



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi - RealTek

Effekten av Bia, en forskningsinfrastruktur med grønne tak, innledende studier

The Effect of Bia, a research infrastructure with
green roofs, initial studies

Jogeir Stenhaug Ueland

Vann- og miljøteknikk

Forord

Arbeidet med masteroppgaven høsten 2018 markerer slutten for mine studier her ved NMBU og ved studiet Vann- og Miljøteknikk. Det har vært fem svært lærerike år og det er blitt stiftet mange gode bekjentskap, både her ved universitetet men også på utveksling.

Høsten 2017 ble det satt i gang et prosjekt for å utvikle en forskningsinfrastruktur her ved NMBU som kunne se nærmere på effekten av grønne tak. Det var mange samarbeidspartnere som viste interesse for prosjektet, da det ikke har blitt gjort i skandinavisk klima på denne måten før. Dette gjorde at byggingen av hele tre tak, to grønne og et svart, ble satt i gang våren 2018, med mulighet for analyse av data fra de tre takene allerede fra midten av juli. Det er resultatene fra disse tre takene i høst denne oppgaven hovedsakelig skal konsentrere seg om.

Jeg vil rette en stor takk til hovedveileder Jarle T. Bjerkholt, som på meget kort tid var villig til å tre inn som ny hovedveileder for oppgaven, da tidligere hovedveileder Jon Arne Engan ble sykemeldt. Videre vil jeg rette en takk til alle samarbeidspartnere som har vært med og deltatt i prosjektet Bia, fakultet for landskap og samfunn (LANDSAM), fakultet for realfag og teknologi (RealTek), Bergknapp AS, Leca Norge AS, Protan AS, og sist men ikke minst Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) og Knut Magne Møen som har vært til stor hjelp med innsamling og analyse av data fra de tre takene. Oppgaven hadde vært vanskelig å gjennomføre uten deres hjelp.

Jogeir S. Ueland

Ås, 13.12.2018

Sammendrag

Denne masteroppgaven, «Effekten av Bia, en forskningsinfrastruktur med grønne tak, innledende studier», tar for seg resultatene fra den foreløpige måleperioden fra oppstart av målinger, 12.07.18 til avslutning av måleperioden for denne oppgaven, 19.11.18.

En økende grad av urbanisering har ført til mer gjentetting av grønne flater i byer. Dette, sammen med at klimaendringene fører med seg hyppigere forekomster av ekstremnedbør skaper et problem med overvannshåndteringen i byer. En mulig løsning på overvannsproblematikken er å erstatte eksisterende svarte tak med grønne løsninger.

Lokal overvannshåndtering innebærer at man skal håndtere overvann som følge av regnvann, sludd eller snøsmelting der nedbøren treffer bakken. Forskningsstrukturen Bia ble etablert for å teste effekten av grå-grønne tak ved et typisk østlandsklima. Forskningsstrukturen består av tre identiske tak à 50m² hvor to av dem er tak med et grønt dekke av Sedum samt et magasinerende sjikt i finknust LECA. Det tredje taket er et typisk svart tak og brukes som referanse for de grå-grønne takene.

Resultatene fra den relativt korte måleperioden, viser at takene med grå-grønn løsning vil kunne bidra med å redusere totalavrenningen fra takene med opp til 41% for hele måleperioden. I tillegg minsker maksavrenningen fra takene med en faktor på opptil 10 sammenlignet med det svarte taket. Grå-grønn løsning kan også bidra med å øke tiden til flomtoppen opptrer.

Takene fungerer best i de varme sommermånedene hvor nedbøren ofte er intens men kortvarig. Det er ofte gode og lange nok perioder med opplett mellom nedbørhendelsen om sommer, slik at takene får hentet seg inn mellom nedbørperiodene og dermed beholder den gode effekten. Effekten av takene var vesentlig dårligere i oktober og november da en kombinasjon av kaldt vær med hyppig nedbør senket kapasiteten til takene. Det var relativt liten forskjell på de grå-grønne takene og det svarte referansetaket i perioden 15.10.18 til 19.11.18.

Abstract

This thesis, «The Effect of Bia, a research infrastructure with green roofs, initial studies» looks at the results from the preliminary measurement period from the start of measurements, 12.07 to the conclusion of measurements for this paper, 19.11

Increasing urbanisation has led to a reduction of green areas in cities due to increased development. This, in addition to climate change, which lead to more events of extreme precipitation will lead to more urban runoff in cities. A possible solution to the problems surrounding urban runoff is to replace pre-existing black roofs with green solutions.

Local runoff management involves around managing the runoff on site. The runoff comes from either rain, sleet or melting of snow and ice. The research infrastructure, Bia was established to measure the effect of grey-green roofs in a climate typical for eastern Norway. The research infrastructure consists of three identical roofs of 50m², where two of them have been fitted with a green layer of sedum and a magazine layer of crushed LECA. The third roof is a typical black roof which you find in cities, and has been used as a reference roof to the grey-green solutions.

The results from the relative short measurement period show that the roofs with grey-green solutions can reduce the total runoff from the roofs by up to 41% for the entire measurement period. In addition, the maximum flow of water from the roofs reduced by a factor of up to 10 compared to the black roof. The time needed to reach maximum flow on the runoff can also be increased with grey-green roofs.

The effect of the roofs is best in the warm summer months, where the precipitation often is intense and short-lived, with extended periods of no precipitation in which the roofs may prepare for the next rain event. The effect on runoff from the roofs was substantially lower during October and November when a combination of cold weather and frequent rain events kept the roofs wet, and therefore lowered the capacity of the roofs. The difference between runoff from the two grey-green roofs and the black reference roof were quite small in the period from 15.10.18 to 19.11.18.

Innholdsfortegnelse

| | |
|---|-----|
| Forord | I |
| Sammendrag | II |
| Abstract | III |
| Figurliste | VII |
| Tabelliste | X |
| 1. Innledning | 1 |
| 1.1. Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2. Formål..... | 2 |
| 1.3. Problemstilling..... | 2 |
| 1.4. Avgrensing..... | 3 |
| 1.5. Begreper og forkortelser..... | 3 |
| 1.6. Nomenklatur..... | 4 |
| 2. Bakgrunn | 5 |
| 2.1. Klima..... | 5 |
| 2.2. Overvannshåndtering..... | 5 |
| 2.3. Lokal overvannshåndtering (LOH)..... | 6 |
| 2.4. Grønne tak..... | 9 |
| 2.4.1. Intensive grønne tak..... | 9 |
| 2.4.2. Semi-intensive grønne tak..... | 10 |
| 2.4.3. Ekstensive grønne tak..... | 11 |
| 2.4.4. Sedumtak..... | 12 |
| 2.4.5. Magasinerende sjikt..... | 13 |
| 2.4.6. Fordeler og ulemper ved grønne tak i bymiljøet..... | 14 |
| 2.4.7. Eksisterende forskning og resultater for bruk av grønne tak..... | 18 |
| 2.4.8. Erfaringer i Norge..... | 18 |
| 3. Forskningsstrukturen Bia | 20 |
| 3.1. Prosessen fram mot bygging..... | 20 |
| 3.2. Planleggingen av Bia..... | 22 |
| 3.3. Tekniske detaljer rundt byggingen av Bia..... | 25 |
| 3.4. Måleutstyr..... | 29 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3.5. | Forskningsstrukturen Bia | 32 |
| 4. | Teori og Metode | 35 |
| 4.1. | Den rasjonelle metode..... | 37 |
| 4.1.1. | Avrenningsfaktor, C | 37 |
| 4.1.2. | Klimafaktor, K_f | 38 |
| 4.1.3. | Konsentrasjonstid, t_k | 40 |
| 4.1.4. | IVF – Kurve | 42 |
| 4.1.5. | Usikkerhet ved bruk av den rasjonelle metode | 43 |
| 4.2. | Regnenvelopmetoden for konstant utløp | 44 |
| 4.3. | Maksimal fordrøyd vannmengde | 48 |
| 4.4. | Eksempler for Bia | 48 |
| 4.4.1. | Maksimal vannføring inn og ut på takene, Q_{inn} og Q_{ut} | 49 |
| 4.4.2. | Total vannlagringskapasitet | 51 |
| 4.5. | Resultater for beregninger for Bia | 51 |
| 5. | Resultater og Diskusjon..... | 53 |
| 5.1. | Reduksjon i total volumavrenning fra tak, V_{tot} | 55 |
| 5.1.1. | Hele forsøksperioden 12.07.2018 til 19.11.2018 | 56 |
| 5.1.2. | Nedbørhendelsen 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12:02 | 57 |
| 5.1.3. | Nedbørhendelsen 10.11 kl. 16:25 til 11.11 kl. 23:13 | 58 |
| 5.2. | Maksavrenning fra tak, Q_{maks} | 59 |
| 5.2.1. | Hele forsøksperioden 12.07.2018 til 19.11.2018 | 59 |
| 5.3. | Forsinkelser i maksavrenning fra tak, t_{qmaks} | 60 |
| 5.4. | Evapotranspirasjon fra tak, ET | 61 |
| 5.5. | Effekten på tak ved kalde høstmåneder versus varme sommermåneder..... | 63 |
| 5.6. | Metningsgraden til takene, V_m | 65 |
| 5.7. | Oppsummering..... | 66 |
| 6. | Konklusjon | 67 |
| 6.1. | Videre arbeid med Bia | 68 |
| 7. | Kilder | 70 |

Figurliste

Figur 1: Illustrasjon på håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm, et al., 2008)

Figur 2: Eksempel på intensivt grønt tak med varierende vekstlagstykkelse i forhold til behovene til beplantningen. Foto: SINTEF Byggforsk (Noreng, et al., 2012)

Figur 3: Eksempel på semi-intensivt torvtak. Foto: UMB/ILP (Noreng, et al., 2012)

Figur 4: Typisk oppbygning av et flatt og et skrånende ekstensivt tak av sedum (Noreng, et al., 2012)

Figur 5: Illustrasjon av avrenning fra svart tak (til venstre) versus grønt tak (til høyre) (Bergknapp, 2018)

Figur 6: Biotophotell utplassert på et grønt tak (Bergknapp, 2018)

Figur 7: Eksempel på utregning av blågrønn faktor (Ardilla & de Caprona, 2014)

Figur 8: Nylagt grønt sedumtak på garasjetak, 2009. Taknummerering er gitt (Braskerud, 2014)

Figur 9: Oversiktsbilde over området for forskningstrukturen, Bia (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 10: Skisse av første utkast til etablering av et tak på 80m² og et tak på 60m². Den ytterste firkanten representerer testområdet tildelt prosjektet (Øyre & Trommald, 2018).

Figur 11: Skisse av den endelige utførelsen av de tre takene. Hvert tak har et areal på 50m² (10m x 5m) (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 12: Forsøkstak à 50m² med sluk i hjørnet som kan etterligne et tak à 200m² med sluk i sentrum (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 13: Oppbygning av et enkelt kompakt tak (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 14: Illustrert fallretning og fallhøyde på forsøkstaket (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 15: Takets oppbygning over søylene (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 16: Sidesyn av taket inklusiv høyder ved maksimal isolasjonshøyde (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 17: Oversikt over plasseringen av nedbørsmåler og instrumentskap i forhold til takene (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 18: Isolasjonsplater for falloppbygging (Øyre & Trommald, 2018).

Figur 19: Fallplatene kuttes for å tilpasse konstruksjonen(Øyre & Trommald, 2018)

Figur 20: Veiecelle plassert mellom fundamentsøyen og hovedbjelken (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 21: Bia sett ovenfra. Takenes navn fra venstre er Pollen, Per og Nektar. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald,2018)

Figur 22: Bia sett mot sørvest, med nedbørmåleren i forgrunn. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 23: Bia sett mot nordvest, med instrumentboks under tak1. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 24: Forskningsstrukturen mot nordøst den 29.11.2018(Knut Magne Møen, NVE)

Figur 25: Omdanning av nedbør til avrenning ved rasjonell metode (Ødegaard, et al. 2012)

Figur 26: Illustrasjon på maksimal vannføring ved $t_r=t_k$ (Asplan Viak, 2017)

Figur 27: Eksempel på IVF-kurver for Ås -Rustadskogen (1974-2018) for 1-60 minutter. De ulike kurvene representerer ulike returperioder til ulike regnhendelser. X-aksen viser konsentrasjonstiden (varigheten på regnet) og y-aksen viser regnintensiteten (Norsk klimaservicesenter, 2018)

Figur 28: Eksempel på et inn- og utløpshydrogram. Arealet mellom den blå og oransje linjen definerer nødvendig fordrøyningsvolum (Lindholm, 2015)

Figur 29 og 30: IVF-Kurve for Ås-Rustadskogen for en nedbørhendelse med returperiode på 20år med varighet opp til 60 minutter. Figurene viser nedbørene på $l/s*ha$ og mm langs y-aksen (Norsk klimaservicesenter, 2018)

Figur 31: Figuren illustrerer at det vil være vesentlig reduksjon i avrenningsintensitet samt tiden til maksimalavrenning ved bruk av den grå-grønne løsningen. (Øyre & Trommald, 2018)

Figur 32: Akkumulert avrenning (mm) for de tre takene, samt den totale nedbørmengden over samme periode. Målingene tok til 12.07.2018 og ble avsluttet 19.11.2018, start og endepunkt for grafene representerer start og slutt for målingene

Figur 33: IVF-kurve for Ås-Rustadskogen som viser dimensjonerende nedbør ved et 20 minutters regn med returperiode på 20 år (Norsk Klimaservice, 2018)

Tabelliste

Tabell 1: Oversikt over LOH-prinsipper og LOH-anleggstyper (Lindholm et al., 2008)

Tabell 2: Sjøkoppbygging til et typisk ekstensivt grønt tak av sedum (Noreng, et al., 2012)

Tabell 3: Eksempel på krav til blågrønn faktor (Ardilla & de Caprona, 2014)

Tabell 4: Oversikt over grønne tak etablert i prosjektet Fremtidens Byer i 2014 (Hanslin & Johannessen, 2015)

Tabell 5: Materialer benyttet på hvert av forsøktakene, med tilhørende mengder og vekt. Det er gjort en antagelse om at 50% av LECA-massens areal kan fylles med vann, som vil gi en ekstra last på 75 kg/m^2 , videre er det opplyst fra Berknapp AS at sedum veier 25 kg/m^2 tørt og 50 kg/m^2 vått. (Bergknapp, 2018) & (Øyre & Trommald, 2018)

Tabell 6: Vekt av tak ved ulike tørrhetsforhold

Tabell 7: Måleutstyr benyttet på forskningsstrukturen Bia (Øyre & Trommald, 2018)

Tabell 8: Maksimal avrenningskoeffisient for noen flater (Mays, 2001)

Tabell 9: Klimafaktorer for endring i 3-timers nedbør fra 1976-2005 til 2071-2100 for de to utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5. Resultatene er basert på endring i verdier med returperioder på 200 år, og er gitt for median, lav og høy klimafremskrivning (Førland et al., 2015)

Tabell 10: Dimensjonerende nedbør ved returperiode 20år for målestasjon Ås-Rustadskogen (Norsk klimaservicesenter, 2018)

Tabell 11: Fordrøyningskapasitet på takene med grå-grønn løsning (Øyre & Trommald, 2018)

Tabell 12: Maksimal fordrøyd vannmengde på taket er $4,97 \text{ m}^3$ (Øyre & Trommald, 2018)

Tabell 13: Volumtap ved tømning, og antall tømminger over hele måleperioden

Tabell 14: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for hele måleperioden

Tabell 15: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for perioden 12.07 til 31.08

Tabell 16: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for nedbørhendelsen 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12.02

Tabell 17: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for nedbørhendelsen 10.11 kl. 16:25 til 11.11 kl. 23:13

Tabell 18: Tabell over maksavrenning (l/min), fra hvert enkelt tak for hele måleperioden samt maksavrenning per måned

Tabell 19: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 10.09.2018

Tabell 20: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 10.11.2018

Tabell 21: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 30.11.2018, denne hendelsen består av lett snøfall og snøsmelting

Tabell 22: Min og maksvekt registrert for de tre forsøktakene gjennom forsøksperioden, tabellen skiller mellom vekt inklusiv snø og uten. Det var bare tak2 (svart referanse-tak) som veide mer ved snøfallet 30.10.2018

Tabell 23: Differanse i akkumulert nedbør og akkumulert avrenning for takene

Tabell 24: Differansen i vekt på tak ved minstevekt og endt måling

Tabell 25: Sum evapotranspirasjon gjennom måleperioden 12.07.2018 til 19.11.2018

Tabell 26: Avrenningen for tak1, tak2 og tak3 sett opp mot nedbøren for hver enkelt måned av måleperioden. Sammenhengen mellom avrenning og nedbør gir en estimert avrenningskoeffisient for hver måned

Tabell 27: Minvekt for tak1 og maksvekt for tak1 etter nedbørhendelsen 09.09 til 11.09 samt differansen mellom min- og maksvekt

1. Innledning

1.1. Bakgrunn

Ekstremvær og ekstremnedbør er to ord som er blitt mer vanlig i dagligtale og blir hyppig nevnt i nyhetsbildet. Som resultat av ekstremnedbør og en økning av tette flater i bybildet ser man oftere flomskader og oversvømmelser forårsaket av overvann i byene. Ulike klimaprognoser viser at det trolig vil forekomme en økning av slike flommer (Lindholm et al., 2008).

Vann som renner på overflaten kalles for overvann, og oppstår etter kraftig nedbør eller ved hurtig smelting av snø og is, uten at det er tilstrekkelige tiltak for å håndtere denne mengden vann. I byggeteknisk forskrift TEK17 heter det at: «*Overvann og drensvann skal i størst mulig grad infiltreres eller på annen måte håndteres lokalt for å sikre vannbalansen i området og unngå overbelastning på avløpsanleggene*» (TEK17). Tiltak som kan brukes for å forsinke, infiltrere, drenere samt sikre trygge flomveier kalles lokal overvannshåndtering (LOH). Grønne tak er en type LOH-tiltak som har til hensikt å fordrøye og forsinke avrenning ved store nedbørshendelser.

I bybildet er det en stor andel tette flater med lav permeabilitet, av disse tette flatene utgjør tak en vesentlig del. Tak er stort sett en ubrukt resurs i sammenheng med LOH-tiltak. Et tynt grønt dekke på tak vil kunne bidra med å gjenskape noe av den naturlige tilbakeholdingen av nedbør i byer (Braskerud 2014). I tillegg til dette tynne grønne dekket kan de etableres et magasinerende sjikt av porøse materialer, for eksempel LECA under det grønne dekket for å demme opp, fordrøye og holde tilbake vann ved store nedbørshendelser. Hensikten med dette er å føye seg etter regler satt av stat og kommune for tilføring av overvann på avløpsnettet. Dette kan fungere som en erstatning eller som tillegg til eksisterende overvannshåndteringsstrategier som til dømes nedgravde utjevningsbassenger.

1.2. Formål

Formålet med forskningsstrukturen Bia, er å se på den konkrete effekten av relativt store grønne tak opp imot et standardisert «svart» tak uten noen form for LOH tiltak. I utgangspunktet er det tenkt at forskningsperioden skal strekke seg over minimum fem år, med oppstart på innsamling av data i midten av Juli 2018. I starten er det tenkt at de to grønne takene, skal oppføre seg så likt som mulig, uten noen form for inngrep eller forbedringer. Det svarte taket skal stå urørt under hele forskningsperioden for å kunne virke som et referansetak. På grunn av at takene skal stå relativt urørt høsten 2018, er man helt og holdent avhengig av nedbør i form av regn og snø for å få data til analyse. En faktor som er av stor interesse for grønne tak er hvordan de oppfører seg ved kraftig ekstremnedbør over en lengre periode, ved periodisk nedbør tett inntil hverandre slik at taket nesten er mettet allerede ved første regnfall. Høsten 2018 har det vært lite ekstremnedbør og generelt mindre tilfeller av perioderegn enn man kunne ønske seg, dette vil naturligvis reflekteres i resultatene for takene i denne perioden. For å unngå dette problemet i framtiden er det tenkt å kunne montere ett sprinkleranlegg over takene for å imitere ønsket nedbør. Det vil også kunne bli gjort forbedringer eller endringer ved ett av de to grønne takene i framtiden for å se hvordan det påvirker taket opp imot det urørte referansetak.

1.3. Problemstilling

Målet med denne oppgaven er å vurdere effekten grønne tak har på tilbakeholdelse av nedbør sammenlignet med ordinære tak. Det er spesielt tre faktorer som er av stor interesse for å bedømme effekten av grønne tak:

- Hvor mye reduseres maksavrenningen fra de to grønne takene kontra det svarte.
- Hvor mye forsinkes maksavrenningen fra de to grønne takene kontra det svarte.
- Hvor mye reduseres den totale volumavrenningen fra de to grønne takene kontra det svarte.

Utover dette skal oppgaven også ta for seg fordeler og ulemper ved etablering av grønne tak, både på nybygg samt eksisterende bygg. Den skal også gi ett innblikk i hvilke andre faktorer som kan bli påvirket av etablering av flere grønne tak i et urbanisert bybilde.

1.4. Avgrensing

Oppgaven blir som nevnt avgrenset til dataene tilgjengelig fra nedbøren vi har hatt høsten 2018. Etter avtale med NVE, som står for innhenting og kontrollsjekking av data, er all data fra oppstart i Juli til og med 16.november sendt til meg fredag 16. November. Dette er etter avtale med NVE hvor vi ble enige om at om lag en måned på å analysere og trekke konklusjoner kunne være ønskelig. Det er altså data i tidsperioden 12.07.2018 – 19.11.2018 som blir analysert og presentert i denne oppgaven.

1.5. Begreper og forkortelser

| Begrep | Forklaring |
|---------------------------------|---|
| Avrenning | mengde vann som har rent av et gitt området som følge av nedbør |
| Avrenningsfaktor | forholdet mellom avrenning og total nedbør for et område |
| Evapotranspirasjon | summen av fordamping og transpirasjon av vann fra planter |
| Flate tak | tak med mindre enn 5° helling |
| Flomvei | en trygg vei for bortledning av store mengder nedbør |
| Fordrøyning | forsinkelse og tilbakeholdelse av nedbør |
| Infiltrasjon | inntrenging av vann i grunn |
| Intensitet | nedbørmengde per tidsenhet (mm eller l/s*ha) |
| Kompakte tak | tak bestående av flere lag som ligger så tett på hverandre som praktisk mulig |
| Lokal overvannshåndtering (LOH) | tiltak som er gjort for å infiltrere, fordrøye eller sikre håndtering av nedbør |
| Nedbørfelt | et område med felles avrenning til resipient |
| Overvann | avrenning på overflate som følge av nedbør |
| Permeabilitet | en overfaldtes evne til å infiltrere vann |
| Resipient | en mottaker av vann. Bekk, elv, innsjø eller hav |

| | |
|-----------------|--|
| Returperiode | hvor ofte nedbør med en viss intensitet forekommer |
| Skrå tak | tak med helning over 5° |
| Sjikt | betegnelse på et funksjonslag med spesifikke funksjoner |
| Treleddstrategi | tiltak som infiltrerer, fordrøyer og sikrer trygge flomveier |
| Varighet | hvor lenge det faller nedbør med en viss intensitet |

1.6. Nomenklatur

| Symbol | Beskrivelse | Enhet |
|--------------------|------------------------------------|------------------------|
| A | areal | m ² |
| C _d | utløpskoeffisient | - |
| g | gravitasjonskonstant | m/s ² |
| H | høydeforskjell i felt | m |
| h | vannivå over sentrum av utløp | m |
| I | nedbørintensitet | mm, l/s*ha |
| C | avrenningskoeffisient | - |
| K _f | klimafaktor | - |
| L | lengde på felt | m |
| M _k | magasineringskapasitet | l |
| p | porevolum | - |
| Q | vannføring | m ³ /s, l/s |
| Q _{ut} | maksvannføring på innløpshydrogram | m ³ /s, l/s |
| Q _{in} | maksvannføring på utløpshydrogram | m ³ /s, l/s |
| Q _{maks} | maksvannføring ut av tak | l/min |
| t _k | konsentrasjonstid | s, min |
| t _r | varighet på regn | s, min |
| t _{qmaks} | tid til maksavrenning oppstår | s, min |
| v | strømmehastighet | m/s |
| V _m | metningsgrad | l |
| V _f | fordrøyd volum | m ³ , l |
| V _{total} | totalavrenning fra tak | l |

2. Bakgrunn

2.1. Klima

Klima beskriver typiske værmønster for et sted over en viss tidsperiode, innunder dette faller gjennomsnittlig temperatur, min- og makstemperaturer, vind og nedbør (Dannevig og Harstveit, 2018). Klimaendringer er endringer i hvor ofte ulike typer vær forekommer. Dette kan være endringer i middelveier for temperatur, nedbør og vind, samt endringer i hyppigheten i forekomster av ekstremvær. Følgene av klimaendringene er oftere forekomster av ekstremvær som flom, hetebølger, tørke og ekstremvær. Disse vil også ha en gjennomsnittlig høyere intensitet enn tidligere observert (Ødegaard, 2012).

Fra 1900 og frem til i dag har den midlere årsnedbøren over hele Norge økt med ca 18%. Økningen har vært størst for våren og minst om sommeren. Også for kraftig nedbør og ekstremnedbør i løpet av kort tid har det i de senere årene vært en økning i både hyppighet og intensitet (Hanssen-Bauer et al., 2015). Prognoser presentert i «Klima i Norge 2100» utarbeidet for miljødirektoratet viser at årsnedbøren trolig vil øke med ca 18% (spenn: 7 til 23%), styrtregneepisoder vil forekomme hyppigere, regnflommer vil bli større og komme oftere, samt at flommer som følge av snøsmelting vil avta (Hanssen-Bauer et al., 2015).

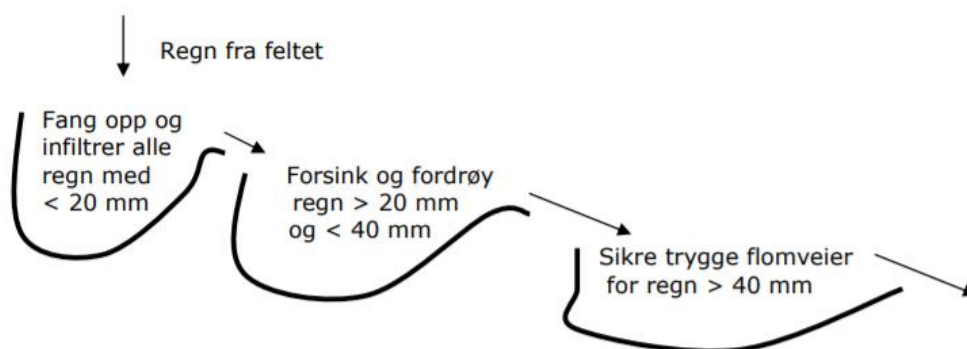
2.2. Overvannshåndtering

Tidligere var den generelle praksisen for håndtering av overvann i by og tettsteder at den ble drenert ut i fra byene via ledningsnett. I nyere tid har vi sett en økning av flom i byer og tettsteder som følge av at ledningsnett ikke kan holde tritt med den økende vannmengden.. Dette er som følge av økende urbanisering, gjentetting av flater og en økning av ekstremvær (Lindholm et al., 2008). Som følge av den økte avrenningen i tettsteder og byer står man igjen med et valg for å håndtere overvannet lokalt, med mindre man har lyst til å ha en kontinuerlig utbygging og oppjustering av ledningsnett. Dette vil være u hensiktsmessig løsning på overvannsproblemet, da det vil være vanskelig å holde tritt med den økte forekomsten av overvann, samt at en eventuell kostnad ved en slik storskala utbygging vil være svært stor.

Tradisjonelt sett har overvann blitt betegnet som et problem i stedet for en ressurs. Vannet bør heller oppfattes som en ressurs som kan brukes til rekreasjon og estetikk i nærmiljøet (Lindholm et al., 2008). En god overvannshåndteringsplan medfører å gi sikkerhet for innbyggerne, unngå flomskader og skape sikre flomveier, hindre utbygging i svært flomutsatte områder, sikre best mulig vannkvalitet for overvann, redusere overløpsdriften fra avløpssystemet, ivareta vegetasjonsområder i urbane strøk, samt sikre god bruk av vannveier, for eksempel hindre at for mange bekkeløp legges i rør (Ødegaard, 2012). God overvannshåndtering innebærer at metodene skal tilpasses lokale forhold og behov. Løsningene skal være bærekraftige og tilføre kvaliteter til omgivelsene. De valgte løsningene må også fungere godt ved alle årstider, samt ved vanlig nedbør, ved flom og i tørrvær (Ødegaard, 2012). Målet er å håndtere overvannet i størst mulig grad på overflaten som en synlig del av bybildet, og dermed skape et bedre bymiljø.

2.3. Lokal overvannshåndtering (LOH)

Den beste løsningen for å håndtere overvann er å håndtere den lokalt, ved hjelp av lokal overvannshåndtering (LOH). Det å håndtere overvannet lokalt innebærer å la vannet finne naturlige veier selv, dette kan være gjennom infiltrasjon i grunnen, etablering av dammer eller naturlig bortrenning via åpne vannveger. Vanligvis deler man LOH in i tre ledd, også kalt treledd-strategien.



Figur 1: – Illustrasjon på håndtering av nedbør. Tallene er eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm, et al., 2008)

Prinsippet er i første ledd å infiltrere eller holde tilbake vannet i alt regn med en mindre nedbørsmengde enn et visst antall millimeter i de aller fleste tilfeller. Når regn faller med

større vannvolum enn dette, vil det overskytende vannet renne videre til åpne anlegg som forsinker og fordrøyer avrenningen, for eksempel dammer. Noen få regnskyll har imidlertid så store vannvolum at de normale systemene for overvannshåndtering ikke klarer å håndtere avrenningen alene. Man må da anlegge åpne flomveier som kan avlede disse sjeldne regnskyllene på en trygg og hensiktsmessig måte (Lindholm, et al., 2008).

Det finnes mange ulike tiltak for håndtering av overvann, og ofte er det en kombinasjon av flere tiltak som hver tar for seg ulike deler i tre-leddstrategien som vil fungere best.

Tabell 1: Oversikt over LOH-prinsipper og LOH-anleggstyper (Lindholm et al., 2008)

| Prinsipp | Type LOD-anlegg | Formål | Beskrivelse |
|--------------------------|--|-------------------------------------|--|
| Dammer | "Våte" dammer uten fordrøyningsvolum | Rensing | Rensing skjer ved sedimentering og biologisk aktivitet mens overvannet passerer gjennom anlegget. Tilløpet medfører vannutskiftning. |
| | "Tørre" dammer | Fordrøyning og rensing | Dammene dimensjoneres for en viss oppholdstid, vanligvis 24 timer. Partikulært materiale sedimenteres. |
| | "Våte" dammer med fordrøyningsvolum | Fordrøyning og rensing | Rensingen skjer hovedsakelig i det permanente vannvolumet. |
| Lukkede magasiner | Steinmagasiner Plastkassetter | Fordrøyning | Vannet fordrøyes i porevolumet i steinmassene eller i plastkassetter. |
| | Rørmagasiner | Fordrøyning | Rørene overdimensjoneres for å gi plass for et fordrøyningsvolum. Utløpet strupes. |
| Våtmark | Grunt, vanddyb <15 cm, våtmarksområde | Rensing og fordrøyning | Våtmarksområde med betydelig utstrekning |
| | Dam med etterfølgende våtmark | Rensing og fordrøyning | Våtmarken er vanligvis betydelig mindre enn i foregående alternativ, men vanddybden over våtmarken er større (15 - 45 cm). |
| | Våtmark med stort fordrøyningsvolum | Rensing og fordrøyning | Permanent vannvolum med overliggende fluktuerende fordrøyningsvolum. |
| Infiltrasjon | Infiltrasjon fra terreng | Redusere overflateavrenningen. | Overvannet ledes ut på terreng og infiltreres derfra. |
| | Infiltrasjon fra åpne gresskledde grøfter | Unngå grunnvannsenkning. Rensing | Infiltrasjon fra avrundete åpne gresskledde grøfter som ligger med svakt fall. |
| | Infiltrasjonsdammer | | Infiltrasjon gjennom bunn og sider i åpne dammer. |
| | Infiltrasjon gjennom porøs asfalt og andre former for porøs overflatebelegning | | Infiltrasjon gjennom porøs asfalt eller via fuger mellom gatestein og andre former for belegning til underliggende permeable masser. |
| | Lukkede infiltrasjonsgrøfter | | Infiltrasjon via lukkede infiltrasjonsgrøfter til omkringliggende permeable masser. |
| Grønne tak | Vannopptak i vegetasjon | Minske overflateavrenningen | Tilbakeholdelse av den første delen av regnskyll. |

I Norge har vi et kaldt klima, og det er derfor viktig av våre LOH-tiltak og LOH-anlegg gir tilstrekkelig funksjonalitet både vinter og sommer.

I områder med eksisterende bebyggelse har det vært veldig vanlig å etablere nedsenkede eller helt nedgravde lukkede magasiner, dette er en god teknisk løsning, som tar hensyn til de fysiske skadene som for mye avrenninger på overflaten kan skape, men den tar ikke hensyn til formodningene om at overvann bør, der det er mulig, brukes som en ressurs. Dette kan enten være til rekreasjonsformål, estetikk eller forbedre det lokale biologiske mangfoldet (Åstebøl et al., 2013). Et nedsenket magasin fungerer som en underjordisk utjevningsdam med strupet utløp slik at utløpet fra magasinet på avløpsnettets aldri overskrider retningslinjene gitt fra kommune og stat. En god løsning på å etablere LOH-tiltak i bebyggelse med lite frie arealer er å etablere grønne tak på allerede eksisterende svarte tak. På den måten skaper man tiltak mot overvannet uten å ha behov for store utilgjengelige arealer.

2.4. Grønne tak

Grønne tak er en betegnelse på tak som er helt eller delvis dekket av vegetasjon. Grønne tak er en eldgammel teknologi i Norge. Taktekking med torv og gress går hundrevis av år tilbake i norsk byggeskikk. I moderne tid er det i midlertidig utviklet nye taktyper, og vi deler gjerne grønne vegetasjonsdekkede tak i tre hovedgrupper; intensive grønne tak, semi-intensive grønne tak og ekstensive grønne tak (Braskerud, 2014).

En forutsetning for å anlegge grønne tak er at helningen på taket ikke blir for bratt, og at konstruksjonen er dimensjonert for ekstrabelastningene et grønt dekke eventuelt vil medbringe (Ødegaard, 2012).

2.4.1. Intensive grønne tak

Intensive grønne tak har et tykt lag av jord og vekstmedium og kan utformes som en takhage med busker, trær og områder for opphold av mennesker. En av hensiktene med intensive grønne tak er å skape «grønne lommer» i bybildet, der man kan ferdes og disse lommene kan brukes til rekreasjon og dyrking. Denne taktypen er kun egnet på bygg som tåler høy last (Braskerud, 2014).

De intensive takene er ofte tilnærmet flate tak, egnet for menneskelig opphold og ferdsel. Intensive grønne tak kan ha en varierende vekstlagstykkelse tilpasset brukerens ønsker og

behov. Typisk vekstlagstykkelse er 150-400 mm eller mer, med ekstra jordtykkelse ved store trær. Bærekonstruksjonen må dimensjoneres for den ekstra vekten det intensive grønne taket gir, og det er derfor normalt ikke mulig å anlegge et intensivt grønt tak oppå et eksisterende tak uten at konstruksjonen forsterkes. Total vekt til et intensivt grønt tak kan variere mellom 200-1000 kg/m² i vannmettet tilstand (Noreng, et al., 2012).



Figur 2: Eksempel på intensivt grønt tak med varierende vekstlagstykkelse i forhold til behovene til beplantningen. Foto: SINTEF Byggforsk (Noreng, et al., 2012)

2.4.2. Semi-intensive grønne tak

Semi-intensive tak er en mellomting mellom ekstensive og intensive tak, de bygger noe mer i høyden enn ekstensive tak. Byggehøyde over takmembran kan ligge på 130-230mm, og kan veie 120-200kg/m² i vannmettet tilstand (Noreng, et al., 2012). Semi-intensive tak krever mer stell og vedlikehold enn ekstensive tak, men mindre enn fullstendig intensive. Semi-intensive tak kan utformes slik at det blir tilgjengelig for opphold av mennesker, så lenge

konstruksjonen av bygget tillater dette. Det er også vanlig å benytte seg av vekstmedium av torv til semi-intensive tak.



Figur 3: Eksempel på semi-intensivt torvtak. Foto: UMB/ILP (Noreng, et al., 2012)

2.4.3. Ekstensive grønne tak

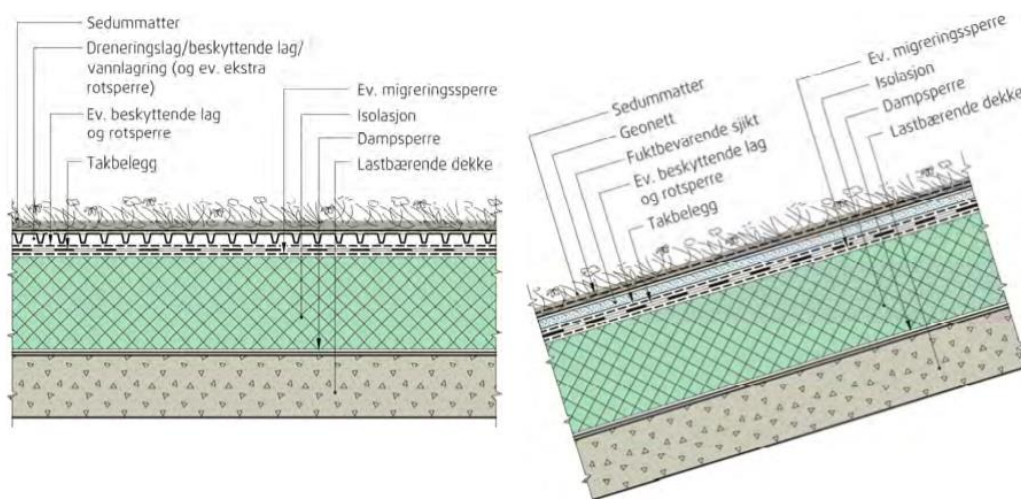
Ekstensive grønne tak, defineres ofte som lette tak med et tynt dekke av jord eller vekstmedium av mineralsk materiale, med typisk dybde på vekstmedium mindre enn 100mm (Hassel & Coombes, 2007). Ekstensive tak domineres ofte av robuste tørketålende arter, Bergknappslekta (*Sedum*) er mye brukt. Avhengig av klimaet på byggestedet og fallforhold på taket, vil det muligens være behov for oppbygging med magasinerende, fuktbevarende og/eller drenerende sjikt. Fuktbevarende sjikt holder tilbake vann som senere kan tas opp i planten og forhindrer uttørking i matten. Drenerende sjikt skal sikre at overflødig vann effektivt blir ledet bort slik at man unngår plantedød forårsaket av stående vann på taket. Magasinerende sjikt blir brukt mye likt som et utjevningsbasseng for å dempe

avrenningstoppene fra taket ved kraftig regn, eller regn i perioder der det grønne dekket er nær metningspunktet (Noreng, et al., 2012)

2.4.4. Sedumtak

Grønne tak av Bergknapp (Sedum) er mye brukt i nordisk klima, Bergknapp består av ca. 400 arter. De er alle sukkulente stauder med lav vekst og tykke blader. De vokser over hele Norge og er vidt utbredt i Europa. Mange av artene vokser gjerne på tørre steder med små krav til jordsmønn, for eksempel i sprekker og på svaberg. Ofte danner de matter eller «tepper» av flatvoksende planter i 5-15 cm høyde (Bergknapp, 2018). Et grønt tak av Sedum krever forholdsvis lite vedlikehold. Taket må gjødsles 1-2 ganger i året og lukes for ugress ved behov.

Sedumtak har lav byggehøyde, ca. 50-250mm, og vekten på sedumtaket varierer fra 25kg/m² i tørr tilstand til 50kg/m² i vannmettet tilstand. Sedumtak kan bygges både som flate tak og skrånende tak opp til en helning på 40 grader. Oppbyggingen avhenger av klima på stedet og helning på tak. (Noreng, et al., 2012)



Figur 4: Typisk oppbygging av et flatt og et skrånende ekstensivt tak av sedum (Noreng, et al., 2012)

Bærekonstruksjonene i ekstensive grønne tak er oftest betong, stålplater eller kraftige trekonstruksjoner. Dampsperre benyttes for å hindre at fuktig inneluft lekker opp i

takkonstruksjonen. Det er viktig at taket er vanntett, og de vanntette egenskapene tas vare på ved å benytte seg av et takbelegg av membran, asfalt, gummi eller plastikk. Ved vesentlig helning på tak, over 20° er det fare for sig vekstmediet og det anbefales bruk av geonett for å holde sammen vekstmediet (Noreng, et al., 2012).

Tabell 2: Sjiktoppbygging til et typisk ekstensivt grønt tak av Sedum (Noreng, et al., 2012)

| Sjikt | Eksempel på materialer | Eksempel på tykkelse (mm) |
|--------------------|--|---------------------------|
| Plantedecke | Ferdige vegetasjonsmatter | 50 |
| Vekstmedium | Vekstjord iblandet lette masser | 30-50 |
| Vannlagrende sjikt | Filt Mineralull | 2-5 30-50 |
| Drenerende sjikt | Knasteplate med pålimt fiberduk | 10-15 |
| Ekstra rotsperre | Rullprodukt av plast eller gummi | 0,4-1,0 |
| Takmembran | Takbelegg av asfalt, plast eller gummi | 1,5-7,9 |

2.4.5. Magasinerende sjikt

Et ekstensivt grønt tak av Sedum vil i utgangspunktet egne seg bra ved sporadisk nedbør uten den største intensiteten på nedbøren. Ved hyppige regnskyll eller ved svært kraftige regnskyll kan det oppstå problemer med at Sedum-matten blir mett. Ved mettete matte senkes de hydrologiske egenskapene til taket, og en større del av vannet vil renne rett av taket. En løsning for å få bukt med dette problemet er å installere et magasinerende sjikt mellom det grønne dekket og takmembranen. Dette sjiktet har til hensikt å fange opp, drenere og fordrøye det vannet som det grønne dekket ikke kan ta seg av ved kraftig regnskyll. Noe man må ta hensyn til ved en eventuell installasjon av et slikt magasinerende sjikt, er den ekstra lasten dette sjiktet påfører bygget. Det magasinerende sjiktet skal helst bestå av materialer som har gode egenskaper til å ta opp vann, det vil si lette materialer med høyt porevolum. Materialer som er mye brukt i magasinerende sjukt til grønne tak er lettklinker, finknust LECA og lavastein (Noreng, et al., 2012)

2.4.6. Fordeler og ulemper ved grønne tak i bymiljøet

Grønne tak har en helt klart hydrologisk effekt på regnet, ved at de øker tiden det tar fra regnet starter til regnvannet når sluk og eventuelt ledningsnett, denne tiden blir kalt konsentrasjonstiden. Utover dette har grønne tak god evne til å holde på vann, og vannet må renne gjennom vegetasjonen, vekstmediet og eventuelle magasinierende sjikt under det grønne dekket før det når sluket, i motsetning til et typisk svart tak der avrenningen starter momentant ved regn. I tillegg til dette bidrar det grønne dekket til en økt evapotranspirasjon fra taket til atmosfæren, slik at summen av vann som renner ut av sluket ikke nødvendigvis er lik summen av regn som faller på taket. Den tilbakeholdelsen av vann et grønt tak bidrar med vil hjelpe med at vi unngår de største avrenningstoppene samt at avrenningstoppen kommer mye senere inn på ledningsnettet. Dette kan bidra til at ledningsnettet ikke blir overbelastet. Et overbelastet ledningsnett kan føre til flom og oversvømmelser i urbane områder (SINTEF, 2012). Effekten et grønt tak kan ha på konsentrasjonstiden og avrenning versus et svart tak er illustrert i figur 5.



Figur 5: Illustrasjon av avrenning fra svart tak (til venstre) versus grønt tak (til høyre) (Bergknapp, 2018)

Det er også mange andre gode egenskaper og fordeler bruk av grønne tak i bymiljøet medbringer utover de rent hydrologiske. Den økende urbaniseringstrenden på verdensbasis

bidrar til at en økende andel av naturlige habitat for dyre- og insektliv utbygges til fordel for asfalterte veier, bolighus og bygninger (Wilkinson and Dixon, 2016). Denne utbyggingen i byer bidrar til at noen habitatområder blir borte mens andre blir spredt utover og fragmenteres. Dette fører igjen til at mange arter mister sine naturlige utfoldingsområder, og til at det biologiske i mangfoldet i byene reduseres. En av de mest effektive måtene å minimere tap av habitat i bymiljøet er å øke andelen av grønne habitatsområder hvor arter kan utfolde seg og florere (Wilkinson and Dixon, 2016). Ved å konvertere allerede ubrukte takområder til grønne tak, kan det bidra med en potensiell løsning på problemet med reduksjon av naturlige habitat i byer. Utover dette kan flere grønne tak i tilknytting til hverandre bidra til å lenke disse habitatene sammen og øke områdets tilgjengelighet for artslig utfolding. Det at de grønne takene befinner seg på relativt utilgjengelige steder for mennesker, bidrar til å redusere den menneskelige påvirkningen i disse områdene, og områdene kan bli en trygg havn for dyre- og planteliv. Man kan også installere biotophotell slik som vist i figur 6, som ytterligere vil bidra til å skape en trygg havn for dyr og insekter.



Figur 6: Biotophotell utplassert på et grønt tak (Bergknapp, 2018)

Utbyggingen av byer og en økning av mørke flater i byer bidrar til at byer har en vesentlig høyere temperatur om sommeren ved solfylte dager enn tilsvarende nærliggende områder utenfor byene. Dette kommer av at det er en stor andel av flatene i byen er mørke, og dermed absorberer og lagrer en stor del av den varmen og energien som kommer fra solen. Dette kalles varmeøy-effekten (Wilkinson and Dixon, 2016). Grønne tak vil bidra til å redusere mengden av mørke absorberende flater i bymiljøet, samt at vegetasjonen på det grønne taket vil bruke energien fra sollyset til å drive blant annet fotosyntesen. Denne isolerende effekten vil også bidra til at inneklimate i bygget vil bli kjøligere, og dermed vil det være mindre

behov for bruk av aircondition. Videre vil grønne tak også kunne bidra til å øke isolasjonsevnen til bygget, slik at det på kalde dager vil kreves mindre energi til oppvarming av bygget versus svarte tak

Et grønt dekke på taket vil også bidra til å øke levetiden til takkomponentene til taket. Dette skjer ved at dekket isolerer mot skadelige UV-stråler, raske temperaturendringer i materialer, samt reduserer effekten av regn og vind på taket (Sempergreen.com, 2018).

Grønne tak og grønne områder vil også kunne være med på å bidra til å øke de estetiske verdiene samt opplevelsen av å bo i by. Mange studier har sett på de psykologiske effektene av å bo i et bymiljø med tilgang til grøntarealer versus miljøer uten tilstedeværelse av grøntarealer. Miljøer med grøntarealer kan bidra til å redusere stressnivået til befolkningen samt bidra til å øke evnen til å konsentrere seg (Sutton, 2015). Grønne tak kan også anlegges på en slik måte at det kan brukes til oppholdsområder eller rekreasjon, og det kan være mulig å drive med dyrking av enkle urter og planter på taket. Den grønne vegetasjonen, samt vekstmediet vil også kunne bidra til å rense og filtrere regnvann som treffer taket som igjen senere kan brukes til irrigasjon i en urtehage.

Grønne tak kan bidra til å øke luftkvaliteten i nærliggende strøk til takene gjennom to prosesser. Fysisk fanging av forurensinger og svevestøv i luften på plantenes overflate (Yang, 2008), eller ved å absorbere forurensingene direkte inn i planten (Currie & Bass, 2008).

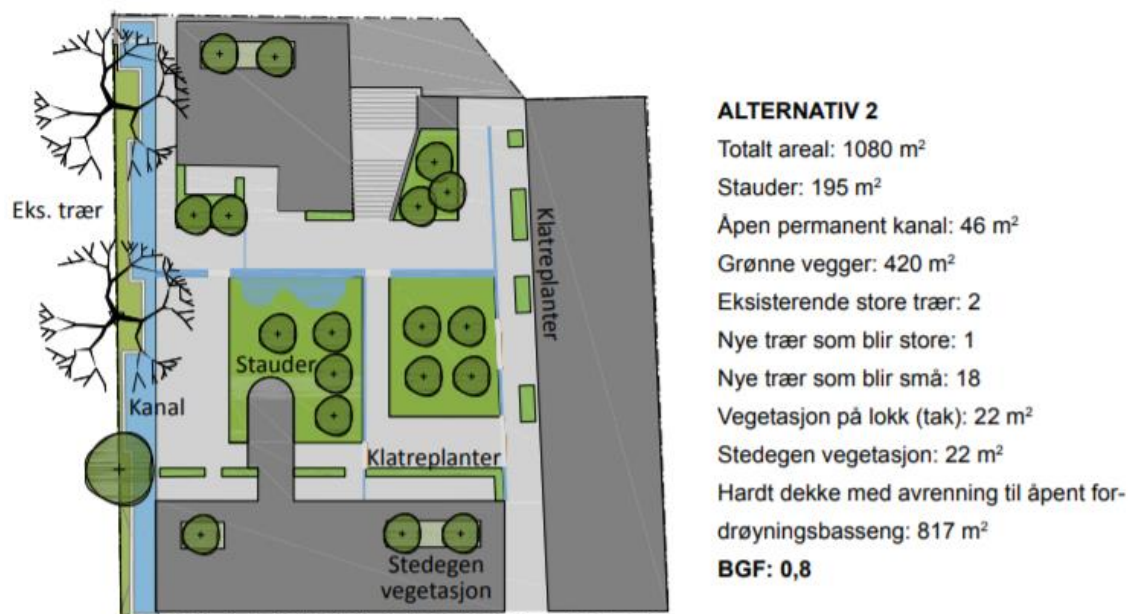
Grønne tak vil også være med på å øke den blågrønne faktoren til bygget. Blågrønn faktor (BGF) er et verktøy i byggesaker som omhandler god vannhåndtering, vegetasjon og biologisk mangfold. BGF skal bidra til å høyne kvaliteten i uterom ved at utbygger må kompensere for tap av grønne arealer og tette flater. Blågrønn faktor er definert ved

$$BGF = \frac{\text{ØKOLOGISK EFFEKTIV OVERFLATE}}{\text{TOTAL TOMTEAREAL}}, \text{ BGF varierer mellom 0 og 1. Kravet til}$$

minimumsfaktor vil variere ut fra hvilken områdetype tomten ligger i (Ardilla & de Caprona, 2014). Se tabell 3 for eksempler på krav for blågrønn faktor, samt figur 7 for illustrasjon på hvordan blågrønn faktor utregnes.

Tabell 3: Eksempel på krav til blågrønn faktor (Ardilla & de Caprona, 2014)

- 1 Prosjekter i tett by/sentrumsområder (dette inkluderer tett blokkbebyggelse): 0,7
- 2 Prosjekter i ytre by/småhusbebyggelse/rekkehus/åpen blokkbebyggelse: 0,8
- 3 Offentlige gater og plasser: 0,3



Figur 7: Eksempel på utregning av blågrønn faktor (Ardilla & de Caprona, 2014)

Andre fordeler ved grønne tak er at de kan være med på å redusere støynivået i byen, det kan øke friksjonen på taket og dermed redusere faren for snøskred, skape et brannsikkert lag utenpå taket ved at plantene og vekstmediet holder på mye fuktighet, samt øke verdien på bygningen.

Selv om det er mange gode fordeler med å anlegge grønne tak, er det også noen ulemper man må ta hensyn til. Det er en ekstra kostnad man må ta hensyn til ved anlegning av grønne tak versus standard svarte tak, det er nødvendig med ettersyn og oppfølging av taket, grøntarealene trenger skjøtsel samt at sluk må holdes åpne (Braskerud, 2016). Videre er det vanskeligere å oppdage potensielle lekkasjer og tette dem, samt at hvis taket er montert på en uforsvarlig måte kan det oppstå problemer med dreneringen og vegetasjonen kan dø som

følge av drukning (Braskerud, 2016). Et grønt tak vil også tilføre konstruksjonen en høyere last enn ved anlegging av et standard svart-tak, lasten vil avhenge av om man ønsker å anlegge et ekstensivt, intensivt eller semi-intensivt tak. Dette er som regel ikke noe problem for nyere bygg og nye konstruksjoner som er bygget spesielt med tanke på å tåle høyere last, men det kan være problematisk for de som ønsker å anlegge grønne tak på allerede eksisterende bygg.

2.4.7. Eksisterende forskning og resultater for bruk av grønne tak

Grønne tak kan redusere avrenningen fra ugjennomtrengelige flater i urbane områder. Laboratorieeksperimenter og feltundersøkelser har vist at grønne tak kan være med på å redusere avrenninger fra regnskyll med en faktor fra 30% til 86%, reduserer toppene i avrenningen med en faktor fra 22% til 93% og forsinke avrenningstoppen fra 0 til 30 minutt. Grønne tak er også med på å redusere forurensingene i vannet samt redusere graden av erosjon. Effektiviteten av grønne tak kan variere stort, og avhenger av blant annet; design og oppbygging, regnvolum, regndynamikken, forutgående forhold (om taket er vått/tørt/mettet), vekstmedium, arten planter på taket, helningen på taket og ikke minst klimaet taket blir opprettet i (Li & Babcock, 2014).

2.4.8. Erfaringer i Norge

En forskningsrapport utgitt av NIBIO – Norsk institutt for bioøkonomi i 2015, tar for seg erfaringer med grønne tak i 7 norske byer i perioden 2014-2015 som ble bygget for prosjektet «Fremtidens Byer», og det er spesielt takene på østlandsområdet i Oslo, Bærum og Drammen som er av spesiell interesse for takene bygget på Ås. Tabell 4 gir en oversikt over de fire aktuelle takene aktuelt for denne oppgaven. Det er spesielt Oslo2 som er av høy interesse, da dette er det eneste taket på Østlandet som også måler konkret avrenning.

Tabell 4: Oversikt over grønne tak etablert i prosjektet Fremtidens Byer i 2014 (Hanslin & Johannessen, 2015)

| Kommune | Oslo1 | Oslo2 | Bærum | Drammen |
|------------------------------------|------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|
| Adresse | Strømsveien 102, 11. etg. | Langmyrgrenda 34b, garasjetak | Kalvøya, toalettanlegg | Lyngvn. 10, garasjetak |
| Takvinkel (°) | flatt | 3 | 27 | 20 |
| Rutestørrelse (m ²) | 7,7 | 8,0 (2,0 x 4,0) | 5,6 (2,8 x 2) | 4,2 (1,2 x 3,5) |
| Antall ruter | 5 | 3 | 6 | 12, halvparten vannes |
| Eksposering | SV | N | 3 tak i forskjellige retninger | SØ og NV |
| Måling avrenning | Nei | Ja | Nei | Nei |

Taket ved Oslo2, ligger ved Langmyrgrenda 34b, er et garasjetak og er utformet slik som vist i figur 8. Resultater for dette taket blir nøye gjennomgått i NVEs rapport 65/2014, «Grønne tak og styrtregn».



Figur 8: Nylagt grønt sedumtak på garasjetak, 2009. Taknummerering er gitt (Braskerud, 2014)

Erfaringene fra dette forsøksprosjektet er at selv tynne, ekstensive tak kan holde tilbake minst 24% av årsnedbøren, selv ved uoptimale klimatiske forhold. Det mest intense regnet faller om sommeren (juni-august), som også er den perioden det grønne taket har best effektivitet. Tilbakeholdingen av regn avhenger med årstiden. Differansen mellom svarte tak og vegeterte tak er liten om vinteren. Ved smelting og regn om våren holder de grønne takene betydelig mer vann tilbake sammenlignet med svarte tak. Ved våte og kalde høster er tilbakeholdningen på det laveste, da takene får liten tid til å komme seg mellom regnhendelser (Braskerud, 2014).

Takene hadde god effekt på store intensive nedbørsmengder og det viser seg at tørre tak har best evne til fordrøyning, men også våte tak kan være med på å dempe avrenningen betydelig. De grønne takene dempet avrenningen ved et 40års regn med varighet på 30 minutter med 48%, og et 50års regn med varighet på 10 minutter med 89%. Grønne tak passer inn som punkt 1 eller 2 i treleddstrategien, avhengig av vannmengder og intensiteter man legger i strategien som skal håndteres (Braskerud, 2014).

3. Forskningsstrukturen Bia

Delkapittel tre vil ta for seg deler av byggeprosessen Bia, samt gå gjennom fysiske størrelser og anordninger på takene etablert på NMBU, dette inkluderer vekt, oppbygning, materialbruk med mer. Til slutt skal vi ta for oss installasjonen av måleinstrumenter i forskningsstrukturen. Dette kapittelet vil i all hovedsak benytte seg av masteroppgaven «Etablering av Bia, en forskningsinfrastruktur med grønne tak», utredet av Astrid Sommer Øyre og Julie Trommald. Dette er den eneste kilden tilgjengelig som beskriver prosjektet i detalj.

3.1. Prosessen fram mot bygging

For å undersøke interessen rundt et forskningsprosjekt på grønne tak ved NMBU, ble flere potensielt interessante aktører kontaktet. Bergknapp som er produsent av sedum, samt leverer løsninger med grønne tak og grønt dekke viste interesse for prosjektet og var spesielt interessert i å kvantifisere avrenningskoeffisienten for sedumtak ved høyintensitetsregnskyll.

Norconsult kom også på banen og viste interesse for prosjektet, de ønsket å undersøke muligheten for å magasinere vannet på taket istedenfor under bakken i lukkede magasineringstanker/bassenger, som er den vanlige løsningen i dag (Øyre & Trommald, 2018).

Det ble fremmet et forslag om å bruke finknust LECA som magasinerings- og fordrøyings materiale under det grønne dekket, og det ble opprettet kontakt med Leca Norge AS, som viste interesse for prosjektet og gikk inn i prosjektet som samarbeidspartner. Det å magasinere vann på selve taket skaper en stor utfordring med tanke på lekkasjer og valg av takmembran. Protan AS har et vannfordrøyingsystem «Protan BlueProof» utviklet med hensyn til at nedbør vil bli gradvis og kontrollert dreneres ut på avløpsnett, og ble med dette med i prosjektet (Øyre & Trommald, 2018).

Tilslutt var det nødvendig å finne en aktør som var interessert i å være med på å etablere måleinstrumenter på takene for å måle effekten på takene. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) var interessert i prosjektet og inviterte møte for å diskutere videre fremdrift (Øyre & Trommald, 2018).

Det neste steget ble å komme til enighet om hvor forskningsstrukturen skulle lokaliseres, i første omgang ble det vurdert installasjon på eksisterende tak på Universitetsområdet, men dette forslaget ble forkastet til fordel for å etablere strukturen på bakkenivå. På bakkenivå vil det bli enklere å etablere, vedlikeholde samt bruke forsøktakene til undervisning ved NMBU (Øyre & Trommald, 2018).

Området som ble utpekt til etableringen for takene ligger nord for Planteskolen ved NMBU, dette området måler 22x10 m, har ingen store bygninger i nær beliggenhet og var allerede regulert for å benyttes til forsøk. For at det skulle bli aktuelt å bygge en ny konstruksjon på campus var det et krav at NMBU skulle stå som eiere. Det ble da bestemt at fakultetet for landskap og samfunn (LANDSAM) v/ Norges Landskapslaboratorium NMBU ble eier av Bia, med forbehold om at fakultet for realfag og teknologi (RealTek) har bruksrettigheter. (Øyre & Trommald, 2018).

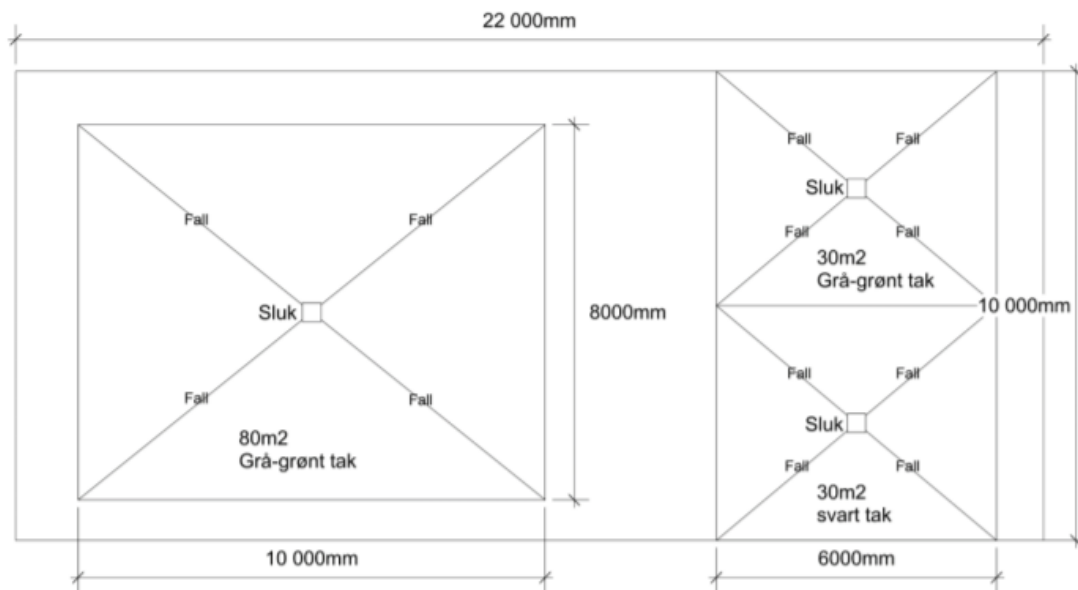
3.2. Planleggingen av Bia

Området nord for Planteskolen ble valgt ut til etableringen av Bia, det ligger 103 moh, med GPS koordinater 59.669987, 10.769532. Rundt forskningsområdet finnes det fem rader med ca. 3-5m høye trær 8m sørvest for forsøksområdet, samt en rad med ca. 15-20m høye trær 12m nordøst. Det finnes også et drivhus 12m sør for takene og nærmeste bygning ligger 43m sør for forskningsområdet (Øyre & Trommald, 2018). Figur 9 viser et oversiktsbilde over det aktuelle området for forskningsstrukturen.



Figur 9: Oversiktsbilde over området for forskningstrukturen, Bia (Øyre & Trommald, 2018)

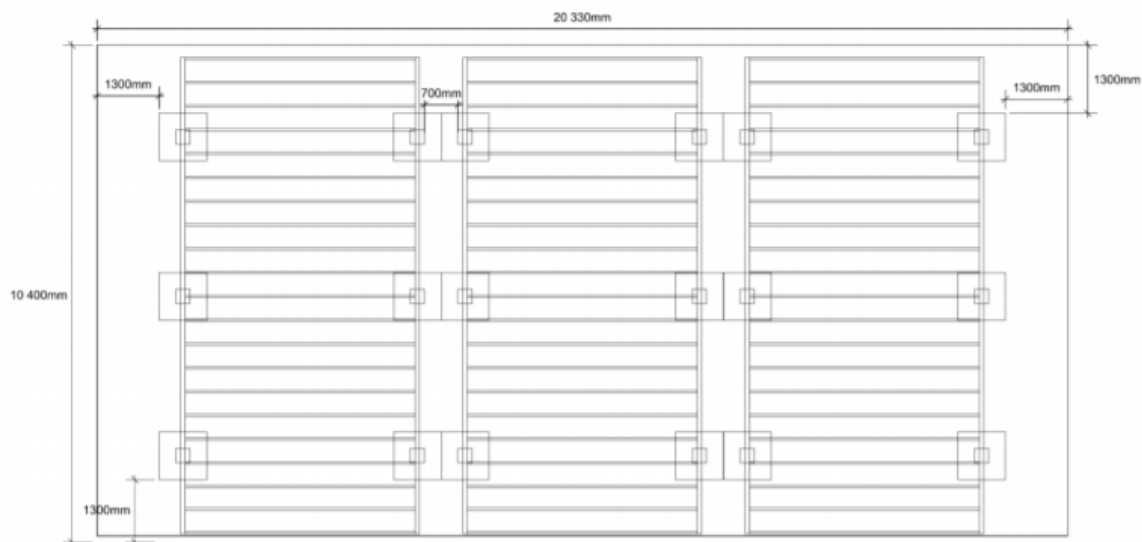
For å kunne få gode data ut i fra takene, samt ha et sammenligningsgrunnlag ble det bestemt at det var behov for minst to tak, hvor det ene skulle være en grå-grønn løsning med sedummatter og leca og det andre skulle være et svart referansetak (Øyre & Trommald, 2018). Det var ønskelig å etablere tak med litt størrelse for å minimere feilkilder. Første utkast til forslag var å etablere et tak på 80m² og et på 60m² hvor det største taket skulle ha en grå-grønn løsning, mens det andre taket skulle deles i to, hvor halve taket skulle ha en grå-grønn løsning og den andre halvdel skulle være et svart referansetak som illustrert i figur 10 (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 10: Skisse av første utkast til etablering av et tak på 80m² og et tak på 60m². Den ytterste firkanten representerer testområdet tildelt prosjektet (Øyre & Trommald, 2018).

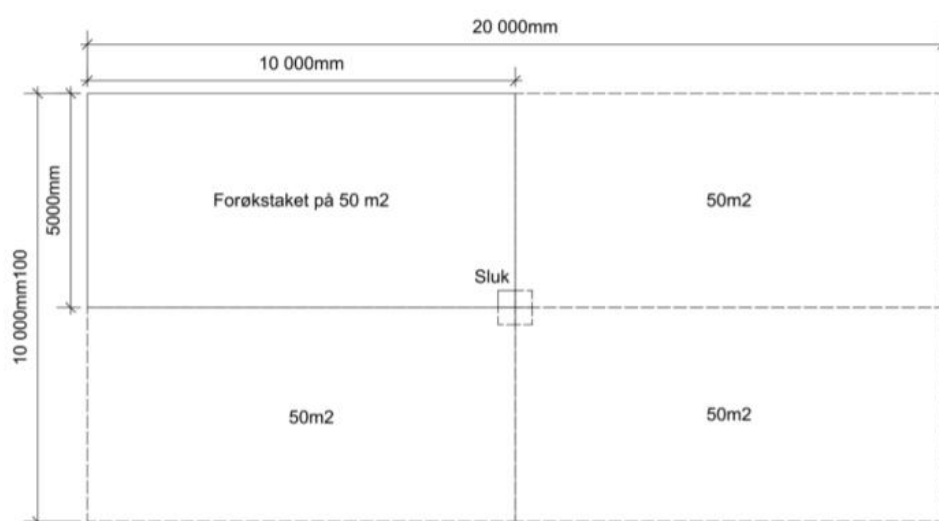
Dette forslaget ble forkastet på grunn av at man ville få to ganske så ulike tak, både størrelse- og konstruksjonsmessig. Dette skapte problemer med sammenligningsevnen på takene.

Det ble dermed bestemt at det var ønskelig å etablere tak som var så like som mulig, det vil si lik størrelse, samme materialer, lik form og lik himmelretning. Det ble dermed bestemt å bygge tre tak à 50m² hver, slik som vist i figur 11. Med tre tak var det mulig å bygge to tak med grå-grønn løsning og et svart referansetak. Fordelen med to grå-grønne tak er at disse kan sammenlignes opp mot hverandre for å ytterligere redusere feilkilder. En annen fordel er at man kan bruke det ene taket som utprøvingstak for nye løsninger, samtidig som det andre taket forblir urørt og fungerer som kontroll (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 11: Skisse av den endelige utførelsen av de tre takene. Hvert tak har et areal på 50m^2 ($10\text{m} \times 5\text{m}$) (Øyre & Trommald, 2018)

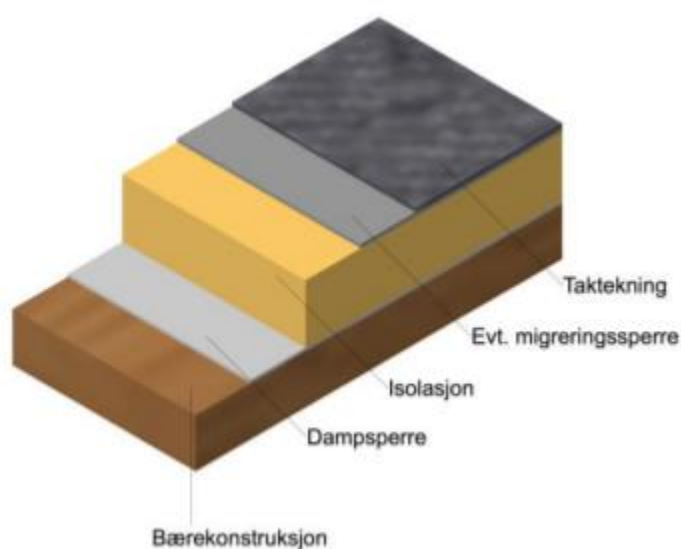
Vanligvis bygges flate kompakte tak med et innvendig sluk i midten av taket med fall mot dette. I utgangspunktet var det planlagt å legge slukene til takene i Bia i sentrum av taket for at vannet skulle få kortest mulig vei til sluket. Dette ble senere forkastet på grunn av at et sluk i sentrum av taket vil gjøre tilsyn og vedlikehold vanskelig da det ikke er anbefalt med ferdsel på sedummatter. De ble da valgt å montere slukene i hjørnet av taket, både for å tilrettelegge for tilsyn og vedlikehold, samtidig som en plassering av sluket i hjørnet kan være med på etterligne et 200m^2 stort tak med sluk i sentrum, slik som vist i figur 12 (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 12: Forsøktak à 50m^2 med sluk i hjørnet som kan etterligne et tak à 200m^2 med sluk i sentrum (Øyre & Trommald, 2018)

3.3. Tekniske detaljer rundt byggingen av Bia

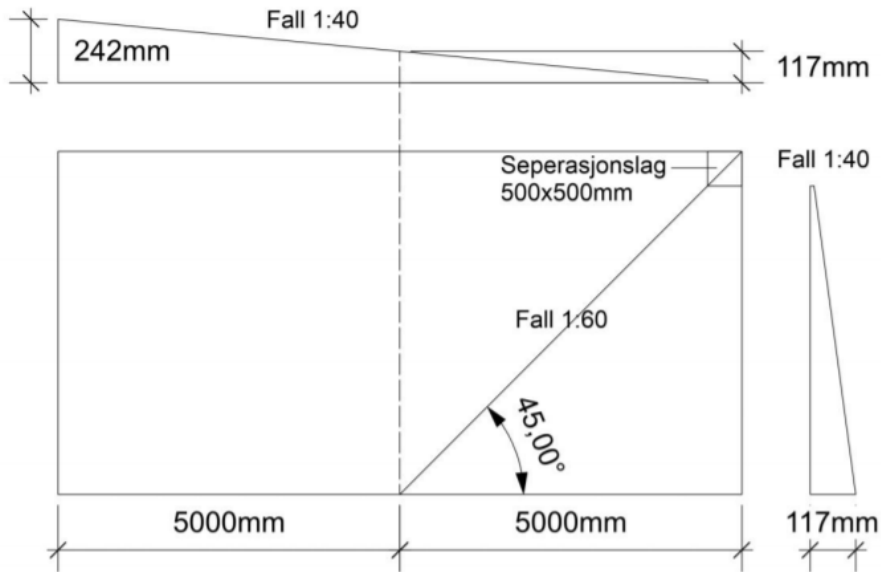
De tre grønne takene ved Bia ble bygget som kompakte tak. Dette er den mest vanlige konstruksjonstypen for grønne tak, og det var dermed naturlig å etterligne det som blir bygget i virkeligheten. Bestanddelene i et enkelt kompakt tak er en bærende konstruksjon, dampsperre, isolasjon, migreringssperre og taktekke, slik som vist i figur 13 (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 13: Oppbygning av et enkelt kompakt tak (Øyre & Trommald, 2018)

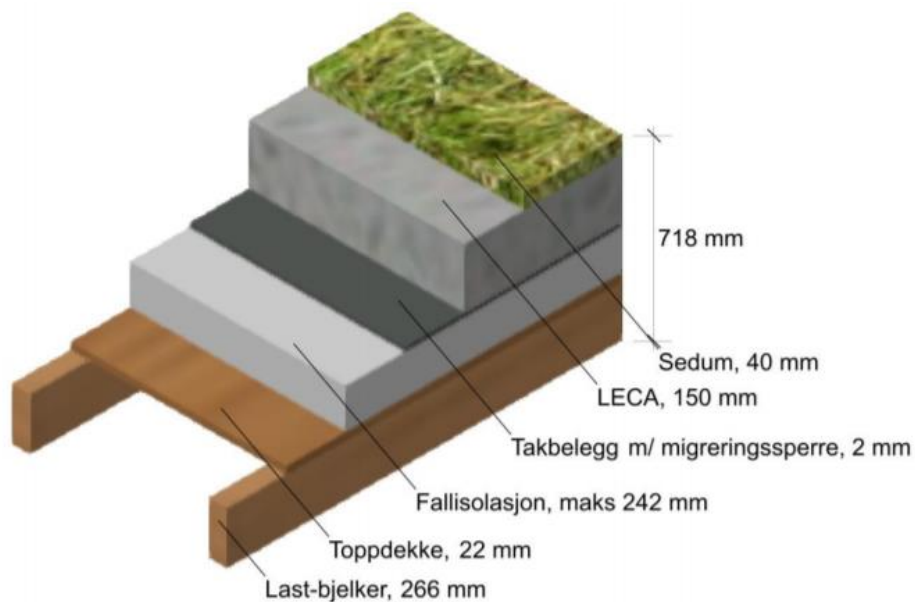
Det ble bestemt å benytte seg av seks søylefundament som taket skulle plasseres på, dette ble gjort av samråd med NVE som tidligere hadde brukt tilsvare konstruksjoner for vektmåling av snø. Ved bruk av seks søylefundament vil vekten på taket fordeles jevnt og tyngen fra taket vil bli overført direkte ned mot grunnen som et flatetrykk på fundamentflaten (Øyre & Trommald, 2018). På hvert av fundamentene ble det, på anmodning av NVE, installert 5 tonns veieceller. En punktlast på opptil 5t per veiecelle og søyle gav taket en lastekapasitet på 600kg/m^2 , noe som tilsvarer en kraft på 5.9 kN/m^2 (Øyre & Trommald, 2018).

For å oppnå ønsket fall på takene ble det bestemt å konstruere et kunstig fall på 1:40 ved hjelp av fallisolasjon. Dette ble valgt både fordi det er enklere å montere, samt at det vil være mulig å bytte ut fallisolasjonen for å oppnå nye fall i fremtiden om ønskelig (Øyre & Trommald, 2018). Fallet på takene er illustrert i figur 14.

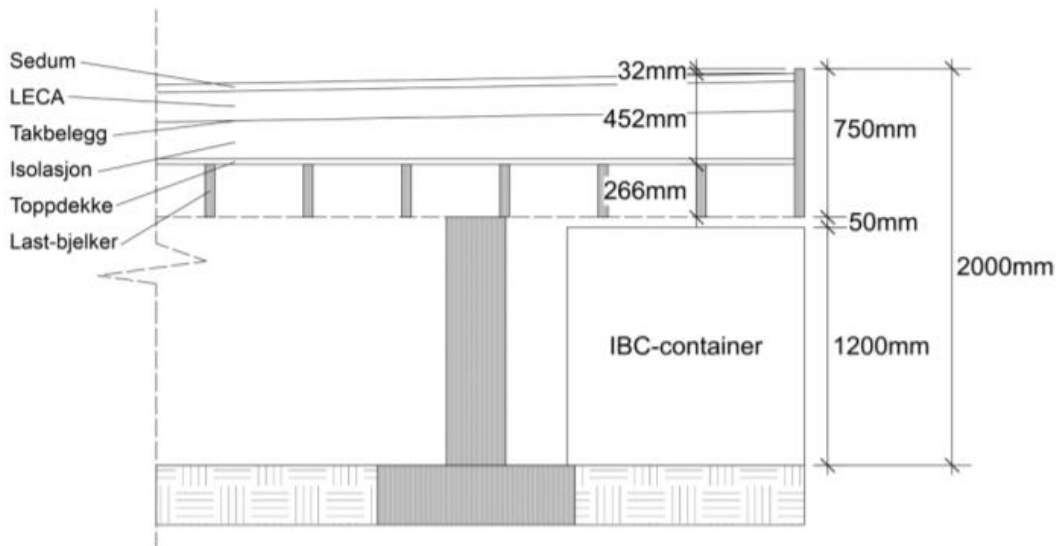


Figur 14: Illustrert fallretning og fallhøyde på forsøktaket (Øyre & Trommald, 2018)

Takets oppbygging over søylene er illustrert i figur 15 og består av lastebjelker i limtre à 266mm, toppdekke à 22mm, fallisolasjon à maks 242 mm, takbelegg med migreringsperre à 2mm, fordrøyende og magasinerende sjikt i LECA à 150mm og sedummatter à 40mm. Utover dette er det 30mm fra avslutningen av vegetasjonen til avslutningen av det vanntette sjiktet. Den totale høyden på taket fra bakkenivå ble dermed 2m slik som vist i figur 16 (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 15: Takets oppbygning over søylene (Øyre & Trommald, 2018)



Figur 16: Sidesyn av taket inklusiv høyder ved maksimal isolasjonshøyde (Øyre & Trommald, 2018)

Kapasiteten til veiecellen er satt til 5t per søyle, noe som tilsvarer en last på 5.9 kN/m^2 .

Vekten og egenlastet til taket måtte kontrolleres og estimeres for å sikre at den ikke overskred kapasiteten til veiecellene. Tabell 5 gir en oversikt over mengde og vekt brukt av materialene på taket.

Tabell 5: Materialer benyttet på hvert av forsøktakene, med tilhørende mengder og vekt. Det er gjort en antagelse om at 50% av LECA-massens areal kan fylles med vann, som vil gi en ekstra last på 75 kg/m^2 , videre er det opplyst fra Berknapp AS at sedum veier 25 kg/m^2 tørt og 50 kg/m^2 vått. (Bergknapp, 2018) & (Øyre & Trommald, 2018)

| Materialer | Beskrivelse | Mengde | Vekt på taket (kg/m ²) |
|---------------------------|-------------------|--------------------|------------------------------------|
| Sedum* | Vegetasjonsdekke | 50 m ² | 25 (+25) |
| LECA 0-6mm* | Fordrøyningssjikt | 8 m ³ | 80 (+75) |
| Protan BP og BPX | Takbelegg | 60 m ² | 2.1 |
| Vartdal styropor XPS | Fallisolasjon | 7 m ³ | 2.4 |
| Forestia gulv ekstra 22mm | Toppdekke | 50 m ² | 16.1 |
| Trykkimpregnert limtre | Bærende dekke | 3,2 m ³ | 28 |

* Gjelder ikke ved det svarte referansetaket

Dette resulterer i at den maksimale egenlasten for taket ved full vannmetning blir 253 kg/m^2 eller 12600 kg. Dette tilsvarer en karakteristisk last på 2.5 kN/m^2 . Av sikkerhetsmessige årsaker blir den karakteristiske lasten ganget med en lastekoeffisient γ på 1.2. I tillegg til

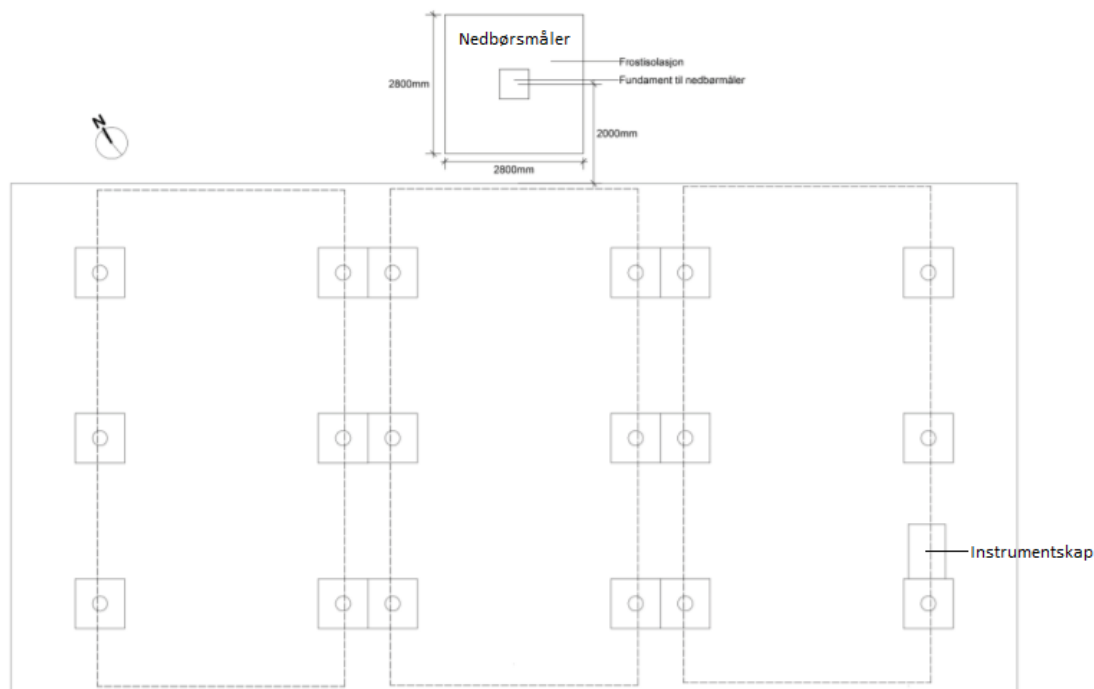
dette blir det dimensjonert for en snølast på forsøktakene på 2.8 kN/m^2 . Dette gir en dimensjonerende last på totalt 5.8 kN/m^2 som er innenfor begrensingene satt til bærekonstruksjonen, veiecellene og søylefundamentene (Øyre & Trommald, 2018). Egenlasten for det svarte kontrolltaket inklusiv snølast blir 3.4 kN/m^2 . Vekten på takene ved helt tørre, delvis tørre og helt våte forhold er som vist i tabell 6.

Tabell 6: Vekt av tak ved ulike tørrhetsforhold

| Tak | Vekt på tak (kg/m^2) | Totalvekt (kg) |
|--------------------|---------------------------------|----------------|
| Svart | 48.6 | 2430 |
| Grønt-tørt | 154.6 | 7680 |
| Grønt-delvis tørt* | 178.6 | 8930 |
| Grønt-vått | 253,6 | 12680 |

* Antar at sedumlaget er vått mens LECA laget er umettet.

Forsøktakene har flere måleinstrumenter, og det var derfor behov for å montere et instrumentskap som var lett tilgjengelig. Det var også nødvendig å montere en nedbørsmåler så tett inntil takene som mulig, for å få en best representativ måling for den faktiske nedbøren som faller på takene, samt å unngå lokalvariasjoner i nedbør. Figur 17 viser oversiktsbilde over de tre takene inklusiv plassering av nedbørsmåler og instrumentskap.



Figur 17: Oversikt over plasseringen av nedbørsmåler og instrumentskap i forhold til takene (Øyre & Trommald, 2018)

Grunnet høyden på takene, 2m, vil det bli problematisk med vedlikehold, innsyn og inspeksjon uten noen form for stige eller krakk. Det ble derfor også bygget krakker til bruk ved inspeksjon av takene. Hver krakk har en høyde på 70cm og vill gi en gjennomsnittlig høy person grei klaring med tanke på innsyn (Øyre & Trommald, 2018).

3.4. Måleutstyr

For å få de nødvendige dataene for og gjøre analyser på takene var det nødvendig å installere og montere et bredt sortiment av måleutstyr. Dette delkapittelet skal ta for seg hvilke måleutstyr takene ble utstyrt med samt gi en kort beskrivelse av hvordan de fungerer. I tabell 7 er instrumentene på takene presentert med type.

Nedbørmåler: Nedbørmåler av typen Pluvio² ble satt opp to meter nordøst fra det midterste forsøktaket. Pluvio² er en vektbasert nedbørmåler som måler all type nedbør, slik som regn, sludd, hagl og snø. Parametere som beregnes er blant annet kumulativt nedbør, nedbørintensitet og innhold i bøtten i sanntid (Øyre & Trommald, 2018), (OTT Hydromet, 2017). Nedbørmåleren logger data for hvert minutt.

Volummåler: Under sluket på hvert tak er det plassert en 1000L IBC-container for oppsamling av vann. Hver container har en trykksensor som måler vannivået. En økning i vannstanden i containeren på 1mm tilsvarer en volumøkning på 1 liter. Ved å måle vannstandsøkningen per tidsenhet kan man beregne avrenningen fra takene (Øyre & Trommald, 2018). I hver container finnes det en volumstyrt pumpe som starter tømning av containeren ved 900L og slutter på 300L, pumpen har en kapasitet på 230 l/min og bruker dermed 2 minutter og 36 sekunder per tømning. Volummåleren er event-styrt, det vil si at dersom det ikke er noen endring i måleverdi logges data hvert 15. minutt. Sensoren leses hvert minutt og ved endringer i måleverdier finner man data logget for hvert minutt. (Samtaler med Knut Magne Møen, NVE).

- Vindmåler:** Ved det sørlige taket, tak nummer 1 er det montert en vindsensor. Dette er en ordinær propellbasert måler. Sensoren kan måle hastigheter fra 0-100 m/s, når temperaturen er mellom -50 og 50°C (Øyre & Trommald, 2018) (R.M. Young Company, 2018).
- Radiometre:** To netto radiometre ble montert for å måle strålingsbalansen for innkommende og utgående kortbølget stråling, og utgående langbølget stråling. Radiometrene er oppvarmet slik at det vil bli et minimum av dugg, frost, is og snø som kan forstyrre sensoren (Øyre & Trommald, 2018), (Apogee instruments, 2018b). Det ble også montert to infrarøde radiometre for å måle temperaturen ved hjelp av infrarød stråling (Apogee instruments, 2018a).
- Temperatur og fuktighetsmåler:** En lufttemperatur- og fuktighetssensor ble montert ved nedbørmåleren. Driftsområdet for temperaturmåleren er fra -40° til 70°C, med en nøyaktighet på $\pm 0.3^{\circ}\text{C}$ ved 25°C. Fuktighetsmåleren har et driftsområde fra 0-100% når temperaturen er mellom -20°C og 60 °C. Nøyaktigheten til denne er på $\pm 2\%$ i intervallet 10-90% (Campbell Scientific, 2016). Temperatur og fuktighet kan sammen være med på å danne et bilde på potensiell fordampning (Øyre & Trommald, 2018). Temperatur og fuktighetsmåleren logger data hvert 10. minutt.
- Veieceller:** Mellom hver søyle og hovedbjelkene er det montert kompresjonslast-celler med tilhørende digitalt grensesnitt. Det er seks veieceller per konstruksjon og summen av disse cellene vil fungere som en punktvekt for hver konstruksjon. Ved å montere veieceller blir det dermed mulig å måle den totale vannbalansen i forsøksstakene til enhver tid. Dette gjør det lettere å estimere vannlagringskapasiteten til taket, samt estimere fordampning (Øyre & Trommald, 2018). Veiecellene logger data hvert 10. minutt.
- Temperatursensor:** På begge de grå-grønne takene med finknust LECA og sedumdekke er det installert åtte innvendige temperatursensorer. Fire ble lagt i bunnen av LECA-laget, og fire i sjiktet det grønne dekket og finknust LECA. Sensorene er plassert 1.5 meter inn fra hvert hjørne på taket.

Disse sensorene kan være med på å danne et bilde av takets evne til å fungere som isolasjonsmedium (Øyre & Trommald, 2018).

Strømningsmåler: I fremtiden er det tenkt at det skal kunne påføre takene kunstig regn i form av et sprinkelanlegg. Dette er for å stressteste takene ved ekstremnedbør. I denne sammenheng ble det montert en elektromagnetisk strømningsmåler (Øyre & Trommald, 2018).

Instrumentskap: Det ble montert et instrumentskap med en datalogger og styringsenhet av typen 9210B under det sørligste taket, tak 1. Denne er basert på et Windows CE operativsystem, og er designet for å fjernovervåke og kontrollere alle systemene. Alle sensordata som logges lokalt overføres løpende til NVEs hydrologiske database. Sensordata for Bia er tilgjengelig ved <http://sildre.nve.no/Sildre/Station/5.10.0> (Øyre & Trommald, 2018).

Tabell 7: Måleutstyr benyttet på forskningsstrukturen Bia (Øyre & Trommald, 2018)

| Antall | Parameter | Type |
|---------------|---|---|
| 1 | Nedbørmåler | Ott "Pluvio ² " |
| 1 | Netto radiometer (lang og kortbølge) | Apogee "SN-500" |
| 2 | Infrarødt radiometer (Overflatetemperatur) | Apogee "SI-421" |
| 2 | Åttekanals temperaturprofil (jordtemperatur sensor) | Microstep-MIS "Digital Temperature Profiler Probe TPP" |
| 18 | Digitalt lastcellegrensesnittkort | Keynes Control "Single Channel Full Bridge Strain Gauge Interface – SDI-12" |
| 18 | 5 tonns veieceller | PT-Global "LPX-5000kg" |
| 1 | Temperatur og relative luftfuktighetsmåler | Campbell "CS-215" |
| 3 | Vannivåsensor | Seametrics "Aquistar PT-12" |
| 1 | Vindmåler | RM Young "Model 05103" |
| 1 | Elektromagnetisk strømningsmåler DN40 (kunstig sprinklersystem) | Krohne "Optiflux 2050C" |
| 1 | Controller og datalogger | Sutron "9210B" |
| 3 | Sump pumpe | Grundfos Unilift KP 350 240VAC/700W 14 m ³ /h |
| 3 | Avløpsakkumuleringstank | IBC 1000 litre |

3.5. Forskningsstrukturen Bia

Dette delkapittelet vil ta for seg den ferdige forskningsstrukturen Bia, samt sette fokus på noen av de tekniske løsningene som ble valgt.

Det ble benyttet fallisolasjon av typen Styropor EPS byggisolasjon dette ble utført som vist i figur 18 og 19 og fallisolasjonen måtte kuttes for å tilpasse konstruksjonen (Øyre & Trommald, 2018).



*Figur 18: Isolasjonsplater for falloppbygging.
(Øyre & Trommald, 2018)*



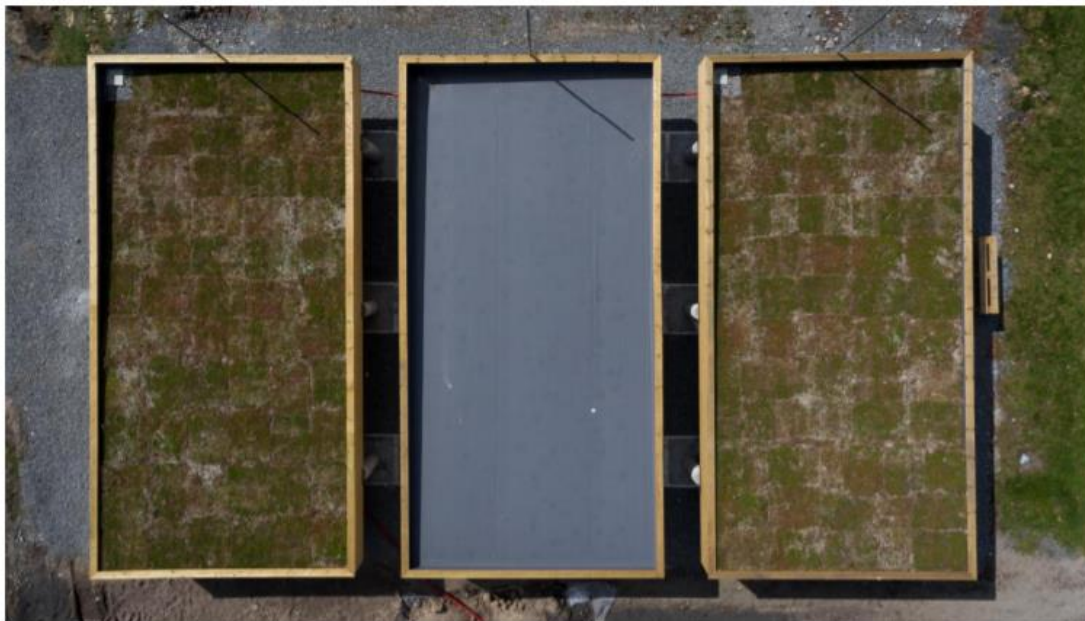
*Figur 19: Fallplatene kuttes for å
tilpasse konstruksjonen(Øyre & Trommald,
2018)*

På hver søyle ble det montert 5t veieceller slik som vist i figur 20. I fremtiden kan det være interessant å installere kulelager i punktet som er i kontakt med veiecellene for å ta opp eventuelle trykk og strekkrefter i taket som følge av stor variasjon i temperaturen mellom dag og natt.



Figur 20: Veicelle plassert mellom fundamentsøyen og hovedbjelken (Øyre & Trommald, 2018)

Sommeren 2018 stod forskningsstrukturen ferdig, og målinger av data fra takene satte i gang fra midten av juli 2018. Nedenfor følger bilder av den ferdige forskningsstrukturen.



Figur 21: Bia sett ovenfra. Takenes navn fra venstre er Pollen, Per og Nektar. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald,2018)

I resultat og diskusjonsdelen blir takene referert som tak1, tak2 og tak3. Dette er av forenklingsgrunner og takene er nummerert fra instrumentskapet og bakover (sør-nord). Det vil si at Pollen er tak1, Per er tak2 og Nektar er tak3.



Figur 22: Bia sett mot sørvest, med nedbørmåleren i forgrunn. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald, 2018)



Figur 23: Bia sett mot nordvest, med instrumentboks under tak1. Foto: S. Nyborg (Øyre & Trommald, 2018)

Torsdag 29.11.2018 ble vannoppsamlingstankene klargjort for strukturens første vinter. De ble vinterisolerte på utsiden samt at de ble lagt inn varmekabler. Figur 24 viser forskningsstrukturen ved dette tidspunkt etter ett lite snøfall.

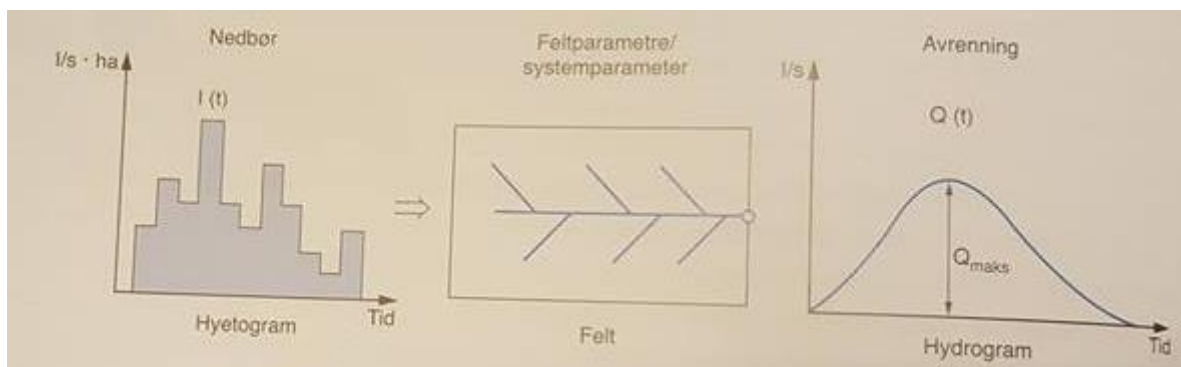


Figur 24: Forskningsstrukturen sett nordøst den 29.11.2018(Knut Magne Møen, NVE)

4. Teori og Metode

Dette delkapittelet skal ta for seg ulike teorier og metoder som ligger til grunn for å estimere overvannsmengder og avrenninger for grønne tak. Det vil også ta for seg magasineringskapasiteten til takene. Regnvannsavrenninger kan beregnes ved bruk av manuelle metoder eller ved hjelp av beregningsprogrammer. Beregningsprogrammer som kan bli brukt til dette er SWMM, NIVANETT, MOUSE og MIKE URBAN (Ødegaard, et al. 2012). Disse programmene egner seg best for større, kompliserte og sammensatte områder der manuelle metoder ikke strekker til.

Avrenningsfaktoren defineres som forholdet mellom avrenningen fra et område og nedbøren over samme område. Avrenningsfaktoren er avhengig av overflatens permeabilitet, beskaffenhet og fallforhold i terrenget. I den rasjonelle metode for beregning av regnvannsavrenning er avrenningsfaktoren en viktig faktor som ofte må skjønnsmessig estimeres. Avrenningsfaktoren blir også ofte referert til som avrenningskoeffisient eller avrenningskonstant. Figur 25 viser hvordan en regnbyge som faller over et nedbørsfelt fører til avrenning. Framstillingen av nedbørintensiteten som funksjon av tiden kalles hyetogram og avrenningen kalles et hydrogram (Ødegaard, et al., 2012).



Figur 25: Omdanning av nedbør til avrenning ved rasjonell metode (Ødegaard, et al., 2012)

Ved beregning av avrenning må man definere nedbørsfeltet man ønsker å estimere avrenningen for. Et nedbørsfelt er et begrenset landområde der alle forgreininger innenfor arealet ender opp i samme vannkilde som drenerer til ett og samme punkt. Det skilles ofte mellom flomberegninger for svært små felt ($<0.5\text{km}^2$), små nedbørsfelt ($<20\text{km}^2$) og store nedbørsfelt som kan være flere tusen kvadratkilometer (COWI, 2015). Avrenningene i nedbørsfeltet avhenger av de forskjellige forgreiningenes størrelse, nedbørintensiteter, vegetasjon, helning og topografi, evapotranspirasjon, samt andel åpne vann, veier, urbane områder og bygninger. Den mest brukte metoden for overslagsberegninger for beregninger av overvannsmengder er den rasjonelle metoden. Den er mye brukt ved dimensjonering i små urbane felt der arealet er mindre enn 20-50 hektar (ha) og avrenningen er knyttet direkte til nedbøren, som ved kraftige regnbyger om sommeren (Ødegaard, et al., 2012). Den rasjonelle metoden og framgangen i den blir presentert nedenfor.

4.1. Den rasjonelle metode

Den rasjonelle metoden passer bra for å gi overslagsberegninger for små felt i urbane områder, som er mindre enn 20-50 hektar, altså felt som er relevant for denne oppgaven. Dersom feltene man ønsker undersøkt er større enn dette, eller har uregelmessig topografi og kombinerer ulike typer terreng, kan det være mer hensiktsmessig å benytte seg av andre modelleringsmetoder. Metoden baserer seg i all hovedsak på nedbørintensitet over et område, størrelsen på området og en gjennomsnittlig avrenningsfaktor for området. I noen tilfeller velger man å tillegge en klimafaktor K_f , for å ta hensyn til en eventuell avrenning i framtiden som følge av klimaendringer. Metoden vil gi maksimal avrenning for en valgt nedbørshendelse gitt at varigheten på nedbørshendelsen er lik konsentrasjonstiden til feltet.

$$Q = A \cdot C \cdot I \cdot K_f$$

Formel 1: Den rasjonelle formel

| | | |
|------|------------------------------|-------------------------|
| Der: | Q = Avrenning fra felt | [L/S], [L/T] |
| | C = Midlere avrenningsfaktor | [0-1] |
| | A = Avrenningsareal | [m ²], [ha] |
| | I = Nedbørintensitet | [L/S], [L/T] |
| | K_f = Klimafaktor | [-] |

4.1.1. Avrenningsfaktor, C

Forholdet mellom nedbøren som faller over et område og avrenningen for samme område defineres som avrenningskoeffisienten C (COWI, 2015). Avrenningskoeffisienten benyttes nye for å beskrive volum- og spissavrenningen både fra større avløpsfelt (km²), urbane felt (ha), og små flater som tak og parkeringsplasser (Ødegaard, et al., 2012).

Avrenningskoeffisienten er avhengig av overflatens permeabilitet og beskaffenhet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørvarighet (Ødegaard, et al., 2012). De lokale forholdene bør vurderes nøye ved valg av avrenningskoeffisienter, blant annet arealets størrelse, andel tette flater, fallforhold, grunnvannstand, grunnforhold og dominerende avrenningssituasjon, som for eksempel langvarig regn eller frossen mark med lav permeabilitet (Ødegaard, et al., 2012). Avrenningsfaktoren bestemmes ved å måle den faktiske avrenningen fra et felt eller et delområde ved en bestemt nedbørintensitet. Avrenningsfaktoren blir helst brukt som en

midlere verdi for hele feltet. For sammensatte felt med ulike vegetasjon, topografi og bebyggelse m/mer er det vanlig å beregne en avrenningsfaktor for hvert enkelt delfelt for deretter å beregne en midlere avrenningskoeffisient for hele nedbørsfeltet (Ødegaard, et al. 2012). En midlere avrenningsfaktor kan beregnes som (COWI, 2015):

$$C_{midlere} = \frac{C_1 \cdot A_1 + C_2 \cdot A_2 + \dots + C_n \cdot A_n}{A_1 + A_2 + \dots + A_n}$$

Formel 2: Midlere verdi for avrenningsfaktor

Avrenningskoeffisienten øker betydelig med økende regnintensitet og ved økende regnvarighet. Dette kommer av at andelen av regnet som infiltrerer i grunnen og andelen som holdes tilbake på vegetasjon, på flater, i små groper og små putter kan sees på som ganske fast ved større regn (Ødegaard, et al. 2012). Avrenningskoeffisienten ligger i intervall $0 < C < 1$. En høy avrenningskoeffisient tyder på lav permeabilitet og en stor andel tette flater, lite av vannet vil infiltreres eller holdes tilbake. Koeffisienten brukes til å beskrive volum- og spissavrenningen fra felt. Spissavrenningskoeffisienten angir forholdet mellom maksimalt avløp fra et område og midlere regnintensitet over området. Tabell 8 gir en oversikt over typisk brukte spissavrenningskoeffisienter.

Tabell 8: Maksimal avrenningskoeffisient for noen flater (Mays, 2001)

| Type flater | C _{spiss} | Sammensatte flater | C _{spiss} |
|---------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Tak | 0.8-0.9 | Bysentrum | 0.7-0.9 |
| Asfalterte veier og gater | 0.7-0.8 | Blokkbebyggelse | 0.4-0.6 |
| Grusveier | 0.4-0.6 | Rekkehusområde | 0.3-0.4 |
| Plen | 0.05-0.1 | Åpne eneboligstrøk | 0.2-0.3 |

4.1.2. Klimafaktor, K_f

Klimafaktoren K_f er en egenskap som ble tillagt den rasjonelle metode i nyere tid. Den skal ta høyde for en forventet økning i hyppighet av ekstreme nedbørshendelser. En økning av ekstreme nedbørshendelser fører dermed til en økning av dimensjonerende nedbørintensiteter for felt (COWI, 2014). En ofte benyttet metode for å ivareta de forventede effektene av klimaendringer er å multiplisere nedbørintensiteten I, med en forventet relativ økning av nedbørintensitet, en såkalt klimafaktor, K_f. Det er altså en forventet fremtidig relativ endring

i nedbørintensitet som følge av klimaendringer og kan matematisk uttrykkes som (COWI, 2014):

$$K_f(GI, t + \Delta t, T, Z, S) = \frac{I(GI, t + \Delta t, T, Z, S)}{I(GI, t, T, Z)}$$

Formel 3: Formel for klimafaktor

Der:

- K_f = Klimafaktor [-]
- I = Dimensjonerende nedbørintensitet [l/sha],[mm]
- GI = Gjentakintervall
- T = Regnvarigheten
- Z = Den geografiske plasseringen
- t = referanseperioden eller nåtid
- Δt = varighet på framskrivingsperioden
- S = valgt klimascenario som er lagt til grunn for framskrivningene

I tabell 9 følger en oversikt over klimafaktorer for endring i 3-timersnedbør fra 1976-2005 til 2071-2100 for de to utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5 RCP4.5 (stabile eller svakt økende klimagass utslipp til 2040; deretter reduserte utslipp) og RCP8.5 (kontinuerlig vekst i klimagassutslipp) (Førland, et al., 2015).

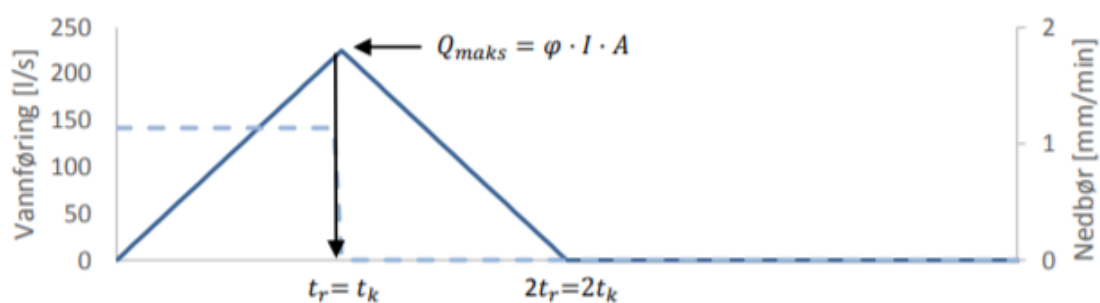
Tabell 9: Klimafaktorer for endring i 3-timers nedbør fra 1976-2005 til 2071-2100 for de to utslippsscenarioene RCP4.5 og RCP8.5. Resultatene er basert på endring i verdier med returperioder på 200 år, og er gitt for median, lav og høy klimafremskrivning (Førland et al., 2015)

| Nedbørregion | RCP4.5 | | RCP8.5 | |
|----------------------------|--------|-------------|--------|-------------|
| | Middel | Lav - Høy | Middel | Lav - Høy |
| R1: Østfold | 1,20 | 1,07 – 1,40 | 1,51 | 1,05 – 2,23 |
| R2: Østlandet | 1,17 | 1,09 – 1,32 | 1,37 | 1,18 – 1,70 |
| R3: Sørlandet | 1,19 | 1,07 – 1,38 | 1,29 | 1,08 – 1,53 |
| R4: Sørvestlandet | 1,16 | 1,02 – 1,42 | 1,29 | 1,10 – 1,53 |
| R5: Sunnhordland/Ryfylke | 1,16 | 1,08 – 1,37 | 1,33 | 1,21 – 1,46 |
| R6: Nordhordl/ Sogn&Fj. | 1,18 | 1,08 – 1,28 | 1,32 | 1,21 – 1,42 |
| R7: Dovre/ Nord Østerdal | 1,18 | 1,05 – 1,24 | 1,38 | 1,30 – 1,59 |
| R8: Møre & Romsdal | 1,23 | 1,13 – 1,39 | 1,39 | 1,20 – 1,64 |
| R9: Inntrøndelag | 1,19 | 1,05 – 1,37 | 1,31 | 1,16 – 1,60 |
| R10: Trøndelag / Helgeland | 1,20 | 1,12 – 1,35 | 1,35 | 1,21 – 1,56 |
| R11: Hålogaland | 1,19 | 1,10 – 1,25 | 1,36 | 1,23 – 1,41 |
| R12: Finnmarksvidda | 1,19 | 1,12 – 1,35 | 1,39 | 1,27 – 1,54 |
| R13: Varanger | 1,19 | 1,07 – 1,37 | 1,40 | 1,27 – 1,60 |

Ved valg av klimafaktor må man ta hensyn til området man ønsker å utrede for. Et område med kritisk infrastruktur og viktige tilbud og tjenester for samfunnet vil kreve en høyre klimafaktor enn et område satt av til rekreasjon eller fritidsboliger. Et for høyt valg av klimafaktor kan medføre unødvendige ekstrakostnader ved prosjektering. Eventuelt for lav klimafaktor kan medføre hyppigere flom og oversvømmelser og redusert levetid på prosjektet. Statens vegvesen (Statens vegvesen, 2014) baserer seg på valg av klimafaktor ut i fra en forventet levetid på 100 år for installasjoner ved nedbør med ulik returperiode. For nedbør med returperiode på 10 år settes K_f til 1.3, for nedbør med returperiode på 100 år settes K_f til 1.4 og for nedbør med returperiode på 200 år settes K_f til 1.5 (Statens vegvesen, 2014). Det er heller ikke uvanlig at kommuner tar aktive valg om klimastrategi og hvilken klimafaktor som skal brukes innad i kommunen.

4.1.3. Konsentrasjonstid, t_k

Konsentrasjonstiden t_k , er definert som tiden en regndråpe bruker fra den faller i feltets ytterkant til den når fram til utløpet av feltet der man ønsker å gjøre målingene (Ødegaard, et al., 2012). Konsentrasjonstiden brukes til å bestemme maksimal vannføring for avrenningen fra feltet. Maksimal vannføring inntreffer i det varigheten på nedbøren er lik konsentrasjonstiden for feltet, det vil si at i regnintensitetskurver (IVF-kurver) setter man $t_k = t_r$ (Ødegaard, et al., 2012). Dette er ofte kalla Imhoffs sats, og kan illustreres ved figur 26.



Figur 26: Illustrasjon på maksimal vannføring ved $t_r = t_k$ (Asplan Viak, 2017)

Konsentrasjonstiden til et nedbørfelt sier noe om hvor raskt feltet reagerer.

Konsentrasjonstiden er ikke målbar men estimeres gjennom empirisk utarbeidede formler knyttet til den flomberegningemetoden som skal måles (Stenius, et al., 2015).

Konsentrasjonstiden er summen av tiden regndråpen bruker på overflaten (t_t) frem til sluk og strømningstiden inne i et eventuelt rørsystem (t_s) frem til målingspunktet (Ødegaard, et al., 2012).

$$t_k = t_t + t_s$$

Formel 4: Konsentrasjonstid

Der strømmetiden inne i rørsystemet er definert som lengden på rørsystemet (L)[m] delt på strømmehastigheten (v)[m/s] inne i røret. Strømningstiden i rørene kan anslås ved å anta en hastighet på overvannet i rørene. Det anbefales vanligvis å sette strømmehastigheten i røret lik 1.5-2 m/s (Ødegaard, et al., 2012). Avrenningstiden en regndråpe bruker på overflaten t_t er proporsjonal med strømningsavstanden, minker med regnintensiteten og terrengfallet og er avhengig av overflatens beskaffenhet. Den anslås ofte til ca. 3-7 minutter i urbaniserte områder (Ødegaard, et al., 2012). Om man ønsker å beregne den mer nøyaktig kan man bruke nomogrammer som viser tilrenningstiden som funksjon av strømmelengde, midlere helning og markens beskaffenhet (Ødegaard, et al., 2012).

I Statens vegvesens håndbok for veibygging, håndbok N200 oppgir de følgende funksjoner for å beregne konsentrasjonstiden t_k for naturlige og urbane felt (Statens vegvesen, 2014):

$$t_k = 0.6 \cdot L \cdot H^{-0.5} + 3000 \cdot A_{se}$$

Formel 5: Konsentrasjonstid for naturlige felt.

$$t_k = 0.02 \cdot L^{1.15} \cdot H^{-0.39}$$

Formel 6: Konsentrasjonstid for urbane felt.

| | | |
|------|-----------------------------------|-----------|
| Der: | t_k = konsentrasjonstid | [min] |
| | L = lengden av feltet | [m] |
| | H = høydeforskjellen i feltet | [m] |
| | A_{se} = andel insjø i feltet % | [0.0-1.0] |

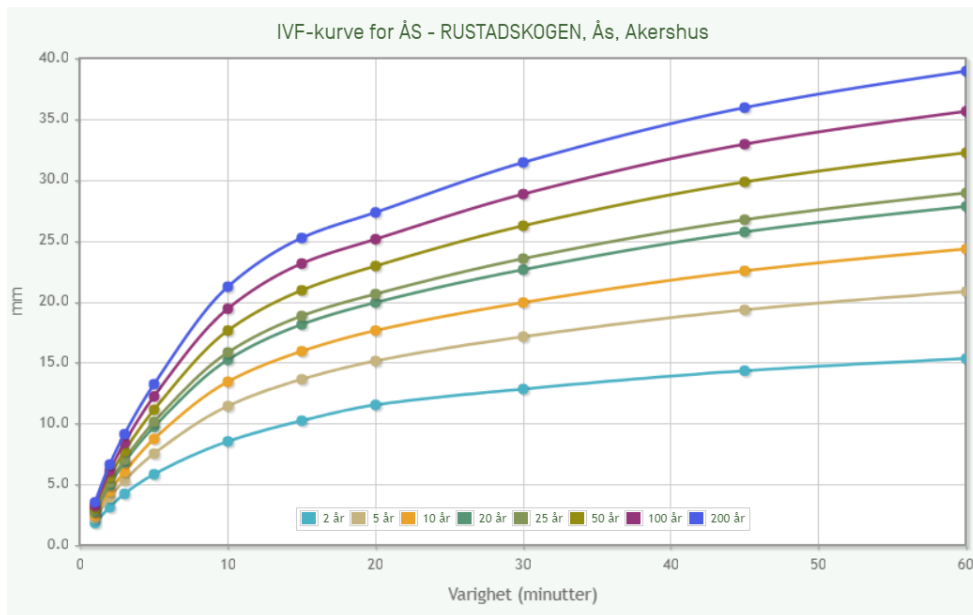
4.1.4. IVF – Kurve

En av de to viktigste faktorene som påvirker avrenning fra et felt er intensiteten og varigheten på nedbør. Det kan være store lokale forskjeller på et relativt lite geografisk område, og den kraftigste nedbøren opptrer gjerne om sommeren (Førland, et al., 2015). Det er altså den intense sommernedbøren som skaper den høyeste spissavrenningen fra urbane nedbørfelt, og dermed skaper dimensjonerende nedbør og avrenning.

IVF-statistikk gir et estimat av returperioder (frekvens) for nedbør med ulik varighet og er vidt brukt i planlegging og utforming av infrastruktur. Det stilles krav fra stat og kommuner for hvilken returperiode en skal dimensjonere for (Førland, et al., 2015). Returperioden er i de fleste tilfeller vesentlig høyere enn lengde på dataserier fra en målestasjon. Det er dermed nødvendig å benytte seg av ekstrapolering av dataserier for å anslå intensiteten på regn med en høyere returperiode enn lengden på dataserien. Gjentakintervallet sier noe om hvor ofte man kan forvente å måle lik eller høyere verdi på et bestemt sted innenfor returperioden. IVF (intensitet-varighet-frekvens) kurver viser sammenhengen mellom returperioder (frekvens) for nedbørintensitet med ulik varighet (Førland, et al., 2015).

Et gjentakintervall på 10 år for en regnhendelse betyr at over et langvarig gjennomsnitt forventes det en slik hendelse hvert 10. år. Det er ikke slik at en 10-års-hendelse bare kan skje én gang i løpet av 10 år. Det er heller ikke slik at sannsynligheten for at det skjer en 10-års-hendelse i løpet av 10 år er 100% (Ødegaard et al., 2012). IVF-verdier blir kun hentet ut fra målestasjoner der det er minimum 10 år med kvalitetssikret data. Disse dataene er så brukt for å ekstrapolere nedbørhendelser som strekker seg utenfor lengden på dataserien.

Nedenfor følger et eksempel på en IVF-kurve for Rustadskogen målestasjon i Ås, med returperiode fra 2 – 200 år og en regnvarighet opp til 60 minutter. Ved gitte returperioder kan man gå inn i IVF-kurven for stedet med konsentrasjonstid og lese av hva regnintensiteten er. Man kan velge om man ønsker IVF kurver med mm nedbør på y-aksen eller med l/s*Ha. Regnintensiteten fra en IVF-kurve kan brukes i den rasjonelle formel. Da kan man enten anta at regnet opptrer som et kasseregnet med konstant intensitet, eller man kan omdanne IVF-kurven til et symmetrisk regnhyetogram. Kasseregnet er ikke like representativt som et regnhyetogram da intensiteten sjelden er konstant over hele regnperioden.



Figur 27: Eksempel på IVF-kurver for Ås -Rustadskogen (1974-2018) for 1-60 minutter. De ulike kurvene representerer ulike returperioder til ulike regnhendelser. X-aksen viser konsentrasjonstiden (varigheten på regnet) og y-aksen viser regnintensiteten (Norsk klimaservicesenter, 2018)

Andre fordeler med å bruke et regnhyetogram fremfor et blokkregn er at regn som er så sterke at de er dimensjonerende, sjelden har en konstant regnintensitet. De har tvert imot ofte en høy toppintensitet en tid etter regnet har startet (Ødegaard, et al., 2012).

4.1.5. Usikkerhet ved bruk av den rasjonelle metode

Det er en del usikkerhet knyttet til bruken av den rasjonelle metode. Formelen baserer seg på skjønn i valg av konsentrasjonstid og valg av avrenningskoeffisient og egner seg best til å gjøre et enkelt overslag for avrenningen. Formelen belager seg på at avrenningskoeffisienten er konstant og uniform for hele nedbørhendelsen, noe som sjelden er tilfellet. Den varierer ut i fra i hvor stor grad bakken er mettet med vann og om det finnes områder med frost eller tele. Avrenningsfaktoren er også avhengig av hvem som har utført beregningene, ettersom det medfølger en del skjønn i bestemmelse av faktoren (Stenius, et al., 2015).

En annen stor usikkerhet i bruken av den rasjonelle metode ligger i valg av nedbørintensitet, og om man benytter seg av et kasseregn for hele nedbørperioden eller et regnhyetogram. Om

man benytter seg av kasseregnmodellen antar man at nedbøren faller med konstant intensitet med jevn fordeling over feltet. Korte måleserier for nedbør vil gi usikkert datagrunnlag for lange returperioder, samt at mange stasjoner ikke måler korttidsnedbør om vinteren. Usikkerheten for et gitt felt øker også med avstand fra nedbørmålinger (Stenius, et al., 2015).

4.2. Regnvelopmetoden for konstant utløp

Regnvelopmetoden er basert på ideen med å beregne massebalansen i magasinet for kasseregn med forskjellige regnvarigheter, tatt fra IVF-kurver (regnintensitetskurver). Den regnvarighet er dimensjonsgivende, hvor akkumulerte tilløpsmengder minus akkumulerte utløpsmengder er størst (Lindholm, 2015). Det nødvendige magasineringsvolumet blir dermed maks differensen mellom tilløpsvolumet og utløpsvolumet. Beregningene gjøres for alle ulike varigheter på nedbør, den varigheten som gir det største nødvendige volumet på magasinet blir dimensjonerende (Kristiansand kommune, 2016). Fordrøyingsvolumet beregnes ut ifra følgende formel (Lindholm, 2015):

$$V_{fordøyning} = V_{inn} - V_{ut}$$

Formel 7: Nødvendig fordrøyingsvolum som en funksjon av tilløpsvolumet og utløpsvolumet.

Der: $V_{inn} = I_{z,tr} \cdot t_r \cdot A \cdot C$ og $V_{ut} = Q_{ut} \cdot t_r$

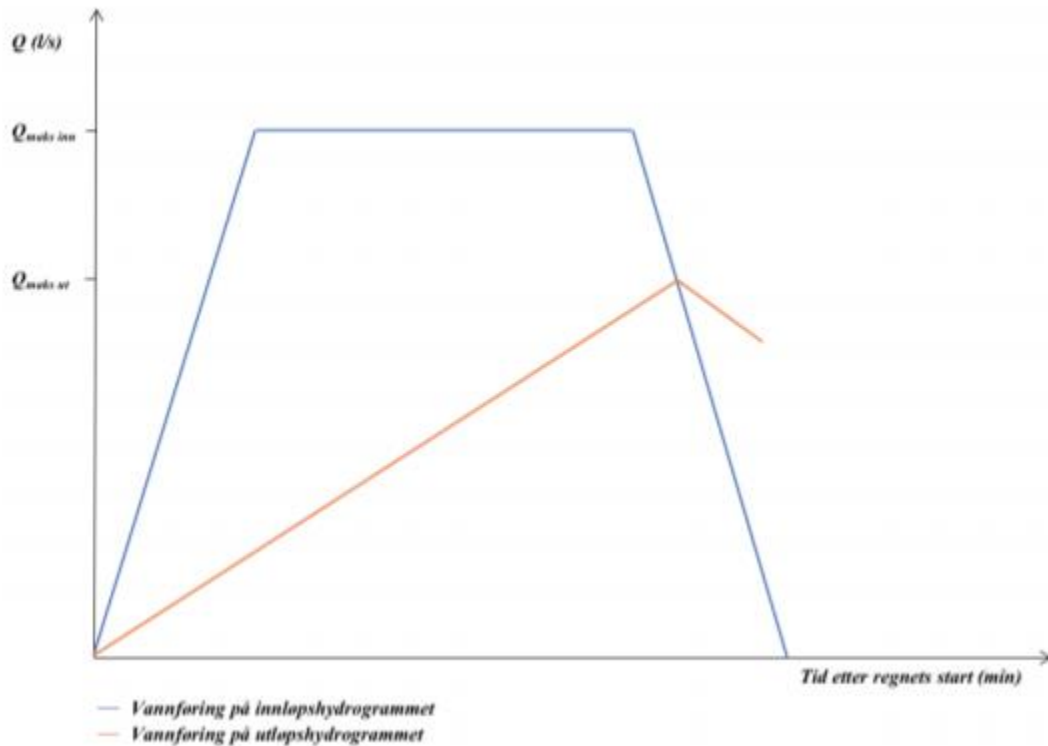
Formel 8: Beregning av tilløpsvolum og utløpsvolum

| | | |
|------|------------------------------------|----------------------------|
| Der: | $V_{inn} = \text{Tilløpsvolum}$ | $[\text{m}^3]$ |
| | $V_{ut} = \text{Utløpsvolum}$ | $[\text{m}_3]$ |
| | $I = \text{Nedbørintensitet}$ | $[\text{L/s} * \text{ha}]$ |
| | $z = \text{Gjentaksintervall}$ | $[\text{år}]$ |
| | $t_r = \text{Regnvarighet}$ | $[\text{min}]$ |
| | $A = \text{Areal}$ | $[\text{ha}]$ |
| | $C = \text{Avrenningskoeffisient}$ | $[0-1]$ |

Det er viktig å utøve stor nøyaktighet i beregninger av nødvendig fordrøyningsvolum. En overdimensjonering vil føre til unødvendige ekstrakostnader ved bygging, og en underdimensjonering kan påføre skader på infrastruktur, helse og miljø. Hvis utløpskapasiteten er for stor, utnyttes ikke volumet godt nok. Er utløpskapasiteten for liten fører det til at magasinet blir fylt opp og at vannet må gå i nødoverløp (Lindholm, 2015). Metoden ovenfor baserer seg på et kasseregim med konstant intensitet samt et utløp med konstant volumstrøm uavhengig av tid eller volum magasinert i magasinet.

Som tidligere nevnt er det ikke reelt at regnet faller med konstant intensitet over hele den dimensjonerende perioden, det er heller ikke reelt at utløpet fra magasiner har en konstant volumstrøm uavhengig av volum og tid. Det kan dermed være mer ansvarlig å bruke Aron og Kiblers metode for å estimere nødvendig magasineringsvolum ved et variert utløp.

Aron og Kiblers metode forutsetter at innløpet følger trapesformet innløpshydrogram, som vil si lineær økende vannføring inn i et magasin til maksimal fylling av magasinet. Når det slutter å regne vil vannføringen fra magasinet avta lineært. Utløpet følger triangulært utløpshydrogram hvor toppen på utløpshydrogrammet ligger på den nedadgående delen innløpshydrogrammet. Utløpshydrogrammet følger en lineær linje fra origo. Fordrøyd vannmengde er arealet mellom den oransje og den blå linjen (Lindholm, 2015). Figur 28 illustrerer et typisk inn- og utløpshydrogram ved bruk av Aron og Kiblers metode.



Figur 28: Eksempel på et inn- og utløpshydrogram. Arealet mellom den blå og oransje linjen definerer nødvendig fordrøyningsvolum (Lindholm, 2015)

Fordrøyd volum i magasinet V_f og blir ifølge Aron og Kiblers metode gitt ved (Lindholm, 2015):

$$V_f = Q_{maks} K_f t_r - Q_{ut} \left[\frac{t_r + t_k}{2} \right]$$

Formel 9: Aron og Kiblers metode for beregning av nødvendig magasineringsvolum.

| | | |
|------|---|-----------|
| Der: | V = fordrøyd volum i magasinet | $[m^3]$ |
| | Q_{maks} = maksimal vannføring på innløpshydrogrammet | $[m^3/s]$ |
| | Q_{ut} = maksimal vannføring på utløpshydrogrammet | $[m^3/s]$ |
| | t_r = varigheten på nedbøren | $[s]$ |
| | t_k = konsentrasjonstiden på nedslagsfeltet | $[s]$ |

Videre er Q_{maks} gitt ved den rasjonelle formelen:

$$Q_{maks} = CAI$$

Formel 10: Rasjonell metode for beregning av maksimal avrenning i små urbane felt.

Og Q_{ut} er maksimal vannføring på utløpshydrogrammet. Q_{ut} avhenger av flere faktorer, deriblant størrelse og utforming på sluket, og om nedbøren beveger seg gjennom medium.

Maksimal vannføring på utløpshydrogrammet er gitt ved:

$$Q_{ut} = C_d * A * \sqrt{2gh}$$

Formel 11: Maksimal vannføring på utløpshydrogrammet.

| | | |
|------|--|--------------------------|
| Der: | Q_{ut} = maksimal vannføring på utløpshydrogrammet | [m ³ /s] |
| | C_d = utløpskoeffisienten | [0-1] |
| | A = arealet på utløpet | [m ²] |
| | g = gravitasjonskraften | [9.81 m/s ²] |
| | h = vannivået over sentrum av utløpet | [m] |

For et sirkulært utløp med skarpe kanter settes $C_d = 0.6$ (Chin, 2013)

4.3. Maksimal fordrøyd vannmengde

Magasineringskapasitet (m^3) i ulike medium beregnes på bakgrunn av porevolumet til materialet. Magasineringskapasiteten er gitt ved:

$$M_k = A * h * \frac{p}{100}$$

Formel 12: Magasineringskapasiteten til et medium.

| | | |
|------|---|-------------------|
| Der: | A = arealet på infiltrasjonsområdet | [m ²] |
| | h = avstanden fra infiltrasjonsnivå til vannmettet sone | [m] |
| | p = porevolumet til mediumet | [0-100] |

For stenrike masser settes porevolumet til 30%, for finknust LECA settes det til 50% og for sedummatter settes det til 50%

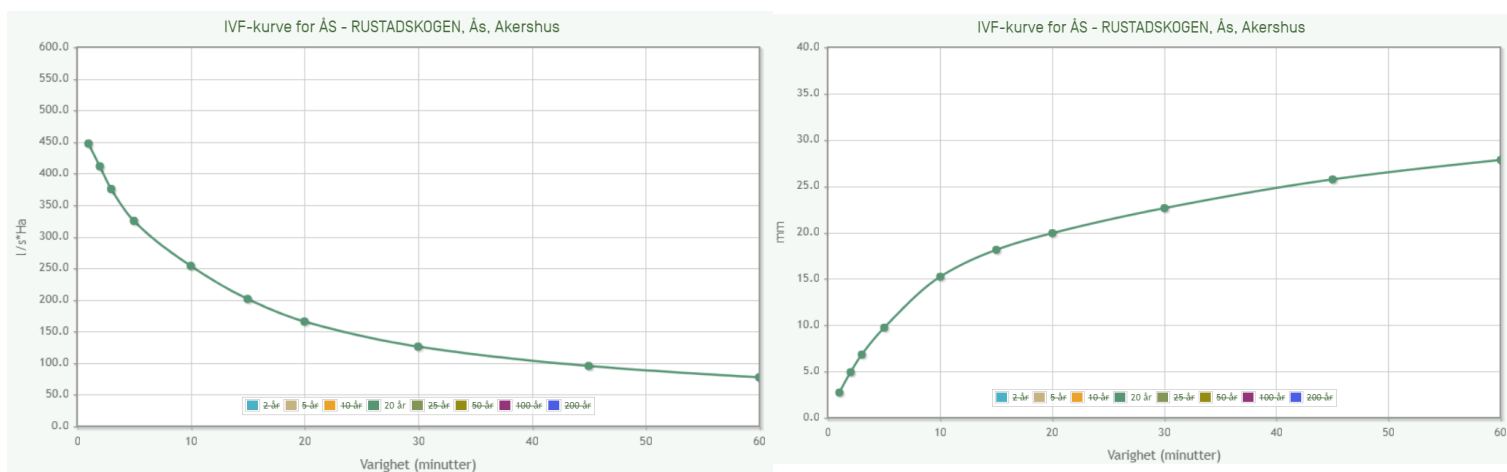
4.4. Eksempler for Bia

En av hovedhensiktene med etableringen av Bia, var å se på hvordan tak med en grå-grønn løsning (sedummatter + magasinerende sjikt av LECA) oppfører seg ved konkrete og reelle nedbørhendelser. Det er mange faktorer og målinger å ta hensyn til. Denne oppgaven har som hovedmål å se på den totale tilbakeholdingen av vann, forsinkelsen i tid til man når maksavrenning fra takene og hvor stor reduksjon i maksavrenning man har på de grå-grønne takene versus det svarte kontroll taket. Videre kan det være av interesse å beregne en avrenningskonstant for både de grå-grønne takene og det svarte kontrolltaket og å se på lagringskapasiteten til de grønne takene, samt ta en titt på vektanalyser for å estimere evapotranspirasjonseffekten på takene. Dette delkapittelet skal ta for seg noen enkle teoretiske beregninger av nettopp dette. Det finnes flere ulike beregningsmetoder for fordrøyning av vann, hvorpå flere av disse er ganske avanserte. Her skal jeg presentere en forenklet versjon av fordrøyd vannmengde og maksimal vannføring fra takene. Det er

benyttet Aron og Kiblers metode for å komme fram til tilbakeholdelsen av vann på takene. Metoden baserer seg på et blokkregn for hele nedbørperioden for å beregne massebalansen i takene og tar hensyn til et variert utløp.

4.4.1. Maksimal vannføring inn og ut på takene, Q_{inn} og Q_{ut}

Beregningene for maksimal vannføring inn på taket, Q_{inn} baserer seg fra data hentet ut fra nedbørstasjon Ås – Rustadskogen (SN17870), som er den nærmest liggende målestasjonen til forskningsstrukturen med tilstrekkelig lang måleperiode. IVF – kurvene for denne stasjonen er vist i figur 29 og 30 og data for valgt returperiode er presentert i tabell 10.



Figur 29 og 30: IVF-Kurve for Ås-Rustadskogen for en nedbørhendelse med returperiode på 20år med varighet opp til 60 minutter. Figurene viser nedbørene på l/s*ha og mm langs y-aksen (Norsk klimaservicesenter, 2018)

Det ble valgt å bruke nedbør med en returperiode på 20år som dimensjonerende da dette ble sett på som mest hensiktsmessig, med tanke på retningslinjer gitt av stat og kommune.

Tabell 10: Dimensjonerende nedbør ved returperiode 20år for målestasjon Ås-Rustadskogen (Norsk klimaservicesenter, 2018)

| | Varighet (minutter) | | | | | | | | | |
|-------------------|---------------------|-----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|------|
| Dim nedbør, 20års | 1 | 2 | 3 | 5 | 10 | 15 | 20 | 30 | 45 | 60 |
| mm | 2.7 | 4.9 | 6.8 | 9.7 | 15.2 | 18.1 | 19.9 | 22.6 | 25.7 | 27.8 |
| l/s*ha | 447 | 411 | 375.2 | 324.7 | 253.5 | 201.2 | 165.5 | 125.8 | 95.2 | 77.2 |

Videre er det valgt en avrenningskoeffisient, $C = 0.9$ for det svarte kontrolltaket og $C = 0.1$ for de to grå-grønne takene, dette er gjort av skjønn og har tatt utgangspunkt i tabell 10. Klimafaktoren, K_f er satt til 1.4 og tar utgangspunkt i data presentert i tabell 9 for R2 Østlandet. Konsentrasjonstiden t_k for takene ble satt til 10 minutter for de grå-grønne takene og 5 minutter for det svarte kontrolltaket. Dette tar utgangspunkt i anmodninger fra Ødegaard, et al., 2012 som sier at det er vanlig å bruke en konsentrasjonstid på 10-15 minutter for små urbane felt og tar forbehold om at det er en relativt høy metningsgrad av vann i det magasinerende LECA sjiktet slik at vannet i all hovedsak renner langs overflaten på sedummattene. Det ble valg en konsentrasjonstid $t_k = 10\text{min}$ også basert på størrelsen på takene og lengste vei en dråpe kan renne på takene. Skal man ta hensyn til at vannet renner gjennom et umettet LECA-sjikt ville konsentrasjonstiden t_k være på 238min (Øyre & Trommald, 2018).

Maksimal vannføring ut av takene Q_{ut} avhenger av størrelse og utforming av sluk, samt vanntrykket på sluket som er en funksjon av høyden på vannstanden over sluket. For det svarte referansetak er det benyttet et sluk med maksimal vannføringskapasitet på 3.8 l/s, utover dette er det satt inn en rist rundt sluket for å hindre tetting av sluket av løv osv, denne risten reduserer vannføringskapasiteten ytterligere til 1.4 l/s (Øyre & Trommald, 2018).

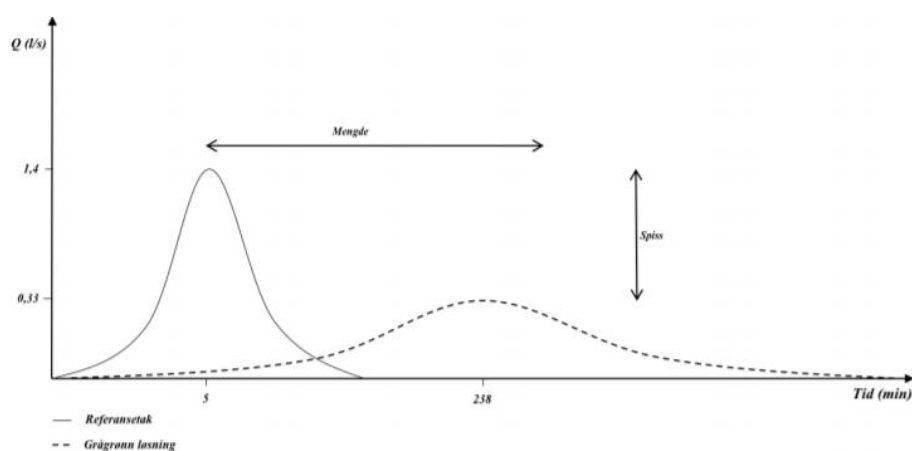
Vannføringskapasiteten på de grå-grønne takene kan avhenge både av kapasiteten på sluket eller på vannføringshastigheten gjennom det finknuste LECA materialet. Vannføringen gjennom finknust LECA og sedum ble beregnet til 0.33 l/s (Øyre & Trommald, 2018). Videre kan det tenkes at dette ikke er den begrensende vannføringshastigheten for de grå-grønne takene og det ble dermed nødvendig å se på vannføringskapasiteten til slukene i de to grå-grønne takene. Sluket sitter i bunnen av en inspeksjonsboks og har et utstrømningsareal på 0.01 m^2 (Øyre & Trommald, 2018). Dette gir en maksimal utstrømningshastighet $Q_{ut} = 2.5$ l/s basert på formel 11, gitt at det står frittstående vann opp til toppen av inspeksjonsboksen på 10mm over sluket. Ytterligere ligger det et lag med singel rundt inspeksjonsboksen med et porevolum på 30%, dette singellaget vil være med på å redusere vannføringskapasiteten ut av sluket med 70% slik at den maksimale vannføringshastigheten ut av sluket på de grå-grønne takene dermed blir 0.75 l/s. Det er den minste vannføringskapasiteten utregnet for de grå-grønne takene som blir dimensjonerende, altså 0.33 l/s (Øyre & Trommald, 2018).

4.4.2. Total vannlagringskapasitet

Videre er det interessant å se på den totale vannlagringskapasiteten på de to grønne takene. Takenes kapasitet til å holde tilbake vann avhenger stort sett av vannlagringskapasiteten til materialene brukt på taket. Porevolumet til finknust LECA er på 50%, noe som vil si at det kan absorbere 50% vann før det blir mettet, tilsvarende kan sedummattene lagre opp til 25 liter vann per m² før disse også blir mettet. For å finne den totale vannlagringskapasiteten til takene må man da altså ta antall kvadratmeter sedummatter benyttet på taket multiplisert med 25l og antall kubikkmeter finknust LECA multiplisert med 50% porevolum. Antall kubikkmeter finknust LECA på taket er beregnet til å være 7.96 m³ (Øyre & Trommald, 2018). Utover dette er det også 30mm med et vanntett sjikt opp fra vegetasjonsdekket som kan være med på å magasinere vann ved ekstremnedbør eller ved at sluk eller rørsystem går tett. Dette tilsvarer 1.5m³ eller 1500 liter vann.

4.5. Resultater for beregninger for Bia

Dette delkapittelet tar for seg resultater basert på teori og eksempler presentert gjennom delkapittel 4 og baserer seg på et nedbør med returperiode på 20 år og med en varighet på opptil 60 minutter. Figur 31 illustrerer at maksimalavrenningen fra de grå-grønne takene på 0.33 l/s vil være forsinket med opptil 238 minutter. For det svarte referanse-taket vil maksimalavrenning være på 1.4 l/s og finne sted 5 minutter etter nedbøren startet. (Øyre & Trommald, 2018).



Figur 31: Figuren illustrerer at det vil være vesentlig reduksjon i avrenningsintensitet samt tiden til maksimalavrenning ved bruk av den grå-grønne løsningen. (Øyre & Trommald, 2018)

Ved et mettet magasinerende sjikt og en konsentrasjonstid for taket på 10min blir magasinert volum på de to grå-grønne takene slik som presentert i tabell 11 (Øyre & Trommald, 2018).

Tabell 11: Fordrøyningskapasitet på takene med grå-grønn løsnings (Øyre & Trommald, 2018)

| Varighet (min) | Dim nedbør, (l/s*ha) | Q _{maks inn} (l/s) | V _{inn} (l) | V _{ut} (l) | V _{fordrøying} (l) | V _{fordrøying} (m ³) | Vannstand (mm) |
|----------------|----------------------|-----------------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------|---|----------------|
| 1 | 447 | 3,1 | 188 | 110 | 78 | 0,08 | 2 |
| 2 | 411 | 2,9 | 345 | 120 | 226 | 0,23 | 5 |
| 3 | 375 | 2,6 | 473 | 130 | 343 | 0,34 | 7 |
| 5 | 325 | 2,3 | 682 | 150 | 532 | 0,53 | 11 |
| 10 | 254 | 1,8 | 1065 | 200 | 865 | 0,87 | 17 |
| 15 | 201 | 1,4 | 1268 | 249 | 1018 | 1,02 | 20 |
| 20 | 166 | 1,2 | 1390 | 299 | 1091 | 1,09 | 22 |
| 30 | 126 | 0,9 | 1585 | 399 | 1186 | 1,19 | 24 |
| 45 | 95 | 0,7 | 1799 | 549 | 1251 | 1,25 | 25 |
| 60 | 77 | 0,5 | 1945 | 698 | 1247 | 1,25 | 25 |

Den maksimale vannlagringskapasiteten for forsøktakene er presentert i tabell 12.

Materialene er oppgitt i kubikkmeter og multiplisert med porevolumet. (Øyre & Trommald, 2018).

Tabell 12: Maksimal fordrøyd vannmengde på taket er 4,97 m³ (Øyre & Trommald, 2018)

| | Mengde (m ³) | Porevolum | Sum |
|---------------------------------------|--------------------------|-----------|------|
| LECA | 7,96 | 50 % | 3,98 |
| Sedum | 1,98 | 50 % | 0,99 |
| Singel | 0,03 | 30 % | 0,01 |
| Fordrøyd vannmengde (m ³) | | | 4,97 |

Som nevnt tidligere tar disse utregningene utgangspunkt i et ekstremnedbør med returperiode på 20 år. For å finne ut hvor godt disse beregningene passer for takene er man nødt til å analysere en faktisk regnhendelse med lik intensitet og varighet som brukt i eksempelet ovenfor. Resultatene vil også variere betydelig avhengig om de grå-grønne takene er påvirket av frost, og er delvis eller helt mettet som følge av tidligere nedbørhendelser. Det er i fremtiden tenkt å montere sprinkleranlegg over de tre takene for å imitere nedbørhendelser med ulik returperiode og varighet, men inntil videre er man avhengig av å basere seg på det regnet som har falt naturlig.

5. Resultater og Diskusjon

Dette delkapittelet skal ta for seg resultater fra forskningsinfrastrukturen Bia fra oppstart 12.07.2018 frem til 19.11.2018, da det ble valgt å sette punktum for datainnsamling til denne oppgaven. Dette prosjektet er altså et prosjekt som er helt i start- og utprøvningsfasen og det er naturlig at det kan medfølge noen feil på data og målinger. Videre er det nødvendig å nevne at dataserien bare tar for seg den naturlige klimaperioden fra midten av juli til midten av november, og resultater er helt og holdent avhengig av de værforholdene som fant sted ved forskningsstrukturen i dette tidsrommet.

Det er blitt valgt å fokusere på hele datainnsamlingsperioden under ett, samt to konkrete tilfeller av ekstra interesse. Disse tilfellene omhandler to perioder der regnet var på sitt mest intense gjennom forskningsperioden. Det er blitt valgt å fokusere på to hendelser, en som fant sted i september fra 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12:02 der det falt 22.1mm nedbør, noe som tilsvarer 1105 liter vann per tak, og en hendelse i november fra 10.11 kl. 16:25 til 12.11 kl. 04:31 der det falt 67.3mm nedbør, noe som tilsvarer 3366 liter per tak. Den ene nedbørperioden fant sted i en relativ lun tid på året mens den andre fant sted i en relativ kald periode på året.

Denne oppgaven har satt seg som mål å avdekke hvor stor reduksjonen i totalavrenningen, V_{total} , er for de grå-grønne takene versus det svarte kontrolltaket. Videre å avdekke den høyeste oppnådde maksimalavrenningen Q_{maks} fra de grå-grønne takene versus kontrolltaket, samt å se på tiden t_{qmaks} det tar til det oppnås maksimalnedbør fra takene etter at et nedbør har startet. Det er også valgt å se på et spesialtilfelle av snøfall, samt snøsmelting som fant sted 30.10.2018, og se på den mulige effekten av evapotranspirasjon over de tre takene. Til slutt å se på hvordan takene har oppført seg i relativt varme og tørre perioder i juli-august versus kalde og fuktige perioder i oktober-november.

Siden takene og innsamlingen av data er helt i startfasen er det naturlig at det medfølger visse usikkerhetsmomenter og feil i data. I fremtiden er det tenkt at NVE skal ta ansvar for å kvalitetssikre dataene, men de resultater som legges frem i denne oppgaven baserer seg på rådata hentet direkte ut fra forskningsstrukturen i sanntid. Som følge av at prosjektet befinner seg helt i startfasen er det en del usikkerhet knyttet til noen av parameterne. Angående innhenting av nedbørdata, valgte NVE og å gå over fra logging med 15-minutters oppløsning til logging med 1-minutts oppløsning 04.09.2018, noe som betyr at dataene etter fjerde

september er mer nøyaktige. Det ligger en del usikkerhet i måling av volum avrent fra takene. Et usikkerhetsmoment når det gjelder avrent volum fra takene er at tømningen av volumstankene skjer med en volumstyrt pumpe som starter ved 900l og tømmer til tanken er på 300l. Denne prosessen tar ca. 3 minutter og mens denne prosessen foregår vil all avrenning fra tak til tank gå tapt i pumpeseansen. Den måten som er valgt for å best dekke opp dette tapet av volum, er å ta utgangspunkt i at volumstrømmen inn på tanken er lik under hele pumpeseansen som det volumstrømmen inn på tanken var rett før tømning. Det er altså valgt å ekstrapolere volumstrømmen inn på tanken rett før tømning over hele tømmeperioden. Det at pumpene er volumstyrt er et problem for nøyaktigheten rundt målingene av volum, da det naturligvis alltid vil oppstå tømning i det tanken nærmer seg maksnivået for tømning. Dette vil alltid finne sted mens det foregår en avrenning fra tak til tanker, det vil si under en nedbørhendelse eller rett etterpå. I framtiden vil det være ønskelig å programmere pumpen slik at den alltid ønsker å tømme tanken i oppholdsperioder mellom nedbør for å fjerne tapet av avrenning (Samtale med Knut Magne Møen, NVE).

Et annet usikkerhetsmoment oppstår når det gjelder veiing av takene. Det er relativt store svingninger i vekten på takene gjennom en dag uten noen form for nedbør. Etter diskusjon rundt dette temaet, mente Knut Magne Møen i NVE at det kan komme av trykk- og strekkrefter i trevirket som er fundamentet til takene. Svingningene viste seg å være størst de dagene det var store temperatursvingninger mellom natt og dag. Vektsvingningene for det svarte taket tilsvarer om lag 90kg, fra 2420kg til 2510kg i løpet av en dag. For de grønne takene var det vanskeligere å estimere vektsvingningene, da også evapotranspirasjonen fra takene spiller en vesentlig større rolle her. I framtiden kan det være ønskelig å installere glidelager i vektoverføringspunktene ved veiecellene for å ta opp eventuelle trykk- og strekkrefter i materialene (Samtale med Knut Magne Møen, NVE). Når det gjelder innhenting av vektdata for de tre forsøktakene er dataserien komplett for tak1 for hele måleperioden, tak2 mangler en periode i dataserien fra 30.08 kl.13:50 til 04.09 kl. 19:40. Målingen av vekt for tak3 begynte ikke før 30.08 kl. 16:20. Det skal også nevnes at de ble et brudd i en ledning til en av de seks veiecellene som tak1 hviler på, dette skal i utgangspunktet ikke påvirke vektdataene for dette taket da den ekstra vekten skal bli fanget opp av de resterende fem veiecellene, men kan ha medført noe støy i vektdataen. Denne veiecellen ble raskt byttet ut med en ny og velfungerende.

Som nevnt innledningsvis, er det ønske om å se på hele måleperioden under ett, samt ta for seg en til to interessante nedbørhendelser i løpet av måleperioden. Det er blitt valgt å fokusere

på to hendelser, en som fant sted i september fra 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12:02 der det falt 22.1mm nedbør som tilsvarer 1105 liter vann per tak, og en hendelse i november fra 10.11 kl. 16:25 til 12.11 kl. 04:31 der det falt 67.3mm nedbør som tilsvarer 3366 liter per tak. Selv om dette er de to mest intense nedbørene for målingsperioden, er de et stykke unna et dimensjonerende 20minutters regn med returperiode på 20 år.

5.1. Reduksjon i total volumavrenning fra tak, V_{tot}

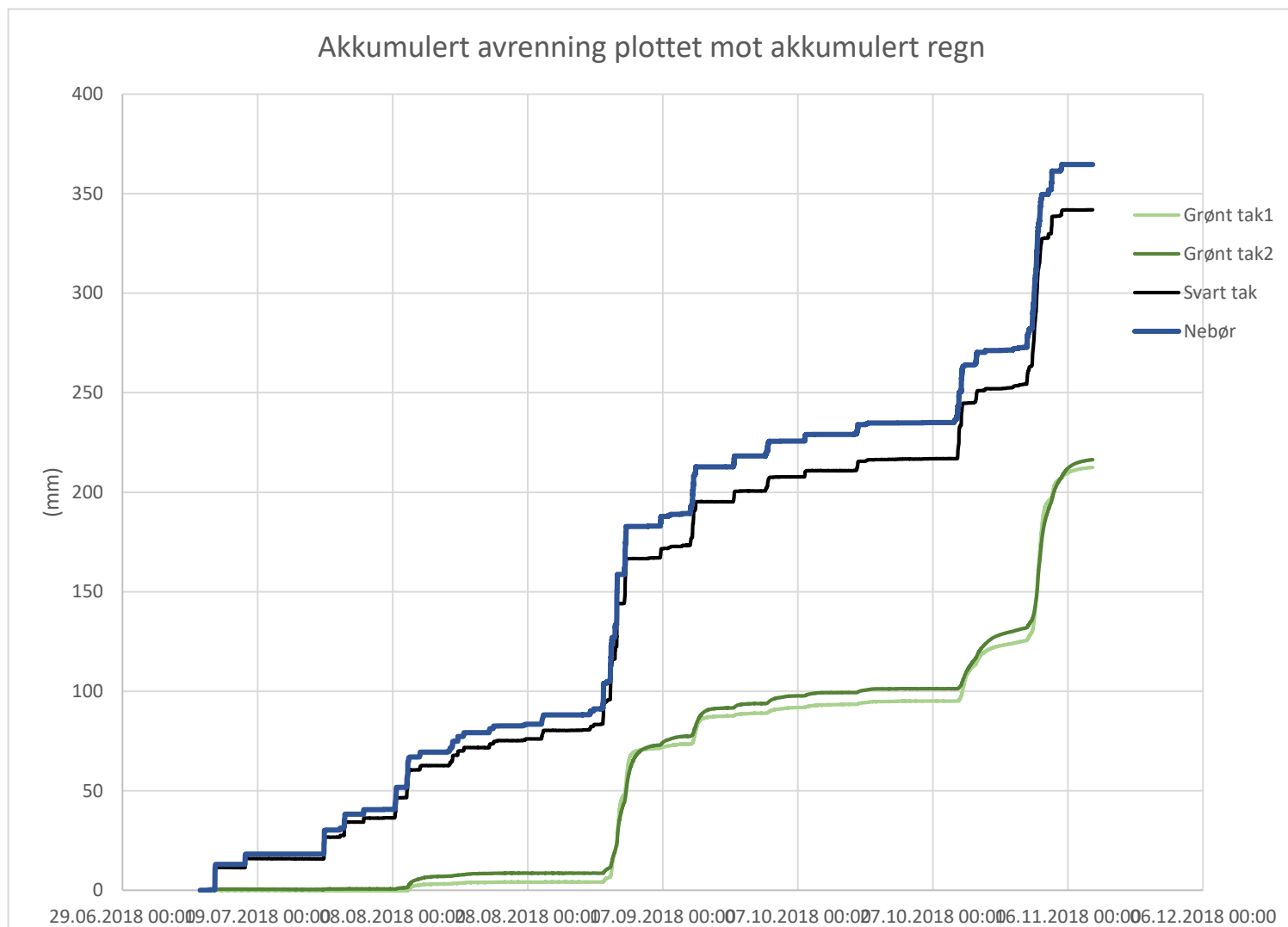
Et viktig punkt med denne oppgaven, er å avdekke hvor mye vann de grå-grønne takene holder tilbake, kontra det svarte referansetaket. Det er ønskelig å se på total tilbakeholdelse av vann over hele måleperioden, samt for de to interessehendelsene nevnt ovenfor. Måten dette er gjort på, er å sammenligne akkumulert nedbør fra nedbørmåleren med akkumulert avrenning fra volummåleren for ønsket periode. I oppgaven blir volum presentert i to parametere, enten som liter, eller som mm på tak. Da taket har et overflateareal på 50m^2 vil 1mm nedbør tilsvare 50l vann. Man kan også bruke sammenhengen mellom nedbør som treffer taket og volum som renner ut i tanken til å estimere en avrenningskoeffisient C for hele perioden samt de to interesseperiodene. Dataene tar også høyde for det volumtapet som oppstår ved tømning av tankene ved å ekstrapolere volumhastigheten inn på tankene (l/min) over de tre minuttene det tar å tømme. Volumtapet er relativt lavt over hele perioden for de to grønne takene da volumstrømmen ut av disse takene aldri var spesielt høy. Volumtapet under tømning for det svarte referanse-taket er vesentlig høyere. Tall for volumtap og antall tømminger per tak er presentert i tabell 13. Tanken til det svarte referanse-taket ble tømt 1.65 ganger så ofte som tankene til de to grå-grønne takene.

Tabell 13: Volumtap ved tømning, og antall tømminger over hele måleperioden

| TAK | TAK1 | TAK2 | TAK3 |
|------------------|------|-------|------|
| SUM TAP (L) | 48.1 | 400.8 | 28.4 |
| Antall tømminger | 17 | 28 | 17 |

5.1.1. Hele forsøksperioden 12.07.2018 til 19.11.2018

Akkumulert avrenning plottet mot akkumulert regn



Figur 32: Akkumulert avrenning (mm) for de tre takene, samt den totale nedbørmengden over samme periode. Målingene tok til 12.07.2018 og ble avsluttet 19.11.2018, start og endepunkt for grafene representerer start og slutt for målingene

For hele måleperioden 12.07.18 til 19.11.18 var den totale akkumulerte avrenningen for tak1 (grå-grønn løsning) 212.5 mm, for tak3 (grå-grønn løsning) 216.4 mm og for tak2 (svart referansetak) 341.9 mm. Den totale mengden nedbør som falt i samme periode var på 364.7 mm.

Det kommer tydelig fram av dataene, samt vises tydelig i figuren ovenfor, at avrenningsreduksjonseffekten for de grå-grønne løsningene fungerer best i de måneder med sporadisk nedbør hvor takene får tid til å hente seg inn mellom nedbørhendelsene. For hele

måleperioden reduserer de to grå-grønne takene den totale avrenningen med henholdsvis 41.7% og 40.7% og den følgende avrenningskoeffisienten for hele perioden blir henholdsvis $C = 0.58$ og $C = 0.59$, som illustrert i tabell 14.

Tabell 14: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for hele måleperioden

| 12.07 – 19.11 | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|--------------------------|-------|-------|-------|--------|
| Akkumulert (mm) | 212.5 | 341.9 | 216.4 | 364.7 |
| Reduksjon % | 41.7 | 6.3 | 40.7 | |
| Avrenningskoeffisient, C | 0.58 | 0.94 | 0.59 | |

I perioden med sporadisk regn og relativt høy temperatur fra målestart til ut august er effekten av de grå-grønne takene vesentlig bedre. De reduserer avrenningen med henholdsvis 95.2% og 90.2% og den følgende avrenningskoeffisienten for perioden 12.07 til og med 31.08 er henholdsvis 0.05 og 0.1 for tak1 og tak3, slik som vist i tabell 15.

Tabell 15: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for perioden 12.07 til 31.08

| 12.07 – 31.08 | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|--------------------------|------|------|------|--------|
| Akkumulert (mm) | 4.2 | 80.3 | 8.6 | 88.12 |
| Reduksjon % | 95.2 | 8.9 | 90.2 | |
| Avrenningskoeffisient, C | 0.05 | 0.91 | 0.10 | |

5.1.2. Nedbørhendelsen 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12:02

Nedbørhendelsen som fant sted 9. september 2018 varte i 3 timer og 47 minutt hvor det falt 22.1mm nedbør, i samme periode inklusiv tiden frem til neste nedbørhendelse hadde de grå-grønne takene en avrenning på 12.8 mm og 8.3 mm, mens det svarte-referansetaket hadde en avrenning på 20.7 mm, slik som presentert i tabell 16.

Tabell 16: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for nedbørhendelsen 09.09 kl. 05:22 til 09.09 kl. 12.02

| Nedbørhendelse Sept | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|--------------------------|------|------|------|--------|
| Akkumulert (mm) | 12.8 | 20.7 | 8.3 | 22.1 |
| Reduksjon % | 42.1 | 6.3 | 62.4 | |
| Avrenningskoeffisient, C | 0.58 | 0.94 | 0.38 | |

Dette gav en totalreduksjon av avrenning for denne nedbørhendelsen på henholdsvis 42.1% og 62.4% for tak1 og tak3. De tilhørende avrenningskoeffisientene for hendelsen var på 0.58 og 0.38.

Denne nedbørhendelsen var relativ intens og fant sted etter en lengre periode med svært lite eller intet regn, og det er trolig at magasineringskapasiteten til de to grå-grønne takene dermed var god. Denne situasjonen gir en god illustrasjon på hvordan slike tak kan fungere i de varme månedene mai-september hvor nedbøren ofte kommer sporadisk og kortvarig, men intens.

5.1.3. Nedbørhendelsen 10.11 kl. 16:25 til 11.11 kl. 23:13

Nedbørhendelsen som fant sted 10. november til 11. november 2018 består av flere kortere nedbørhendelser med korte mellomrom. Det ble dermed naturlig å se på de under ett, da den foregående nedbøren vil bidra til økt metningsgrad på taket, samt at avrenningen fra nedbøren ikke er ferdig i det den neste nedbøren begynner å falle. I denne perioden falt det 67.3 mm nedbør. I samme periode, inklusiv tiden frem til neste nedbørhendelse, hadde de grå-grønne takene en avrenning på 58.8 mm og 45.5 mm, mens det svarte-referansetaket hadde en avrenning på 63.9 mm, slik som presentert i tabell 17.

Tabell 17: Tabell over akkumulert avrenning, nedbør, reduksjon og avrenningskoeffisient for de tre takene for nedbørhendelsen 10.11 kl. 16:25 til 11.11 kl. 23:13

| Nedbørhendelse nov | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|--------------------------|------|------|------|--------|
| Akkumulert (mm) | 58.8 | 63.9 | 45.5 | 67.3 |
| Reduksjon % | 12.6 | 5.1 | 32.4 | |
| Avrenningskoeffisient, C | 0.87 | 0.95 | 0.68 | |

Dette gav en totalreduksjon av avrenning for denne nedbørhendelsen på henholdsvis 12.6% og 32.4% for tak1 og tak3. De påfølgende avrenningskoeffisientene for hendelsen var på 0.87 og 0.68.

Denne nedbørhendelsen var ikke like kort og intens som den i september, men gir et godt inntrykk av hvordan en typisk sporadisk høstnedbør over en lengre tid påvirker takene. Det langvarige sporadiske regnet i sammenheng med det kalde og våte været gav takene liten tid til å hente seg inn mellom nedbørhendelsene, og dermed var effekten av de grå-grønne takene også lav.

5.2. Maksavrenning fra tak, Q_{maks}

Et interessant moment å ta fatt i, er maksavrenningen fra takene etter nedbørshendelser. Det er vanlig at kommuner stiller strenge krav til maks tillatt videreført vannmengde fra en tomt eller et bygg til avløpsnett. Dette er for å unngå en overbelastning av renseanlegg og hindre at urensset overvann og avløpsvann fra felles avløpssystem går urensset ut i resipient. Det blir presentert maksavrenning for alle tre takene for hele målingsperioden samt maksavrenning per måned.

5.2.1. Hele forsøksperioden 12.07.2018 til 19.11.2018

Som nevnt tidligere i oppgaven, er datainnhenting helt og holdent avhengig av det været og den nedbøren det har vært ved forskningsstrukturen i løpet av forskningsperioden. Det er ikke det mest intense regnet som har falt, men man ser hvor stor effekt de grå-grønne takene har på reduksjonen av maksavrenning i forhold til det svarte referansetaket.

Tabell 18: Tabell over maksavrenning (l/min), fra hvert enkelt tak for hele måleperioden samt maksavrenning per måned

| Tak | Tak1 | Tak2 | Tak3 |
|--------------------------------|------------------|------------------|------------------|
| <i>Maks Volumstrøm (l/min)</i> | | | |
| <i>Hele Perioden</i> | 4.2 | 43.4 | 4.3 |
| <i>Juli</i> | 2.2 | 29.5 | 2.2 |
| <i>August</i> | 3.25 | 23.3 | 3.4 |
| <i>September</i> | 4.2 | 43.4 | 4.3 |
| <i>Oktober</i> | 2.65 | 21.5 | 2.75 |
| <i>November</i> | 2.8 | 11.4 | 2.83 |
| <i>Tidspunkt for maks</i> | 10.09.2018 04:59 | 10.09.2018 04:55 | 10.09.2018 04:59 |

Maksavrenningen fra de to grå-grønne takene finner sted, i begge tilfeller, etter en nedbørshendelse 10. september, og er på henholdsvis 4.2 l/min og 4.3 l/min, dette er relativt lavt og vil ha lav påvirkning på ledningsnett ved eventuell videreføring. For det svarte taket finner maksavrenningen også sted 10. september. Maksavrenningen for det svarte taket er på 43.4 l/min og er vesentlig høyere enn fra de to grå-grønne takene. Videre viser dataene at reduksjonen i maksavrenning ved nedbørshendelsen 10. september er på 90% for tak1 og 90% for tak2. Reduksjonen i maksimal avrenning oppnådd under hele perioden er også henholdsvis 90% for tak 1 og 90% for tak2, da maksavrenningen fant sted under samme nedbørshendelse for alle tre takene. Man ser av dataene presentert i tabell 18 at maksavrenning

opptrer ved relativt likt tidspunkt for alle de tre takene. Dette kommer av at regnskyellet som falt denne natten var såpass intenst, at en del av nedbøren som traff de to grå-grønne takene ikke rakk å infiltrere inn i vegetasjonen og sjiktet før det rant ned i sluket. Metningsgraden til det magasinerende sjiktet av finknust LECA, samt metningsgraden til sedummattene, vil ha stor påvirkning til takets evne til å redusere maksavrenning. Videre vil intensitet og lengde på nedbør også spille inn.

5.3. Forsinkelser i maksavrenning fra tak, t_{qmaks}

En annen viktig parameter i å redusere presset på avløpsnett, som det er under ved intense nedbørhendelser, er å øke tiden det tar fra et regn treffer en overfalte, til den overflaten når sin maksavrenning. Nedenfor er det blitt sett på tre forskjellige nedbørhendelser og tiden det tar fra nedbøren tiltrer til maksavrenning etter nedbøren oppstår.

Tabell 19: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 10.09.2018

| 10.09.2018 | Tid til maksavrenning (min) |
|------------|-----------------------------|
| Tak1 | 55 |
| Tak2 | 51 |
| Tak3 | 55 |

Tabell 20: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 10.11.2018

| 10.11.2018 | Tid til maksavrenning (min) |
|------------|-----------------------------|
| Tak1 | 79 |
| Tak2 | 79 |
| Tak3 | 79 |

Tabell 21: Tid til maksavrenning (min) ved nedbørhendelsen 30.11.2018, denne hendelsen består av lett snøfall og snøsmelting

| 30.10.2018 | Tid til maksavrenning (min) |
|------------|-----------------------------|
| Tak1 | 718 |
| Tak2 | 514 |
| Tak3 | 718 |

Det er mye usikkerhet i bestemmelsen av tiden det tar for et nedbør å oppnå maksavrenning fra takene, spesielt de to takene med grå-grønn løsning. Dette kommer av at avrenningen fra de grønne takene knapt kan regnes for en maksavrenning, men mer en kontinuerlig sildring av vann mellom nedbørperiodene. Det er flerfoldige perioder etter ett nedbør hvor de grønne takene har identisk maksavrenningshastighet. Det er derimot relativt enkelt å se når det svarte referanse-taket når sin maksavrenning.

Når det gjelder snøfallsperioden som fant sted den 30.10 tok starten av nedbøren til klokken 20:29 og det falt til sammen en mengde snø tilsvarende 1.27mm regn. Minusgradene varte bare fram til 09:09 dagen etter, og det var trolig ikke minusgrader lenge nok til at det satte seg frost i vegetasjonen eller det magasinerende sjiktet av LECA.

5.4. Evapotranspirasjon fra tak, ET

Når det gjelder evapotranspirasjonen fra takene, kan den estimeres på en relativt enkel måte. Man kan se på massebalansen for ett tak under ett, altså summen av vann inn på taket minus vann ut av taket samt den resterende mengden vann som ligger igjen i det magasinerende sjiktet. For å anslå hvor mye vann som ligger igjen i det magasinerende sjiktet, kan man gjøre vektanalyser av taket.

I tabell 6 ble vekten til takene estimert. Basert på dette estimatet, er vekten av et helt nyinstallert og knusktørt grå-grønt tak før det har rukket å absorbere noe fuktighet, denne vekten var på 7680kg. I denne oppgaven har det heller blitt valgt å operere med laveste vekt registrert av veiecellene for takene i hele perioden, da dette vil gi en mer presis representasjon av vekten. Tabell 22 presenterer min og maksvekten for alle tre takene. Maksvekten er presentert i to separate kategorier da maksvekten for det svarte referansetaket oppsto under snøfallet 30.10.2018.

Tabell 22: Min og maksvekt registrert for de tre forsøktakene gjennom forsøksperioden, tabellen skiller mellom vekt inklusiv snø og uten. Det var bare tak2 (svart referanse-tak) som veide mer ved snøfallet 30.10.2018

| Minvekt1(kg) | Minvekt2(kg) | Minvekt3(kg) | |
|---------------|---------------|---------------|----------|
| 8407.29 | 2403.68 | 10235.95 | |
| 12.07 | 13.08 | 4.09 | Dato |
| Maksvekt1(kg) | Maksvekt2(kg) | Maksvekt3(kg) | Snø |
| 11081.66 | 2906.67 | 12881.3 | |
| 11.11 | 30.10 | 11.11 | Dato |
| Maksvekt1(kg) | Maksvekt2(kg) | Maksvekt3(kg) | Uten Snø |
| 11081.66 | 2633.07 | 12881.3 | |
| 11.11 | 10.09 | 11.11 | Dato |

Ved måleperiodens slutt (19.11.2018), var differansen av akkumulert nedbør på takene og akkumulert avrenning fra takene som vist i tabell 23.

Tabell 23: Differanse i akkumulert nedbør og akkumulert avrenning for takene

| Differanse i nedbør og avrenning | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|----------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| Akkumulert (mm) | 212.5 | 341.9 | 216.4 | 364.7 |
| Differanse (mm) | 152.2 | 22.8 | 148.3 | |
| Differanse (l) | 7610.00 | 1140.00 | 7415.00 | |

Tabell 24 viser minstevekten på hvert tak og vekten på hvert tak ved endt målingsperiode, differansen blir da det vannet som fortsatt er tilstede i taket ved endt måleperiode.

Tabell 24: Differansen i vekt på tak ved minstevekt og endt måling

| | Tak1 | Tak2 | Tak3 |
|---------------------|---------|---------|----------|
| Minvekt (kg) | 8407.29 | 2403.68 | 10235.95 |
| Vekt ved slutt (kg) | 9860.11 | 2581.73 | 11249.7 |
| Differanse (l)/(kg) | 1452.82 | 178.05 | 1013.75 |

Tabell 25 illustrerer summen av evapotranspirasjonen gjennom året, den var på henholdsvis 6157 l, 962 l og 6401 l for tak1, tak2 og tak3. Vis man også ser dette opp mot avrennings- og nedbørsplokkene presentert i 5.1, ser man at størsteparten av evapotranspirasjonen fant sted i den varme perioden fra oppstart av målinger til midten av september. Det var da sporadisk og sjeldent regn med høye temperaturer og solfylte dager, som bidro vesentlig til

evapotranspirasjonen. Differansen i høyde mellom nedbørsgrafene og avrenningsgrafene for tak1, tak2 og tak3 illustrerer evapotranspirasjonen. Det er i perioden fra start av målinger fram til regnet som startet 09. september at evapotranspirasjonen var høyest.

Tabell 25: Sum evapotranspirasjon gjennom måleperioden 12.07.2018 til 19.11.2018

| Differanse i nedbør og avrenning | Tak1 | Tak2 | Tak3 | Nedbør |
|----------------------------------|---------|---------|---------|--------|
| Akkumulert (mm) | 212.5 | 341.9 | 216.4 | 364.7 |
| Differanse (mm) | 152.2 | 22.8 | 148.3 | |
| Differanse (l) | 7610.00 | 1140.00 | 7415.00 | |
| Differanse vekt (kg) | 1452.82 | 178.05 | 1013.75 | |
| Sum Evapotranspirasjon (l) | 6157.18 | 961.95 | 6401.25 | |

5.5. Effekten på tak ved kalde høstmåneder versus varme sommermåneder.

Ut i fra avrenningsplottene og nedbøren presentert i figur 32, og dataene for evapotranspirasjon i delkapittel 5.4, kommer det tydelig fram at de rent hydrauliske tilbakeholdingssevnene av vann er best i relativt tørre og varme perioder. Dette i motsetning til kalde og våte perioder. Dette gir taket god tid til å hente seg inn mellom nedbørhendelser og følgelig blir reduksjonen av avrenning, tid til maksavrenning og reduksjonen av volumstrømmen ut fra de grå-grønne takene kontra det svarte referansetaket vesentlig bedre i denne perioden. Dette er godt illustrert ved perioden 28.07 til 10.08 der det falt til sammen 48.78 mm nedbør, men avrenningen fra de to grønne takene var bare på 3 mm for tak1 og 6.9 mm for tak2. Dette er en reduksjon på 94% i avrenning fra tak1 og 86% for tak2. Dette gir da følgelig en avrenningskoeffisient C, på henholdsvis 0.06 og 0.14 for perioden.

Hvis man ser på perioden 15.10 til 19.11, som var en relativ kald periode med sporadisk regn over hele perioden, men uten et enkelt intenst ekstremnedbør, ser man at totalnedbøren for denne perioden var på 135.47 mm og i samme perioden var avrenningen for tak1 119.0 mm og for tak3 117.0 mm. Dette gir en totalreduksjon i avrenning over perioden på 12.2% for tak1 og 13.6% for tak3, som igjen gir en avrenningskoeffisient C på henholdsvis 0.88 og 0.86 for tak1 og tak3.

Dette er en vesentlig mindre reduksjon av avrenning over perioden versus den relativt tørre og varme perioden vi hadde i juli og august. Dette kommer trolig av at

metningsgraden til takene er høy og det er relativt korte perioder mellom nedbørhendelsene slik at taket ikke får tid til å hente seg inn mellom hendelsene. Videre er det en kald periode der det vil være svært lite bidrag fra evapotranspirasjon. Selv om reduksjonen i totalavrenning over denne perioden er lav, betyr det ikke at effekten av de grå-grønne takene er uten betydning. Den høyeste volumstrømmen ut de grå-grønne takene for perioden var på 2.8 l/min for både tak1 og tak2, mens den høyeste volumstrømmen ut av det svarte referanse-taket var på 11.4 l/min. Dette tyder på at takene har god evne til å holde tilbake og fordrøye vann selv i kalde perioder, og følgelig reduseres stress videre på kommunalt ledningsnett.

Man kan også se på graden av avrenning per måned opp imot nedbøren for hver måned for å gi et bedre bilde på avrenningen, samt avrenningskoeffisienten for hver måned. Dette er illustrert i tabell 26.

Tabell 26: Avrenningen for tak1, tak2 og tak3 sett opp mot nedbøren for hver enkelt måned av måleperioden. Sammenhengen mellom avrenning og nedbør gir en estimert avrenningskoeffisient for hver måned

| Måned | | | | | Avrenningskoeffisient | | |
|-----------|-----------|-----------|----------|-------------|-----------------------|------|------|
| | Tak1 (mm) | Tak2 (mm) | Tak3(mm) | Nedbør (mm) | C1 | C2 | C3 |
| Juli | 0 | 34.102 | 0.698 | 38.25 | 0.00 | 0.89 | 0.02 |
| August | 4.2 | 46.22 | 7.916 | 49.87 | 0.08 | 0.93 | 0.16 |
| September | 84.748 | 120.314 | 85.21 | 130 | 0.65 | 0.93 | 0.66 |
| Oktober | 19.054 | 44.11 | 16.18 | 45.82 | 0.42 | 0.96 | 0.35 |
| November | 104.46 | 97.156 | 106.37 | 100.74 | 1.04 | 0.96 | 1.06 |
| Total | 212.462 | 341.902 | 216.374 | 364.68 | 0.58 | 0.94 | 0.59 |

Det kommer tydelig frem at avrenningskoeffisienten er lavest, og dermed effekten av det grønne taket høyest, i månedene juli og august. Grunnen til at avrenningskoeffisienten overstiger 1.0 i november for tak1 og tak3 er at det forekommer avrenning fra en nedbørshendelse som fant sted like før månedsskiftet oktober/november, og dermed vil en del av den nedbøren som falt i slutten av oktober tillegges avrenningen i november.

5.6. Metningsgraden til takene, V_m

Et interessant moment ved de grå-grønne takene, er å se på metningsgraden til takene. Med metningsgraden menes det hvor mye vann de grå-grønne takene holder tilbake i det avrenningen fra takene tar slutt etter en nedbørshendelse.

På grunn av at målte minstevekt for tak1 og tak2 er såpass forskjellig (8407 kg og 10234 kg) er det valgt å fokusere på tak1 og ta utgangspunkt i at dette taket gir en best representasjon for metningsgraden til de grå-grønne takene. Dette har også en sammenheng med at vektdataene er komplette for hele måleperioden for tak1, mens for tak3 tok ikke målingene til før 30.08 kl. 16:20.

Etter nedbørshendelsen som startet 09.09 og en påfølgende nedbørshendelse 11.09, var det opplett fram til 14.09 kl. 19:56. Det er denne perioden som er best egnet til å bestemme metningsgraden til de grå-grønne takene. I og med at fordrøyningstiden gjennom taket er såpass lang er det vanskelig å estimere eksakt det tidspunktet hvor avrenningen fra taket slutter. Det er dermed valgt å definere endt avrenning som det tidspunktet der avrenningen er lavere enn 1 liter per 15minutt, da også dataloggeren går over fra 1 minutters intervall til 15 minutters intervall når avrenningen faller under dette nivået. Tidspunktet for endt avrenning fra nedbørshendelsen 09.09-11.09 var 12.09 kl. 15:29. Tabell 27 illustrerer minstevekten målt på tak1 og maksvekten på tak1 etter nedbørshendelsen beskrevet ovenfor.

Tabell 27: Minvekt for tak1 og maksvekt for tak1 etter nedbørshendelsen 09.09 til 11.09 samt differansen mellom min- og maksvekt

| | Tak1 | Dato |
|----------------------------------|---------|------------------|
| Minvekt (kg) | 8407.29 | 12.07 |
| Maksvekt (kg) ved endt avrenning | 9807.98 | 12.09.2018 16:50 |
| Differanse (kg) | 1400.69 | |

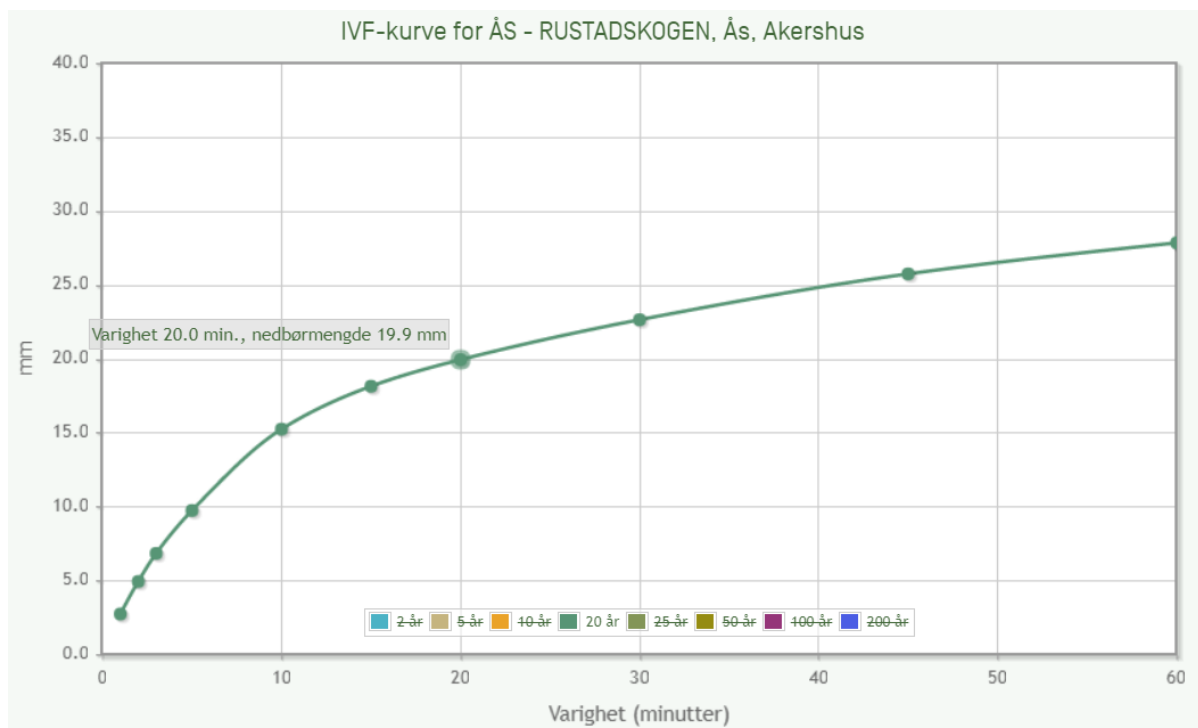
Resultatene presentert i tabell 27 viser at differansen i vekt er på 1401kg mellom minstevekten til tak1 målt over hele målingsperioden og maksvekten på tak1 ved endt avrenning etter nedbørshendelsen 09.09-11.09. Da er det altså ca. 1400 liter resterende vann på tak1 i det avrenningen avsluttes. Dette tilsvarer 56 mm vann i det magasinerende sjiktet gitt at porestørrelsen i den finknuste LECA-en er på 50%. Til sammenligning er høyden på LECA-aget 150mm.

5.7. Oppsummering

Målingsdataene for tak1 vil gi et bedre og mer komplett bilde av effekten til de to grå-grønne takene, da måleserien for dette taket er komplett for hele måleperioden 12.07 til 19.11, mens målingen av visse parametere for tak3 ikke tok til før 30.08.

Begge nedbørhendelsene (09.09 og 10.11-11.11) som er brukt til å illustrere visse av de dimensjonerende hydrauliske effektene til de grå-grønne takene er vesentlig mindre enn det som er satt som dimensjonerende nedbør og dimensjonerende returperiode for området. Altså et 20 minutters regn med returperiode på 20år.

Til sammenligning var regnet 09.09 det kraftigste regnet takene ble utsatt for i løpet av måleperioden og da falt det 22.1 mm nedbør i løpet at 3 timer og 47 minutter. Et dimensjonerende 20 minutters nedbør med returperiode på 20år vil gi en nedbørsmengde tilsvarende 19.9 mm på 20 minutter. Dette er altså nesten like mye regn som falt på takene i løpet av 3 timer og 47 minutter. Dette er illustrert ved IVF-kurven for Rustadskogen i figur 33.



Figur 33: IVF-kurve for Ås-Rustadskogen som viser dimensjonerende nedbør ved et 20 minutters regn med returperiode på 20 år (Norsk Klimaservice, 2018)

6. Konklusjon

Målingene gjort for forskningsstrukturen Bia ved NMBU har gjort at man kan trekke følgende midlertidige konklusjoner for måleperioden 12.07 til 19.11:

- Et ekstensivt tak med et dekke av Sedum som vegetasjon og et magasinerende sjikt i finknust LECA kan bidra til å redusere totalavrenningen med opp til 41%. Dette bidrar til å senke videreført vannmengde på ledningsnett, reduserer pumpekostnader, senker grad av fortykning av avløpsvann og reduserer sjansen for flomrelaterte skader ved ekstremnedbør.
- Effekten av takene er best om sommeren, da nedbøren er intens men kortvarig, og da det er tilstrekkelig med opphold mellom nedbørsperiodene for takene å hente seg inn via langsom fordrøyning, evapotranspirasjon og lav metningsgrad.
- Tilbakeholdelsen av nedbør varierte stort gjennom måleperioden, med nesten fullstendig tilbakeholdelse av all nedbør i juli og august og nesten ingen tilbakeholdelse av vann i november. Det var relativt liten forskjell i grad av tilbakeholdelse av vann på de grønne takene og det svarte taket i november.
- Reduksjonen i maksimalavrenning Q_{maks} var god for hele måleperioden. Maksimalavrenningen fra de grønne takene ble redusert med en faktor på 10 i den måneden med høyest registrert maksimalavrenning (september), i forhold til det svarte taket. Den laveste faktoren for reduksjon av maksimalavrenning fant sted i november og var en reduksjon med faktor 4.
- Det forekommer usikkerhet rundt tiden det tar fra et nedbør starter til maksimalavrenningen oppstår, da det er en mer kontinuerlig avrenning fra de grønne takene som følge av at væsken skal gjennom et vegetasjonsdekke og et magasinerende sjikt før det når sluket.

- I måleperioden ble ikke den teoretiske kapasiteten til takene utnyttet da det ikke forekom de mest intense nedbørhendelsene.
- Effekten av evapotranspirasjon var svært høy i den varme og solfylte perioden 12.07 til 09.09, og det forekom nesten ingen grad av avrenning fra de grønne takene. For hele august måned var avrenningskoeffisienten for de grønne takene 0.08 og 0.16, mens den var på 0.93 for det svarte referansetak.
- Den høyeste graden av tilbakeholding av vann ved endt avrenning etter et nedbør, var på 1400l. Dette tilsvarer 55 mm vann i det magasinerende sjiktet. Dette betyr at magasineringskapasiteten til de grå-grønne takene er på opptil 28 liter per kvadratmeter.
- Grå-grønne tak med kombinasjon av et vegetasjonsdekke og et magasinerende sjikt vil fungere godt i punkt 1 og 2 i treledd-strategien, og vil fungere best i sommermånedene.

6.1. Videre arbeid med Bia

Siden forskningsinfrastrukturen ved Bia er helt i startfasen, vil det være interessant å følge prosjektet videre. Prosjektet er automatisert ved innhenting av måledata og dataene er lett tilgjengelig gjennom NVEs database. Forskningsstrukturen Bia er tenkt å ha en måleperiode som strekker seg over minst 5 år, hvor det første året benyttes til å hente inn data for de to grå-grønne takene uten noen form for inngrep i strukturen. Disse takene skal så kalibreres opp mot hverandre før man eventuelt kan gjøre endringer i strukturen, ved for eksempel å eksperimentere med ulike vekstmedium, ulik helningsgrad og ulik intensitet på nedbør med mer. For å få en bedre innsikt i effekten av takene, samt minske feilkilder i data er det foreslått følgende forbedringer med strukturen:

- Før man tar for seg noen endringer i strukturen er det interessant å se på hvordan takene oppfører seg gjennom et helt kalenderår og ikke bare en liten periode som i denne oppgave.
- Det er spesielt interessant å se på hvordan effekten til taket er gjennom vinterhalvåret, da spesielt ved snøsmelting hvor det kan tenkes at det er frost i vegetasjonen og det magasinerende sjiktet. Det er mye usikkerhet rundt effekten av grønne tak versus svarte tak ved lave temperaturer og ved snøsmelting.
- Det er ønskelig å etablere tilsvarende forskningsstrukturer flere steder i landet for å se hvordan de oppfører seg ved ulike nedbørforhold og klimaforhold.
- Det er ønskelig å montere glidelager mellom taket og veiecellene for å minimere feilkildene i vektdata som følge av trykk- og strekkrefter i konstruksjonen ved store temperatursvingninger. Dette er et relativt omfattende prosjekt hvor hvert enkelt tak må heises opp med kran for å kunne montere glidelager. Vekten på takene kan være så høy som 13 tonn ved høy grad av metning, og det vil dermed være en fordel å installere glidelagrene etter en lengre periode uten nedbør.
- Det er ønskelig å montere sprinkleranlegg over takene slik at det kan gjennomføres forsøk med kontrollert (kunstig) nedbør. Man kan da enkelt teste ulike nedbørshendelser med ulik returperiode både i tørre og våte perioder gjennom året.

7. Kilder

- Apogee instruments, I. (2018a). *Infrared radiometer*: Models SI-411, SI-421, SI-431 and SI4H1 (including SS models).
- Apogee instruments, I. (2018b). *Net Radiometer Model SN-500*. Owner's manual.
- Ardila, P. and de Caprona, M. (2014). *Blågrønn Faktor. Framtidens Byer*.
- Asplan Viak (2017). *Imhoffs Sats*. [image] Tilgjengelig ved: https://norsk vann.no/images/gjertrude/pdf/Dag_1_-_05_-_Crashkurs_i_overvannsberegninger_Paus.pdf [Lest 4 Dec. 2018].
- Bergknapp. (2018). *Produktkatalog 2018*, 2018: www.bergknapp.no.
- Braskerud, Bent C. (2014). *Grønne tak og styrtregn. Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*. NVE rapport 65/2014; 98 sider.
- Braskerud, B. (2016). *Grønne tak for flomdemping*. Vann- og Avløpsetaten.
- Campbell Scientific, I. (2016). *CS215 Temperature and Relative Humidity Probe*. 4.
- Chin, D. A. (2013). *Water-Resources Engineering*. Pearson Education Limited 2013, b. Third edition, international dition.
- COWI. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*. Oslo: Miljødirektoratet
- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*. Oslo: Miljødirektoratet og COWI.
- Currie BA, Bass B (2008) *Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model*. Urban Ecosyst 11:409–422
- Dannevig, P. og Harstveit, K. (2018). *klima – Store norske leksikon*. [online] Store norske leksikon. Tilgjengelig ved: <https://snl.no/klima> [Lest 13 Nov. 2018].
- Direktoratet for Byggkvalitet. (2017). *Byggteknisk forskrift (TEK17)*. § 15-8,.
- Førland, E., Mamen, J., Dyrdal, A. V., Grinde, L. & Myrabø, S. (2015). *Dimensjonerende kortidsnedbør*. MET report: Norges vassdrags - og energidirektorat
- Hanslin, H. M. & Johannessen, B. G. (2015). *Erfaringer med grønne tak i 7 norske byer i perioden 2014 - 2015*. Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO), 1/40/2015
- Hansen, Katarina Louise Wulff. (2018). *Et stort grønt tak i Oslo: En analyse av fordrøyningsvirkningen i vinterhalvåret*.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E. J., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandbø, A. B., Sorteberg, A., et al. (2015). *Klima i Norge 2100*. Klimadepartementet, NCCS report 2/2015
- Hassel, C. & Coombes, B. (2007). *Green roofs - CBSE Knowledge Series: KS11*.

- Kristiansand kommune. (2016). *Overvannsveileder for kristiansand kommune*: Kristiansand kommune
- Li, Y. & Babcock, R. W. (2014). *Green roof hydrologic performance and modeling: a review*. Water Science and Technology
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. and Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann Rapport 162, 162:2008
- Lindholm, O. (2015). *Overvannsdammer: Beregning av volum VA miljøblad nr. 69*. Oslo: Norsk vann.
- Mays, L. (2001) *Stormwater Collection Systems Design Handbook*. McGraw Hill.
- Miljødirektoratet. (2016). *Vegetasjon til grønne tak*. M-627, Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO)
- Møen, K. (2018). *NMBU/Ås - Grønt tak*. [online] Sildre. Tilgjengelig ved: <http://sildre.nve.no/Sildre/Station/5.10.0> [Lest 19 Nov. 2018].
- Noreng, K. Kvalvik, M. Busklein, J. O. Ødegård, I.M. Clewig, C.S., French, H.K. (2012). *Grønne tak : resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt*, b. 104. Oslo: SINTEF akademisk forlag.
- Norsk klimaservicesenter. (2018b). *Nedbørintensitet*. Tilgjengelig ved: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/idf.xhtml> (lest 17.11.18).
- OTT Hydroment. (2017). *OTT Pluvio² - Weighing Rain Gauge*. Tilgjengelig ved: <http://www.ott.com/en-us/products/accessories-109/ott-pluvio2-weighing-rain-gauge-963/>
- R.M. Young Company. (2018). *Instructions - Wind monitor model 05103*
- Sandven, S. (2015). *Klima i Norge 2100*. NCCS report no. 2/2015.
- Sempergreen.com. (2018). *Benefits of a green roof - Sempergreen*. [online] Tilgjengelig ved: <https://www.sempergreen.com/en/solutions/green-roofs/green-roof-benefits> [Lest 15 Nov. 2018].
- SINTEF Byggforsk. (2012). *Grønne tak reduserer overvannet*
- Statens Vegvesen. (2014). *Vegbygging. Håndbok N200*. Oslo: Statens Vegvesen
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K. & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt NVE*.
- Suttom, R. K. (2015). *Green Roof Ecosystems*, b. 223: Springer International Publishing Switzerland.
- Wilkinson, S. and Dixon, T. (2016). *Green roof retrofit: Building Urban Resilience*. 1st ed. Wiley Blackwell.
- Yang J, Yu Q, Gong P (2008) *Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago*. Atmos Environ 42(31):7266–7273
- Ødegaard, H. (2012). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Hamar: Norsk Vann

Øyre, A. and Trommald, J. (2018). *Etablering av Bia, en forskningsinfrastruktur med grønne tak.*

Åstebøl, S., Robba, S., Stenvik, G., Kristoffersen, H. and Olsen, S. (2013). *På lag med regnet - Veileder for lokal overvannshåndtering.* COWI.



Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Noregs miljø- og biovitenskapelige universitet
Norwegian University of Life Sciences

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway