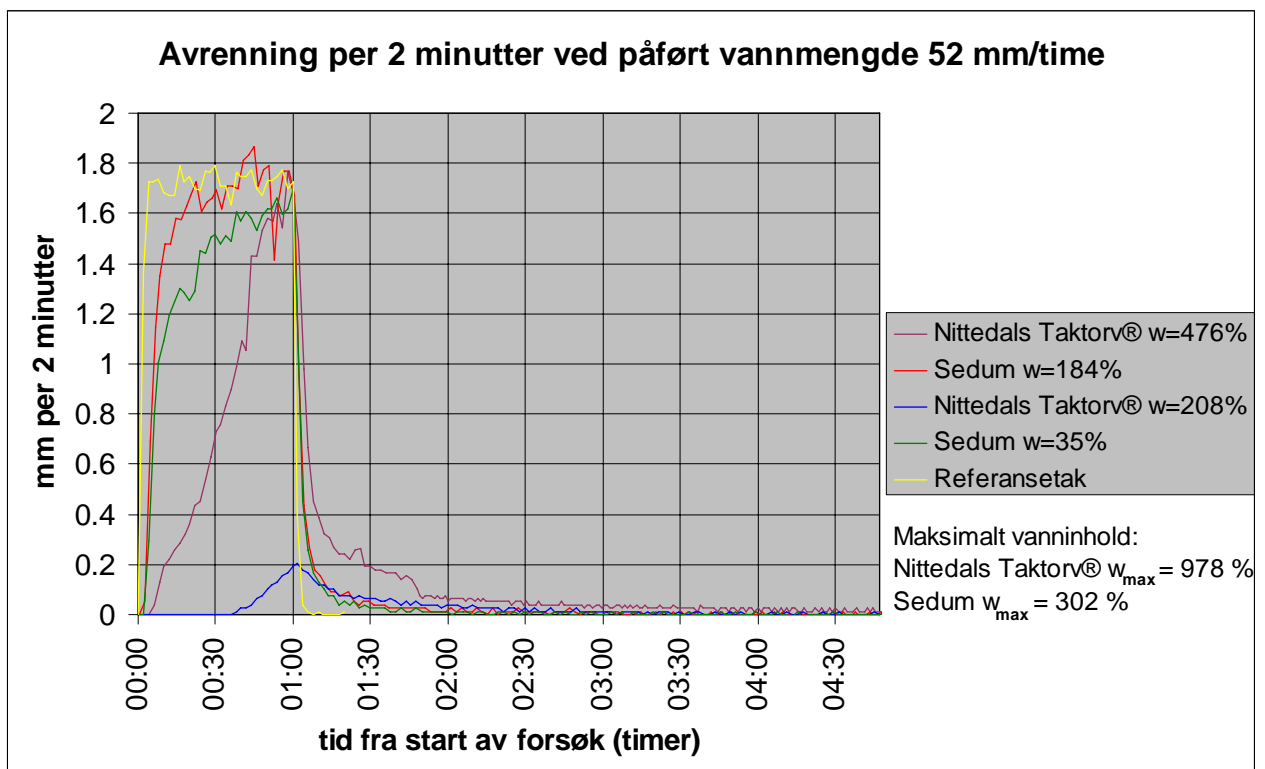
5.2 Avrenning ved ordinær nedbør

I tillegg til resultatene fra de to forsøkene med kontrollert nedbør er det sett nærmere på tre perioder hvor avrenningen fra ordinær nedbør er logget. Disse periodene er valgt ut fra et ønske om at avrenningen fra forrige nedbørsperiode er avsluttet og at vanninnholdet i de to grønne takene ligger på forskjellige nivå i de tre periodene.

I den første perioden med naturlig nedbør som det er sett nærmere på, er vanninnholdet i begge takene relativt lavt, henholdsvis 48 % og 54 % av tekkematerialenes maksimale vanninnhold (w_{max}). For den andre perioden har begge takene i utgangspunktet et relativt høyt vanninnhold, 70 % av w_{max} for sedum og 69 % av w_{max} for Nittedals Taktorv[®], mens i den siste perioden er sedumen nesten mettet med 89 % av w_{max} , mens Nittedals Taktorv[®] relativt sett er tørrere med 62 % av sin w_{max} .

5.3 Kontrollerte forsøk

For å se på utviklingen av avrenningen over tid ble avrenningen delt inn i intervaller på to minutters varighet. Ved å plote differansen mellom de målte vannivåene på slutten av hvert intervall i et diagram får man en kurve som beskriver avrenningen over tid, se Figur 18. Man får da et bilde av når avrenningen starter, hvor fort toppen kommer og hvor lenge avrenningen fortsetter etter at nedbøren har opphørt.



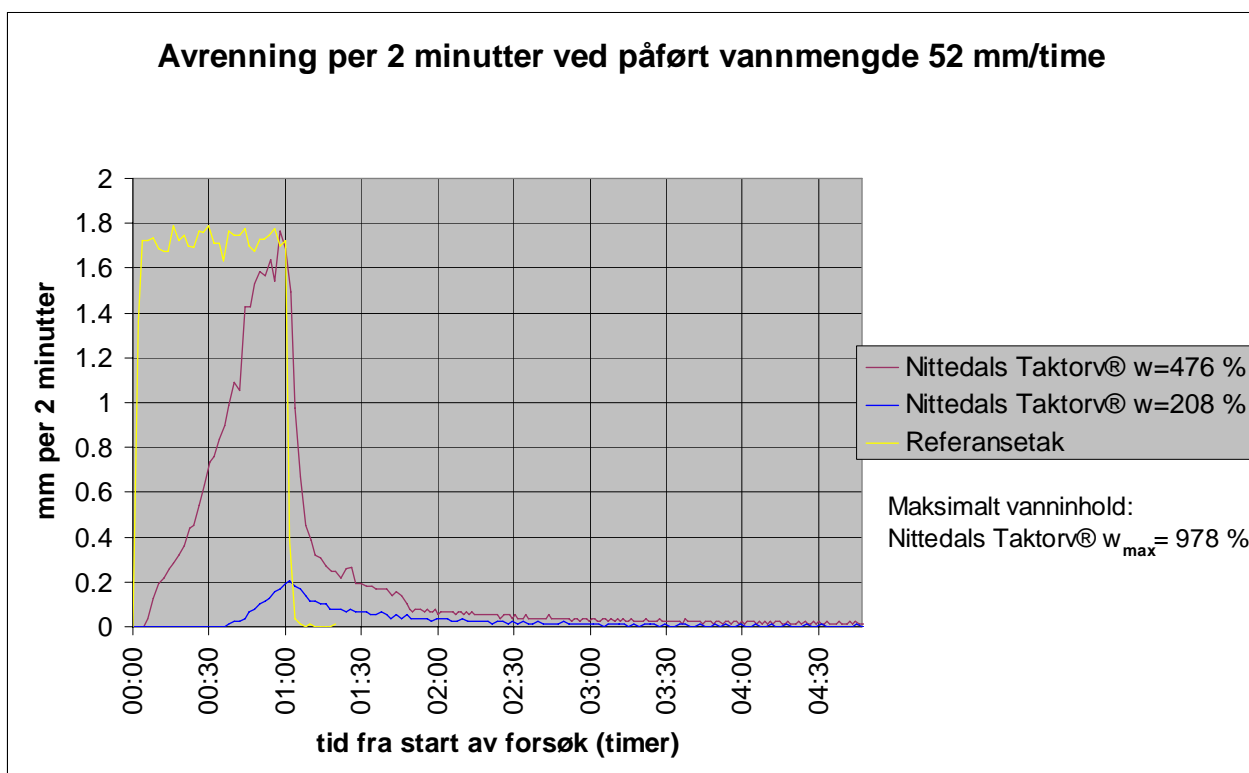
Figur 18 Avrenning per tidsenhet for de grønne takene.

I forsøket som ble utført den 3. september var både Nittedals Taktorv[®] og sedumen relativt tørre. Vanninnholdet var for begge produkttypene det laveste for hele forsøksperioden. Sedumen hadde et vanninnhold på 11 % av w_{max} , det maksimale vanninnholdet oppnådd etter oppfukning i laboratoriet, mens Nittedals Taktorv[®] hadde et vanninnhold på 21 % av sin w_{max} . Ved starten av forsøket den 14. september hadde sedumen et vanninnhold på 70 % av w_{max} , og Nittedals Taktorv[®] et vanninnhold på 48 % av w_{max} .

5.3.1 Avrenning fra referansetak

Man ser at for referansetaket starter avrenningen umiddelbart. Den første endringen av vannivået i oppsamlingskaret er registrerbar etter 23 sekunder. Etter omtrent 50 sekunder har endringen av vannivået stabilisert seg, og avrenningen er stabil gjennom hele forsøket. Avrenningen avtar hurtig når tilførselen av vann stoppes, og etter ca. 30 sekunder er endringen av vannstanden i oppsamlingskaret meget liten. Etter tre minutter er det ikke lenger registrerbar endring av vannivået. Total avrenning fra taket er 51,9 mm, hvorav 51,4 mm kommer mens taket tilføres vann.

5.3.2 Avrenning fra Nittedals Taktorv[®]



Figur 19 Avrenning per tidsenhet for Nittedals Taktorv[®]

Som man ser av Figur 19 er det stor forskjell på kurvene fra de to forsøkene for Nittedals Taktorv[®]. Dette indikerer at det vanninnholdet torva har når nedbøren kommer, *in situ* vanninnhold, spiller en stor rolle for avrenningen, både hvor fort den starter og den totale mengden vann som renner av.

I det første forsøket, hvor torva hadde et initielt vanninnhold $w = 208$ %, ble den første avrenningen registrert etter 36 minutter mens den ved et initielt vanninnhold $w = 476$ % ble registrert etter fem minutter.

Med et vanninnhold $w = 476$ % er avrenning per tidsenhet, avrenningstoppen, den samme som for referansetaket etter omtrent 58 minutter, mens den med et vanninnhold $w = 208$ % ikke når opp mot dette i løpet av de 60 minuttene taket tilføres vann.

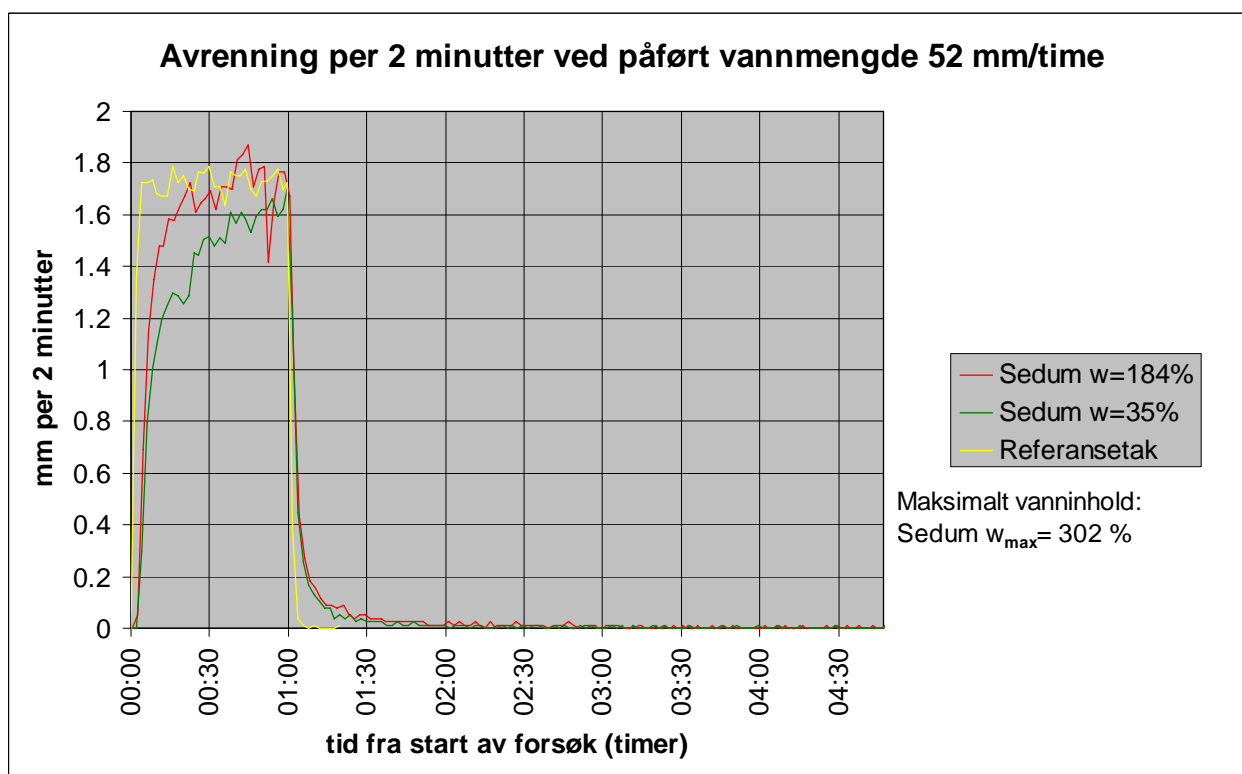
Når vanntilførselen stoppes avtar avrenningen umiddelbart. I forsøket hvor Nittedals Taktorv[®] hadde størst vanninnhold avtar avrenningen hurtig, men omtrent 30 minutter etter at tilførselen av vann ble stoppet synker kurven for avrenningen med omtrent samme hastighet for de to vanninnholdene.

En oppsummering av avrenningen ved 52 mm nedbør er vist i tabell 2.

Initielt vanninnhold w_0 (%)	Avrenning 0 – 60 min (mm)	Avrenning etter 60 min (mm)	Total avrenning (mm)
208	0,9	3,5	4,4
476	22,7	18,2	41

Tabell 2 Avrenning for Nittedals Taktorv[®] ved kontrollert nedbør.

5.3.3 Avrenning fra sedum



Figur 20 Avrenning per tidsenhet for sedum.

Som Figur 20 viser, øker avrenningen fra sedumtaket sterkt i begge forsøkene, og det er ikke så stor forskjell i avrenningen selv om det initielle vanninnholdet er meget forskjellig. Da sedumet hadde et initielt vanninnhold $w = 35\%$ ble den første avrenningen registrert etter 2 minutter og 37 sekunder, mens den ble registrert etter 1 minutt og 50 sekunder da det initielle vanninnholdet var $w = 184\%$, en forskjell på bare 47 sekunder.

En oppsummering av avrenningen ved 52 mm nedbør er vist i tabell 3.

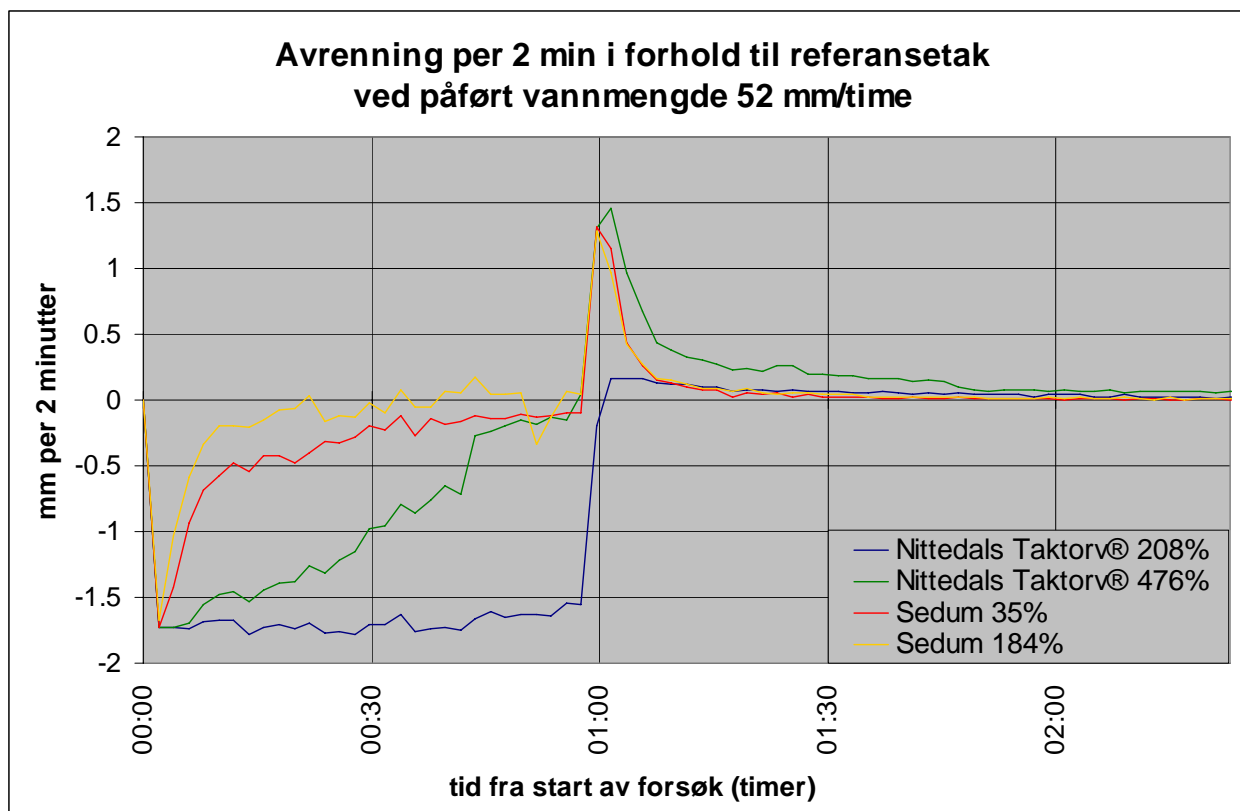
Initielt vanninnhold w_0 (%)	Avrenning 0 – 60 min (mm)	Avrenning etter 60 min (mm)	Total avrenning (mm)
35	38,7	5	43,7
184	45,1	5,7	50,8

Tabell 3 Avrenning for sedum ved kontrollert nedbør.

5.3.4 Avrenning i forhold til referansetak

I Figur 21 er avrenningen fra sedum og Nittedals Taktorv[®] i de to forsøkene vist i forhold til referansetaket. Forsøkets varighet var av for kort varighet til at avrenningen nådde samme nivå pr tidsenhet som referansetaket når produktene hadde det laveste vanninnholdet. Sedum med $w = 35\%$ nærmer seg referansetakets avrenning idet tilførselen av vann avsluttes. En beregning av avrenningen viser at den ville ha nådd samme nivå som avrenningen fra referansetaket etter omtrent 75 minutter hvis tilførselen av vann ikke hadde blitt avsluttet. Kurvene viser at Nittedals Taktorv[®], med et initielt vanninnhold på 208 %, og sedumen har et nokså likt avrenningsforløpet etter at tilførselen av vann er avsluttet. Dette gjelder for begge de to initielle vanninnholdene til sedumen, mens Nittedals Taktorv[®], med et initielt vanninnhold på 476 %, har en større avrenning som fordeler seg på et lengre tidsrom.

I Figur 21 er det to sprang i kurvene. Det negative spranget kommer av at referansetaket har avrenning i en periode hvor de to andre takene ikke har det, mens det positive spranget kommer av at referansetaket ikke lenger har avrenning når avrenningen fra de to andre takene fortsetter.



Figur 21 Avrenning per tidsenhet for de grønne takene i forhold til referansetak.

5.3.5 Oppsummering

En oppsummering av avrenningen for de to grønne takene ved 52 mm nedbør er vist i tabell 4 og tabell 5.

	Total avrenning (mm)	Tid fra start av forsøk til registrert avrenning (min:sek)	Tid fra start av forsøk til det oppnås avrenning lik referansetaket (min)	Total avrenningstid (timer:min)
Nittedals Taktorv [®] 208 % (21 % w_{max})	4,4	36:30	-	5:20
Nittedals Taktorv [®] 476 % (48 % w_{max})	41	5:22	58	18:19
Sedum 35 % (11 % w_{max})	43,7	2:37	74*	4:07
Sedum 184 % (61 % w_{max})	50,8	1:50	35	11:32
Referansetak	51,8	0:23	0	1:18

*beregnet verdi

Tabell 4 Oppsummering av avrenningstid og –mengde.

For Sedum 35 % er tid fra start av forsøk til det oppnås avrenning lik referansetaket beregnet til 74 minutter forutsatt at nedbøren hadde fortsatt med samme intensitet. Dette er gjort ved å legge inn en trendlinje for kurven i Figur 21. Funksjonen til trendlinja er $f(x) = 0,2692\ln(x) + 0,8806$. For $f(x) = 0$ gir dette $x = 74$ minutter. For Nittedals Taktorv[®] 208 % er det ikke mulig å gjøre noe tilsvarende da denne kurven så vidt har begynt å stige når tilførselen av vann blir avsluttet.

Tid fra forsøksstart	Nittedals Taktorv [®] 208 % (21 % w_{max})	Nittedals Taktorv [®] 476 % (48 % w_{max})	Sedum 35 % (11 % w_{max})	Sedum 184 % (61 % w_{max})
1 time	-98 %	-53 %	-22 %	-10 %
5 timer	-92 %	-27 %	-16 %	-2 %

Tabell 5 Avrenning i forhold til referansetak 1 time og 5 timer etter forsøksstart.

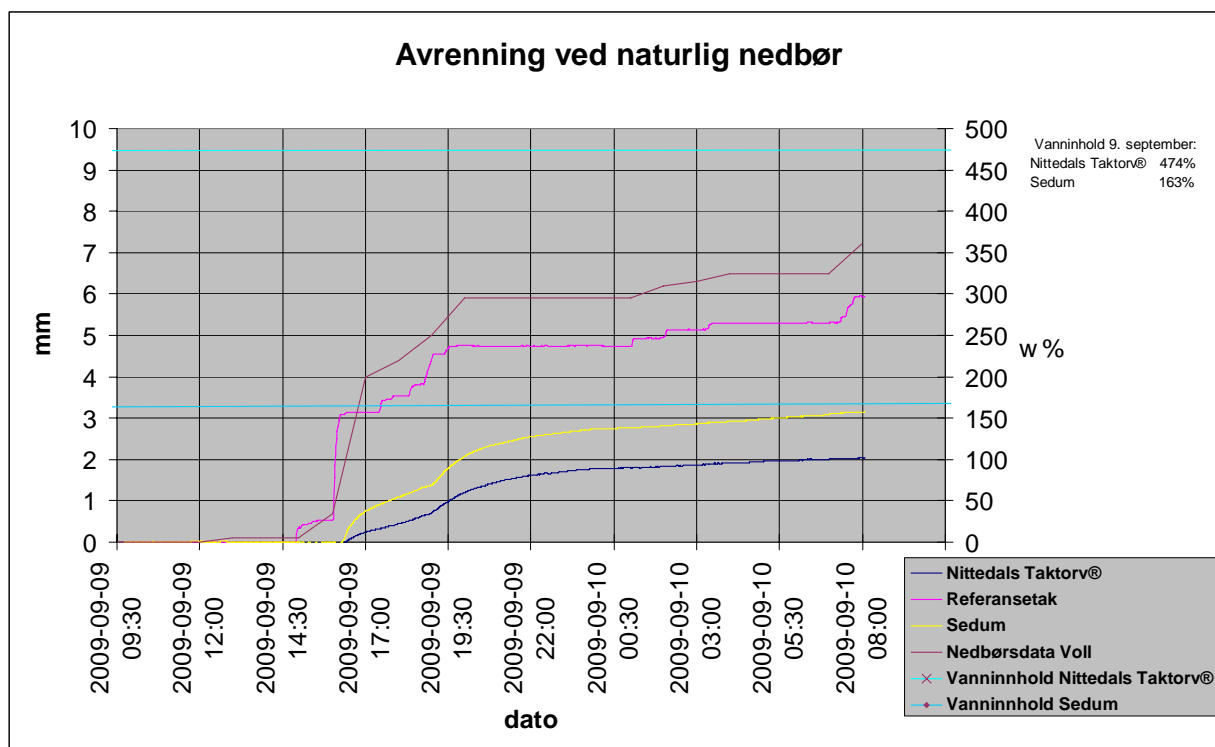
Som man ser av tabellene har de grønne takene en forsinkelse av avrenningstoppen på mellom 35 og 75 minutter avhengig av *in situ* vanninnhold. Mengden vann som holdes tilbake i de grønne takene etter fem timer er opptil 92 %. Samtidig blir avrenningen fordelt over et mye lengre tidsrom, fra 4 til 18 timer.

5.4 Naturlig nedbør

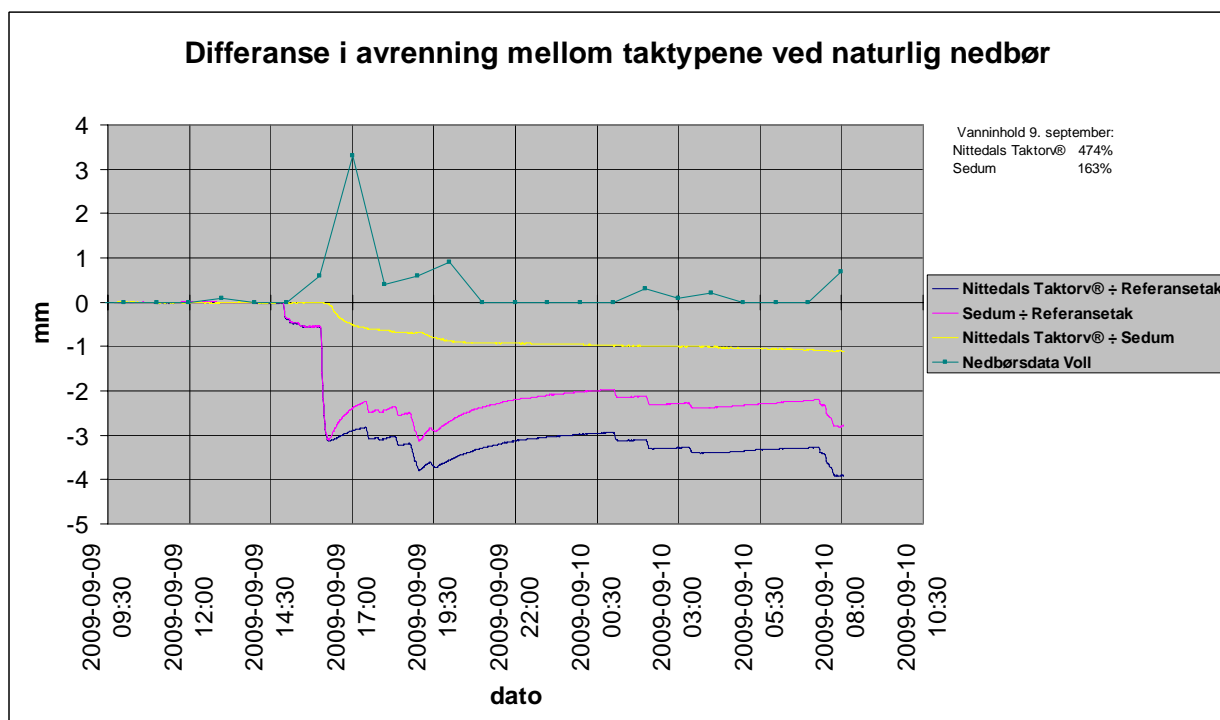
De dagene det ikke ble kjørt forsøk ble avrenning på grunn av naturlig nedbør logget. Det er vanskelig å trekke sikre konklusjoner ut fra data som man får fra så uensartede forhold som man har ved naturlige variasjoner i nedbørsmengde og -varighet når man ikke har data fra en lengre måleperiode tilgjengelig. I dette tilfellet er det likevel mulig å trekke ut tre situasjoner som man kan se på.

5.4.1 Periode 1, begge produktene har lavt vanninnhold

I tidsrommet 9. til 10. september hadde de to produktene lavest vanninnhold. Avrenningen for denne perioden er vist i Figur 22 og Figur 23. Vanninnholdet til Nittedals Taktorv® er her 474 %, som er 48 % av maksimalt vanninnhold, mens sedumen har et vanninnhold på 163 % eller 54 % av maksimalt vanninnhold. Begge takene er dermed relativt tørre sett i forhold til det maksimale vanninnholdet tekkingsmaterialene kan ta opp.



Figur 22 Kumulative kurver for avrenning 9. til 10. september.



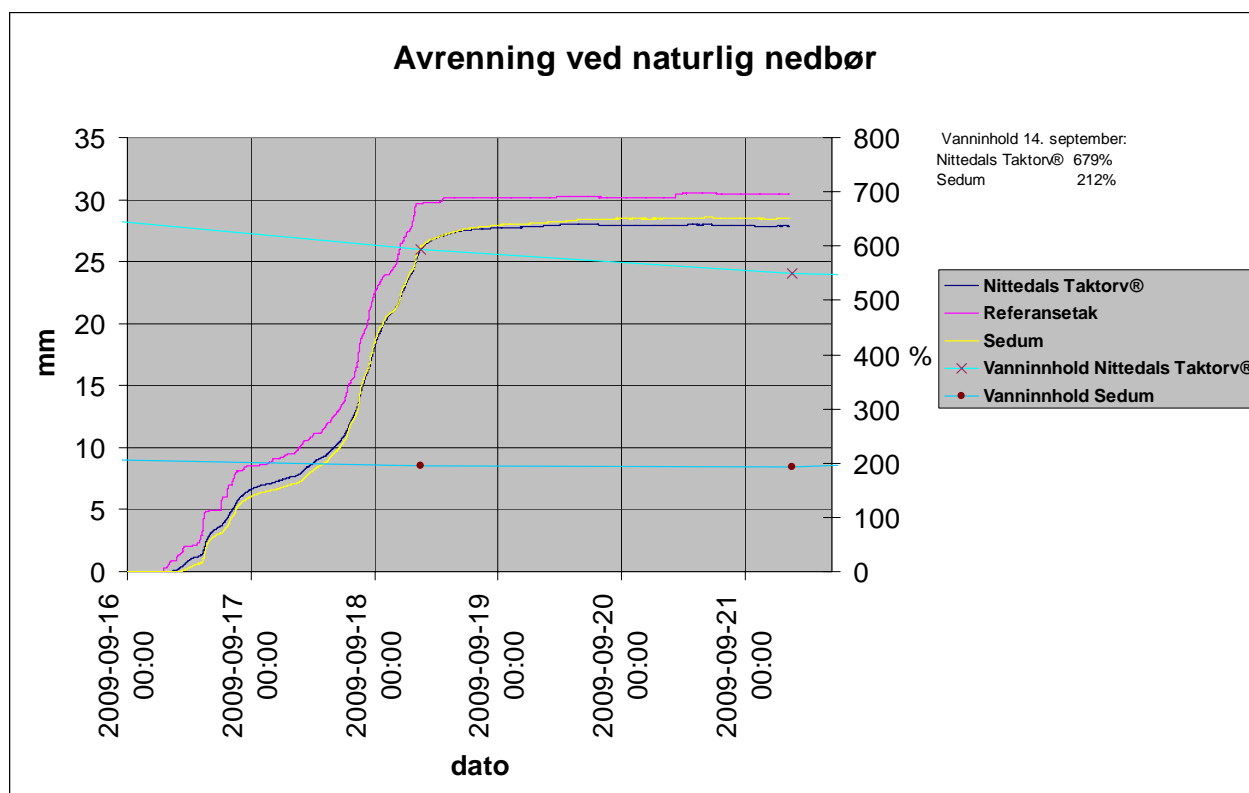
Figur 23 Nedbør og differanse i avrenning 9. til 10. september.

Referansetaket hadde dette døgnet en avrenning tilsvarende 5,3 mm nedbør. Som man ser av figurene er avrenningen fra sedum 2 mm mindre og fra Nittedals Taktorv[®] 3 mm mindre enn fra referansetaket. Forsinkelsen av avrenningsfronten er imidlertid lik for de to produktene, 90 minutter. Den gule kurven viser forholdet mellom sedum og Nittedals Taktorv[®]. Der kurven er negativ er avrenningen fra sedumtaket større enn avrenningen fra taket tekket med Nittedals Taktorv[®].

Like sprang i kurvene for Nittedals Taktorv[®] og sedum i Figur 23, Figur 25 og Figur 27 kommer av at kurvene for avrenning fra de grønne takene er vist i forhold til avrenningen fra referansetaket. Når registrert vannmengde fra referansetaket endrer seg framstår dette som et sprang i kurvene for de grønne takene.

5.4.2 Periode 2, begge produktene har et høyt vanninnhold

I perioden 16. til 19. september hadde referansekassen en avrenning tilsvarende 30 mm nedbør. Vanninnholdet i sedumen er 212 %, 70 % av maksimalt vanninnhold (w_{max}), mens Nittedals Taktorv[®] har et vanninnhold på 679 %, 69 % av sin w_{max} . Som kurvene for avrenningen viser i Figur 24 er det nesten ikke forskjell på de grønne takene når det gjelder avrenning. Forskjellen i forsinkelse av avrenningsfronten er henholdsvis 99 minutter for sedum og 112 minutter for Nittedals Taktorv[®], en forskjell på bare 13 minutter. Differansen i total avrenning for produktene er bare på 0,5 mm.

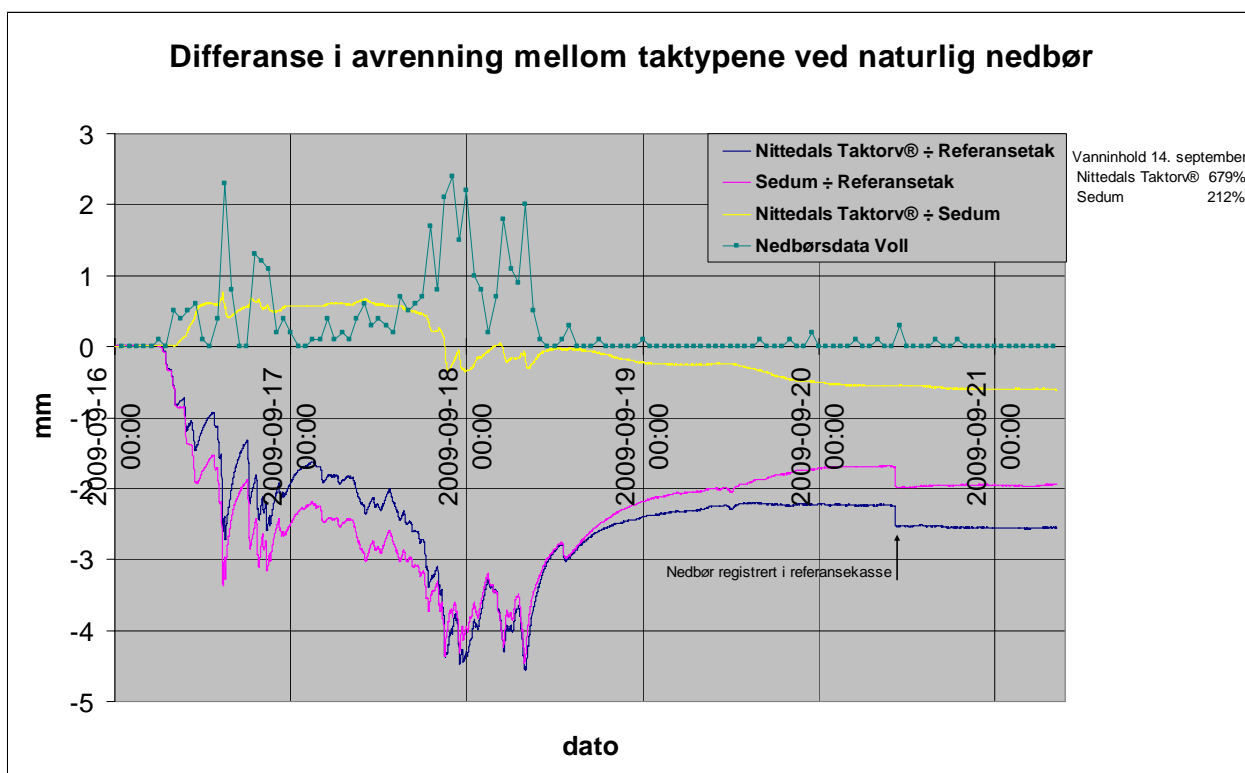


Figur 24 Kumulative kurver for avrenning 16. til 21. september.

Hvis man ser på avrenningen fra sedum og Nittedals Taktorv[®] i forhold til avrenningen fra referansetaket, som vist i Figur 25, får man en mer nyansert framstilling av forløpet. De to første timene er avrenningen fra sedumen og Nittedals Taktorv[®] like stor, noe som gjenspeiler seg både i det flate forløpet til den gule kurven og at kurvene for materialenes avrenning i forhold til

referansetakket har like sprang fordelt over dette tidsrommet. Deretter skiller kurvene lag, og de neste 34 timene og 45 minuttene ligger den gule kurven på den positive delen av y-aksen. Dette kommer av at avrenningen fra taket med Nittedals Taktorv[®] er større enn avrenningen fra taket tekket med sedum, noe som betyr at sedumen klarer å absorbere ytterligere nedbør mens Nittedals Taktorv[®] har nådd metningspunktet. Under nedbøren som følger de neste 18 timene er avrenningen omtrent lik for de to takene. Begge tekkingsmaterialene er mettet og nedbøren som kommer renner rett igjennom. Ren avrenning fra takkassene starter når de ikke lenger får tilført vann i form av nedbør, og den gule kurven beveger seg nedover på grunn av at avrenningen fra taket med sedum er større enn taket med Nittedals Taktorv[®].

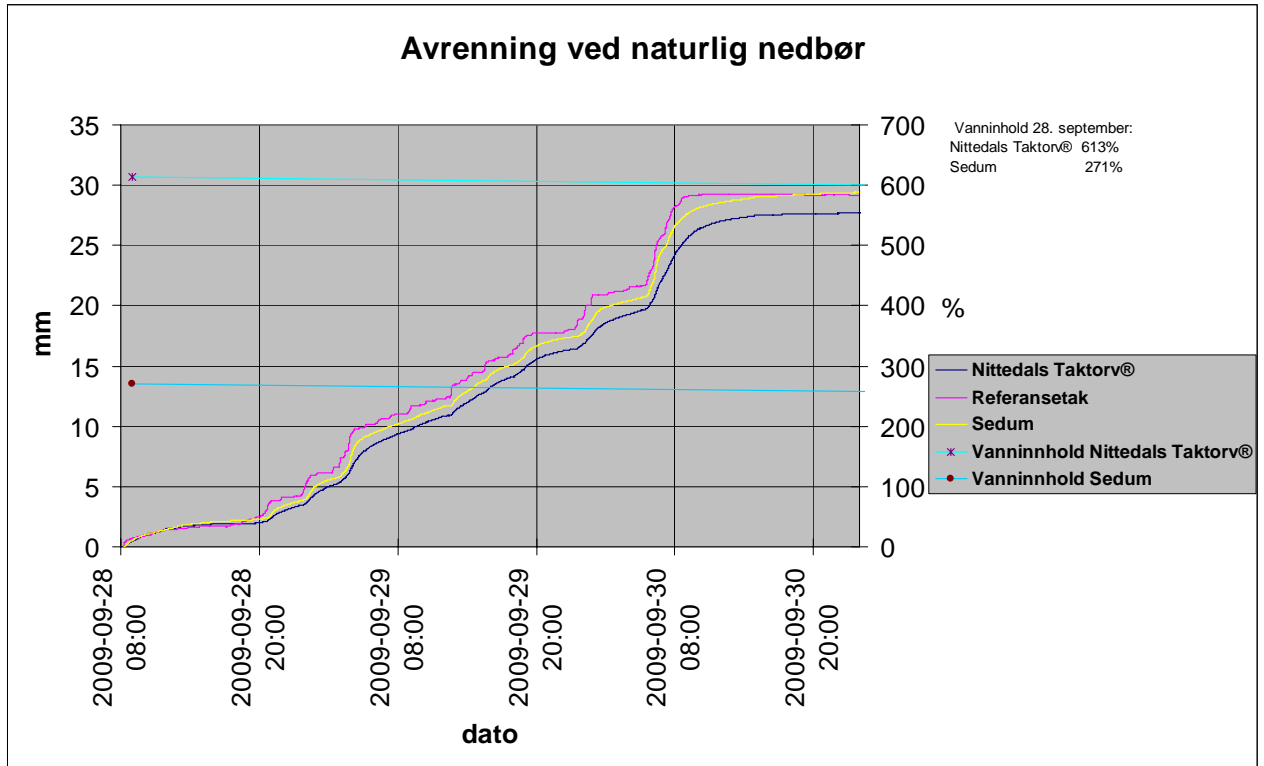
Ut fra dette kan man trekke den konklusjonen at sedumen relativt sett var tørrere enn Nittedals Taktorv[®] og trakk til seg vann i de første 36 timene. Deretter var begge de grønne takene mettet, og nedbøren som kom rant rett igjennom. Da nedbøren stanset holdt Nittedals Taktorv[®] bedre på vannet enn sedumen, og fikk totalt noe mindre avrenning i løpet av måleperioden. Forskjellen i avrenning mellom de to grønne takene er imidlertid bare 0,5 mm, mens avrenningen fra referansekassen er på totalt 30 mm, slik at de i dette tilfellet må kunne sies å ha samme effekt.



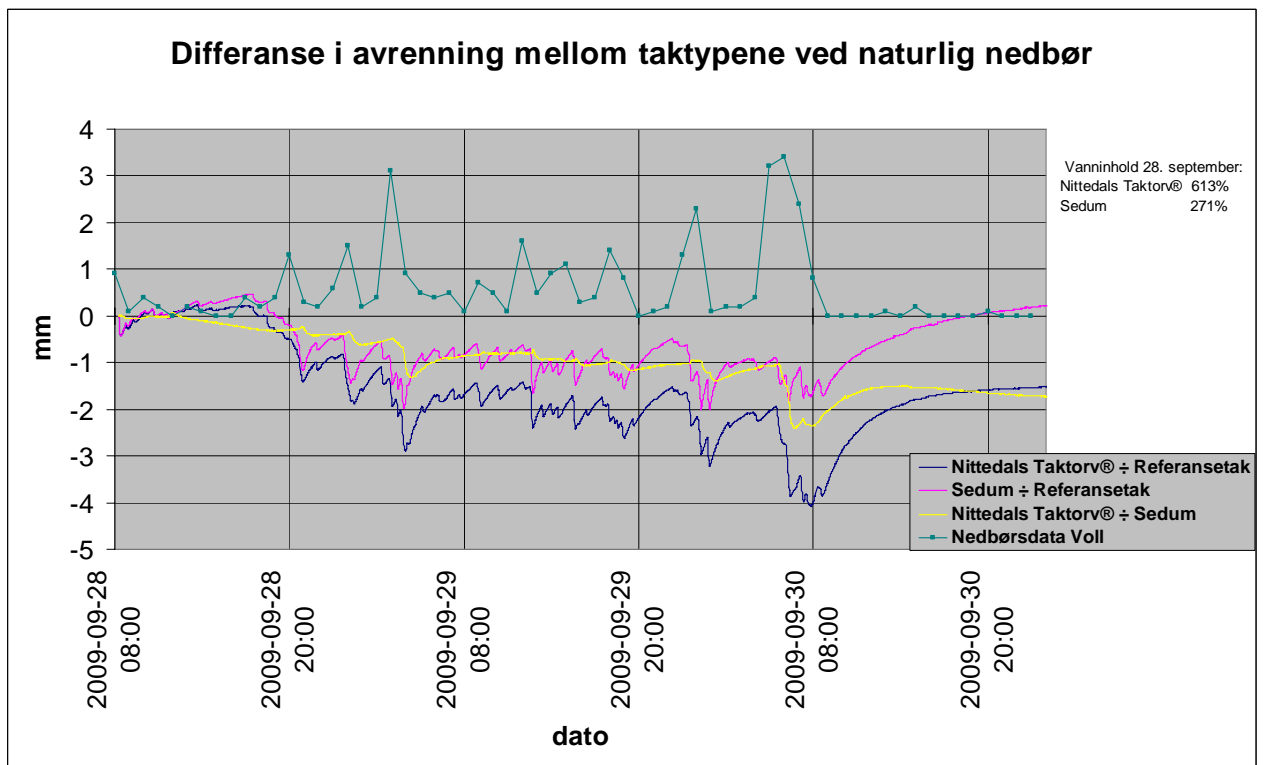
Figur 25 Nedbør og differanse i avrenning 16. til 21. september.

5.4.3 Periode 3, sedum nesten mettet, Nittedals Taktorv[®] relativt sett tørrere

For perioden 28. til 30. september har sedumen et vanninnhold på 89 % av sitt maksimale vanninnhold og er følgelig nesten mettet. Nittedals Taktorv[®] har et vanninnhold på 62 % av sin w_{\max} , noe som ligger mellom de to foregående omtalte periodene. Avrenningen er vist i Figur 26 og Figur 27.



Figur 26 Kumulative kurver for avrenning 21. til 30. september.



Figur 27 Nedbør og differanse i avrenning 9. til 10. september.

På grunn av at det pågår noe avrenning etter foregående nedbør starter ikke grafene i origo. Dette gjenspeiler seg i Figur 27 ved at både sedumen og Nittedals Taktorv® har større avrenning enn referansetakket i starten av perioden. Man ser imidlertid at kurven for differansen i avrenning mellom de to grønne takene ligger på negativ side av y-aksen for hele perioden, noe som tilsier at

Nittedals Taktorv[®] har mindre avrenning enn sedum. Den totale avrenningen fra taket tekket med sedum er for perioden like stor som for referansetak, mens taket med Nittedals Taktorv[®] har en avrenning som er 1,5 mm mindre enn referansetak.

5.4.4 Oppsummering

Det er ikke mulig å si noe eksakt om forsinkelsen av avrenningsfronten ut fra målingene foretatt ved naturlig nedbør. Imidlertid ser man at når det gjelder den totale avrenningen kommer Nittedals Taktorv[®] noe bedre ut enn sedum. I tabell 6 er total avrenning fra takene under de tre undersøkte periodene vist, og det kan av den se ut som om produktenes evne til å redusere den totale avrenningen endres vesentlig ved et vanninnhold på mellom 50 % og 60 % av w_{\max} . Imidlertid er antall målinger for få til at man si dette med sikkerhet.

	Registrert avrenning (mm)	Reduksjon i forhold til referansetak
Referansetak	5,3	
Nittedals Taktorv [®] 48 % av w_{\max}	2	62 %
Sedum 54 % av w_{\max}	3,1	41 %

Referansetak	30,4	
Nittedals Taktorv [®] 69 % av w_{\max}	27,9	8 %
Sedum 70 % av w_{\max}	28,5	5 %

Referansetak	29,2	
Nittedals Taktorv [®] 62 % av w_{\max}	27,6	5 %
Sedum 89 % av w_{\max}	29	0,6 %

Tabell 6 Oppsummering av avrenning ved naturlig nedbør.

5.5 Vurdering av resultater

Det er vanskelig å sammenligne resultatene for Nittedals Taktorv[®] direkte med resultater fra studier funnet i litteratursøket, Busklein (2009), da disse stort sett er utført på grønne tak bevosket med sedum. Oppbyggingen av de grønne takene er også ulik med bruk av kopper eller porøse matter som holder på vann.

Alle de nevnte studiene er basert på naturlig nedbør slik at lokale variasjoner i temperatur, nedbørmengde og –frekvens påvirker vanninnholdet i de grønne tak-konstruksjonene og dermed også avrenningen ved nedbør. Disse faktorene vil ikke samsvare med tilsvarende faktorer for vår studie.

I en studie utført av Getter m. fl (2007) er det rapportert en gjennomsnittlig tilbakeholding av nedbør på 85,2 % for et flatt, grønt tak tekket med sedumplanter. Dette er mye høyere enn våre resultater for sedum. I de kontrollerte forsøkene hadde vi en reduksjon på 2 % til 16 % for sedumtaket, og ved logging av naturlig nedbør hadde vi en maksimal reduksjon på 41 % ved 5 mm nedbør i løpet av 12 timer. Årsaken til denne forskjellen kan være et resultat av flere faktorer. Studien til Getter er basert på 61 nedbørmålinger i løpet av to sommersesonger, noe som er betydelig større enn vårt grunnlag. Taket Getter brukte hadde som en del av oppbyggingen en matte for å holde tilbake vann som en vannreserve for plantene. Denne matten hadde alene en kapasitet på 5,92 kg/m², det vil si at den kunne holde tilbake nesten 6 mm nedbør. Avhengig av

hvor mettet denne matten er vil det ha stor innvirkning på avrenningen. I følge Getter har matten og vekstmediet til sammen et potensial til å holde på inntil 12 mm nedbør. Samtidig var 66 % av nedbøren i løpet av studiet mindre enn 12 mm per døgn. Getter har i motsetning til vår studie ikke observert noen særlig forsinkelse i avrenningsfronten, men i likhet med vår studie er avrenningen fordelt over en lengre periode.

Teemusk m. fl (2007) observerte en reduksjon av avrenning på 85,7 % ved 2.1 mm nedbør i løpet av 180 minutter etter flere dager uten nedbør. Forsinkelsen av avrenningsfronten fra det grønne taket var i dette tilfellet 1 time i forhold til referansetak. Ved en nedbørsmengde på 12,1 mm i løpet av 5 timer observerte Teemusk en forsinkelse i avrenningsfronten på 15 minutter, men sier ikke noe om nedbørsforholdene i de forutgående dagene. I studiet benyttet Teemusk et sedumtak hvor vekstmediet er 30 % humus iblandet 66 % lettvektsaggregat og 4 % leire. I tillegg er det benyttet en 80 mm rockwool-plate for tilbakeholding av vann. Våre målinger viser imidlertid en noe større forsinkelse ved omtrent lik nedbørsmengde pr minutt, 86 minutter ved 3 mm nedbør i løpet av 90 minutter, når de grønne takene har et vanninnhold på ca. 50 % av maksimalt vanninnhold. I likhet med våre observasjoner viser studiet til Teemusk at forsinkelsen av avrenningsfronten er liten når det kommer ny nedbør kort tid etter en større nedbørsmengde, men den totale avrenningen fordeles over en lengre periode.

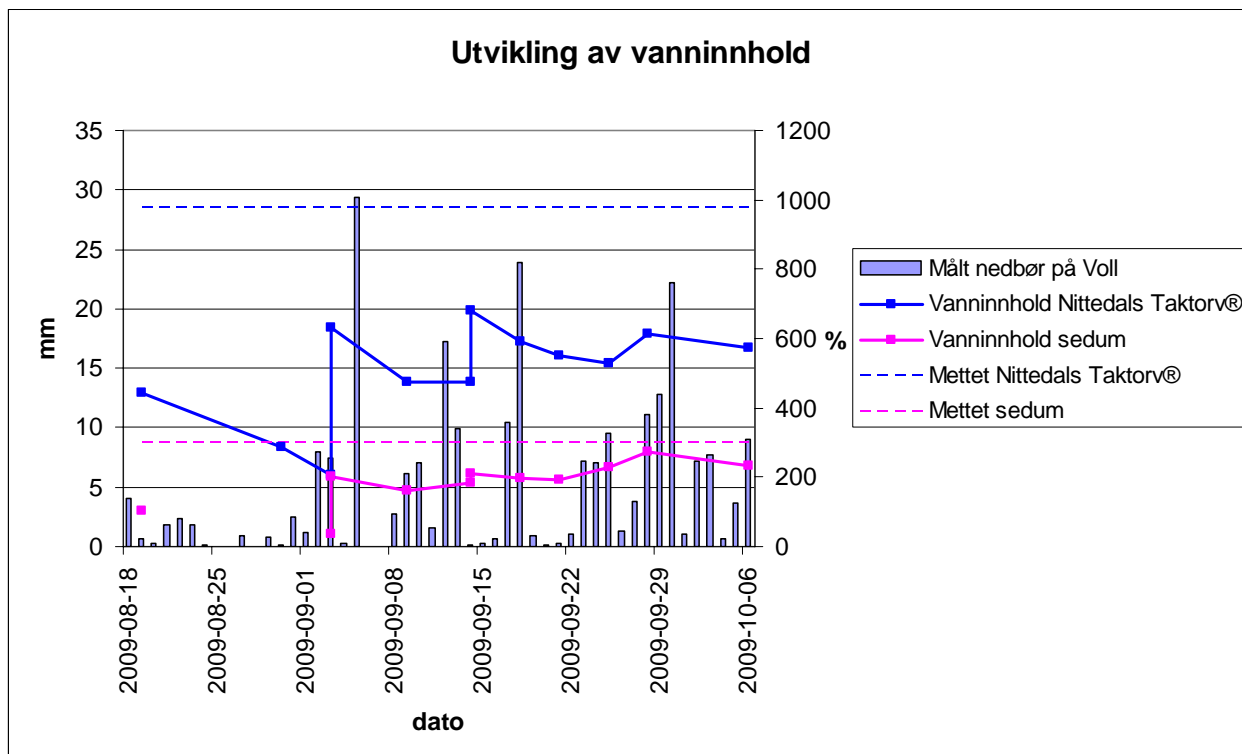
I en studie utført av Simmons m. fl (2008) er seks grønne tak med ulik oppbygging undersøkt. Disse takene hadde et vekstmedium med en tykkelse på 100 mm beplantet med en blanding av ulike gress- og plantesorter og er således ganske likt Nittedals Taktorv[®]. Sammensetningen av vekstmediene varierer mellom takene, og i alle takene er det benyttet matter og/eller kopper som skal holde på en viss mengde vann. Ved en nedbør på 49 mm i løpet av 140 minutter varierer reduksjonen i avrenning for de ulike takene mellom 13 % til 44 % og forsinkelsen av avrenningsfronten er mellom 10 og 20 minutter. Ut fra kurvene for avrenning ser det ut for at avrenningen fordeler seg noenlunde som for sedumtaket i vår studie. Nittedals Taktorv[®] hadde ved 2,5 ganger så stor nedbør en avrenningsreduksjon på 27 % og en forsinkelse på avrenningsfronten på 58 minutter. Avrenningen ble også fordelt over en lengre periode.

5.6 Vanninnhold

I tiden mellom de kontrollerte forsøkene er det målt 81,6 mm nedbør ved den meteorologiske målestasjonen på Voll, i snitt 7,4 mm nedbør pr døgn. Denne nedbøren har bidratt til økningen av vanninnholdet i produktene i tillegg til det vannet som ble tilført under det første forsøket.

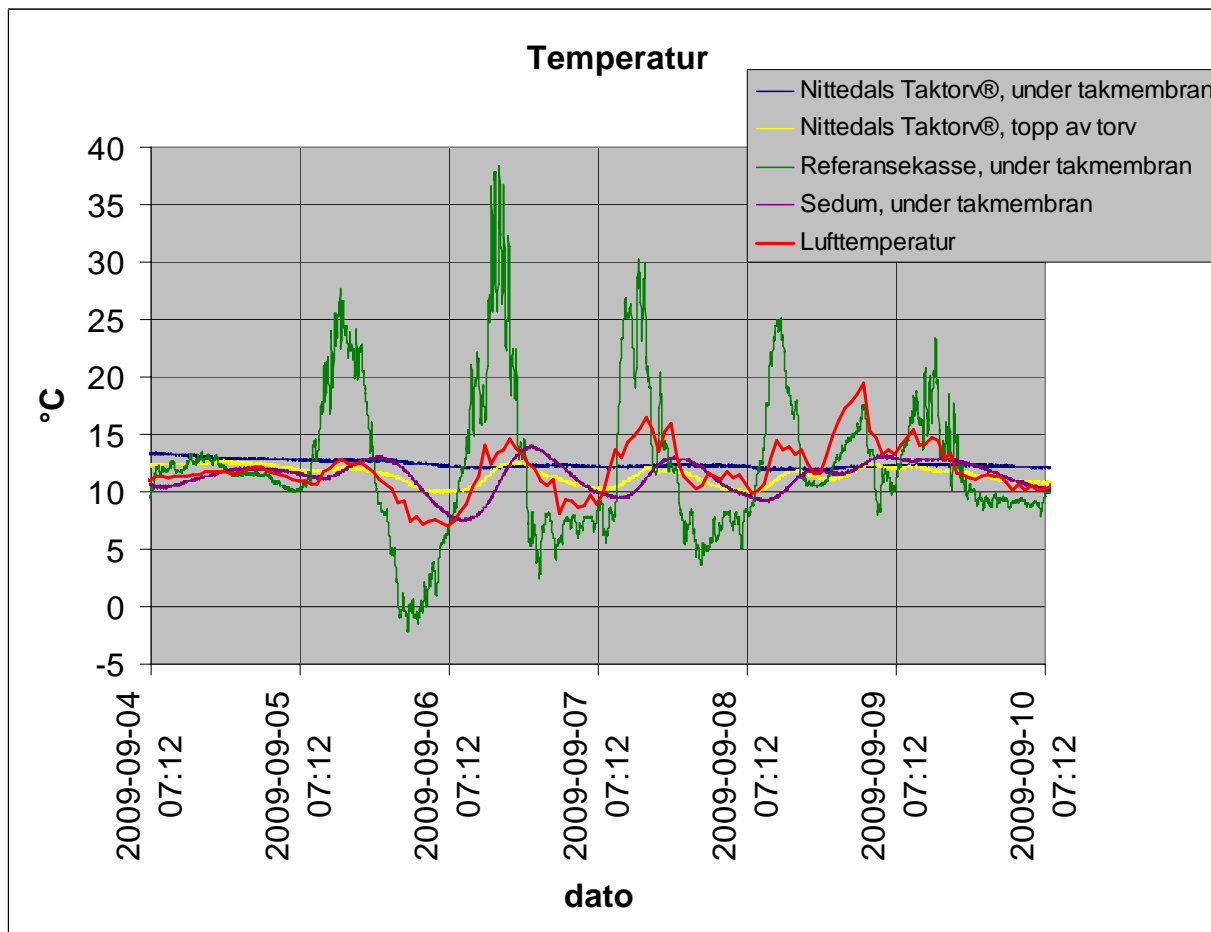
Figur 28 viser vanninnholdet for takene tekket med Nittedals Taktorv[®] og sedum plottet sammen med nedbørsdata fra den meteorologiske målestasjonen på Voll. Ut fra kurven for vanninnhold i Nittedals Taktorv[®] virker det som om produktet drenerer hurtig, uten at dette er undersøkt nærmere, til tross for jevnt med nedbør og produktets evne til å ta opp vann.

Det må presiseres at begge takene i perioden 21. august til 2. september var påmontert hvert sitt plasttak med full lufting på sidene for å sikre at begge produktene hadde et lavt vanninnhold før kjøring av første kontrollerte forsøk. Utviklingen av kurven for vanninnhold i dette tidsrommet gjenspeiler dermed ikke vanninnholdsutviklingen på grunn av nedbøren, men som om det hadde vært oppholdsvær.



Figur 28 Observert nedbør og utvikling av vanninnhold perioden 18. august til 6. oktober.

5.7 Temperatur



Figur 29 Målte temperaturer perioden 4. til 10. september.

Som Figur 29 viser varierer temperaturen i referansetakene mye da denne føleren ligger under en takmembran som ikke har noen overdekning. I perioder med klarvær blir temperaturen høy på dagtid på grunn av solstrålingen, mens den synker til rundt null om natten på grunn av strålingstapet.

Temperaturen i sedumtaket og i toppen av Nittedals Taktorv[®] svinger begge i takt med lufttemperaturen, om enn noe forsinket. Temperaturendringen kommer hurtigere i toppen av Nittedals Taktorv[®] enn sedumtaket, men temperatursvingningen er ikke så stor som i sedumtaket. Termoelementtråden i sedumtaket ligger under et ca 7 cm tykt lag med lekakuler med en ca 3 cm tykk sedummatte over, mens termoelementtråden i Nittedals Taktorv[®] ligger omtrent 2 cm under toppen av torva som er bevokst med et tykt lag med gress.

I bunnen av Nittedals Taktorv[®] holder temperaturen seg meget stabil. Det er ingen variasjon i døgnet, men i forsøksperioden 3. september til 6. oktober faller temperaturen under torva i takt med gjennomsnittstemperaturen i lufta. Det er vanskelig å si noe om dette skyldes at torva nedkjøles eller om det er fordi isolasjonen mellom bunnen av kassen og termoelementtråden er for tynn. SINTEF gjorde i 1993 måling av varmekonduktans for Nittedals Taktorv[®], se Appendiks 1. Resultatene av denne målingen er vist i Tabell 7. Fuktinneholdet for denne målingen tilsvarer et vanninnhold $w = 488 \%$ av tørrstoffvekt, eller omtrent som for måleperioden 9. til 14. september.

Prøve	Varmekonduktans W/mK	Densitet kg/m ³	Fuktinnhold (% vann av total vekt)
1	0,27	608	82,5
2	0,34	740	83,5
Snitt	0,30	678	83,0

Tabell 7 Varmekonduktans for Nittedals Taktorv[®] målt i 1993

Temperaturmålingene for hele perioden er vist i Figur 15. Det er ikke gjort noen spesielle vurderinger vedrørende egenskapene til Nittedals Taktorv[®] ut fra disse målingene ut over at det er interessante resultater som bør undersøkes nærmere.

6 Konklusjon

Utgangspunktet for prosjektet var å undersøke om Nittedals Taktorv[®] hadde noen bremsende effekt på avrenningen fra flate tak ved ekstrem nedbør, og å prøve å fastslå hvor stor en slik effekt eventuelt er. For å undersøke dette ble det kjørt to kontrollerte forsøk med ulikt *in situ* vanninnhold i materialet. I tillegg er avrenningen fra takene målt ved ordinær nedbør. Det er benyttet to referansetak, ett tekket kun med takmembran, det andre med sedum, som er et annet grønt tak-produkt.

6.1 Total avrenning

Ut fra både de to kontrollerte forsøkene og fra avrenning ved naturlig nedbør kan man konkludere med at grønne tak av både Nittedals Taktorv[®] og sedum har en bremsende effekt på avrenningen fra flate tak. Imidlertid har produktenes vanninnhold når nedbøren inntreffer betydning for hvor stor denne effekten er. Avhengig av *in situ* vanninnhold i de kontrollerte forsøkene reduserte Nittedals Taktorv[®] total avrenning etter 5 timer med mellom 92 % og 27 % i forhold til referansetakene som kun var tekket med takmembran. Tilsvarende tall for sedumet var 16 % og

2 %. Redusert total avrenning ved naturlig nedbør er 8 % for Nittedals Taktorv[®] og 5 % for sedum ved et *in situ* vanninnhold på 70 % av maksimalt vanninnhold (w_{\max}). Ved et så høyt *in situ* vanninnhold virker det som om de to grønne takene kan anses for å være likeverdige.

6.2 Avrenningsfront

Det grønne takets evne til å forsinke avrenningsfronten er av vesentlig betydning når det gjelder å avlaste avløpssystemet ved store nedbørsmengder som faller i løpet av et kort tidsrom. Hvis man ser bort fra tilfellet hvor Nittedals Taktorv[®] har lavest *in situ* vanninnhold er det ikke så stor forskjell i tid for når den første avrenningen starter for de to grønne takene. Her skiller det bare noe over tre minutter.

Det som imidlertid har betydning for belastningen på avløpssystemet er hvor lang tid det tar før avrenningen per tidsenhet fra det grønne taket blir like stor som avrenningen fra referansetaket. For Nittedals Taktorv[®] skjer det etter 58 minutter ved et *in situ* vanninnhold på 48 % av w_{\max} . Det grønne taket med sedum oppnår dette etter 35 minutter ved et *in situ* vanninnhold på 61 % av w_{\max} , en forskjell på 23 minutter. Også sedumen klarer å utsette tidspunktet til avrenningen blir like intens som fra referansetaket med ca 75 minutter når den er meget tørr, 11 % av w_{\max} , men mengden vann som renner av sedumtaket i tiden det tar før dette taket får lik avrenningsmengde som referansetaket er vesentlig større enn mengden vann som renner av taket med Nittedals Taktorv[®] i samme tidsrom.

Ut fra disse resultatene kan man trekke den konklusjonen at slik som takene var bygget opp i dette forsøket har det grønne taket med Nittedals Taktorv[®] en bedre evne til å bremse avrenningsfronten, og å redusere den totale avrenningen, enn det grønne taket med sedum, gitt at det *in situ* vanninnholdet ikke er for høyt.

7 Videre arbeid

Forsøket med Nittedals Taktorv[®] reiser også noen spørsmål som gjerne kunne ha vært undersøkt nærmere siden evnen til å redusere og forsinke avrenningen avhenger av hvor stort vanninnhold produktet har idet nedbøren kommer:

- Hvor høy kan *in situ* vanninnhold være før det får vesentlig innvirkning på produktets evne til å forsinke avrenningsfronten og redusere den totale avrenningen?
- Hvordan vil produktet oppføre seg ved en lengre uttørkingsperiode?
- Hvor hurtig vil det drenere ut eller fordampe oppsamlet vann? Vil vanninnholdet nærme seg en nedre grense og i så fall hvor lav er denne?
- Hvor tørr kan den øverste delen av torva være uten at vannet preller av og renner på overflaten? Dette kan føre til uønsket overflomming av gesims, eller vil denne effekten motvirkes av gresset når det er etablert?

Resultatene fra temperaturmålingene viser også interessante resultater som bør undersøkes nærmere med tanke på redusert energibruk til oppvarming og avkjøling av bygninger.

Isoleringsevne med tanke på isingsproblematikk ved raft bør undersøkes nærmere hvis produktet skal brukes på skrå tak i områder med minusgrader i vinterhalvåret.

8 Referanser

Busklein, J.O. "Urbanisering - Grønne tak i urbane strøk. Litteratursøk.", SINTEF Byggforsk SBF IN F09409

Getter KL., DB Rowe, JA Andresen, "Quantifying the effect of slope on extensive green roof stormwater retention", Ecological Engineering, Volume 31, Issue 4, 3 December 2007, Pages 225-231

Simmons MT, B Gardiner, S Windhager, J Tinsley, "Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate", Urban Ecosystems, Volume 11, Number 4, December 2008, Pages 339-348

Teemusk A, Ü Mander, "Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: The effects of short-term events", Ecological Engineering, Volume 30, Issue 3, 2 July 2007, Pages 271-277

Wikipedia <http://en.wikipedia.org/wiki/Rain> (sist besøkt 2009-09-11)

Appendiks 1 Måling av varmekonduktans på taktorv



Hovedkontor Oslo:
 Forskningsveien 3b
 Telefon: (02) 96 55 00
 Telefax nr. (02) 69 94 38
 Postboks 123 Blindern
 0314 Oslo
 Telegramadresse:
 Byggforsk
 Postgiro: 4 160 495
 Bankgiro: 5084 05 10058

* Trondheim:
 Høgskoleringen 7
 Telefon: (07) 59 33 90
 Telefax nr. (07) 59 33 80
 Postadresse:
 Høgskoleringen 7
 7034 Trondheim - NTII

Prosjekt nr.:	Sted/dato
KO28382	Trondheim, 14. januar 1993
Prosjektleder/forfatter:	
Per Chr. Moe	
Oppdragsgiver:	
Nittedal Torvindustri AS	
Oppdragsgivers adresse:	
1482 NITTEDAL	
Oppdragsgivers referanse:	
Alf Ording	

RAPPORT

til
 NITTEDAL TORVINDUSTRI AS
 om
 MÅLING AV VARMEKONDUKTANS PÅ
 TAKTORV

Kort sammendrag:

Det er foretatt måling av varmekonduktans (varmegjennomgangstall) til Taktorv. Målingen ble utført på oppfuktet Taktorv (vel 80% vanninnhold). To prøver ble målt i plateapparat i henhold til NS 8040. Måleresultater er vist i tabell bakerst i rapport. Snittverdi viser varmekonduktans på 0,30 W/mK ved densitet på 678 kg/m³ og fuktinnhold på 83,0%.

Faste emneord:	Feltundersøkelse <input type="checkbox"/>	Laboratorieundersøkelse <input checked="" type="checkbox"/>	Utredning <input type="checkbox"/>	Beregning <input type="checkbox"/>	Skade <input type="checkbox"/>
Andre godkjente emneord	Byggverkets adresse:		Byggeår:		
LØSMASSE TORV VARMEGJENNOMGANG			Vår ref:	Kvalitetssikring:	
			PCM/GD	SU <i>SM</i>	
				Ansv.sign:	
				TJA <i>Torgeir Jacobsen</i>	

Utdragsvis eller forkortet gjengivelse av rapporten er ikke tillatt uten NBIs spesielle godkjennelse.
 Hvis rapporten skal oversettes, forbeholder NBI seg rett til å godkjenne oversettelsen. Kostnader belastes oppdragsgiver.

1. INNLEDNING

På oppdrag fra Nittedal Torvindustri AS er det målt varmekonduktans (varmegjennomgangstall overflate til overflate) for to prøver av Nittedal Torvtak. Oppdraget ble utført i desember 1992. Prøvematerialet var tidligere levert til oss av oppdragsgiver.

2. MÅLEPROSEDYRE

Varmekonduktansen ble målt i henhold til NS 8040 - Bestemmelse av materialers varmemotstand eller varmekonduktivitet med varmestrømsmåler (tilsvarende ISO 8301). Målingene ble utført under tilnærmet stasjonære forhold i et plateapparat med to varmestrømsmålere. Temperatur på varm side (øvre plate), var 7,8 °C og på kald side 2,2 °C. Romtemperatur var 5,0 °C. Plateapparatet har et areal på 70 cm x 70 cm med en måleflate på 30 cm x 30 cm.

3. PRØVEMATERIALET

Nittedals Torvtak ble levert til vårt laboratorium i nettingsekker med størrelse ca. 70 cm x 45 cm x 15 cm.

Før målingen tok til, ble endel torv tømt i et stort kar. Under omrøring ble så vann tilsatt. Det ble tilsatt så mye vann at blandingsforholdet skulle bli ca. 80% vann og 20% tørrstoff (torv).

Deretter ble deler av blandingen lagt i en kasse. Kassen hadde størrelse på 0,65 cm x 0,65 cm x 0,095 cm (innvendig mål, lengde x bredde x høyde). Kassen var utført med sidekanter av tre og bunn av trefiberplate. Torva ble forseglet med 0,2 mm plastfolie i denne kassen. Skjøter ble tapet. "Ferdig-plen" inngikk *ikke* i undersøkelsen. Kassen ble deretter lagt i plateapparat og måling ble utført. Resultatene ble avlest ved tilnærmet stasjonære forhold, ca. fem døgn etter at målingene startet. Etter måling ble deler av massen lagt i tørkeskap for måling av fuktinnhold. Massen var slik at når man klemte på den, ble vann presset ut.

4. MÅLERESULTATER

To prøveklasser ble tillaget.

Prøve	Varmekonduktans W/mK	Densitet kg/m ³	Fuktinnhold (% vann av totalvekt)
1	0,27	608	82,5
2	0,34	748	83,5
Snitt	0,30	678	83,0

5. KOMMENTARER

Ett forsøk ble også utført for å måle ved temperaturer under 0 °C (-1 °C og -5 °C). Dette måtte imidlertid avbrytes da man etter vel fem døgn langt fra hadde oppnådd stabile forhold.

Resultatene må betraktes som orienterende verdier da usikkerheten ved måling på så fuktige materialer er forholdsvis stor.

Trondheim, 14. januar 1993

for NORGES BYGGFORSKNINGSINSTITUTT
TRONDHEIMSAVDELINGEN



Per Chr. Moe