



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2018 30 stp

Fakultet for realfag og teknologi

Vegard Nilsen

Et stort grønt tak i Oslo: En analyse av fordrøyningsvirkningen i vinterhalvåret

A full-scale green roof in Oslo: An analysis of the
hydrologic performance during the winter period

Katarina Louise Wulff Hansen

Master i vann – og miljøteknikk

Fakultet for realfag og teknologi

FORORD

Denne oppgaven er utarbeidet i forbindelse med en avsluttende del av masterstudiet innen vann – og miljøteknikk, ved Fakultetet for realfag og teknologi på Norges miljø – og biovitenskapelige universitet (NMBU), Ås. Masteroppgaven tilsvarer 30 studiepoeng, og ble utført våren 2018.

Masteroppgaven er skrevet i samarbeid med konsultantselskapet Multiconsult, vann – og avløpsseksjonen. Arbeidet baserer seg på avrenningsmålinger fra et ekstensivt grønt tak i storskala og tette asfalterte flater, prosjektert av selskapet. I tillegg til målinger, blir det laget en overvannsmoell av analyseområdet for å undersøke funksjonen til overvannsanlegget under dimensjonerte forhold.

Gjennomføringen av oppgaven har gitt meg verdifull kunnskap og større engasjement for vannfaget. Med dette vil jeg rette en stor takk til min hovedveileder Vegard Nilsen, som alltid har vært tilgjengelig hele semesteret og stilt med gode råd, fagkunnskaper og vært en stor inspirasjon gjennom hele masterprosessen.

En stor takk til min tilleggsveileder, Live Holck Johannessen, som har gitt meg muligheten til å skrive denne oppgaven. Takk for gode samtaler i bilen til – og fra jobb, tilbakemeldinger og støtte. Jeg vil også takke alle kollegaene mine i Multiconsult på Ryen, som har vært behjelpelige med spørsmål og gode innspill.

Takk til instrumenttjenesten ITAS for økonomisk støtte og hjelp med måleutstyret. En spesiell takk til Kjetil Sandnes, som har vært til stor hjelp under måleperioden og svart på alle slags mulige spørsmål. Takk til Einar Pedersen på Bring Logistikkcenter for lån av utstyr.

Tilslutt, en stor takk til alle mine gode venner som har gjort tiden som student og hele masterprosessen mye lettere! Mine kjære foreldre og søster - Johnny Wulff Hansen, Lissa Moe Hansen og Victoria Kristin Wulff Hansen, takk for at dere har vært der for meg gjennom hele studietiden og støttet meg når jeg har trengt det mest.

Ås, 11.05.2018

Katarina Louise Wulff Hansen

SAMMENDRAG

Byer og tettsteder blir stadig tettere. Oslo kommune forventer en økning i innbyggertallet på om lag 200 000, til 854 000 fram mot 2040 (Oslo kommune, 2018). Områder som tidligere var ubebygde og preget av naturlige overflater, blir nå til urbane områder med få grøntarealer. Flere tette flater gjør at vannet ikke vil renne sin naturlige vei og infiltrere ned i bakken, men istedenfor ende opp i avløpsnett og renseanleggene. Konsekvensen av dette er at det oppstår problemer med kapasiteten på avløpsnett, som ikke er dimensjonert for å kunne håndtere en økende mengde overvann. Som følge av dette kan det komme skader på bygninger, veier og ledningsnett, trafikale forstyrrelser og verste fall utgjøre en fare for helse og miljø. Klimautviklingen gjør at det kan forventes mer ekstremvær i fremtiden. Skadene vil fortsette å øke om det ikke iverksettes og implementeres tiltak for håndtering av overvann.

Denne masteroppgaven undersøker to overvannsløsninger som befinner seg på Posten Bring terminalen i Alnabru, Oslo kommune. Overvannsanlegget består av et grønt tak, som er et av tiltakene i tretrinnsstrategien Oslo kommune har for håndtering av overvann i urbane områder, og sandfangssluk med slisserenner som skal fordrøye større nedbørsmengder fra de tette flatene. Konsulentselskapet Multiconsult, tidligere Hjellnes Consult, ønsket å kartlegge funksjonaliteten til overvannsløsningene og kvaliteten på prosjekteringen. Med utgangspunkt i dette har oppgaven tatt for seg å analysere fordrøyningsvirkningen til det grønne taket i vinterhalvåret med underordnede mål om å undersøke kvaliteten på anlegget ved hjelp av ulike målemetoder. Nedbør og avrenning ble målt gjennom perioden desember 2017 til mai 2018. En overvannsmodell for anlegget ble laget i modelleringsprogrammet SWMM, for å undersøke dimensjoneringskriteriene lagt til grunn for overvannstiltakene.

Måling av vannføring i vinterhalvåret viste seg å være utfordrende. Uforutsette forhold og elementer dukket opp underveis i måleprosessen. Det ble aldri registrert målinger fra de tette flatene. Årsaken til dette kan være en kombinasjon av flere faktorer: (1) fryst vann, (2) reduksjon i tverrsnittet, (3) turbulent strømming, (4) partikler og smuss og (5) for lite fall i røret. Lengre perioder av avrenningsmålingene fra det grønne var ugyldig. Dette ble funnet til å være på grunn av lave temperaturer og lave vannføringer i kombinasjon med en beregningsfeil i datainnsamlingen.

Resultatene fra målingene viste at fordrøyningsvirkningen til det grønne taket var lav i vinterhalvåret. Under forhold med snø er avrenningsforløpet avhengig av snøsmeltingen. Snøen forsinker avrenningen men gir en lavere total tilbakeholdelse i det lange løp. Dempingen viste

seg å være varierende da denne var avhengig av energibalansen og dybden til snøen. Fordrøyningsvirkningen var bedre for et snøfritt tak da det tilbakeholdt og dempet de nedbørhendelsene som falt under måleperioden. Det er tydelig at det grønne taket fungerer best under forhold uten snø og med høyere temperaturer.

Oppgaven kaster lys over flere problemstillinger som kan oppstå ved undersøkning av et overvannsanlegg. Det er viktig å studere forholdene på et område der måleutstyr skal utplasseres da som bygget-tegninger ikke alltid er korrekte. Resultatene fra oppgaven viser at det fortsatt er stort behov for å undersøke fordrøyningsvirkningen til grønne tak under kalde forhold, med fokus på tilbakeholdelsen over en lengre tidsperiode med ulike oppbygninger og vegetasjon.

ABSTRACT

Cities and towns are becoming more congested. Oslo municipality expects an increase in population of approximately 200,000 to 854,000 by 2040 (Oslo municipality, 2018). Areas which previously were undeveloped and characterized by natural surfaces have now become urban, with few green areas. The Increase in dense surfaces will not allow the water to drain naturally and infiltrate into the ground but will instead end up in the drainage systems and treatment plants. The consequence of this will be a problem with the drainage system capacity which is not dimensioned to handle the increased amount of overflow. As a result, damage may incur to buildings, roads and drainage systems, traffic disturbance and in worst case pose a danger to health and environment. Due to climate change we can expect more extreme weather in the future. The damage will continue to increase if measures are not taken and implemented to handle the increase of stormwater.

This master thesis examines two stormwater solutions located at Posten Bring terminal in Alnabru, Oslo. The storm water system consists of a green roof, which is one of a 3 step strategy that Oslo municipality has implemented to manage surface water in urban areas and a catch basin with chutes which will dislodge larger amounts of waterfall from the dense surfaces. Multiconsult, a consulting company (previously Hjellnes Consult), wished to chart the functionality of the stormwater solutions and quality of the project design. Based on this, the task has been to analyze the hydrologic performance of a green roof during the winter months with subordinate goals of investigating the quality of the site using various methods of measurement. Precipitation and runoff were measured during the period December 2017 to May 2018. A stormwater model was made using the SWMM program, to investigate the design criteria for the underlying stormwater measures.

Waterflow measurement during the winter months proved to be challenging. Unforeseen conditions and elements appeared during the process. No measurements were recorded from the dense areas. The reason for this could be a combination of several factors; (1) frozen water, (2) cross sectional reduction, (3) turbulent flow, (4) particles and dirt and (5) the pressure drop in the pipe. Longer periods of runoff measurements from the green roof were invalid. This was found to be caused by low temperatures and low runoff with an error in data calculation.

Results from the measurements showed that the hydrologic performance of the green roof were low during the winter months. During snow conditions, the runoff stream depended on the snow melting. The snow delays the runoff but gives a lower total retention in the long run. The

peak reduction varied as it was dependent on the energy balance and the depth of the snow. The hydrologic performance proved to be better for a snow-free roof as the total retention and the peak reduction was higher for the rain events during that period. It is clear that the green roof has a better hydrological performance under conditions without snow and higher temperatures.

The thesis shed light on several issues that may arise when investigating stormwater solutions. It is important to study the conditions in an area where measuring equipment is put out, as project drawings are not always correct. The results show that there is still a great need to investigate the hydrologic effects of the green roof in cold climate, focusing on the total retention during a longer period with different layers and vegetation.

INNHALDSFORTEGNELSE

FORORD.....	I
SAMMENDRAG	III
ABSTRACT	V
FIGURLISTE	XI
TABELLISTE	XIII
LISTE OVER FORKORTELSER	XIV
1. INNLEDNING OG PROBLEMSTILLING.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.1.1 Flom i urbane overvannsystemer.....	2
1.1.2 Multiconsult/Hjellnes Consult.....	3
1.1.3 Alnabru, Bring Stasjon	3
1.2 Mål for oppgaven	3
1.3 Problemstilling	3
1.4 Avhandlingens oppbygging.....	4
2 LITTERATURSTUDIUM	5
DEL 1: Overvann og overvannshåndtering	
2.1 Klima.....	5
2.1.1 Klimasystemet	5
2.1.2 Klimautvikling.....	6
2.1.3 Usikkerheter i klimaframskrivningene	8
2.1.4 Klima i Norge.....	8
2.2 Hydrologi.....	9
2.2.1 Urbanhydrologi	10
2.2.2 Nedbør	11
2.3 Overvannshåndtering.....	15
2.3.1 Tradisjonelt overvannsystem.....	16
2.3.2 Lokal overvannsdiskonering (LOD).....	17
2.4 Beregning av overvannsmengder	20
2.4.1 Rasjonelle metode	20
2.4.2 Klimafaktor, K_f	21
2.4.3 Avrenningskoeffisient, C	23
2.4.4 Konsentrasjonstid, t_k	24
2.4.5 IVF-kurve	26
2.4.6 Usikkerheter i den rasjonelle formelen.....	27
2.4.7 Regnenvelopmetode for konstant utløp.....	27

DEL 2: Grønne tak

2.5 Grønne tak	29
2.5.1 Oppbygning av sedumtak	30
2.5.2 Vegetasjon og vekstvilkår	32
2.5.3 Fordrøyningseffekt	34
2.5.4 Fremming av grønne tak i arealplanlegging	36
2.5.5 Planlegging og prosjektering av grønne tak	37
2.6 Tidligere studier	40
2.6.1 Utenlandske studier	40
2.6.2 Norske studier.....	42
3 ANALYSEOMRÅDET & METODER	52
3.1 Analyseområdet, Bring Stasjon felt B1	52
3.1.1 Det grønne taket	53
3.1.2 Parkeringsområdet.....	55
3.2 Beregningsgrunnlag.....	56
3.2.1 Nedbørfeltene	56
3.2.2 Dimensjonering av fordrøyningsvolum.....	58
3.2.3 Lover og retningslinjer for prosjektet.....	59
3.3 Måleutstyr.....	61
3.3.1 Nedbørmåling	61
3.3.2 Målemetode for vannføring.....	62
3.3.3 Datainnsamling.....	66
3.3.4 Usikkerheter ved målemetodene	66
3.4 Matematiske modeller	67
3.4.1 SWMM beregningsmetode og programoppbygning	67
3.5 Modelloppbygning i SWMM	71
3.5.1 Parametere	72
3.5.2 Nedbørdata	73
3.6 Kalibrering av modellen.....	75
3.6.1 Modellbekreftelse	75
3.6.2 Modellfølsomhet	75
3.6.3 Modellvalidering/etterprøving.....	75
3.6.4 Simulering med konstruert regnhendelse	76
3.6.5 Kontruksjon av regnhyetogram	76
3.7 Sammenligning av nedbørdata	78
4. RESULTATER & DISKUSJON.....	79
4.1 Måleutstyr og målinger	79

4.1.1	Observasjoner	79
4.1.2	Registrerte målinger	91
4.2	Diskusjon måleutstyr og metode	120
4.2.1	Valg av måleutstyr.....	120
4.2.2	Snømålinger.....	124
4.3	Modellering	125
4.3.1	Kalibrering.....	125
4.3.2	Modellfølsomhet	128
4.3.3	Modellvalidering/etterprøving.....	129
4.3.4	Resultat av simuleringer	130
4.4	Diskusjon modellering	132
4.4.1	Oppbygning av modell	132
4.4.2	Kalibrering.....	134
4.4.3	Modellfølsomhet	135
4.4.4	Modellvalidering/etterprøving.....	136
4.4.5	Modellsimuleringen.....	136
5.	KONKLUSJON.....	139
6.	PERSONLIG REFLEKSJON OG VIDERE ARBEID	141
	REFERANSER	143
7.	VEDLEGG	i
	Vedlegg A	i
	Vedlegg B.....	ii
	Vedlegg C.....	iii

FIGURLISTE

Figur 2.1: Oversikt over komponentene i det globale klimasystemet (IPCC 2001).....	6
Figur 2.2: Kart over scenariene RCP2.6 og RCP8.5 som et resultat av globale klimaendringer (Stocker et al., 2013).....	7
Figur 2.3: Vannets kretsløp på jorda (USGS, 2016).....	9
Figur 2.4: Urbanisering og avrenning av overvann ved ubebygde, delvis bebygde og tettbebygde områder (NVE, 2017).....	11
Figur 2.5: Prinsippskisse for oppbygging av en urbanstasjon (Dalen et al., 2016).	12
Figur 2.6: Tradisjonelt overvannsystem (Miljødirektoratet, 2016).	17
Figur 2.7: Illustrasjon av treleddsstrategien (NOU 2015:16).	18
Figur 2.8: Åpen overvannshåndtering (Miljødirektoratet, 2016)	19
Figur 2.9: Eksempel på IVF-kurver for Oslo-Blindern (1968-2014) (Førland et al., 2015).	27
Figur 2.10: Skillene mellom de ulike typene av grønne tak benyttet i København kommune (Noreng et al., 2012).....	29
Figur 2.11: Typisk lagoppbygning for et ekstensivt sedumtak (Noreng et al., 2012).	30
Figur 2.12: Nedbør og avrenning fra et referansetak (uten vegetasjon) og et grønt tak etter en uke med tørke (Braskerud, 2009).....	35
Figur 2.13: Minimumsfall i renne for oppbygning av grønne tak (Noreng et al., 2012).....	39
Figur 2.14: Lagoppbygning og vegetasjon for de grønne takene i Trondheim, Bergen og Sandnes (Johannessen & Muthanna, 2016).	43
Figur 2.15: Gjennomsnittlig tilbakeholdelse i % for ulike sesonger for Trondheim, Bergen og Sandnes (Johannessen & Muthanna, 2016).	44
Figur 2.16: Tilbakeholdelse per enkelthendelse for byene Trondheim, Bergen og Sandnes som en funksjon av total nedbør ved ulike sesonger (Johannessen & Muthanna, 2016).....	44
Figur 2.17: Bilde av Braskerud sitt forsøksstak når det var nyanlagt i 2009 (Braskerud, 2014a).	46
Figur 2.18: Intens og kort nedbør på vått tak med vegetasjon og uten vegetasjon 12. juli 2010 (Braskerud, 2014a).	46
Figur 2.19: Snøsmelting og regn/yr med 15 til 7 cm snødekke for de grønne takene GT1b og GT2 over 20 timer (Braskerud, 2014a).....	47
Figur 2.20: Avrenning om våren (Braskerud, 2014a).	48
Figur 2.21: Kart over de ti ulike byene i Nord-Europa der de grønne takene blir analysert (Johannessen et al., 2017).....	50
Figur 3.1: Kart over analyseområdet termoterminal B1 (Norgebilder, 2018).....	52
Figur 3.2: Bildet av rensedammene på tomtens sørside	53
Figur 3.3: Bilder av det grønne taket på Bring Stasjon termoterminal B1 september 2017.....	53
Figur 3.4: Bilder av oppbygningen til det grønne taket tatt den 6. april 2018.....	54
Figur 3.5: Oldroyd Green XV 25 reservoarmembran (Oldroyd, 2016).....	55
Figur 3.6: Som bygget tegning fra prosjektet på posten logistikkcenter, termoterminal B1 (Hjellnes Consult, 2015a).	55
Figur 3.7: Prinsippskisse av slisserenne Aco Drain Q_{max} 900 (Hjellnes Consult, 2014b).....	56
Figur 3.8: Takplan av termoterminal B1 (Hjellnes Consult, 2015b).....	57
Figur 3.9: Plassering og montering av nedbørmåleren 27. november 2017	62
Figur 3.10: Montering av V-overløpet og ultralydsensoren den 27. november 2017.	63
Figur 3.11: Bildet til høyre og venstre viser sensoren 2536 Rotor-X Flow	64
Figur 3.12: Montering og skjøting av langbendet og flow-sensoren den 13. desember 2017.....	65
Figur 3.13: Prinsipptegning av hvordan overflateavrenning oppstår i modellen (Rossman, 2015).	68
Figur 3.14: Skjerm bilde av modellen i SWMM.....	71
Figur 3.15: Nedbør registrert den 26.12.2017 og brukt til kalibrering av modellen.	74
Figur 3.16: Nedbør registrert 30.04.2018 og brukt til etterprøving av modellen.	74

Figur 3.17: Symmetrisk regnhyetogram basert på et 25 års gjentaksintervall	77
Figur 4.1: Befaring av kummene den 26. januar 2018	80
Figur 4.2: Innvendig rør ved demontering (ITAS, 2018c)	81
Figur 4.3: Bildet av påsatt rør for laminær strømning (ITAS, 2018c).....	82
Figur 4.4: Sandfangskummene den 6. april.....	82
Figur 4.5: Vannkvaliteten i rørene den 6. april.	83
Figur 4.6: Nærbilde av sensoren den 6. april for kum syd	83
Figur 4.7: Befaring den 23. januar ved utløpet til det grønne taket.....	84
Figur 4.8: Bilder tatt fra befaring den 7. mars av nedbørmåleren	84
Figur 4.9: V-overløpet den 6. april.	85
Figur 4.10: Løsningen for utløpet til det grønne taket den 6. april.....	85
Figur 4.11: Bilder fra befaring den 25. april 2018.	86
Figur 4.12: Rensedammen og utsiden av V-overløpet den 25. april 2018.	86
Figur 4.13: Bilder av rensedammen oppstrøms og nedstrøms V-overløpet	87
Figur 4.14: Målepunkter (1-13) på det grønne taket hvor snødybden ble målt (Norgebilder, 2018)...	88
Figur 4.15: Bilder av snøen på taket den 22. januar 2018.....	88
Figur 4.16: Snømengder på det grønne taket.....	89
Figur 4.17: Bilder av det grønne taket 6. april 2018.....	90
Figur 4.18: Det grønne taket den 25. april 2018.....	90
Figur 4.19: Graf over snømålingene gjennom perioden i de ulike målepunktene (1-13) målt i cm.....	91
Figur 4.20: Nedbør-, avrenning - og snømengder gjennom hele måleperioden 7. desember til 4. mai	92
Figur 4.21: Avrenning fra vått tak, 27. desember til 28. februar.....	95
Figur 4.22: Avrenning med snø/sluddnedbør, 15 og 16. januar 2018.....	97
Figur 4.23: Avrenning med snønedbør 18 og 19. februar 2018.	98
Figur 4.24: Avrenning etter nedbør med snø på taket i perioden 23 til 25. januar 2018.....	101
Figur 4.25: Våravrenning den 4. april 2018.	103
Figur 4.26: Våravrenning den 8 og 9. april 2018.	105
Figur 4.27: Snøsmelting i perioden 27. mars 2018 til 3. april 2018 uten nedbør	107
Figur 4.28: Snøsmelting i perioden 10. april til 17. april 2018.	108
Figur 4.29: Avrenning under største nedbørhendelse den 26. desember 2017.....	110
Figur 4.30: Avrenning med et snøfritt tak.	112
Figur 4.31: Avrenning fra et snøfritt tak i starten av mai.	113
Figur 4.32: Målinger fra Brobekk og Blindern målestasjon sammen med nedbørdata fra nedbørmåleren på Bring stasjon gjennom perioden 7. desember 2017 til 30. april 2018	117
Figur 4.33: Resultater fra Blindern, Brobekk og Bring målestasjon den 26. desember 2017.....	118
Figur 4.34: Resultater fra Blindern, Brobekk og Bring målestasjon den 4. april 2018.	119
Figur 4.35: Høyden (H) plottet mot vannføringen (Q) for perioden 7. desember til 4. mai	121
Figur 4.36: Primærmodellen.	126
Figur 4.37: Sekundærmodellen	127
Figur 4.38: Følsomhetsanalyse av parameterne i sekundærmodellen.	128
Figur 4.39: Etterprøving av sekundærmodellen på en tilfeldig valgt hendelse uten snø på taket.	129
Figur 4.40: Resultat av simuleringen for det grønne taket ved et 25 års gjentaksintervall	130
Figur 4.41: Resultat av simuleringen for parkeringsområde syd, fra utløp SF22.....	131
Figur 4.42: Resultat av simuleringen for parkeringsområde nord, fra utløp SF25.....	132
Figur 7.1: Teknisk data om sedummattene Sempergreen brukt på det grønne taket på Posten Bring terminalen (Vital Vekst, 2015).....	i
Figur 7.2: Teknisk datablad og beskrivelse av membranen Oldroyd Xv Green 25 (Oldroyd, 2014).....	ii
Figur 7.3: IVF-kurve for Blindern målestasjon (Meteorologisk institutt, 2014).....	iii
Figur 7.4: Tabell for nedbørintensiteten i mm/min ved ulike varigheter for Blindern målestasjon (Meteorologisk institutt, 2014).....	iv

TABELLISTE

Tabell 2.1: Klimafaktorer for ulike regioner i Norge utarbeidet av Norges vassdrags – og energidirektorat (Førland et al., 2015).....	22
Tabell 2.2: Klimafaktorer for installasjoner fra Statens Vegvesens Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2014).....	22
Tabell 2.3: Avrenningskoeffisienter fra Svensk Vatten (COWI, 2015).....	24
Tabell 2.4: Anbefalte strømningshastigheter fra Svensk Vattens veiledning P90.....	25
Tabell 2.5: Oppbygning og bruksområdene av sjiktene i et sedumtak (Noreng et al., 2012).	31
Tabell 2.6: Arter som er aktuelle å bruke under norske forhold basert på norske leverandører sin artsliste (Noreng et al., 2012).	34
Tabell 2.7: Nedbøren fordelt på årstidene over 5 års perioden med total fordrøyning (Braskerud, 2014a).....	49
Tabell 2.8: Minimum lagringskapasitet for å unngå tørke sammen med foreslått lagringskapasitet. (Johannessen et al., 2017).....	51
Tabell 3.1: Beregningsgrunnlag for parkeringsplassen på Posten Alnabru felt B1 (Hjellnes Consult, 2014b).....	58
Tabell 3.2: Volumberegning av slisserennene Aco Drain Q_{max} 900 (Hjellnes Consult, 2014b).	58
Tabell 3.3: Beregningsgrunnlag for det grønne taket på Posten Alnabru felt B1(Hjellnes Consult, 2014b).....	59
Tabell 3.4: Øvre grenser for påslippmengder for overvannsledning og fellesledning (VAV, 2012)...	60
Tabell 3.5: NORVARs minimums dimensjonerende gjentakintervall for felles – og separatavløpssystem (Lindholm et al., 2008).	60
Tabell 3.6: Avrenningskoeffisienter for ulike flater hentet fra Trondheim og Bergen kommune (VAV, 2012).....	61
Tabell 3.7: Avrenningskoeffisienter for ulike områder av Statens vegvesen (VAV, 2012).....	61
Tabell 3.8: Spesifikasjoner for Lambrecht 15189H nedbørmåler (ITAS, 2018a).	61
Tabell 3.9: Spesifikasjoner for PIL P43-F4V-2D-1D0-180E ultralyd avstandsmålesensor (ITAS, 2018a).....	63
Tabell 3.10: Spesifikasjoner for 2536 Rotor-X Flow Sensor (ITAS, 2018b).....	64
Tabell 3.11: Forklaring på parameterne brukt i LID-modulen for grønne tak.	70
Tabell 3.12: Parameterverdier brukt for oppbygging av asfaltområdene nord og syd fra parkeringsområdene	72
Tabell 3.13: Parameterverdier brukt for oppbygging av betongområdene nord og syd fra parkeringsområdene	72
Tabell 3.14: Parameterverdier brukt for oppbygging av primærmodellen i SWMM før kalibrering. T 73	
Tabell 3.15: Resultater fra et 60 minutters regnhyetogram basert på et 25 års gjentakintervall.....	77
Tabell 4.1: Oversikt over total nedbør – og avrenningsdata for hver måned og antall dager med nedbør gjennom perioden 7. desember 2017 til 4. mai 2018.....	93
Tabell 4.2: Oversikt over enkelthendelsene som blir analysert videre.....	94
Tabell 4.3: Oversikt over de to største avrenningstoppene utenfor de ugyldige måleperiodene.....	116
Tabell 4.4: Oversikt over total nedbør over måleperioden fra målestasjonene Brobekk, Blindern og nedbørmåleren på Bring stasjon	117
Tabell 4.5: Parameterjustering. Primærmodellen blir til sekundærmodellen	127
Tabell 4.6: Nødvendig fordrøyningsvolum for det grønne taket med varigheter på 30 og 60 minutter for et 25 års gjentakintervall	138

LISTE OVER FORKORTELSER

ADWP	Antecedent Dry Weather Period
BGF	Blågrønn faktor
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
ITAS	Scanmatic Instrument Technology AS
IVF	Intensitet, Varighet, Frekvens
KF	Klimafaktor
LOD/LOH	Lokal overvannsdiskonering/Lokal overvannshåndtering
MET	Meteorologisk institutt
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NMBU	Norges miljø – og biovitenskapelige universitet
NVE	Norges vassdrags – og energidirektorat
NORVAR	Tidligere navn på Norsk Vann
NOU	Norges offentlige utredninger
NTB	Norsk Telegrambyrå
NTNU	Norges Teknisk-naturvitenskapelige universitet
OV	Forkortelse for overvannsledninger
PBL	Plan – og bygningsloven
RCP	Representative Concentration Pathways
ROS	Risiko – og sårbarhetsanalyser
SSB	Statistisk sentralbyrå
SP	Forkortelse for spillvannsledninger
SWMM	Storm Water Management Model
TEK	Teknisk forskrift
USGS	U.S Geological Survey
VA	Vann og Avløp
VAV	Vann – og avløpsetaten

1. INNLEDNING OG PROBLEMSTILLING

1.1 Bakgrunn

Overvann skaper stadig mer problemer. De siste tiårene har nedbørsmengden i Norge økt, og det ventes at endringene vil fortsette i årene som kommer. Det forventes fram mot år 2100 at Norge vil få et varmere klima med hyppige og mer kraftige regnskylt (Miljødirektoratet, 2017). Den fremtidige vannmengden vil overbelaste store deler av dagens avløpssystem, som ikke er dimensjonert for en økende vannmengde.

En økende befolkningsvekst gir fortetting i byer og tettsteder. Naturlig terreng bygges ned og det blir vanskelig for nedbøren å infiltrere ned i grunnen. Dette gir økende problemer med overvann. Overvann kan føre til skader på infrastruktur, bygninger, helse og miljø.

Overvann er ofte uønsket. Avledning av overvann i bebygde områder har blitt sett på som en kommunal oppgave siden 1800-tallet (NOU 2015:16). Tidligere har håndteringen av overvann basert seg på å frakte vannet fortest og billigst ned i lukkede ledningssystemer. I dag, er fokuset rettet mot en mer bærekraftig håndtering av overvannet. Blant annet har flere kommuner som Oslo, Bergen og Skedsmo utarbeidet en plan for strategi for overvannshåndtering. I Oslo sin helhetlige overvannsstrategi (2017b) er målet at vannet skal få en plass i bymiljøet ved bruk av åpne og flerfunksjonelle overvannsløsninger som infiltrerer, fordrøyer og avleder, såkalt lokal overvannsdiskonering, LOD. Dette er løsninger som håndterer overvannet på stedet, slik at naturen tar hånd om vannet på sin egen måte. Ved å bruke og legge til rette for slike tiltak vil det øke kapasiteten i det eksisterende ledningsnettet, redusere tilførselen av forurensning til resipient, forbedre vannkvaliteten og forhindre skadelige flomsituasjoner.

Denne oppgaven tar for seg et overvannsanlegg bestående av et grønt tak og sandfangssluk som et konsulentfirma har prosjektert. For å undersøke funksjonen til det grønne taket på analyseområdet ble måleutstyr utplassert. Nedbør – og avrenning ble målt over vinterhalvåret ved bruk av to ulike målemetoder. Analyseområdet ble bygget i en overvannsmodell i programmet SWMM for å undersøke funksjonaliteten til anlegget ved de satte beregningskriteriene utført av konsulentselskapet. Ved bruk av de registrerte måleresultatene fra måleutstyret ble det foretatt en analyse av fordrøyningsvirkningen til det grønne taket.

1.1.1 Flom i urbane overvannsystemer

En av de største truslene for bygninger og infrastruktur er flom i urbane områder. Flom defineres som «*oversvømmelse av land som normalt er tørt*» (NVE, 2011). Der det finnes en større andel tette flater, oppstår flommen raskere ved ekstremregn. Problemene vil vedvare og bli verre i fremtiden om kapasiteten til ledningsnettene ikke utvides samtidig som påslippet til det kommunale ledningsnettene reduseres.

I Norge og utlandet, er flere store flommer rene regnflommer. Eksempler her er monsterregnet i København 2011, ekstremværet Dagmar på Nord-Vestlandet i 2011 og storflommen på Sørlandet i 2017. Det er store kostnader og ulemper i forbindelse med oversvømmelser. Fra monsterregnet i København ble det totalt meldt omkring 80 000 skademeldinger med et erstatningsbeløp på rundt 6 milliarder danske kroner. På bare 10 minutter hadde 30 mm nedbør nådd bakkenivå. For en regnvarighet på 10 minutter gir dette et gjentakintervall på 1000 år. En slik hendelse var ikke avløpssystemet dimensjonert for (Lindholm et al., 2013).

Direktoratet for samfunnsikkerhet og beredskap i rapporten «Risikoanalyse for regnflom i by», mener det er svært sannsynlig (100%) at et monsterregn kan oppstå i en av de 20 mest utsatte byene rundt Oslofjorden/Skagerak. I løpet av de neste 50 årene kan det forventes at halvparten av de 20 byene vil oppleve en slik kraftig nedbørhendelse (DSB, 2016). Ikke nok med at slike hendelser gir store skader på bygninger, veier og ledningsnettene, så bidrar det også til trafikkforstyrrelser, høyere grunnvannsnivå, store forurensningsutslipp og i verste fall sykdommer (Lindholm, 2008). På grunn av de store skadene og kostnadene slike hendelser fører med seg, er det blitt et større behov for å analysere vannføringer og oppstuvninger i ledningsnettene grundig.

For å fastsette oversvømmelsesrisikoen og optimale tiltak, ble det i 2010 pålagt at alle kommuner i Norge gjennomfører risiko – og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser) (SINTEF, 2015). Analysene skal brukes som et planleggingsgrunnlag for byggesaker og skal kartlegge risikofaktorer som blant annet økte klimapåkjenninger.

Ifølge forskningsrapporten «Bygninger og infrastruktur – sårbarhet og tilpasningsevne til klimaendringer» av Flyen et al. (2014), ligger flere kommuner etter med å fullføre dette arbeidet. Dette gjør at utbyggere må innhente informasjon om klimarisiko – og sårbarhet, som kan resultere i varierende og tilfeldig kvalitet.

1.1.2 Multiconsult/Hjellnes Consult

Denne masteroppgaven er et samarbeid med konsulentfirmaet Multiconsult, tidligere Hjellnes Consult. Samarbeidet startet våren 2017 og omfatter undersøkning av et overvannsanlegg konsulentfirmaet har prosjektert. Multiconsult har tilbudt sine rådgivende tjenester siden 1908 og vært interesserte i å kartlegge flere problemstillinger som blant annet kvaliteten på prosjekteringen av overvannsløsninger. Masteroppgaven sammenfaller med deres strategi for vann og avløp (VA) om å undersøke og overvåke vannmiljø, samt bidra til utvikling av kunnskap om planlegging av overvannshåndtering.

1.1.3 Alnabru, Bring Stasjon

Overvannsanlegget befinner seg på Europas mest moderne logistikkcenter, Posten Bring terminalen på Alnabru i Oslo kommune. Tomteområdet er på rundt 114 000 m² og har en investeringskostnad på 1,5 milliarder kroner (Hansen, 2017). Arbeidet startet høsten 2012 og var ferdig om lag 5 år senere. Overvannsanlegget består av et grønt tak, som er et av tiltakene i tretrinnsstrategien som Oslo kommune har for overvannshåndtering i urbane områder. Den andre delen består av en parkeringsplass med sandfangsluk. Måleutstyret ble plassert ut på definerte områder i anlegget og ble levert av instrumenttjenesten ITAS.

1.2 Mål for oppgaven

Det overordnede målet for denne oppgaven er å undersøke fordrøyningsvirkningen til et stort grønt tak under kalde forhold. Underordnede mål:

- Evaluere konsulentselskapets overvannsberegninger fra prosjekteringsfasen i lys av hvordan det ferdige taket fungerer i praksis.
- Bidra til ytterligere datainnsamling og forståelse av den hydrologiske ytelsen til grønne tak i full skala.

1.3 Problemstilling

Opgaven ønsker å besvare følgende problemstillinger knyttet opp mot det overordnede og de underordnede målene:

- Hvordan er fordrøyningsvirkningen til det grønne taket?
- Kan noe sies om konsulentselskapets forutsetninger og beregninger for det grønne taket sett i lys av de observerte dataene?
- Er de valgte målemetodene for vannføring og nedbør egnet for formålet?
- Er en enkel SWMM-modell i stand til å modellere avrenningen fra taket med tilfredsstillende nøyaktighet?

1.4 Avhandlingens oppbygging

Denne oppgaven er organisert som følger i sin presentasjon av informasjon og data.

Kapittel 1 går igjennom bakgrunnen for avhandlingen. Deretter presenteres målene for oppgaven og problemstillingene som det er ønsket å finne svar på.

Kapittel 2 presenterer relevant litteratur og teori om emnet. I første delkapittel, blir det en gjennomgang av hydrologi, klima og måleinstrumenter for måling av nedbør og vannføring. Deretter blir overvannshåndtering og beregning av overvannsmengder presentert. I andre delkapittel, blir oppbygningen og funksjonen til grønne tak beskrevet, etterfulgt av prosjekteringskriterier og tidligere studier i utlandet og i Norge.

Kapittel 3 gir informasjon om analyseområdet. Hvordan overvannsanlegget er prosjektert med tilhørende beregninger, lover og retningslinjer. Deretter blir måleutstyret beskrevet og valg av løsning og plassering begrunnet. Tilslutt blir oppbygning av overvannsmodellen i SWMM og kalibreringsprosessen presentert med valgte inputparametere. Tilslutt blir metoden for sammenligning av nedbørdata med andre målestasjoner beskrevet kort.

Kapittel 4 viser relevante observasjoner og måleresultater fra forsøksperioden. Først, en presentasjon av måleresultatene ved ulike hendelser og diskusjon av funksjonen til det grønne taket. Resultatene blir sammenlignet med hverandre og med tidligere relevant litteratur. Deretter blir nedbørmålingene sammenlignet med de nærmeste målestasjonene, Blindern og Brobekk målestasjon. Etterfølgende blir valg av måleutstyr, observasjoner og snømåling diskutert. Tilslutt blir de modellerte resultater fra overvannsmodellen laget i SWMM presentert og vurdert.

Kapittel 5 gir svar på problemstillingene så langt det er mulig og presenterer de viktigste funnene i avhandlingen.

Kapittel 6 gjennomgår forfatterens personlige refleksjoner over oppgaven og gir videre anbefalinger til arbeidet.

2 LITTERATURSTUDIUM

DEL 1: Overvann og overvannshåndtering

2.1 Klima

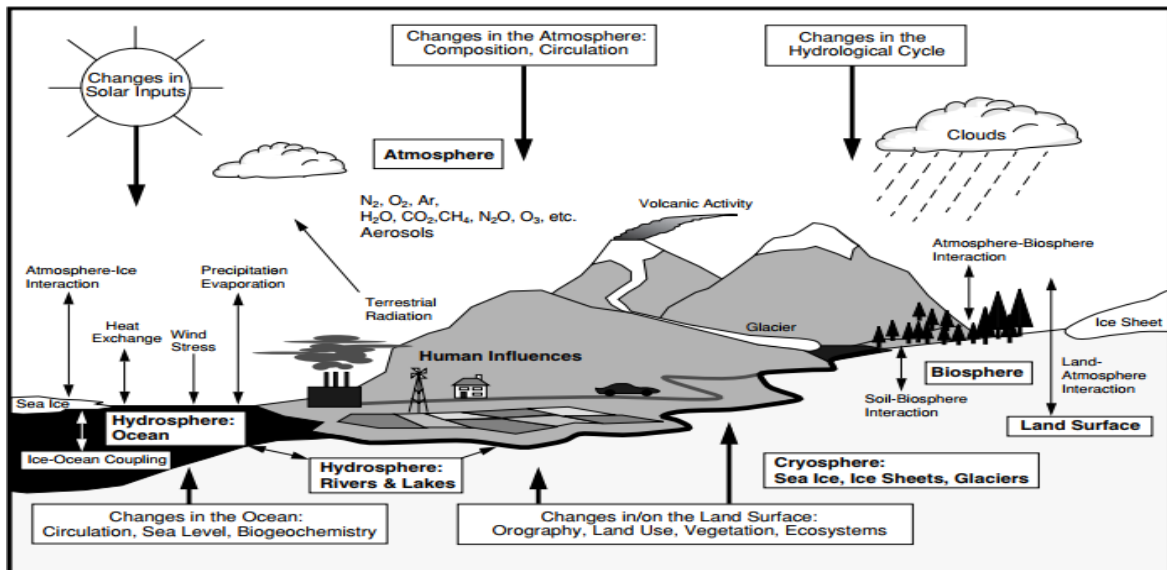
Begrepene vær og klima blir ofte brukt om hverandre. Været er det man opplever på et bestemt sted ved et gitt tidspunkt. Klima er derimot en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer (Meteorologisk Institutt, 2017a). Været kan sies å være enkelthendelser som varierer fra dag til dag, mens klima er gjennomsnittet av alle disse enkelthendelsene over en lenger periode.

Når det er snakk om klima, brukes det normalperioder. Dette er for at man over hele verden skal kunne sammenligne verdier for samme tidsperiode. En normalperiode er en 30-årsperiode som brukes for å beregne normalverdier av meteorologiske data, der disse tallene kan fungere som en referanse frem til neste normalperiode (Meteorologisk Institutt, 2017c).

Begrepet klima blir ofte assosiert med fremtidige utfordringer og tilpasninger. I en planleggingsprosess, er klimaet en stor faktor som må tas hensyn til. For mange sektorer i Norge er klimatilpasning viktig (NOU 2010:10). Om begrepet klimatilpasning også inkluderer tilpasning til dagens klima, finnes det mange sektorer som har praktisert klimatilpasning i mange år (Hanssen-Bauer et al., 2015). I lang tid har man benyttet historiske klimadata for å beregne statistikk. FN's klimapanel sin femte hovedrapport, «Klima i endring», viser at det ikke lenger er tilstrekkelig å basere klimatilpasning på kun det klimaet vi har opplevd hittil for planlegging 50 til 100 år frem i tid (FNs Klimapanel, 2013). Det er derfor skapt et stort behov for å beskrive hva slags klima man burde være forberedt på i fremtiden.

2.1.1 Klimasystemet

Klimasystemet er de fysiske delene av jordkloden som bestemmer klimaet på jordoverflaten. FNs klimapanel, International Panel on Climate Change (IPCC), har som formål å samle og informere kunnskap om eventuelle forandringer i jordas klima som man kan vente seg i fremtiden. Organisasjonen deler klimasystemet inn i fem hovedkomponenter: atmosfæren, hydrosfæren, kryosfæren, jordoverflaten og biosfæren (IPCC, 2018). Disse blir påvirket av ulike eksterne mekanismer hvorav den viktigste er sola, figur 2.1.



Figur 2.1: Oversikt over komponentene i det globale klimasystemet, deres prosesser og samspill (IPCC 2001).

Klimasystemet drives av stråling fra sola. Sola sender ut kortbølget¹ stråling som går ganske uhindret gjennom atmosfæren, absorberes av jorda og sendes ut igjen som langbølget² stråling som så kan absorberes av atmosfæren. Den innkommende solstråleenergien er balansert av den utgående energien (Hanssen-Bauer et al., 2015). Dersom denne energibalansen forandres, vil dette forandre prosessene og samspillet til de ulike komponentene i klimasystemet. En endring i energibalansen fører altså til klimaendringer.

2.1.2 Klimautvikling

Til alle tider har klimaet variert av naturlige årsaker. Dette er som følge av variasjon i stråling fra sola, refleksjonen til rommet, utstråling fra jorda og atmosfæren (Hanssen-Bauer et al., 2015). I første delrapport av IPCC sine siste publikasjoner, «Climate Change 2013», hevder de at det er 95 – 100 % sannsynlig at hovedårsaken til den observerte økningen i global temperatur fra 1950 og fram til i dag, skyldes menneskelig utslipp av klimagasser (Stocker et al., 2013). Økningen i oppvarmingen har vært størst i den nordlige delen av halvkulen. Konsekvensene av klimaendringer er blant annet: en økning i flere varme enn kalde døgn, økning i nedbørmengde og intensitet for mange områder, tilbaketrekking av isbreene, smelting av polene og et stigende havnivå (FNs Klimapanel, 2013).

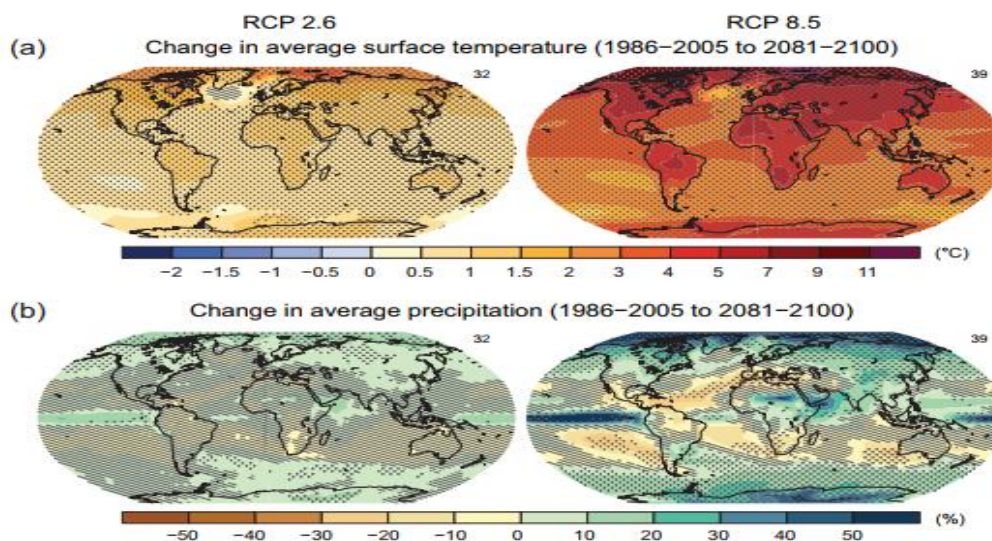
For beregning av fremtidig klimautvikling benyttes globale klimamodeller «Global Climate Models» (GCM). Klimamodellene skildrer prosessene i klimasystemet og samspillet mellom dem. Modellene er basert på matematiske ligninger og simuleringer av ulike variasjoner i

¹ Kortbølget stråling skyldes forandringer i atomkjernens struktur (Grøn, 2016).

² Langbølget stråling skyldes en samlet bevegelse i kretsen av elektriske ladninger (Grøn, 2016).

klimasystemet og varmetilførsel, som skaper en ubalanse i utvekslingen av energi med verdensrommet (Hanssen-Bauer et al., 2015).

Forskjellige scenarier av framtidige utslipp av klimagasser framstilles som RCPer («Representative Concentration Pathways»). I Norge benyttes RCP2.6, RCP4.5 og RCP8.5, der tallene refererer til økningen i netto varmetilførsel i året 2100, i forhold til referanseåret 1765, oppgitt i W/m^2 . RCP2.6 representerer et lavt utslippsscenario, der konsentrasjonen av klimagasser i atmosfæren starter å minke fra år 2040 og er mot slutten av år 2100 bare litt høyere enn dagens nivå³. RCP4.5, et mer stabilt utslippsscenario, innebærer at utslippet av klimagasser i atmosfæren ved 2080 må ligge på et nivå som er ekvivalent med ca. 40 % av utslippet i 2012⁴. Ved dette tilfellet er det estimert en økning i temperatur på 2,5 °C. Det siste scenariet, RCP8.5, innebærer at økningen i klimagassutslipp følger den utviklingen man har opplevd så langt de siste tiårene. Innen slutten av århundret vil CO₂-utslippet tredobles. Som et resultat av det, antas temperaturen å øke mer enn 4 °C i år 2100, og vil fortsette å stige.



Figur 2.2: Kart over scenariene RCP2.6 og RCP8.5 av (a) endring i årlig gjennomsnittlig overflatetemperatur gitt i perioden 1986-2005 (venstre bilde) og 2081-2100 (høyre bilde), (b) endring i gjennomsnittlig nedbør gitt i perioden 1986-2005 (venstre bilde) og 2081-2100 (høyre bilde) som et resultat av globale klimaendringer (Stocker et al., 2013).

Høyere utslipp av klimagasser fører til en økning i global gjennomsnittstemperatur. En varmere klode gir opphav til kraftige og hyppige nedbørshendelser, ettersom varm luft klarer å holde på mer vanddamp enn kald luft.

³ Baserer seg på en forutsetning om fallende oljebruk, redusert forbruk av energi og ved slutten av år 2100 en verdensbefolkning på ni milliarder mennesker (Hanssen-Bauer et al., 2015).

⁴ Forutsetninger er at det drives god klimapolitikk og at utslippene reduseres samtidig som verdensbefolkning og matproduksjonen øker.

Bildene øverst i figur 2.2 viser hvordan gjennomsnittstemperaturen forandrer seg for ulike deler av kloden fram til slutten av århundret ved RCP2.6 til RCP8.5. Ved det høyeste klimautslippstilfellet, RCP8.5, kan gjennomsnittstemperaturen øke med opptil 4,5 °C. Bildene nederst i figuren viser at hvis klimatrenden fortsetter slik som de siste tiårene, kan nedbørsmengdene øke opptil 40-50 % i de nordlige områdene, mens nedbøren vil minke for tørre subtropiske områder frem mot slutten av dette århundret (Stocker et al., 2013).

2.1.3 Usikkerheter i klimaframskrivningene

Det er vanskelig å fastslå hvordan klimaet i fremtiden kommer til å være. Usikkerheten blir enda større for lokale områder enn på globalt nivå. Usikkerheten handler ikke om hvordan menneskelig aktivitet endrer klimaet, men størrelsen på belastningen (Hanssen-Bauer et al., 2015). Den største usikkerheten i klimaframskrivningene avhenger av de naturlige variasjonene, da det er umulig å forutse hva som vil skje i naturen. De menneskeskapt utslippene og hvor store de blir, er tatt høyde for i analysen av de ulike scenariene. Likevel finnes det usikkerheter i en modell, da modellen bare er en tilnærming av virkeligheten. En annen stor usikkerhet er hvor følsomt klimasystemet er for ulike faktorer, som omtrent er umulig å forutse. For Norge vil det ligge store usikkerheter i hvor store endringene blir i havområdene rundt oss (Miljødirektoratet, 2017).

2.1.4 Klima i Norge

Nedbørsfordelingen i Norge er preget av topografi og vindforhold. På vestkysten, som er berørt av høye fjell der områder kan få mellom 2000 mm til 3000 mm normal årsnedbør (Dannevig & Harstveit, 2013). På grunn av den store nedbøren som faller over fjellene, får Norge en gjennomsnittlig nedbør på 1400 mm per år. I Norge regner det mest om høsten og minst om våren og etter vinteren. I innlandsområder og kystområder er det henholdsvis ca. 100 og 150 dager i året med nedbør. For noen steder på vestkysten regner det ca. 200 dager i året (Dannevig & Harstveit, 2013).

For Oslo-området, som er aktuelt for denne oppgaven, regner det årlig 763 mm i året. Den våteste og tørreste måneden er henholdsvis september og februar, der det regner i gjennomsnitt 90 og 36 mm nedbør (Dannevig & Harstveit, 2013).

Rapporten «Klima i Norge 2100» av Miljødirektoratet, viser beregninger om fremtidens klima i Norge. Rapporten danner et bilde av hovedtrekkene av hva man kan forvente med det høyeste utslippsscenarioet, RCP8.5 (Hanssen-Bauer et al., 2015):

- En økning i gjennomsnittstemperatur med 4,5 °C innen år 2100. Det forventes å øke mer om vinteren enn om sommeren.
- Temperaturøkningen ventes å bli størst i Nord-Norge. Dette gjelder også for innlandet sammenlignet med kysten.
- Fram mot år 2100 vil nedbøren øke med 18 %.
- Antall dager med intens nedbør vil fordobles og episoder med styrtregn vil bli kraftigere.
- Mengden av nedbør på dager med intenst regn vil øke med 19 %.
- Hele landet vil få kortere snøsesong. Snøsesongen vil bli spesielt kort i lavlandet.
- Flomstørrelsen i vassdrag som allerede domineres av regnflom, vil øke med opptil ca. 60 %.

2.2 Hydrologi

Norges vassdrags – og energidirektorat, NVE, er nasjonalt ansvarlig for hydrologi i Norge og definerer hydrologi slik (2018): «Det geofysiske faget som omhandler vannet på jorda, forekomsten, sirkulasjonen og fordelingen av dette, de kjemiske og fysiske egenskapene og reaksjonene med omgivelsene, inkludert relasjonen til levende organismer». Dette er altså læren om vannet og dets kretsløp. Vannets kretsløp består av flere delsystemer og beskriver hvordan vannet beveger seg i forskjellige former oppå, inn i, og over jorda, figur 2.3.



Figur 2.3: Vannets kretsløp på jorda. Kretsløpet består av flere delsystemer og beskriver hvordan vannet beveger seg (USGS, 2016).

Vannets kretsløp blir drevet av sola, i likhet med mange andre prosesser på jorda. Ved hjelp av vannbalanseligningen, har man et uttrykk for de hydrologiske prosessene på jordoverflaten (UIO, 2018):

$$P = R + E + I + \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Formel 2.1: Vannbalanseligningen.

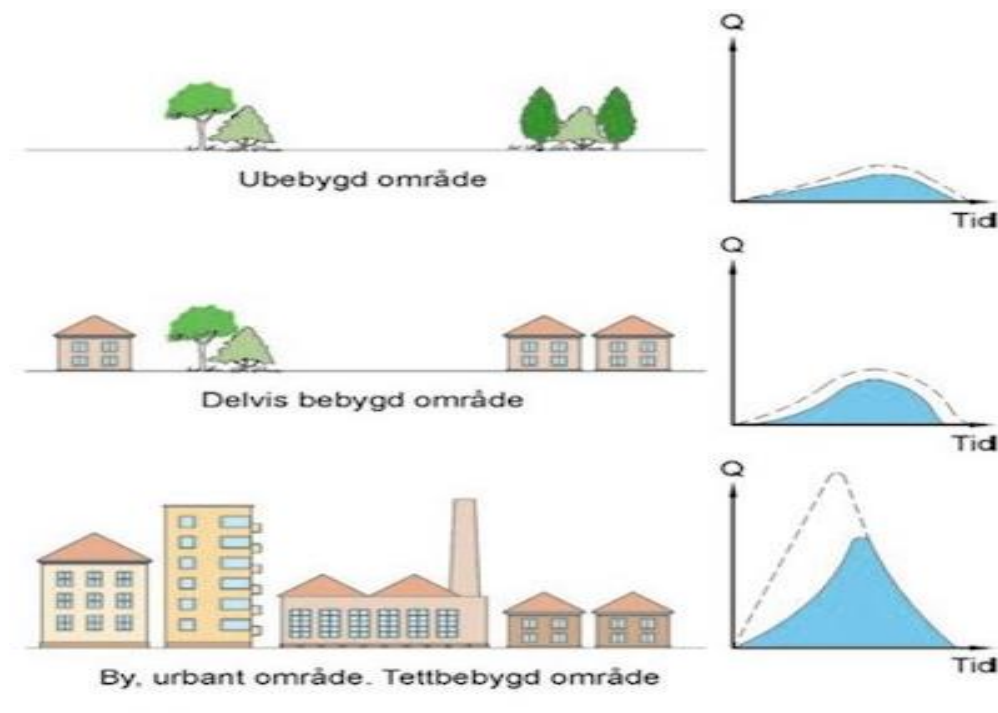
Der	P	= <i>precipitation</i> ; nedbørintensitet	[L ³ /T]
	R	= <i>runoff</i> ; avrenning	[L ³ /T]
	E	= <i>evapotranspiration</i> ; evaporasjon og transpirasjon	[L ³ /T]
	I	= <i>infiltration</i> ; infiltrasjon	[L ³ /T]
	ΔS	= <i>storage</i> ; endring i magasinivolum	[L ³]
	Δt	= <i>time</i> ; tid	[T]

Vannbalanseligningen uttrykker at vann ikke kan forsvinne. Vann kommer inn i systemet som nedbør og forsvinner ut av systemet som fordampning, infiltrasjon og avrenning. Noe vann blir lagret over tid i overflatemagasiner.

2.2.1 Urbanhydrologi

Som følge av utbygging av naturlige områder, har det blitt dannet et nytt problembegrep, urbanhydrologi. Urbanhydrologi omhandler den delen av vannets kretsløp som er preget av bebygde områder (NVE, 2017). Utbygging av byer og tettsteder fører til flere tette flater, som gjør det vanskelig for vannet å infiltrere naturlig ned i grunnen. Resultatet er en endring i nedbørsfeltet og vannbalansen (Norsk Hydrologiråd, 2011). Overvann fra tette flater renner hurtigere og i større mengder enn overvann som renner av fra permeable flater. Dette gjør også at konsentrasjonstiden blir mindre ved urbanisering, se avsnitt 2.4.4 konsentrasjonstid. En studie av Haase (2009) gjennomført i Leipzig fra 1870 til 2003, viste at 75 % av nedbøren endte som overflatevann i de byområdene der flatene var nesten fullstendig tette. En konklusjon fra studien var at med andel økte flater, økte overvannsmengdene og fordampningen ble redusert. Figur 2.4 illustrerer hvordan avrenningen endrer seg i takt med urbaniseringen. For ubebygde områder vil avrenningen fordrøyes, og det vil skape en slakere avrenningstopp. For

tettbebygde områder viser figuren at avrenningen vil oppstå hurtigere og man vil få en spissere topp, som resulterer i avrenningsproblemer og komplekse utfordringer for avløpssystemet (Haase, 2009).



Figur 2.4: Urbanisering og avrenning av overvann ved ubebygde, delvis bebygde og tettbebygde områder. Den stiplede linja representerer fremtidig intensitetsøkning (NVE, 2017).

2.2.2 Nedbør

Korttidsnedbør har i de senere år økt i Norge. Det er intens nedbør på bare noen få timer som forårsaker de største skadene i urbane områder. Slik nedbør skyldes i hovedsak konvektiv nedbør (DSB, 2016). Det skilles vanligvis mellom tre karakteristiske nedbørtyper:

Orografisk nedbør: utløses når fuktig luft tvinges til å stige opp i luften på grunn av hindringer i terrenget. Det blir en avkjøling av lufta og det dannes orografiske skyer. Dette er fordi kald luft ikke klarer å holde på like høy fuktighet som varm luft, - og fuktigheten faller ned som nedbør. Orografisk nedbør har lav intensitet og spres seg over tid på større områder (Pedersen, 2012).

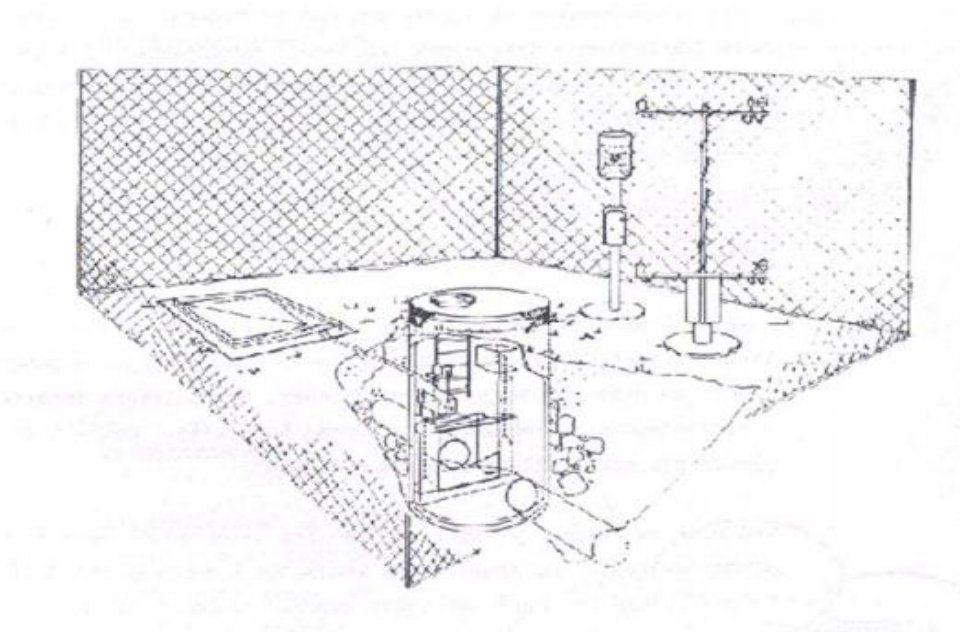
Konvektiv nedbør: oppstår når oppvarming av bakken gjør at lufta varmes og stiger opp. Etter hvert avkjøles lufta seg og det dannes nedbør. Denne nedbøren har stor intensitet og beveger seg over et lite areal (Meteorologisk Institutt, 2017b)

Frontnedbør: ved denne type nedbør kolliderer varm luft med kald luft, hvor den varme lufta presses over den kalde lufta, og avkjøles. Frontnedbør har lav intensitet, beveger seg over et større område over lengre tid (Meteorologisk Institutt, 2017a).

Intens nedbør som opptrer over noen få timer skjer ofte veldig lokalt. Dette er nedbør som kan være vanskelig å måle og varsle.

2.2.2.1 Hydrologiske urbanstasjoner

Den siste tiden har man erfart økende interesse for de hydrologiske følgene av natur-, klima- og landskapsforandringer. Urbanstasjoner er stasjoner som er plassert i urbane områder. Det finnes ni av disse i Norge, som kontinuerlig logger data om vannføring, kortidsnedbør, snøsmelting og lufttemperatur (Dalen et al., 2016). I NVE er urbanstasjonene bygd opp prinsipielt med en kortidsmåler for nedbør, lufttemperatursensor og et snøsmeltebrett, figur 2.5. Alle stasjonene måler data med en god tids – og parameteroppløsning og er fjernoverførte (Dalen et al., 2016). Dataene blir lagret i HYDRA II⁵. NVE benytter denne databasen til å kontrollere, arkivere og analysere hydrologiske data (NVE, 2015). Dette er et grunnleggende og viktig verktøy for planlegging av håndtering av overvann.



Figur 2.5: Prinsippskisse for oppbygging av en urbanstasjon med nedbørmåler, lufttemperaturmåler, snøsmeltebrett og for måling av vannstand en kulvert med måleprofil (Dalen et al., 2016).

⁵ Hydra II er Norges nasjonale hydrologiske database. Den er egenutviklet av Norges vassdrags – og energidirektorat (NVE) og inneholder tidsserier fra midten av 1800-tallet (NVE, 2015).

2.2.2.2 Nedbørmåling

Nedbør er vann i flytende eller fast form som faller på bakken. Det er i hovedsak to måter man måler nedbør på. Basert på World Meteorological Organizations (WMOs) anbefalinger, er det utarbeidet krav og retningslinjer for plassering av nedbørmålere tilpasset forholdene i Norge. Meteorologisk Institutt følger minstekravene fra WHOM for å sikre at observasjoner følger internasjonal standard. Nedbørmåleren bør monteres på egen stolpe i 1,5 – 2 meter over terrengnivå. Ved store snømengder bør stolpen vurderes å monteres enda høyere. Den bør stå på et relativt flatt område, for å hindre at det blir sterk eller turbulent vind rundt nedbørmålere. Det er også krav om at nedbørmåleren ikke står nært vannoverflater. Dette er fordi luften over vannoverflaten blir påvirket og skaper tregere svingninger i temperaturen. Krav om avstand til varmekilder som betong-, asfalt-, og grusflater, hus og ventilasjonsanlegg er minst 10 meter (Meteorologisk institutt, 2018).

Det finnes to kategorier av nedbørmålere. Den vanligste er automatiske nedbørmålere. Dette omfatter vektnebdørmålere og vippepluviometre. Vektnebdørmålere veier nedbøren for å se hvor tung den er. Vektøkningen til bøtta regnes om til mm nedbør. Ved denne måten spiller det ingen rolle om det er snø eller vann som blir veid. Et vippepluviometer teller hvor mange ganger et standard volum-, fylles opp og tømmes. Skal man måle for lengre perioder med temperaturer under 0 °C, burde man ha nedbørmåler utstyrt med varme (Meteorologisk institutt, 2018).

Den manuelle nedbørmåleren innebærer å bruke en bøtte som tømmes 1-4 ganger i døgnet. Deretter leser man av vannhøyden i et måleglass hvor nedbøren blir vist i millimeter. Ved manuell måling er det viktig å ha en god rutine for vedlikehold av utstyret (Meteorologisk institutt, 2018).

2.2.2.3 Måling av vannføring

Det er ofte behov for å måle volumstrømmer i transportsystemer for vann og avløp. Måleprinsippene varierer for væsketransport som trykksatte eller ikke. For trykksatte, lukkede rørsystemer er den vanligste målemetoden elektromagnetiske målere, men for slike systemer er det flere prinsipper å velge mellom. For lukkede systemer som ikke er trykksatte og som ikke er fylte, finnes det andre spesielle elektromagnetiske målinger som kan brukes hvis de kan monteres inne i rørsystemet. I andre typer systemer som renner, nedgravde rør, kulverter osv. der det ikke er praktisk å montere sensorer inne i systemet, benyttes ofte målerenner (VAV, 2017a).

Måling av vannføring i lukkede rør kan måles direkte ved å montere sensorer i eller på røret. Flere ulike vannføringsmålere finnes på markedet (Grønsten et al., 2012):

- **Ultralydsensor**
Vanligvis montert på utsiden av røret.
- **Elektromagnetisk måling**
Monteres inn på røret i egen rørdel.
- **Pitotrør**
Monteres inne i røret ved hjelp av en flens eller gjennomgang.

For andre typer systemer der man må måle vannføringen med fritt vannspeil, finnes det to prinsipper: måling av høyden til vannspeilet eller måling av vanntrykket over bunnen. Ved valg av utstyr må man ta hensyn til de lokale forholdene. For registrering av vannstand finnes det ulike løsninger (Grønsten et al., 2012):

- **Trykkcelle**
Skaper et elektrisk signal ved gass eller væske trykk.
- **Flottørmåling**
Krever brønn i tilknytning til profilet. Den registrerer vannstandsendringer ved mekaniske signaler.
- **Boblerørsanlegg**
En tykktransmitter på bunnen er tilkoblet et boblerør som er nedsenket.
- **Ultralydsensor**
Monteres loddrett over vannspeilet og måler vannstanden.

Vannføring over et profil beregnes enten ved å bruke et naturlig profil hvor man etablerer en vannføringskurve eller ved å bruke et konstruert profil med en standardisert formel for vannføringen. Den siste metoden benyttes der den minste vannføringen er liten eller et naturlig profil ikke finnes. V-profilet er det mest brukte konstruerte profilet. Fordelen med et V-profil er at de er enkle å konstruere, gir nøyaktige målinger, fungerer ved små vannføringer og vannføringen kan beregnes teoretisk. V-profilets dimensjoner må tilpasses den forventede vannføringen (Grønsten et al., 2012).

2.2.2.4 Usikkerhet i nedbørmålingene

Følger man ikke kravene som Meteorologisk Institutt har fremlagt, er det lett å få usikkerhet i målingene. Dette gjelder for plasseringen av måleinstrumentet, om den plasseres i skyggen av bygninger og naturlige vekster, da nedbørmåleren underestimerer nedbøren som kommer. Vinterperioden kan utsette målerne for frysing om man ikke har nedbørmåler med innlagt varme (Meteorologisk institutt, 2018).

For å hindre isdannelse i de manuelle nedbørmålerne, er det felles for bøttene at de er fylt med en væske. Vanlig er en blanding av etylenglykol og metanol. Om sommeren tilsettes det et lite oljelag i bøtta. Dette er for å unngå fordampning på varme sommerdager. Olje brukes i denne sammenheng fordi olje er lettere enn vann, og fordamper ved en høyere temperatur (Meteorologisk institutt, 2018).

Andre usikkerheter kan komme inn ved dårlig drift og vedlikehold av målerne. For manuelle målere er det viktig å sjekke om det ikke har kommet fremmedlegemer i bøtta, sørpe eller snø i væskeoverflaten og at bøtta skal henge fritt og være i vater. For automatiske målere er det viktig at klokken er riktig innstilt i universaltid/UTC og måleutstyret er rent og i vater. I tillegg må man regne med unøyaktigheter i måleutstyr. En vektmåler har for eksempel en målenøyaktighet på +/- 0,2 mm, og +/- 2 % for mengde mindre enn 10 mm og over 10 mm. Et vippepluviometer har en målenøyaktighet på +/- 0,1mm, og +/- 2 % for mengder mindre enn 5 mm og over 5 mm. Målenøyaktigheten ved intensiteten for et vippepluviometer er +/- 5 % for en intensitet > 2 mm/time. For en vektmåler er målenøyaktigheten ved intensiteten ikke anvendbar (Meteorologisk institutt, 2018).

2.3 Overvannshåndtering

Overvann defineres som overflateavrenning som følge av nedbør og smeltevann, i henhold til NOU⁶: Overvann i byer og tettsteder, 2015:16. Store nedbørsmengder vil fylle avløpsnett, som vil by på utfordringer. De fremtidige klimaendringene, se underkapittel 2.1.2, vil føre til flere dager med kraftig nedbør og høyere intensitet. I tillegg vil urbanisering føre til en økt andel tette flater. Den økende vannmengden vil få vanskeligheter med å infiltrere, som resulterer i høyere avrenningstopper. De siste årene har fokuset blitt rettet mot å håndtere overvannet lokalt, ved hjelp av infiltrasjon og fordrøyning. Hvordan overvannet håndteres, har mye å si for den fremtidige situasjonen vi skal leve i. Målet med overvannshåndteringen er å (Åstebøl et al., 2017):

⁶ NOU = Norges offentlige utredninger.

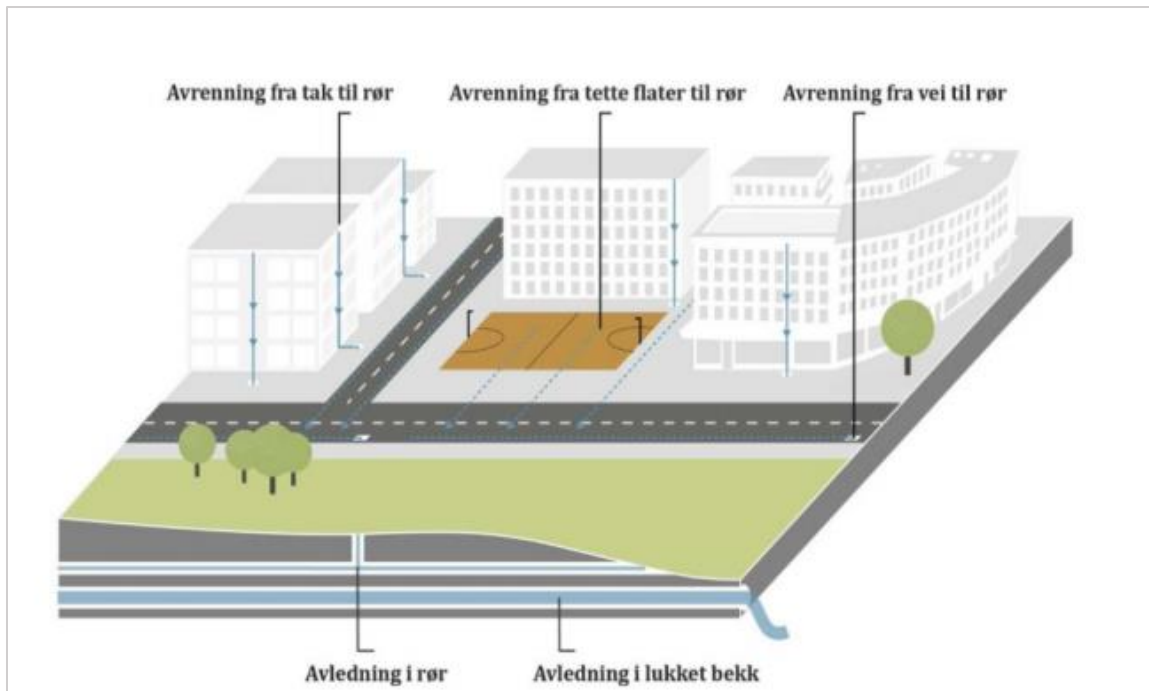
- Avlede nedbør for å forhindre skader på helse, miljø og infrastruktur.
- Bruke overvannet som en ressurs.
- Fremme det biologiske mangfoldet.

Tidligere har overvannshåndteringen bare blitt betraktet som et kapasitetsproblem, der det var om å gjøre å fjerne vann billig og mest mulig effektivt vekk fra bebygde strøk. I dag er fokuset rettet mot en mer bærekraftig overvannshåndtering, der man tenker på andre aspekter som blant annet utslipp, rekreasjon, biologisk mangfold og ressursbruk (Lindholm et al., 2008).

2.3.1 Tradisjonelt overvannssystem

Det er to måter vannet kan håndteres på, enten lokalt eller ved hjelp av avløpsledninger. Den tradisjonelle metoden har basert seg på å frakte vannet fortest mulig bort i lukkede overvannsledninger, figur 2.6. Dette kan gjøres gjennom et felles – eller separatsystem. I et fellessystem blir overvannet og spillvannet ført i samme ledning frem til renseanlegget. I tilfeller der den totale mengden av spillvann og overvann blir større enn den mengden renseanlegget klarer å håndtere, vil den resterende mengden gå i et overløp ut til nærmeste resipient. Konsekvensene er større ved sprengt kapasitet på et fellessystem enn fra et separatsystem. Dette kan føre til at skittent spillvann når ut til en vannresipient. Overbelastning ved større nedbørsperioder i hus uten tilbakeslagsventil, kan føre til kjelleroversvømmelse (Miljødirektoratet, 2016).

I et separatsystem derimot, blir overvann og spillvann ført i hvert sitt rør. Da blir spillvannet ført til renseanlegget, mens overvannet vanligvis blir sluppet ut i nærmeste vannforekomst. Oppstuvning av vann utenfor husveggen kan forekomme, om det er mye vann i overvannsledningen. Dette er grunnen til at overvannsledningen skal ligge minimum 90 cm vertikalt i høydeforskjell mellom topp, innvendig rør ved tilkoblingspunktet til stikkledningen og sluket i kjellergulvet (Rambøll 2015).



Figur 2.6: Tradisjonelt overvannsystem. Overvannet føres bort i lukkede systemer (Miljødirektoratet, 2016).

Ifølge kommunenes KOSTRA⁷ (KOMMune-STat-RApportering) rapportering i 2013 har Norge 7700 km fellesledninger, 28 800 km spillvannsledninger og 16 000 km overvannsledninger (Berge, 2013). Omtrent 95 % av ledningsnettets ble lagt etter krigen, og omtrent halvparten er lagt etter 1980 (NOU 2015:16). Disse ledningene ble dimensjonert i henhold til kunnskap om klima og befolkningsvekst på etableringstidspunktet. For dagens og den fremtidige situasjonen som venter, er flere overvannsledninger underdimensjonert og tar liten høyde for de klimaendringene vi har opplevd så langt. Derfor har det vært nødvendig med en ny strategi, som kan behandle overvannet lokalt, og redusere vannmengden som føres i ledningsnettets.

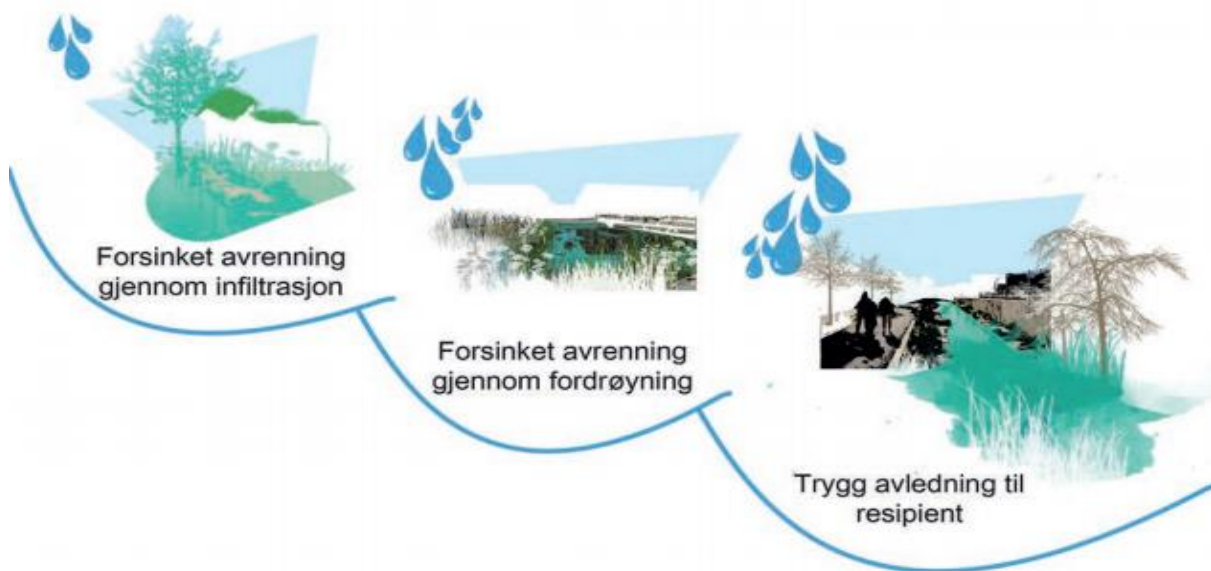
2.3.2 Lokal overvannsdiskonering (LOD)

Visjonen med lokal overvannsdiskonering er å etterligne naturens egen måte å ta hånd om vannet på. Den nye strategien for overvannshåndtering kan enkelt deles inn i tre tiltak (NOU 2015:16):

- Forsinket avrenning gjennom *infiltrasjon*.
- Forsinket avrenning gjennom *fordrøyning*.
- Trygg *avledning* til resipient.

⁷ KOSTRA er et nasjonalt informasjonssystem som forteller om kommuner og fylkeskommuners virksomhet (SSB, 2018).

Disse tre gruppene blir omtalt som treleddsstrategien i Norsk Vann Rapporten «Veiledning for klimatilpasset overvannshåndtering» (Lindholm et al., 2008). Figur 2.7 viser prinsippet for strategien.



Figur 2.7: Illustrasjon av treleddsstrategien: Illustrasjon av hvordan nedbøren håndteres for ulike regnmengder. Regnmengdene må lokalt tilpasses (NOU 2015:16).

Fra figur 2.7 er tankegangen bak strategien at mindre regnhendelser fanges opp i trinn 1 og infiltreres der. I trinn 2 skal store regnhendelser forsinkes og fordrøyes før påslipp til avløpsanlegg eller utslipp til vassdrag. I siste ledd, trinn 3, skal avrenning fra ekstreme regnhendelser sikres ved trygg avledning gjennom flomveier på overflaten.

Treleddsstrategien omtalt i Norsk Vann har eksempler på hvilke mengder som skal håndteres i de ulike trinnene (Lindholm et al., 2008). I dag finnes det beregningsmetodikker for fordrøyning og retningslinjer for valg av dimensjonerende nedbørmengde, som gjør det mulig å anslå nedbørmengder i trinn 2 og trinn 3. For trinn 1 finnes det ingen tilsvarende retningslinjer. Paus, K (2018) har foreslått i artikkelen «Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann» grensene mellom trinnene i strategien. Han foreslår at dimensjonerende nedbørmengde som skal håndteres i trinn 1 baseres på andel årsnedbør. Resultatene i artikkelen viser at hvis man vil fange opp 95 % av årsnedbøren, vil det tilsvare en begrenset nedbørmengde for ulike varigheter (omtrent en tredjedel av 2 årsregnet).

Det er et stort fokus på å prøve å gi overvannet en plass i bybildet. Ved å bruke blågrønne løsninger⁸ som kan infiltrere og fordrøye, er det mulig å utnytte vannet som en ressurs og et positivt landskapselement, figur 2.8.



Figur 2.8: Åpen overvannshåndtering. Vannet infiltreres, fordrøyes og bortledes i åpne flomveier og dammer (Miljødirektoratet, 2016).

Overvannshåndtering er primært en planleggingsoppgave. Derfor må det prioriteres tidlig i planleggingsprosessen. For å oppnå en vellykket overvannsstrategi, må håndteringen implementeres i arealplanleggingen, og ivaretas gjennom overordnede planer, via reguleringsplaner og ned til byggeplanene. Derfor krever det at flere fagmiljøer involverer seg. Metodene som blir brukt tilpasses de lokale forholdene og de fremtidige behovene. Ved valg av tiltak for et større areal, må man vurdere hele nedbørsfeltet under ett. Systemet må ses i sammenheng med kapasiteten i avløpsnett, nærliggende vassdrag og framtidige utbyggingsplaner (Ødegaard, 2014).

Valg av overvannsmetode burde være nøye gjennomtenkt etter hva man ønsker å oppnå. LOD-tiltak⁹ skal i praksis redusere mengder overvann til det offentlige ledningsnett eller fjerne alt. Flere positive effekter av LOD-tiltak er listet opp (Åstebøl et al., 2013):

⁸ Blågrønne løsninger er bruk av blå og grønne flater istedenfor tette flater. Løsningene skal sikre lokal overvannshåndtering, bruk av vegetasjon og biologisk mangfold, på en estetisk måte. Blågrønnfaktor (BGF) er et mål på tomtens bruk av blågrønne flater og regnes ut ved å dele andelen økologisk effektive areal over total tomteareal (Åstebøl, 2013).

⁹ LOD-tiltak er tiltak som håndterer overvannet på stedet der nedbøren opprinnelig faller ned. LOD-tiltak omfatter de to første trinnene i treleddsstrategien.

- Utjevner/reduserer tilrenning fra urbane strøk.
- Reduserer tilførselen av forurensning til resipient.
- Skaper mer kapasitet i eksisterende avløpsnett.
- Reduserer belastningen i renseanlegg ved å skape mer kapasitet i fellessystemet.
- Minske faren for ras og skred.
- Forsterke det biologiske mangfoldet.
- Øke grøntområder i urbane strøk

2.4 Beregning av overvannsmengder

Regnvannsavrenning kan beregnes ved bruk av manuelle metoder eller ved hjelp av beregningsprogrammer. Programmer som kan brukes er SWMM, NIVANETT og MOUSE (COWI, 2015). Programmer benyttes for mer kompliserte områder.

Ved avrenningsberegning må man definere et nedbørsfelt. Et nedbørsfelt er et begrenset landareal der alle forgreninger innenfor arealet ender opp til samme vannkilde som drenerer til ett og samme punkt. I overvannsberegninger skiller man mellom små nedbørsfelt (<0,5 km²) og store nedbørsfelt (<20 km²) (COWI, 2015). Avrenningen fra de forskjellige forgreningene inne i nedbørsfeltet påvirkes av nedbørsfeltets størrelse, nedbørforholdene, topografi, vegetasjon, evapotranspirasjon, andel vann og myrer, andel urbane områder og veier. Vannskillet som renner vinkelrett på høydekurvene begrenser nedbørsfeltet. Den mest benyttede manuelle metoden for beregning av vannavrenning og beregning av nødvendig fordrøyningsvolum blir presentert nedenfor med noen sentrale parametere.

2.4.1 Rasjonelle metode

Det er små nedbørsfelt som generelt sliter med urbanhydrologiske problemer (Bøyum et al., 1997). Den rasjonelle metode egner seg for enkle overslagsberegninger og til urbane områder med størrelse mindre enn 20-50 hektar (ha)¹⁰ (Ødegaard, 2014). Dersom nedbørsfeltet er større enn anbefalt eller har uregelmessig topografi burde det benyttes alternative metoder. Metoden er basert på nedbørintensiteten og en gjennomsnittlig avrenningsfaktor for et nedbørsfelt (COWI, 2015). Metoden gir maksimal avrenning fra et nedbørsfelt for et gitt gjentaksintervall (om forutsetningene er oppfylt). En forutsetning er at maksimal avrenning oppstår når nedbørvarigheten er lik konsentrasjonstiden til feltet.

¹⁰ 1 ha tilsvarer 10 000 m².

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

Formel 2.2: Den rasjonelle formel.

Der	Q	=	Avrenning	[L ³ /T]
	C	=	Midlere avrenningsfaktor	[0 - 1]
	A	=	Avrenningsareal	[M ²], [ha]
	I	=	Nedbørintensitet	[L/T]
	K _f	=	Klimafaktor	[-]

2.4.2 Klimafaktor, K_f

Klimafaktoren er en faktor som er lagt til i ligningen i den senere tid. Grunnen til dette er for å ta høyde for de forventede klimaendringene i fremtiden. En økning av kraftige nedbørshendelser betyr at en trenger en økning av dimensjonerende nedbørintensiteter. Så klimafaktor er den faktoren man ganger dagens dimensjonerende nedbørintensitet med, for å få den fremtidige nedbørintensiteten. Klimafaktoren er en funksjon av flere variabler og kan 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 2.3: Formel for klimafaktor

Der	K _f	=	Klimafaktor
	GI	=	Gjentaksintervall
	I	=	Dimensjonerende nedbørintensitet under gitte forhold
	t	=	Nåtid eller referanseperiode
	T	=	Regnvarighet
	Z	=	Den geografiske plasseringen
	Δt	=	Varighet på framskrivingsperioden
	S	=	Klimascenariet lagt til grunn for framskrivningene

Det er utarbeidet klimafaktorer for 3-timers nedbør i Norge (Førland et al., 2015):

Tabell 2.1: Klimafaktorer for ulike regioner i Norge utarbeidet av Norges vassdrags – og energidirektorat. Tabellen viser klimafaktorer for endring i 3-timers nedbør for de to utslippsscenariene RCP4.5 og RCP8.5 fra tidsperioden 1976-2005 til 2071-2100 (Førland et al., 2015).

Nedbørregion	RCP4.5		RCP8.5	
	Middel	Lav-Høy	Middel	Lav-Høy
Østfold	1,20	1,07-1,40	1,51	1,05-2,23
Østlandet	1,17	1,09-1,32	1,37	1,18-1,70
Sørlandet	1,19	1,07-1,38	1,29	1,08-1,53
Sørvestlandet	1,16	1,02-1,42	1,29	1,10-1,53
Sunnhordaland/Ryfylke	1,16	1,08-1,37	1,33	1,21-1,46
Nordhordl/Sogn&Fj.	1,18	1,08-1,28	1,32	1,21-1,42
Dovre/Nord Østerdal	1,18	1,05-1,24	1,38	1,30-1,59
Møre og Romsdal	1,23	1,13-1,39	1,39	1,20-1,64
Inntrønderlag	1,19	1,05-1,37	1,31	1,16-1,60
Trønderlag/Helgeland	1,20	1,12-1,35	1,35	1,21-1,56
Hålogaland	1,19	1,10-1,25	1,36	1,23-1,41
Finnmarksvidda	1,19	1,12-1,35	1,39	1,27-1,54
Varanger	1,19	1,07-1,37	1,40	1,27-1,60

Ved valg av klimafaktor må det tas hensyn til området som blir studert. En for høy sikkerhetsfaktor kan føre til ekstrakostnader. Der konsekvensene av skadene er høy, som for eksempel et sykehus og annen kritisk infrastruktur, burde en høyere sikkerhetsfaktor benyttes, enn for eksempel for et hytteområde.

I Håndbok N200 fra Statens Vegvesen er klimafaktoren avhengig av den forventede levetiden til anlegget (Statens Vegvesen, 2014). Kommunene i Norge bruker forskjellige klimafaktorer. I Stortingsmelding nr. 33, «Klimatilpasning i Norge», fremgår det at regjeringen anbefaler kommuner å bruke de klimafremskrivningene som er høyest, ved valg av klimafaktor (Meld. St. 33 (2012-2013)).

Tabell 2.2: Klimafaktorer for installasjoner fra Statens Vegvesens Håndbok N200 (Statens Vegvesen, 2014).

Forventet levetid	10	100	200
Klimafaktor	1,3	1,4	1,5

2.4.3 Avrenningskoeffisient, C

Forholdet mellom avrenningen og nedbøren over samme område defineres som avrenningskoeffisienten (COWI, 2015). Koeffisienten er avhengig av terrengtype, overflatens permabilitet, helning, nedbørintensiteten og nedbørvarighet (Ødegaard, 2014). Den tar hensyn til at noe av regnvannet infiltrerer i grunnen slik at ikke alt vannet beveger seg på overflaten. Avrenningsfaktorer utvikles ved å måle avrenningen ved en bestemt nedbørintensitet for ulike type områder/nedbørfelt. Avrenningsfaktoren blir som regel brukt som en vektet middelverdi for hele feltet. For sammensatte felt er det mulig å beregne avrenningskoeffisienten for delfelt og deretter beregne en midlere avrenningskoeffisient for hele feltet (Stenius et al., 2015). En midlere verdi av avrenningskoeffisienten kan beregnes slik (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 2.4: Midlere verdi av avrenningsfaktoren

Det finnes flere kilder som beskriver avrenningsfaktoren. For mange av disse kildene er grunnlaget til verdiene lite beskrevet. Svensk Vatten publikasjon P90, er den publikasjonen som har en mer detaljert oppdeling for avrenningskoeffisientene. Publikasjonen oppdeler avrenningskoeffisientene for ulike typer bebyggelse i tillegg til ulike typer flater, tabell 2.3. De lave verdiene benyttes i områder med permeable flater som har god infiltrasjonsevne og med stor avstand til grunnvannsnivå. De høyere verdiene benyttes for tette flater med et høyere grunnvannsspeil (Statens Vegvesen, 2014).

Tabell 2.3: Avrenningskoeffisienter for ulike flater (til venstre) og for ulike typer bebyggelse (til høyre) for flatt og kupert terreng fra Svensk Vatten (COWI, 2015).

Type flater	C	Bebyggelsestype	C	
			Flatt	Kupert
Tak	0,9			
Betong og asfaltflater, berg i dalen med sterkt fall	0,8	Tettbebyggelse, ingen vegetasjon	0,7	0,9
Steinsatte flater med grus fuger	0,7	Tettbebyggelse med noe vegetasjon, industri og skoleområder	0,5	0,7
Grusveger, bergmessig park med stort fall lite vegetasjon	0,4	Åpen bebyggelse, flermannsboliger	0,4	0,6
Berg i dagen med lite fall	0,3	Rekkehus og kjedehus	0,4	0,6
Grusplass og grusgang, ubebygde tomter	0,2	Villatomter < 1000 m ²	0,25	0,35
Park med rik vegetasjon, kupert bergmessig skog	0,1	Villatomter > 1000 m ²	0,15	0,25
Jordbruksområder, gress, enger	0-0,1			
Flatt tettbevokst skog	0-0,1			

2.4.4 Konsentrasjonstid, t_k

Konsentrasjonstiden er definert som den lengste tiden det tar for vannet å bevege seg gjennom dreneringssystemet fra den ytterste delen av nedbørsfeltet til utløpet der vannmenden skal beregnes. Det er ofte ønskelig å bestemme maksimal vannføring for overvannet. Maksimal vannføring opptrer i det regnvarigheten er like lang som konsentrasjonstiden, og blir kalt for Imhoffs sats.

Konsentrasjonstiden er ikke målbar, men estimeres gjennom empiriske formler knyttet til den flomberegningsmetoden som skal anvendes (Stenius et al., 2015). Konsentrasjonstiden, t_k , er summen av den avrenningstiden dråpen bruker på markoverflaten, t_t , pluss den tiden den bruker i rørsystemet, t_s (Ødegaard, 2014):

$$t_k = t_t + t_s$$

Formel 2.5: Konsentrasjonstid.

Der beregning av strømmingstiden i rørsystemet:

$$t_s = \frac{\text{Ledningslengden}}{\text{Strømningshastigheten i ledningen}}$$

Formel 2.6: Strømmingstiden i rørsystemer.

Det er vanlig å sette strømningshastigheten til 1,5 – 2 m/s. Svensk Vattens veiledning P90 oppgir ulike strømningshastigheter, tabell 2.4.

Tabell 2.4: Anbefalte strømningshastigheter fra Svensk Vattens veiledning P90.

Type	Avløpsledninger	Tunnel og store ledninger	Grøfter og rennestener	Mark
Strømningshastigheter	1,5 m/s	1,0 m/s	0,5 m/s	0,1 m/s

Avrenningstiden en regndråpe bruker på overflaten, t_r , er proporsjonal med strømningsavstanden og minker med helningen på terrenget og regnintensiteten. I urbaniserte områder for felt med begrenset størrelse anslås avrenningstiden ofte til å være ca. 5-7 minutter. Om det trengs mer nøyaktige tall, kan avrenningstiden beregnes nøyaktig ved bruk av nomogrammer¹¹, som viser tilrenningstiden som en funksjon av midlere helning, strømningslengde og feltets topografi. I Statens Vegvesens Håndbok N200 beregnes konsentrasjonstiden for naturlige felt og urbane felt med to forskjellige ligninger (Statens Vegvesen, 2014):

$$t_k = 0,6 \cdot L \cdot H^{-0,5} + 3000 \cdot A_{se}$$

Formel 2.7: Konsentrasjonstid for naturlige felt.

$$t_k = 0,02 \cdot L^{1,15} \cdot H^{-0,39}$$

Formel 2.8: Konsentrasjonstid for urbane felt.

¹¹ Et nomogram er et todimensjonalt system (grafisk hjelpemiddel) som gjør utregninger ved hjelp av en funksjon av to eller flere matematiske størrelser (Aarnes, 2018).

Der	t_k	=	Konsentrasjonstid	[T]
	L	=	Lengde av feltet	[L]
	H	=	Høydeforskjellen i feltet	[L]
	A_{se}	=	Andel innsjø i feltet, forholdstall	[-]

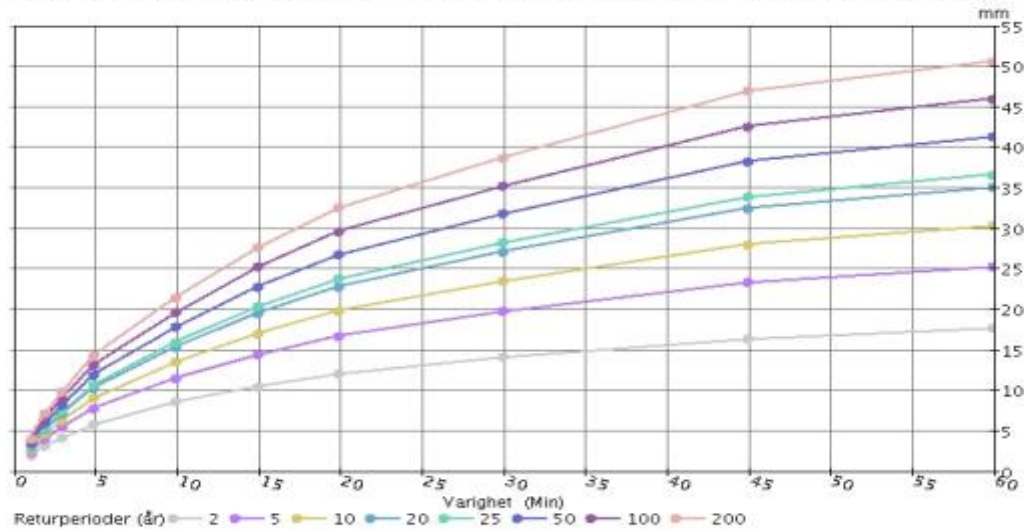
2.4.5 IVF-kurve

Det finnes flere metoder for beregning av dimensjonerende ekstremverdier. I tråd med ordet «ekstrem», henviser dette til svært sjeldne tilfeller. Dette er noen få hendelser, og estimatene for høye gjentaksintervall - baseres på ekstrapolering. Estimat av dimensjonerende verdier blir presentert med et gjentaksintervall. Gjentaksintervallet 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).

IVF-verdier blir kun beregnet for målestasjoner som har minst 10 år med kontrollerte kvalitetsdata. Disse dataene legger grunnlag videre for analysering av avrenning (Norsk Klimaservicesenter, 2018). Nedenfor er et eksempel på en IVF-kurve med returperioder fra 2-200 år. Ved gitte returperioder, kan man gå inn i kurven med konsentrasjonstid og finne ut hva regnintensiteten er. Regnintensiteten fra en IVF-kurve kan brukes i den rasjonelle formel. Da antar man at regnet er formet som et kasseregn¹² med konstant intensitet. Kasseregn er ikke like representativt som et reelt regn, da et reelt regn ikke har konstant intensitet. En annen ulempe ved bruk av kasseregn er at man ved visse punkter i feltet får dimensjonerende vannføring hvor konsentrasjonstiden er lik regnets varighet.

¹² Ved kasseregn antar man at intensiteten til regnet er konstant gjennom hele regnhendelsen i beregningen man foretar seg.

IVF-kurve i millimeter for 18701 OSLO - BLINDERN PLU. (Periode: 1968 - 2014. Antall sesonger: 46)



Figur 2.9: Eksempel på IVF-kurver for Oslo-Blindern (1968-2014) 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 (Førland et al., 2015).

2.4.6 Usikkerheter i den rasjonelle formelen

Faktorene i den rasjonelle formelen har en del usikkerhet knyttet til seg. Formelen er basert på en direkte sammenheng mellom avrenning og nedbør, og gir derfor et svært enkelt overslag over avrenningsmengden. En stor usikkerhet ligger i avrenningsfaktoren da formelen forutsetter at avrenningsfaktoren er konstant gjennom hele nedbørshendelsen. Avrenningsfaktoren er sjelden uniform men varierer innen nedbørfeltet ettersom hvor mye vann som allerede er i bakken ved nedbørens start. Derfor er avrenningsfaktoren avhengig av hvem som har fullført beregningen, ettersom denne defineres av subjektive og skjønnsmessige vurderinger (Stenius et al., 2015).

En annen usikkerhet er at den rasjonelle formel forutsetter at nedbørshendelsen har konstant intensitet gjennom hele forløpet, med lik fordeling i hele nedbørfeltet. Dette gjør at korte måleserier gir et usikkert datagrunnlag for lange returperioder. Usikkerheten til nedbørfeltet øker også med avstanden til nedbørmålingene (Stenius et al., 2015).

2.4.7 Regnvelopmetode for konstant utløp

Regnvelopmetoden benyttes til å beregne nødvendig fordrøyningsvolum. Den baseres seg på ideen om å bestemme massebalansen i et magasin ved å benytte et kasseregnet med forskjellige regnvarigheter hentet fra en IVF-kurve (Lindholm, 2015). Det nødvendige volumet blir maks differansen mellom tilløpsvolumet og utløpsvolumet. Beregningene gjøres for alle varigheter og den varigheten som gir det største volumet blir dimensjonerende (Krisiandsand kommune,

2016). Fordrøyningsvolumet beregnes følgende der den største verdien av $V_{\text{fordrøyning}}$ vil gi det nødvendige volumet (Lindholm, 2015):

$$V_{\text{fordrøyning}} = V_{\text{inn}} - V_{\text{ut}}$$

Formel 2.9: Nødvendig fordrøyningsvolum som en funksjon av tilløpsvolumet og utløpsvolumet.

Der $V_{\text{inn}} = i_{z, tr} \cdot t_r \cdot A \cdot C$ $V_{\text{ut}} = Q_{\text{ut}} \cdot t_r$

Formel 2.10: Beregning av tilløpsvolumet fra den rasjonelle forme og utløpsvolumet.

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

Det er viktig at volumet blir beregnet så nøyaktig så mulig for å unngå overdimensjonering (store kostnader) eller underdimensjonering (påføre skade på infrastruktur, helse og miljø). For at fordrøyningsanlgget skal maksimere sin effekt er utløpsarrangementet avgjørende. 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).

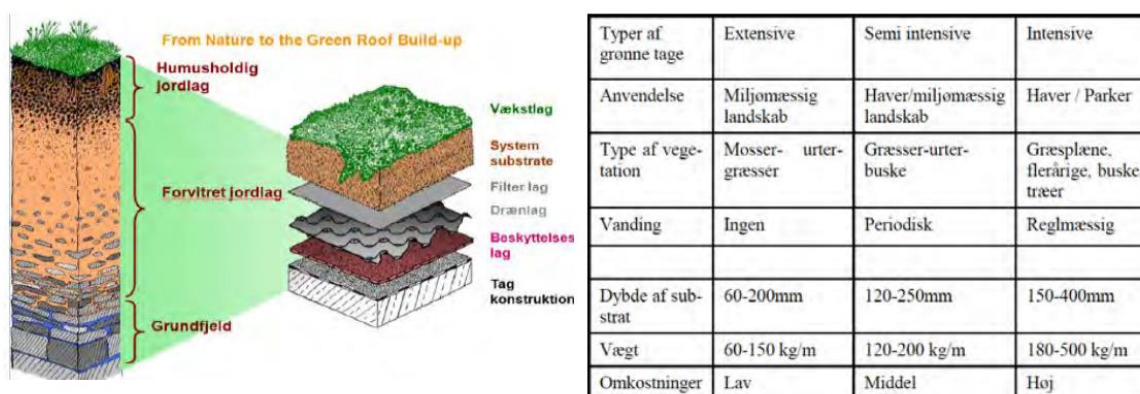
DEL 2: Grønne tak

2.5 Grønne tak

Grønne tak er en gammel teknologi i Norge. Gresskledde tak går hundrevis av år tilbake i norsk «byggeteknikk». I moderne tid har det blitt utviklet nye typer grønne tak. Grønne tak er et LOD-tiltak som skal dempe og fordrøye avrenningen etter en nedbørhendelse, og kan deles inn i tre hovedtyper (Espelien & Wifstad, 2016).

- 1) *Ekstensive tak*: er enten av rent sedum eller en blanding av sedum, urter og gress. Ekstensive tak er lette med en liten jorddybde og som tåler begrenset med gangtrafikk. De krever lite vedlikehold og kan benyttes på flate og skrå tak.
- 2) *Semi-intensive tak*: er en blanding mellom ekstensive og intensive tak. Taket er noe dypere enn ekstensive tak og tåler gangtrafikk. De blir ofte tilrettelagt for å øke det biologiske mangfoldet for planter og insekter. De legges for det meste på flate tak, men benyttes et vekstmedium av torv kan de legges på tak med helning opp til 30 °.
- 3) *Intensive tak*: krever en sterkere bærekonstruksjon ettersom de er beregnet for opphold. Jorddybden er beregnet for å plante busker og trær. Denne type tak krever mer vedlikehold enn de to andre typene.

Takene bli skilt på grunnlag av ulike kriterier, figur 2.10.



Figur 2.10: Skillene mellom de ulike typene av grønne tak benyttet i København kommune (Noreng et al., 2012).

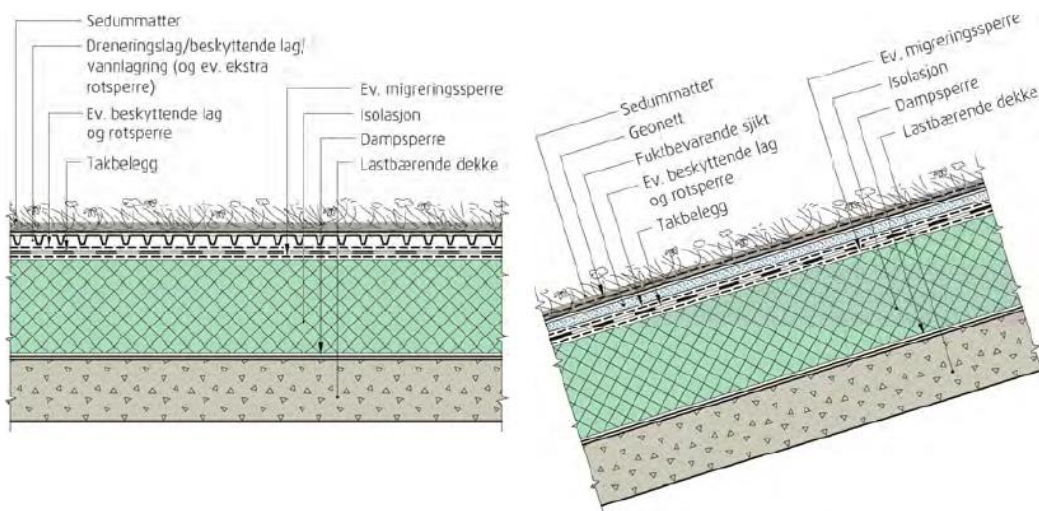
Under de tre hovedtypene finnes det flere undergrupper av grønne tak. Denne oppgaven skal begrense seg til sedumtak, som tidligere nevnt er en undergruppe under ekstensive grønne tak.

2.5.1 Oppbygning av sedumtak

Sedumtak er av den lettere type grønne tak. Vegetasjonen legges ut som ferdige matter eller så legges vekstmediet direkte ut på taket. Oppbygningen av taket avhenger av klimaet der man ønsker å bygge og fallforholdet på taket. Ut i fra disse to faktorene vil det være behov for ulike oppbygning med fuktbevarende og/eller drenerende sjikt. Det fuktbevarende sjiktet har som funksjon å holde på vann som plantene senere kan benytte seg av. Dette kan være ulike typer filter eller knasteplater. Er det en overflødig mengde med vann på taket, kan det i verste fall føre til plantedød. Derfor skal det drenerende sjiktet lede vannet bort så effektivt som mulig. Disse to sjiktene kan i mange tilfeller slås sammen til et og samme sjikt. Dette er igjen avhengig av helningen og de klimatiske forholdene (Noreng et al., 2012).

Sedumtak kan monteres opptil en takhelning på 30 °. Det drenerende sjiktet benyttes når takhelningen er mellom 0-5 °. Er helningen mellom 5-30 °, ønsker man at taket skal holde på så mye fuktighet som mulig og derfor sløyfes det drenerende sjiktet om takvinkelen er i dette intervallet (Noreng et al., 2012).

Sedumtak har en byggehøyde på 50-250 mm som er relativt lavt sammenlignet med andre tak. Taket veier mellom 35-40 kg/m² i tørr tilstand og rundt 50 kg/m² i våt tilstand (Noreng et al., 2012). Eksempel på lagoppbygning av sedumtak vises i figur 2.11 og tabell 2.5.



Figur 2.11: Typisk lagoppbygning for et ekstensivt sedumtak. Figuren viser for et flatt og skrått tak (Noreng et al., 2012).

Tabell 2.5: Oppbygning og bruksområdene av sjiktene i et sedumtak. Bruksområdene deles inn i flatt eller skrått tak og vått eller tørt klima (Noreng et al., 2012).

Sjikt	Eksempel på materialer	Eksempel på tykkelse (mm)	Flate tak	Skrå tak	Vått klima	Tørt klima
Plantedekke	Ulike sedumarter i bergknappfamilien	50 - 300	v	v	v	v
Vekstmedium	Masser fra lava, teglstein, finpukk e.l. og organisk materiale ($\leq 20\%$)	30	v	v	v	v
Geonett	Flere typer geonett er tilgjengelig, f.eks. stormasket nett av polypropylen			v		
Drenerende sjikt ¹⁾	Knasteplate med pålimt fiberduk Andre drenerende lag	10-15 5-40	v		v	
Vannlagrende sjikt ¹⁾	Knasteplate eller en litt tykk filt	10	v			v
Beskyttende sjikt ¹⁾	Knasteplate eller en litt tykk filt	10	(v)	(v)	(v)	(v)
Ekstra rotsperre	Rullprodukt av plast eller gummi	0,4-1,0	(v)	(v)	(v)	(v)
Takmembran	Takbelegg av asfalt, plast eller gummi	1,5-7,9	v	v	v	v
Isolasjon	Trykkfast isolasjon av mineralull eller EPS/XPS med trykkfasthet minst klasse CS(10)60	250-350	v	v	v	v
Dampsperre	PE-foli	0,2	v	v	v	v
Bærekonstruksjon	Betong, betongelementer, stålplater eller trekonstruksjoner	100-200	v	v	v	v

¹⁾ Materialsjiktene knasteplate med eller uten pålimt fiberduk og/eller tykk filt kan betjene flere av funksjonene drenering, vannlagring/fuktbevaring samt beskyttelse/rotsperre litt avhengig av utforming.

V: Sjiktet vil normalt bli benyttet.

(v) Benyttelse av sjiktet avhenger av bruksområde og utforming.

Denne måten å bygge opp taket på vil være naturlig med en helning på taket mellom 5-15°. Det kan vurderes å utelate dreneringssjiktet med mindre årsnedbøren er veldig høy på området (Noreng et al., 2012).

Det grønne sedumtaket kan legges på de fleste bærekonstruksjoner. Dette gjelder betong, betongelementer, trekonstruksjoner eller stålplater. For å hindre at fuktig innendørsluft trekker opp i konstruksjonen benyttes det dampsperre. Denne legges direkte ut på bærekonstruksjonen. For bærekonstruksjon av stål anbefales det å legge en steinullplate på 50 mm under damsperra før resten av varmeisolasjonen legges på. For å ta vare på det vanntettende laget legges det en takmembran av plast, asfalt eller gummi. For å hindre at røtter skal trenge igjennom konstruksjonen, skal takmembranen ha dokumentert rotmotstand i henhold til anerkjent metode. Om dette ikke er dokumentert, benyttes en ekstra rotsperre (Noreng et al., 2012).

Geonett brukes for å holde sammen vekstmediet. Der taket har stor helning kan det være fare for sig. Geonettet forankres i vekstmediet hvis takflaten er horisontal. Der dette ikke er mulig må geonettet festes mekanisk i parapeten¹³. Vekstmediet består av masser fra lava og teglstein,

¹³ Parapet er takkanten som stikker opp mellom flate tak og fasader.

nedknuste mineraler og inneholder mindre enn 20 % organisk materiale. Plantedekket består vanligvis av 4-8 ulike sedumarter (Noreng et al., 2012).

2.5.2 Vegetasjon og vekstvilkår

Plantene på det grønne taket er ikke bare ansvarlig for det visuelle inntrykket. Det er vegetasjonsdekket som gir flere positive effekter som blant annet er grunnen til å anvende grønne tak. Planter står for fotosyntesen¹⁴, som er en viktig biokjemisk prosess som alle trenger for å leve.

Plantedekket, vekstmediet og det vannlagrede sjiktet bidrar aktivt til fordrøyning i et grønt tak. I plantedekket blir nedbøren holdt igjen av plantene (intersepsjon), før det videre fordampes (evaporasjon) eller beveger seg ned i vekstmediet. Dette betyr at den øverste plantedelen fordrøyer og forbruker (transpirasjon) regnvannet. Det må også tas høyde for vann som vil fordampe under varmere forhold. Fordampningen fra jorda og fordampningen fra planetene (evapotranspirasjon) er vanskelig å måle, men viktig å kjenne til (Noreng et al., 2012).

Klimaet er forskjellig fra bakkenivå til toppen av et tak. Planter blir ofte mer vindutsatt når de kommer opp i høyden. Et frittliggende tak uten noen form for høyder rundt seg trenger derfor mer robuste planter. Ved dimensjonering av et tak er det viktig å kartlegge omgivelsene rundt taket som bebyggelse, terreng, trær osv., og høyden for å få kjennskap til vindretningen og vindstyrken. Tak som er vindutsatt, tørker fortere ut. Dette gjelder også tak som er utsatt for direkte solinnstråling. Hvis taket ligger eksponert hele tiden uten noe form for skygger, kan taket bli oppvarmet og dermed uttørket. Slike tak trenger planter som tåler tørken eller har jevnlig tilgang på vann. Tørke kan også være positivt for et grønt tak. Dette betyr at vannet forsvinner fort etter en nedbørshendelse og at taket er i stand til å forsinke mer regn under neste hendelse (Noreng et al., 2012).

En begrensning på grønne tak er vekstmediet. På bakken, har plantene ubegrenset plass for å trenge ned i et dypere og fuktigere jordlag. På taket derimot, vil man gjerne at vekstmediet er så lett så mulig for å ta hensyn til konstruksjonens bæreevne. Plantene sine røtter må ta til takke med et grunnere jordlag som lett tørker ut. For å opprettholde et levende plantedekke er tilgangen på oksygen, næring og vann viktig. Derfor er en god sammensetningen av vekstmediet nødvendig for planteveksten på grønne tak (Noreng et al., 2012).

¹⁴ I fotosyntesen forbruker plantene CO₂ og vann for å produsere oksygen og glukose.

Vekstmediet skal inneholde en del grovere materialer uten finstoff. Som tidligere nevnt er det organiske innholdet i ekstensive tak lite. Grunnen til det er av brannhensyn, vekt og porevolum. Granulatene vil utgjøre ca. 80 % av vekstmediet i ekstensive tak. Dette gjør at vekstmediet har stort porevolum for oksygen, god plass til utvikling av røtter, er lett, vannholdende og drenerende (Noreng et al., 2012).

Røttene til plantene trives ikke med å stå i vann over lengre tid. Da blir plantemiljøet uten lufttilgang og etter hvert surt, slik at røttene kan ha fare for å råtne. Drenering er derfor viktig. På den andre siden, hvis man har en for god drenering, kan vekstmediet tørke ut og plantene ikke få nok vann til eget forbruk. Derfor benyttes dremsplater (f.eks. knasteplater) som har evnen til å lagre vann. Det kan være lønnsomt å ha en filtmatte over dremslaget, som kan fordrøye og holde på fukt, i tilfelle det kommer en lengre tørkeperiode (Noreng et al., 2012).

Valg av artstype på taket baserer seg mest på å velge de plantetyperne som trives under de forholdene som finnes på det aktuelle stedet. Å bruke forskjellige arter slik at man får en bred artssammenheng gir en buffer for at taket vil ha god vekst i nesten hele vekstsesongen. For de ekstreme forholdene ekstensive tak har, er det sukkulentaktige (vannsamlende) planter, planter med tykke blader og noen utvalgte mosetyper, gress og staudearter som kan overleve. En sukkulentaktig art som er mye brukt i Norge er sedum, på norsk *bergknapp*. De er tilpasset et ekstremt klima ved at de åpner spalteåpningene sine bare om natten. Slik holder de på mer vann ettersom fordampningen om natten er lav (Noreng et al., 2012). Det er i dag 11 ulike bergknappararter som er aktuelle å bruke i vårt klima, tabell 2.6.

Tabell 2.6: Arter som er aktuelle å bruke under norske forhold basert på norske leverandører sin artsliste (Noreng et al., 2012).

Norsk navn	Latinsk navn
Bitterbergknapp	<i>Hylotelephium ewesii</i> (<i>Sedum ewersii</i>)
Hvitbergknapp	<i>Sedum album</i>
Blomsterbergknapp	<i>Sedum floriferum</i>
Gråbergknapp	<i>Sedum hipanicum</i>
Lydisk bergknapp	<i>Sedum lydium</i>
Kantbergknapp	<i>Sedum sexangulare</i>
Broddbergknapp	<i>Sedum reflexum</i>
Sibirbergknapp	<i>Phemidus hybridus</i> (<i>Sedum hybridum</i>)
Gravbergknapp	<i>Phemidus spurium</i> (<i>Sedum spurium</i>)
Gullbergknapp	<i>Phemidus kamtschaticus</i> (<i>Sedum kamtschaticum</i>)
Høstbergknapp	<i>Hylotelephium ewesii</i> (<i>Sedum ewersii</i>)

2.5.3 Fordrøyningseffekt

All nedbøren fra et ordinært flatt tak der det øverste laget består av en vanntett flate (f.eks. asfalt, takstein, plast, gummi) starter å renne av så fort regnvannet treffer taket. Ved kraftige og korte regnskyll der vannet ledes i avløpsnett, medfører stor belastning på systemet. Et grønt tak vil redusere denne belastningen ved å redusere intensiteten i avrenningen og utsette avrenningstoppen, figur 2.12. Grønne tak kan holde igjen mellom 50 % til 80 % av nedbøren gjennom et år (Noreng et al., 2012). Hvor mye et tak kan holde igjen, avhenger av vanninnholdet, intensiteten til nedbøren og takets oppbygning (vekstmedium, plantedekke, tykkelse). Det avhenger også av klimaet, da samme takoppbygninger ikke vil ha de samme effektene i ulike klimasoner. For grønne tak kan fordrøyningseffekten deles inn tre i prosesser:

- 1) *Forsinking* av avrenningen
- 2) *Tilbakeholding* av vann
- 3) *Reduksjon* i avrenningsintensitet

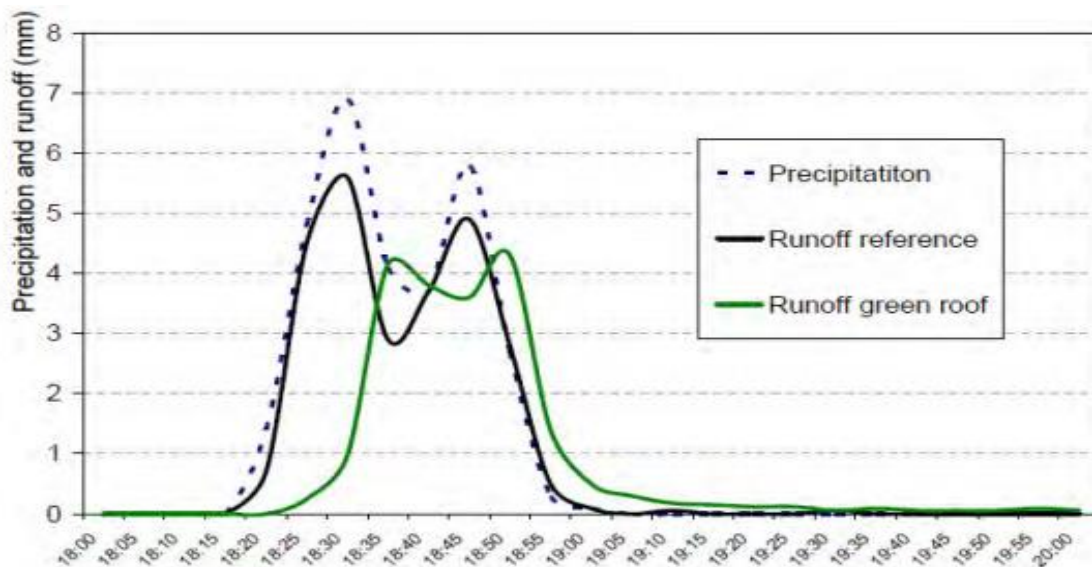
Den tiden det tar fra regnet begynner til avrenningen starter, er det man mener med forsinkelse av avrenningen. Dette er ofte også forskjellen i tid mellom maks avrenning - og nedbørintensitet. Forsinkelsen avhenger av dreneringsvegen og den tiden taket bruker på å nå sitt metningspunkt. Dreneringsvegen bestemmes av drenslagetets oppbygning, takvinkel og taknedløpets avstand (Noreng et al., 2012).

Taket metningspunkt er den mengde vann taket kan holde på, etter at fritt vann har blitt drenert ut (altså ved feltkapasitet). Metningspunktet avhenger av tykkelsen til vekstmediet og kornstrukturen. Den bestemmes av disse to faktorene fordi i bunnen av vekstmediet er det fri drenering. Dette betyr at det ikke vil stå noe vann i porene i mediet. Vannet som holdes tilbake legger seg på overflaten av kornene i vekstmediet (Noreng et al., 2012).

En reduksjon i avrenningsintensitet er at avrenningen per tidsenhet er mindre enn det den er for et vanlig tak. Avrenningsintensiteten kan både reduseres i størrelse og forsinkes i tid, ved intense nedbørshendelser (Noreng et al., 2012). Nagase og Dunnett (2011) har følgende ligning for å forklare hva som påvirker grønne tak sin avrenning:

$$\text{Avrenning} = \text{nedbør} - (\text{intersepsjon} + \text{transpirasjon} + \text{evaporasjon fra jorda} + \text{tilbakeholding i substrat})$$

Formel 2.11: Ligning for avrenningen av grønne tak.



Figur 2.12: Nedbør og avrenning fra et referansetak (uten vegetasjon) og et grønt tak etter en uke med tørke. Stiplet linje viser nedbøren, heltrukken svart linje viser avrenning fra referansetaket og heltrukken grønn linje representerer avrenningen fra det grønne taket (Braskerud, 2009).

2.5.4 Fremming av grønne tak i arealplanlegging

Flere kommuner har rettet fokus mot hvordan overvannet håndteres. Dersom åpen overvannshåndtering kommer inn i kommunens planstrategier, er dette en start for å fremme bruken av blant annet grønne tak på kommunalt nivå. Blant annet har Oslo kommune vedtatt i bystyret et program for å styrke sin blågrønne struktur, «Byøkologisk program for 2011-2026». Programmet ønsker å realisere visjoner om en bærekraftig og miljøvennlig byutvikling og drift. Det har blitt satt opp åtte innsatsområder. Under to av disse innsatsområdene kommer grønne tak inn som et naturlig ledd som mulige tiltak for å etablere flere grøntområder i kommunen (Noreng et al., 2012).

Et eksempel i Oslo kommune er Barcode-utbyggingen i Bjørvika. Der ble det satt et krav om at halvparten av alle bygningene skulle ha grønne tak. Dette ble implementert som et krav i reguleringsplanen, nivået under kommuneplanen. Det er gode muligheter for å implementere krav på reguleringsplannivå, men ved å innta bestemmelser på kommuneplannivå vil det være vanskeligere å fravike disse bestemmelsene, ettersom kommuneplanen viser en mer overordnet og helhetlig plan for arealbruken i kommunen. I prosjektrapport nr. 104 «Grønne tak, resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt» av SINTEF byggforsk, konkluderer de med at dersom en kommune ønsker å innføre grønne tak, vil det være en stor fordel for planarbeidet om grønne tak er definert i Teknisk forskrift (TEK). TEK gir bestemmelser til plan – og bygningsloven (pbl) og skal sikre at tiltak blir planlagt, prosjektert og utført i henhold til de tekniske kravene til miljø, helse, sikkerhet og energi (Noreng et al., 2012).

Drivere for etablering av grønne tak er funnet for å være fire aktørgrupper (Espelien & Wifstad, 2016): (1) Arkitektene, som gjerne foreslår bruk av grønne tak i arealplanleggingen; (2) Rådgivende ingeniører, som foreslår grønne tak som en teknisk løsning ved hensyn til dimensjoneringen; (3) Byggeier og byggherre, som er ansvarlig for konseptene og kostnadene som legges inn i et bygg; (4) Myndighetene, som kan få grønne tak inn i reguleringsplanene og som er en driver for realiseringen av grønne tak.

2.5.5 Planlegging og prosjektering av grønne tak

For planlegging, prosjektering, utførelse og drift av grønne tak blir det brukt standarder¹⁵ for alle ledd. Det er ofte mange aktører med i prosessen med et fragmentert ansvar. Den nye standarden for grønne tak, NS3840, gir trygghet for at grønne tak blir riktig detaljert og utformet slik at de vil fungere praktisk og estetisk (Espelien & Wifstad, 2016). Planter på tak er et «byggeprodukt» som ikke er ferdiggjort etter den er installert.

For å sikre et godt og velfungerende tak er det flere byggetekniske aspekter som burde diskuteres med de respektive fagene tidlig i planleggingsprosessen. For nye bygg der planleggingen innebærer bygging av et grønt tak, er det rådgivende ingeniør bygg (RIB) som tar hensyn til dimensjoneringen av denne ekstra lasten det påfører bærekonstruksjonen. En viktig faktor i beregningene å ta hensyn til er å ha riktig vekt i vannmettet tilstand for det aktuelle grønne taket (Noreng et al., 2012).

For eksisterende bygg der det grønne taket blir montert opp i etterkant, må man gjøre kontrollberegninger for den bærende takkonstruksjonen. Ofte for semi-intensive og intensive grønne tak må takkonstruksjonen forsterkes. Selv om ekstensive tak er av den lettere typen må kontrollberegninger likevel gjennomføres (Noreng et al., 2012).

Plan – og bygningloven (pbl) med Forskrift om tekniske krav til byggverk (TEK), er det viktigste lovverket for kommunal planlegging for å styre utviklingen i en kommune. Selv om det ikke står noe om grønne tak i verken pbl eller TEK 17 (gjeldende teknisk forskrift fra 2017), er det disse som legges til grunn når grønne tak planlegges på et bygg.

I TEK 17 § 11-1 finnes følgende krav til sikkerhet ved brann: «Byggverk skal prosjekteres og utføres slik at det oppnås tilfredsstillende sikkerhet ved brann for personer som oppholder seg i eller på byggverket, for materielle verdier og for miljø- og samfunnsmessige forhold» (Forskrift om tekniske krav til byggverk, 2017). Det finnes betingelser for om ekstensive grønne tak har god motstand mot varmemestråling og gnister. Dette kan finnes i prosjektrapport 104 «Grønne tak» (2012) av Noreng et al.

Vindavblåsninger for lette ekstensive grønne tak har vært registrert i bransjen. Det ekstensive taket legges ut med et areal på ca. 1 m² per matte. Vindsuget i hjørne – og randsonene kan bli større enn vekten av en sedummatte. I forbindelse med nye byggesaker utføres det ofte av RIB og de større takentreprenørene vindlastberegninger for bygget. Etter SINTEF Byggforsk og

¹⁵ Standarder beskriver en arbeidsprosess, et produkt eller et system. Det er en uavhengig aktivitet som er frivillig å bruke (Wells, 2017).

TPF (takprodusentenes forskningsgruppe) sin vurdering, kommer de med en anbefaling om at taket bør sikres der vindsuget overstiger $3,75 \text{ kN/m}^2$. Dette kan gjøres ved at sedummattene nær parapet (med høyde lik eller over 300 mm) byttes ut med ballast i et minimum 500 mm bredt belte med betongheller som er 50 mm tykke. Geonett kan også redusere risiko for avblåsning, om det legges i rotsonen og binder mattene sammen (Noreng et al., 2012).

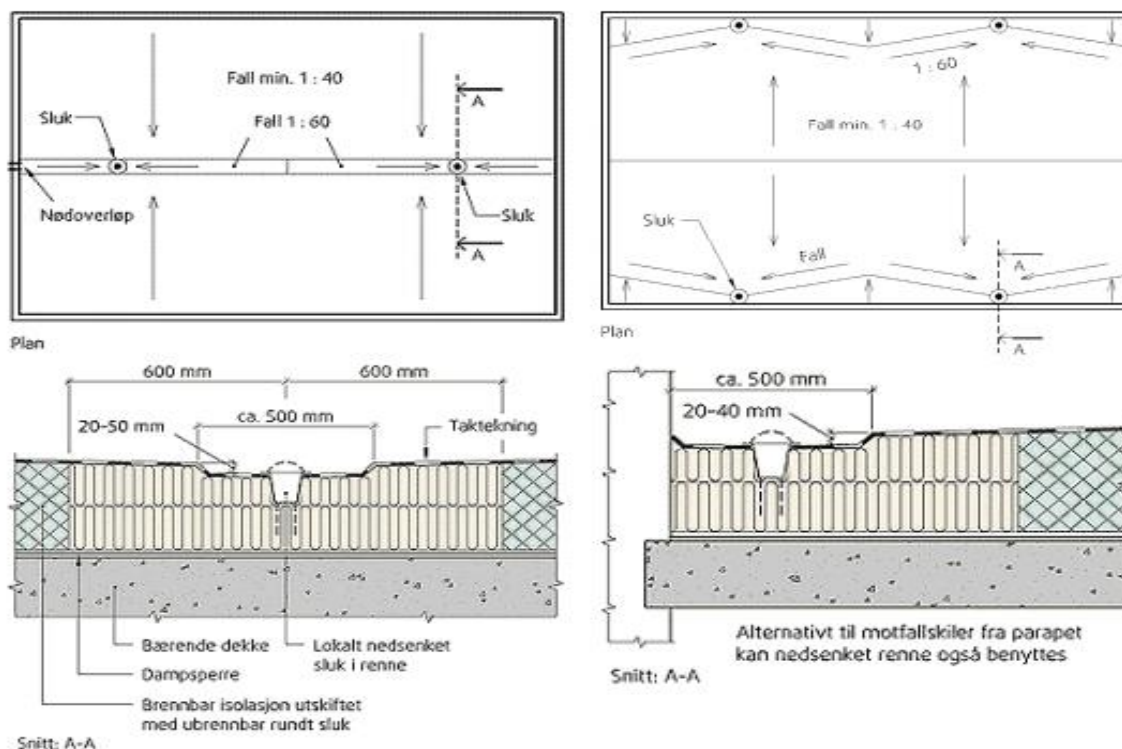
Membranen på ekstensive tak legges ofte på et isolasjonsunderlag. Små skader i membranen kan gi omfattende skader på konstruksjon og føre til lekkasje. Membranen blir bygd inn på en slik måte at det er vanskelig med tilsyn og vedlikehold senere. Det er derfor viktig at membranen dekkes til umiddelbart etter den er lagt ut og eventuelt utføre en tetthetskontroll, for å sikre at membranen er ordentlig tett. Rotsystemet i ekstensive tak er mye mindre enn intensive tak og er ikke av den type som vokser igjennom takbelegget. Det finnes likevel alltid en risiko for at uønsket vegetasjon kan slå rot i sedumtaket. Om takbelegget ikke har dokumentert rotmotstand ifølge NS-EN 13948, må det benyttes et beskyttelsessjikt med en rotsperre (Noreng et al., 2012).

I TEK 17 i § 13-9 og §13-12 står det at (Forskrift om tekniske krav til byggverk, 2017): *«Grunnvann, overvann, nedbør, bruksvann og luftfuktighet skal ikke trenge inn og gi fuktskader, soppdannelse eller andre hygieniske problemer». «Tak skal prosjekteres og utføres med tilstrekkelig fall og avløp slik at regn og smeltevann renner av. Nedbør, snøsmelting og ising skal ikke føre til skader på byggverket.»*

For å minske risikoen for lekkasjer må man unngå at vann blir stående på taket. Det anbefales å plassere renner og sluk i en forsenking og benytte innvendige nedløp slik at de holdes isfrie, figur 2.13. Sluk kan tettes på grunn av is, løv og finstoff fra vekstmediet. Derfor skal sluk i grønne tak ha en inspeksjonskum med filtermasser rundt, for å sikre lett adkomst til vedlikehold og tilsyn. I tillegg bør grønne tak med liten helning ha nødoverløp som hindrer overbelastning.

SINTEF byggforsk har følgende anbefalinger for minimumsfall (Noreng et al., 2012):

- Fallet i renner skal være større eller lik 1:60.
- Fallet på taket skal være større eller lik 1:40.



Figur 2.13: Bildet til venstre viser fäll i midten av taket mot nedsenket renne. Hovedfallet kan minimum være 1:40 og fallet i renna minimum 1:60. Bildet til høyre viser fäll mot sluk plassert nærme yttervegg. Ved å justere bærekonstruksjonen kan hovedfallet lages (Noreng et al., 2012).

Som nevnt i avsnitt 2.5.1, er det viktig å ta hensyn til omgivelsene ved dimensjonering av taket. Dette gjelder bebyggelse, terreng, trær, vindretning og vindstyrke da dette kan påvirke takets levedyktighet og funksjon. Dette gjelder også takets helning.

I Norge og i noen andre land, tas det ofte utgangspunkt i tidligere forskning for grønne tak når man ønsker å besvare spørsmål om takets ytelse og funksjon. Konsulentene må prøve å dimensjonere etter beste evne og bruke sitt ingeniørskjønn i tillegg til relevant litteratur. Det er foreløpig ingen faste parametere som er bestemt. Det er vanlig å bruke en avrenningsfaktor på 0,6 for ekstensive grønne tak (Braskerud, 2018). Dette synes noen likevel er konservativt. Leverandørene Bergknapp og Vitalvekst refererer til Braskerud sin studie av ekstensive grønne tak utført i Oslo og bruker resultatene der for å estimere effekten av grønne tak, selv om oppbygningen kan være noe forskjellig. Blant annet refererer Vitalvekst til Braskerud sine forsøk på sin hjemmeside (Vital Vekst, 2011).

Det totale fordrøyningsvolumet for de ulike standardløsningene blir oppgitt av leverandørene. Taket kan fordrøye mer enn det fordrøyningsvolumet som blir oppgitt, om det blir lagt til mer substrat. Ved valg av ulike takløsninger er leverandørene avhengig av at de som bestiller taket ved hva de driver med (Tovslid, 2018).

2.6 Tidligere studier

Norge er preget av store variasjoner i nedbørsmengder og - mønster, vinterperioder og lengde på vekstsesongene. Disse faktorene påvirker hvordan et grønt tak fungerer og hvordan vegetasjonen på taket utvikler seg over en lengre periode (Hanslin & Johannessen, 2015). Kunnskap om grønne taks oppbygning og funksjon er mer etablert i blant annet Tyskland og Sør-Sverige, der klimaet er tørrere. Under norske forhold er funksjonen til grønne tak foreløpig et forskningstema. Hvorvidt kunnskapen fra andre land kan overføres til klimaet her i Norge er vanskelig å vurdere (Noreng et al., 2012). Så langt viser erfaringer at mye av kunnskapen kan overføres til sentrale deler av Østlandet. Det er fortsatt stort behov for å undersøke hvordan avrenningen til grønne tak fungerer under ulike klimaforhold og hvordan den påvirkes av ulike oppbygninger og vegetasjon.

2.6.1 Utenlandske studier

I dette underkapittelet blir ulike studier gjort om ekstensive grønne tak utenlands studert. Studiene som er valgt representerer ulike områder i verden som kan sammenlignes med det klimaet man har i Norge, der hovedfokuset er fordrøyningsvirkningen til grønne tak.

2.6.1.1. Malmö, Sverige

Bengtsson et al. (2005) målte den totale avrenningen, månedlige vannbalansen og lagringskapasiteten til et 3 cm tynt sedumtak i Malmö i Sør-Sverige i perioden juli 2001 til desember 2002. Nedbøren og avrenningen ble henholdsvis målt med et vippepluviometer og ved å måle nivået i en bønne, der begge ble målt med en tidsopløsning på 5 minutter. Lufttemperaturen, vind og relativ fuktighet ble også registrert. Jordegenskapene før forsøksperioden ble bestemt i laboratoriet ved bruk av konvensjonelle måter. Fra metodene ble porøsiteten bestemt til 40-50 %, feltkapasiteten til 40-50 % og visnepunktet til 15 %. Det tilgjengelige volumet mellom visnepunktet og feltkapasiteten var 9 mm. Taket er 4 m langt og 1,25 m bredt med en helning på 2,6 %. Den månedlige vannbalansen for omtrent et år ble registrert og summert. For hele perioden ble total nedbør målt til 720 mm og avrenningen 370 mm, som betyr at fordampningen var 310 mm. I sommermånedene var avrenningen 30-50 mm mindre enn nedbøren. I 2002 ble den høyeste nedbøren målt til å være 28 mm, mens avrenningen ble målt til å være 27 mm. Avrenningen fra taket startet alltid etter 9-10 mm nedbør, som da er lagringskapasiteten til taket før avrenningen starter. Omtrent en time etter at avrenningen er initiert, er avrenningen lik nedbøren. Den årlige avrenningen fra et slikt tak under klimaforholdene i Sør-Sverige er omtrent halvparten av den årlige nedbøren.

Reduksjonen i daglig avrenning kan være relatert til feltkapasiteten og lagringskapasiteten til det grønne taket i starten av en hendelse.

2.6.1.2 London, Calgary og Halifax, Canada

Sims et al. (2016) undersøkte tre grønne tak under ulike klimaforhold: London i Ontario (fuktig område), Calgary i Alberta (halvtørt område) og Halifax i Nova Scotia (fuktig kystområde). Det ble funnet ut at grønne tak i et tørrere klima hadde større kumulativ tilbakeholdelse med henholdsvis Calgary (67 %), London (48 %) og Halifax (34 %). I samme forsøksperiode viste det seg at det grønne taket i London tilbakeholdt den største dybden av nedbør (598 mm) etterfulgt av taket i Halifax (471 mm) og tilslutt Calgary (411 mm). For store nedbørhendelser (større enn 45 mm), lå den gjennomsnittlige tilbakeholdelsen mellom 16 % og 29 % for alle stedene. Klimaforholdene hadde størst innvirkning på mellomstore nedbørhendelser der fukttilstanden ved begynnelsen av en ny regneperiode styrte takets ytelse til tilbakeholdelse. Studien viste at grønne tak har en høyere tilbakeholdelse i tørrere klima, gitt en lavere fukttilstand i taket ved begynnelsen av nedbørepisoden.

2.6.1.3 Sheffield, England

Stovin V. (2010) undersøkte et sedumtak i Sheffield i London i 2006. Testtaket er 3 m² og har en helning på 1,51°. I løpet av våren 2006 ble 11 nedbørhendelser målt. Gjennomsnittlig tilbakeholdelse ble funnet til å være 34 % og den høyeste tilbakeholdelsen var 57 %. Den totale mengden tilbakeholdt regnvann økte proporsjonalt med total nedbør. 7,4 mm tilbakeholdt ble målt under den største hendelsen (20 mm). Under våte vinterforhold tok det tid for taket å gjenopprette lagringskapasiteten (ca. 1 mm/dag). Stovin et al. (2007) foreslo at for en oppholdsperiode (ADWP¹⁶) mindre enn 2 dager, kommer taket vanligvis til å holde på 2 mm nedbør, som gjelder under relative våte vårforhold. For en oppholdsperiode på mer enn 2 dager, kan taket holde på opptil 4-7 mm nedbør. Senere observasjoner tyder på at taket kan holde på 15 mm nedbør under langvarige tørre perioder før en nedbørhendelse.

2.6.1.4 Berlin, Tyskland

Köhler et al. (2001) målte avrenningen og vannbalansen for to sedumtak på 360 m² nær Berlin. Takene hadde en tykkelse på 5 cm og 12 cm. Ett var plassert på kulturhuset «UFA-Fabrik» og ett ved universitetet i Neubrandenburg. For taket med tykkelse på 5 cm var den totale tilbakeholdelsen 30 mm og for taket med tykkelse 12 cm var tilbakeholdelsen 40 mm, for en nedbørhendelse på 55 mm med en varighet på 3 dager. I november til mars var avrenningen

¹⁶ ADWP = Antecedent Dry Weather Period.

relativt lik nedbøren. Fra april til oktober var den månedlige avrenningen 30-70 mm/måned mindre enn nedbøren. Fra forsøket var det tydelig at de ulike sesongene påvirket avrenningsmengden.

2.6.2 Norske studier

NVE har satt opp måleutstyr på grønne tak i fire norske byer. Dette er Oslo, Sandnes, Bergen og Trondheim. Taket i Oslo ble etablert av Bent Braskerud i 2009. De tre andre takene var et samarbeid mellom prosjektet Fremtidens byer, NTNU, NVE og kommunene de grønne takene ble etablert i (NVE, 2017).

Tre studier av ekstensive grønne tak under ulike klimaforhold i Norge er nærmere beskrevet i dette kapitlet, med fokus på fordrøyningsvirkningen. Den første studien tar for seg de grønne takene i Sandnes, Bergen og Trondheim fra prosjektet Fremtidens byer. Den andre studien omtaler de grønne forsøktakene etablert i Oslo og den siste studier takene fra Fremtidens byer i tillegg til noen grønne tak i Grimstad og Tromsø, sammenlignet med andre grønne tak i Nordeuropeiske byer.

Disse tre studiene ble valgt fordi de omtaler omtrent alle de grønne takene i Norge det så langt har blitt gjort målinger på. Oppbygningen og klimaforholdene er relativt sammenlignbare med det ekstensive grønne taket som undersøkes i denne oppgaven.

2.6.2.1 Grønne tak i Sandnes, Bergen og Trondheim

Johannesen, J & Muthanna, T (2016) undersøkte de ekstensive grønne takene i Sandnes, Bergen og Trondheim fra fremtidens byer i artikkelen «Hydraulic performance of extensive green roofs in cold climate».

De små forsøktakene ble bygd sommeren 2014 og data ble registrert i 14,5 måneder. På grunn av ulike problemer med feltutstyret, ble ikke alle dataene tilgjengelig for analyse. Takene i Sandnes, Bergen og Trondheim ble delt inn i 4 deler, med forskjellige lagoppbygning og vegetasjon, figur 2.14. På takene ble nedbør, avrenning, jordfuktighet og temperatur målt. Nedbøren ble målt etter vippekar-prinsippet med en oppløsning på 0,1 mm. Jordfuktighets – og temperaturmåleren ble målt med 15 minutters intervaller. Avrenningen ble målt med en bøtte og en trykksensor med oppløsning på 1 minutt. Bøttene ble automatisk tømt med en pumpe når de ble fulle. Avrenningen fra takene ble beregnet fra nivåendringene i bøttene, dividert med forholdet mellom takarealet og bøttearealet.

Klimaforholdene er noe forskjellig i de ulike byene. Sandnes og Bergen er typiske kystbyer og opplever mer regn med temperaturer sjeldent under 0 °C. I løpet av måleperioden hadde Bergen en nedbørsmengde på 3710 mm/år og Sandnes 2259 mm/år. Trondheim er kaldere med mindre regn og hadde i gjennomsnitt ca. tre måneder med temperaturer under 0 °C med en nedbørsmengde på 814 mm/år.

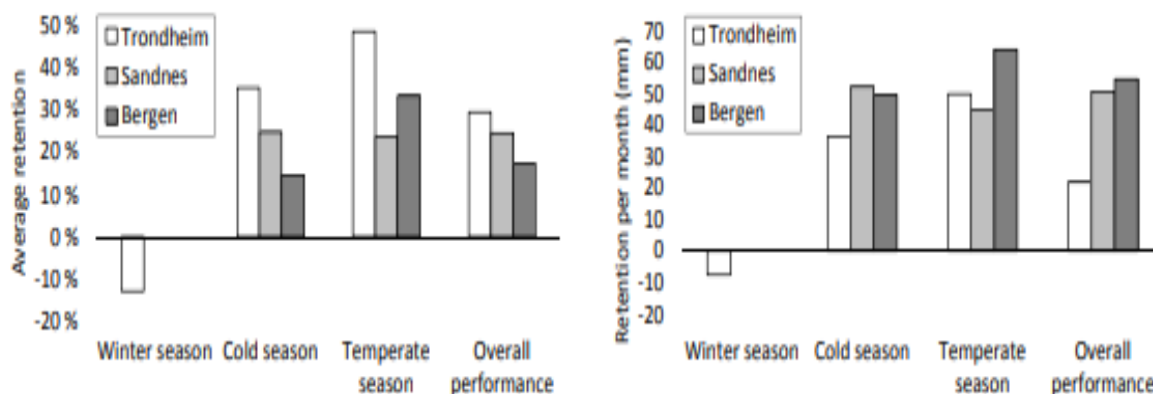
Location: Trondheim (T) 63.4°N Roof configuration: 4 plot of 7.6 m*2.0 m. 16% slope, orientation east.	Plot 1: Sedum mat and 10 mm felt mat. Plot 2: Sedum mat and 25 mm mineral wool. Plot 3: Sedum mat, 50 mm substrate, drainage mat and 5 mm felt mat. Plot 4: Sedum mat, 50 mm substrate and drainage mat.
Location: Bergen (B) 60.4°N Roof configuration: 4 plot of 4.9 m * 1.6 m. 27% slope, orientation east	Plot 1: Sedum mat and 10 mm felt mat. Plot 2: Sedum mat and 25 mm mineral wool. Plot 3: Sedum mat, 50 mm substrate and drainage mat. Plot 4: Sedum mat and 3 mm felt mat.
Location: Sandnes (S). 58.9°N Roof configuration: 4 plot of 5.4 m * 1.6 m. 27% slope, orientation northeast.	Plot 1: Sedum mat and 10 mm felt mat. Plot 2: Sedum mat, 50 mm substrate, drainage mat and 5 mm felt mat. Plot 3: Sedum mat and 3 mm felt mat. Plot 4: Sedum mat and 25 mm mineral wool.

Figur 2.14: Lagoppbygning og vegetasjon for de ulike delene 1, 2, 3 og 4 for de grønne takene i Trondheim, Bergen og Sandnes (Johannessen & Muthanna, 2016).

Resultatene ble fordelt inn i tre sesonger: vintersesong (månedlig temperatur under 0 °C), kaldsesong (månedlig temperatur mellom 0-11 °C) og temperert sesong (månedlig temperatur over 11 °C).

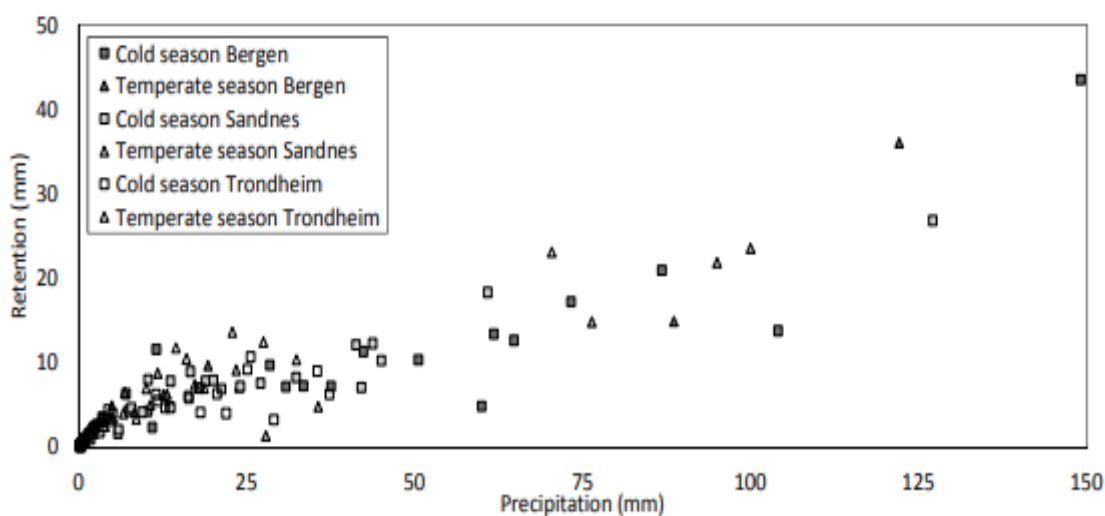
Enkelthendelser ble undersøkt ved å ha en tørr værperiode på minst 6 timer (ADWP) før en nedbørhendelse. Nedbørhendelser med en sum mindre enn 0,2 mm ble ekskludert. Data fra vinterperioden ble ikke brukt i hendelsesanalysen, da snømengden på taket ikke ble målt.

Gjennomsnittlig tilbakeholdelse i % og månedlig absolutt tilbakeholdelse i mm vises i figur 2.15, som en funksjon av årstiden og området. Trondheim viste størst tilbakeholdelse (30 %) etterfulgt av Sandnes (25 %) og Bergen (17 %). For den absolutte tilbakeholdelsen per måned (mm) viser Bergen høyest tilbakeholdelse etterfulgt av Sandnes og tilslutt Trondheim. Grunnen til dette er forskjellen i nedbørsmengde i de ulike byene.



Figur 2.15: Gjennomsnittlig tilbakeholdelse i % for ulike sesonger for Trondheim, Bergen og Sandnes (figuren til venstre) og absolutt tilbakeholdelse i mm (figuren til høyre) (Johannessen & Muthanna, 2016).

I figur 2.16 blir tilbakeholdelse per hendelse som en funksjon av total nedbør presentert. Resultatene er relativt spredt for de ulike byene. Fuktigheten ved start av nedbørhendelsen var derimot ikke inkludert i dette forsøket, som sannsynligvis er den viktigste faktoren når man ser på lagringskapasiteten til et grønt tak.



Figur 2.16: Tilbakeholdelse per enkelthendelse for byene Trondheim, Bergen og Sandnes som en funksjon av total nedbør ved ulike sesonger (Johannessen & Muthanna, 2016).

For nedbørhendelser mindre enn 10 mm, er forholdet mellom nedbør og fordrøyning lineært, med en lagringskapasitet på opptil 100 %. For nedbørshendelser mellom 10-50 mm, ble det observert en fordrøyning på 13 mm noe som indikerer at takene har god potensiell lagringskapasitet. For større nedbørhendelser (større enn 50 mm) med lang varighet (mer enn 48 timer), ble fordrøyningen større. Disse store nedbørhendelsene inneholdt flere nedbørhendelser innenfor det samme tidsrommet. For slike store nedbørhendelser kan man anta

at takets initialtilstand ikke er helt optimalt før neste regneepisode. Derfor blir en hendelsesstudie ikke helt ideelt for å studere effektene av slike store regn med lang varighet.

Evapotranspirasjon er hovedfaktoren til å øke fordrøyningskapasiteten til grønne tak før neste regnhendelse. I Trondheim regnet det 17 % av tiden som betyr at taket hadde resterende 83 % til å komme tilbake til optimal tilstand. For Sandnes og Bergen regnet det henholdsvis 31 og 41 % av tiden, noe som gav takene mindre tid til å øke fordrøyningskapasiteten. Dette kommer frem i resultatene, da Trondheim hadde best gjennomsnittlig tilbakeholdelse i %. Korte perioder med opphold mellom nedbørhendelsene kombinert med lave temperaturer var en utfordring for takene i alle byene.

2.6.2.2 Et prosjekt med sedumtak i Oslo

Braskerud, B.C. (2014a) etablerte to grønne forsøktak og studerte disse i NVE rapporten «Grønne tak og styrtregn», i 2014. Forsøksfeltet ble anlagt i 2009 på et 24 m² stort garasjetak i Oslo og forsøket pågikk i 5 år.

Forsøksfeltet besto av to grønne sedumtak (GT1 og GT2) og et referansetak som var delt i like stor deler, figur 2.17. Helningen på taket var 3,1° vendt mot nord. GT1 og GT2 er i utgangspunktet like og er bygd opp med mosesedumvegetasjon. Det som skiller de er at GT1 har drenering, mens GT2 er bygd opp med filt. Drensplaten til GT1 er 2,5 cm høy med hulrom som kan holde på 3,2 mm vann i teorien. Denne oppbygningen ble anbefalt med tak som har en helning på 0-4 °. På grunn av ombygning av GT1 i 2011, ble den første versjonen kalt GT1a og den siste, der det ble lagt på 1 cm VT-filt¹⁷ mellom drensplate og jorden, ble kalt GT1b. Denne oppbygningen er svært lik oppbygningen til det grønne taket på Bring Stasjon. For GT2 ble sedummattene lagt direkte på VT-filten som kan i teorien holde på 8 mm vann. Denne oppbygningen ble anbefalt til tak med 2-27 °. Referansetakket består av et ett-lags asfaltbelegg.

Nedbør, avrenning, temperatur og jordfuktighet ble målt. Avrenningen ble målt ved at vannet rant ned i et oljefat ved hjelp av en plastrenne, der en trykksensor målte vannstanden.

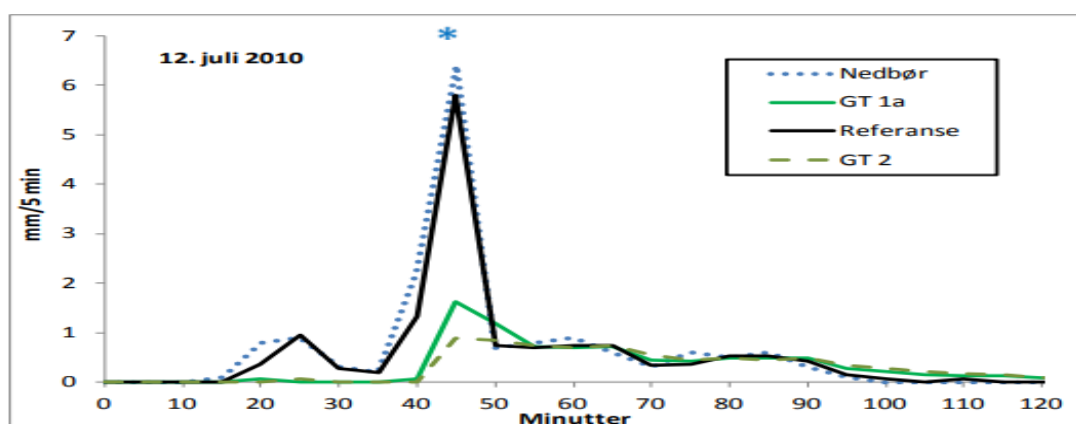
¹⁷ VT-filt er en drenerende og absorberende filt produsert av tekstilfiber og benyttes primært som underlag til sedumvegetasjon (VegTech, 2018).



Figur 2.17: Bilde av Braskerud sitt forsøktak når det var nyanlagt i 2009. Til venstre GT1, til høyre GT2 og referansetaket i midten (Braskerud, 2014a).

Resultatene som presenteres fra denne studien baserer seg på hendelser under ulike forhold som forhåpentligvis kan sammenlignes med de målte hendelsene fra denne oppgaven: ekstremregn ved våte tak, snøsmelting, våravrenning og tilslutt sammenhengen mellom nedbør og avrenning. På grunn av tekniske årsaker der nedbøren ikke samstemte med avrenningen fra referansetaket, blir resultatene sammenlignet med referansetaket.

Figur 2.18 viser resultatene fra en kort og intens nedbørhendelse 12. juli 2010 ved våte tak.

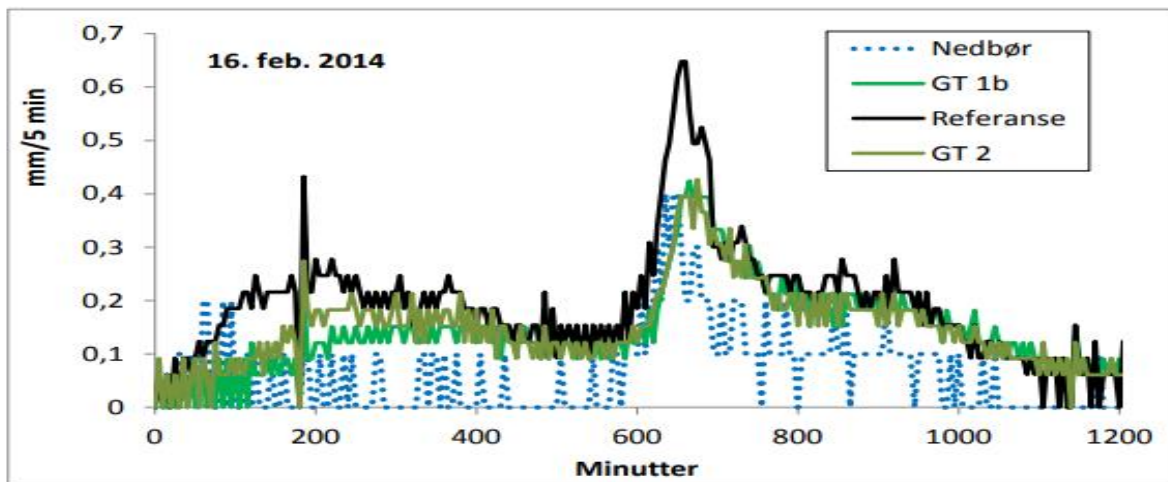


Figur 2.18: Intens og kort nedbør på vått tak med vegetasjon (GT1a og GT2) og uten vegetasjon (referansetaket) 12. juli 2010. Maks nedbøravrenning var 7,1 mm/5 min, med en 74-86 % demping av avrenningstoppen (Braskerud, 2014a).

GT1a og GT2 holder umiddelbart tilbake henholdsvis ca. 8 og 9 mm av de første 11 mm som faller. GT1a holder tilbake avrenningen med 41 % i forhold til referansetaket og 49 % i forhold til all nedbøren som falt. Sammenlignet med GT2 som henholdsvis har en tilbakeholdelse på 46 % og 53 % i forhold til referansetaket og nedbøren, har GT1a en lavere fordrøynings-effekt.

Figuren viser at begge sedumtakene demper det kortvarige regnet i betydelig grad. GT1a og GT2 demper avrenningsintensiteten med henholdsvis 74 % og 86 %.

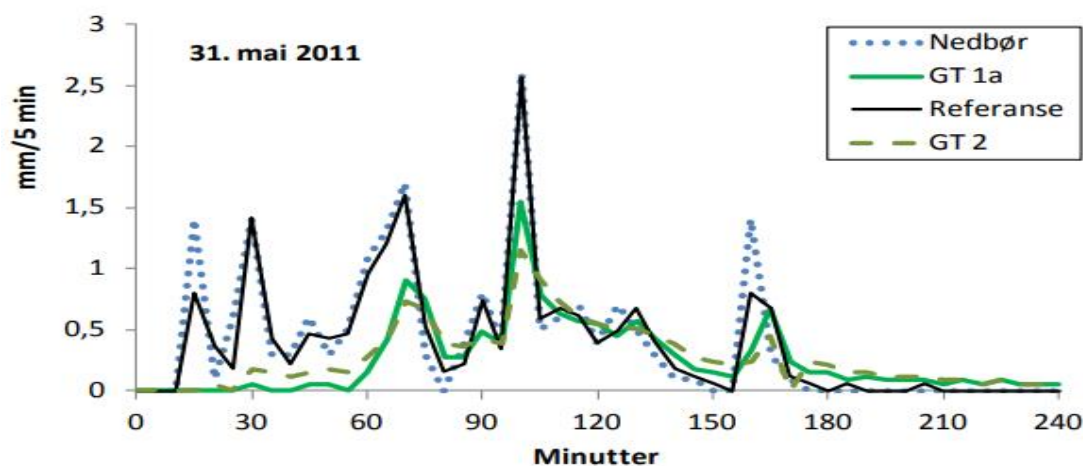
Figur 2.19 viser den høyeste målte avrenningen mens det var snø på taket. Av de 60 mest intense avrenningsepisodene gjennom forsøksperioden, var det kun et tilfelle som inkluderte snøsmelting og nedbør samtidig. Nedbøren kom som lett regn/yr og i løpet av tidsperioden ble snødekket redusert fra 15 cm til 7 cm. Rett før var temperaturen negativ, men lå stabilt på 2 °C under hele forløpet.



Figur 2.19: Snøsmelting og regn/yr med 15 til 7 cm snødekke med temperatur 2 °C for de grønne takene GT1b og GT2 over 20 timer. Kombinasjonen av regn og snøsmelting gir høyere avrenning for referansetaket (uten vegetasjon) enn det det gjør for de grønne takene (med vegetasjon). GT1b og GT2 er i vannmettet tilstand (Braskerud, 2014a).

Referansetaket er den som har raskest økning i avrenning, etterfulgt av GT2. Etter 3-4 timer følger avrenningen fra GT2 og GT1b samme mønster. Over de 20 timene faller det totalt 15,3 mm nedbør. Av referansetaket, GT1b og GT2 renner det av henholdsvis 46,3 mm, 34,9 mm og 36,2 mm. Tilbakeholdelsen totalt sammenlignet med referansen blir da henholdsvis 25 % og 22 %. Begge sedumtakene demper regnet like godt. Fra figuren så ser man derimot at GT2 forsinker imidlertid avrenningen omtrent dobbelt så lenge som det GT1b gjør.

Våren (mars-mai) ble registrert som den sesongen som hadde nest flest intense nedbørhendelser (etter sommeren). Figur 2.20 viser en intens nedbørhendelse 31. mai 2011 ved våte tak.



Figur 2.20: Avrenning om våren. Kontinuerlig regn på de grønne takene GT1a og GT2 som stadig blir våtere (Braskerud, 2014a).

Den totale avrenningen til GT1a og GT2 for hele perioden var henholdsvis 12,7 mm og 13,55 mm, som tilsvarer en tilbakeholdelse på 36 % og 32 %. Sedumtakene demper regnet godt selv om de i utgangspunktet var våte. Dempingen ble høyest for den korteste varigheten (5 minutter) der GT1a og GT2 tilbakeholdt henholdsvis 41 % og 56 %. For høyere varigheter på 10 og 60 minutter, dempet GT1a avrenningen med 25 % og 33 %, mens GT2 dempet med henholdsvis 24 % og 29 %.

I forsøksperioden ble også sammenhengen mellom nedbør og avrenning undersøkt. For hver varighet (5, 10, 20, 30 og 60) ble de tretti mest intensive nedbørtilfellene valgt for videre analysering. Ved å se på regresjonsligningene som ble laget, ble det funnet at sammenhengen mellom nedbøren og avrenningen har lav korrelasjonskoeffisient¹⁸. Dette betyr at sammenhengen ikke er så sterk spesielt for nedbør med kort varighet. De kortvarige regnhendelsene kan enten nesten holdes helt igjen eller tapes totalt. Årsaken til en dårlig sammenheng mellom avrenning og nedbør kan ligge i de andre leddene i formel 2.11.

Braskerud kom fram til i løpet av en forsøksperiode på 5 år at ekstensive tynne tak kan holde på minst 24 % av nedbøren selv under ikke optimale klimatiske forhold. Under stabile vinterforhold med snønedbør er forskjellen i tilbakeholdelse for tak med vegetasjon og uten vegetasjon liten. Tilbakeholdelsen var derimot lavest på høsten, da det ofte var vått og kaldt, tabell 2.7. Tilbakeholdelsen var størst ved intense kortvarige regn sammenlignet med

¹⁸ Korrelasjonskoeffisienten er et mål som angir hvor mye to målbare størrelser henger sammen (Frøslie, 2018).

langvarige regnepisoder. For et 40 års regn med varighet på 30 minutter ble avrenningen holdt tilbake med 48 %. For et 50 års regn med varighet på 10 minutter ble tilbakeholdelsen 89 %.

Den teoretiske kapasiteten til takene ble ikke utnyttet fullt ut. Vekstmediet og filtmatte kunne i teorien holde henholdsvis på ca. 14 og 9 mm vann. Den største målte tilbakeholdelsen var derimot ca. 20 mm over 30 minutter. Avrenningen skjedde trolig før taket ble vannmettet.

Tabell 2.7: Nedbøren fordelt på årstidene vinter (desember-februar), vår (mars-mai), sommer (juni-august) og høst (september-november) over 5 årsperioden. Sum tilbakeholdt nedbør på de grønne takene GT1, GT2 og referansetak er vist i % (Braskerud, 2014a).

Årstid	Nedbør (mm)	Sum tilbakeholdt %, GT1	Sum tilbakeholdt %, Ref	Sum tilbakeholdt %, GT2
Vinter	156	36	18	34
Vår	161	-4	-41	4
Sommer	391	36	8	37
Høst	264	16	1	17
Totalt	972	24	-1	26

2.6.2.3 Grønne tak i Nord-Europa

Johannesen et al. (2017) analyserte grønne tak i ti ulike byer i Nord-Europa i studien «Green roof performance in cold and wet regions» i 2017. Et av målene var å dokumentere hvordan lagringskapasiteten og vegetasjonen påvirker fordrøyning under ulike klimatiske forhold.

De ulike byene som ble analysert er vist i figur 2.21. Data for Oslo, Grimstad, Bergen, Sandnes, Tromsø og Trondheim var hentet fra Meteorologisk institutt. Data for Sheffield (Storbritannia) var hentet fra National Meteorological Library & Archive og data for Malmö og Umeå fra Svensk Meteorologisk og Hydrologisk institutt. To ulike perioder ble brukt. Normalperioden 1961-1990 for å sammenligne forskjellige evapotranspirasjonsmodeller og normalperioden 1986-2015 som ble brukt til all annen analyse for å få et så nøyaktig bilde av de lokale klimaforholdene som mulig.



Figur 2.21: Kart over de ti ulike byene i Nord-Europa der de grønne takene blir analysert (Johannessen et al., 2017).

Det ble observert store forskjeller i årlig fordrøyning med varierende lagringskapasiteter, tabell 2.8. Variasjonen mellom stedene var hovedsakelig på grunn av ulike nedbørsmengder og faktorer som førte til evapotranspirasjon. Den høyeste tilbakeholdelsen (%) ble funnen i Malmö og Sheffield (gruppe 2). Dette gjaldt også for Oslo og Umeå (gruppe 3) som hadde minst nedbør og relativt høye sommertemperaturer. I Bergen, Grimstad og Sandnes (gruppe 1) var tilbakeholdelsen (%) lav. Derimot var den totale tilbakeholdelse (mm) på disse stedene høyest på grunn av den høye årlige nedbøren. Den totale tilbakeholdelsen var lavest i de nordligste stedene i Tromsø og Umeå.

Resultatene funnet i dette forsøket samsvarer også med funnene fra artikkelen «Retention performance of green roofs in three different climate regions» av Sims et. Al (2016) som tidligere nevnt i avsnitt 2.6.1.2. Studien fant ut at nedbørsmengden og evapotranspirasjonsraten hadde stor innvirkning på fordrøyningen i de grønne takene.

Tabell 2.8: Venstresiden viser minimum lagringskapasitet for å unngå tørke sammen med foreslått lagringskapasitet. Høyre siden viser årlig fordrøyning av nedbør fordelt på sesongene vinter, vår, sommer og høst for normalperioden 1986-2015 (Johannessen et al., 2017).

		Minimum storage capacity to avoid drought < 1/3.3-3.9 year	Minimum storage capacity to avoid drought < 1/30 year	Suggested design storage capacity	Retention of stormwater				
		(mm)	(mm)	(mm)	Winter	Spring	Summer	Autumn	Annual
Group 1	Bergen	27	45	30	1%	23%	52%	10%	18%
	Grimstad	35	52	40	1%	31%	65%	18%	27%
	Sandnes	27	42	30	1%	27%	58%	13%	22%
Group 2	Malmö	50	>65	50	5%	66%	91%	59%	58%
	Sheffield	40	>65	40	10%	67%	86%	47%	50%
Group 3	Oslo	39	50	40	0%	49%	83%	29%	45%
	Umeå	38	59	40	0%	34%	84%	27%	40%
Group 4	Reykjavik	26	41	30	1%	27%	90%	20%	28%
	Trondheim	24	44	30	0%	29%	75%	16%	29%
	Tromsø	25	29	30	0%	9%	70%	8%	17%

Lagringskapasiteten varierte med ca. 25 mm i de kaldeste og fuktigste områdene (gruppe 1 og 4) til ca. 50 mm i Malmö. Fra tabellen er det store variasjoner i tilbakeholdelsen i de ulike sesongene. For vintersesongen ble det målt en lav tilbakeholdelse (0-10%).

Fra studiet ble det funnet ut at den høyeste tilbakeholdelsen i absoluttverdier ble funnet til å være i de våteste byene, mens den høyeste tilbakeholdelsen i % av årlig nedbør var størst i de tørrere og varmere byene. Tilbakeholdelsen økte med en økning i evapotranspirasjonsraten og en økning i lagringskapasiteten. Evapotranspirasjon ble funnet til å være begrensingsfaktoren for tilbakeholdelsen for de grønne takene i de kalde og våte områdene.

Optimal lagringskapasitet for sedumvegetasjon ble funnet til å være (der man aksepterer tørke hver 3,3-3,9 år) 25 mm i de kaldeste og våteste stedene og mellom 40-50 mm i de varmere og tørrere områdene. Noe som resulterte i en årlig tilbakeholdelse på 17 % i de kalde, våte områdene og 58 % i de varme områdene. Alle byene hadde en betraktelig større tilbakeholdelse om sommeren (52 % til 91 %).

3 ANALYSEOMRÅDET & METODER

3.1 Analyseområdet, Bring Stasjon felt B1

Området er lokalisert i Groruddalen i Alfasetveien og befinner seg i bydel Alna, Oslo kommune, figur 3.1. Det nye logistiksenteret består tre av hovedenheter: B1 (Bring Frigo, kjøle – og fryselager), B2 (pakke – og distribusjonsanlegg) og B3 (produksjonshall og administrasjonsbygg) (Hjellnes Consult, 2012). Byggingen av prosjektet startet våren 2014 og var klart til innflytting våren 2016. Anlegget grenser til vei mot eksisterende pakketerminal (PGO) i sørvest, Nedre Kaldbakkvei i nordøst, mot Alfasetvei sørøst og Jernbaneverkets sporumråde i nordvest.



Figur 3.1: Kart over analyseområdet. Bildet i bakgrunnen viser området på Alnabru hvor termoterminal B1 befinner seg (Norgebilder, 2018). Bildet i nedre høyre hjørne viser stedsplassing til anlegget (Googlemaps, 2018). Bildet oppe i høyre hjørne viser termoterminal B1 og parkeringsområdene rundt bygget (NTB, 2014).

Termoterminal B1 ble valgt som analyseområde. Bygget har delvis to etasjer med en grunnflate 4 480 m². Samlet BTA¹⁹ er ca. 5 550 m² (Hjellnes Consult, 2012). B1-feltet ble valgt som analyseområdet fordi det var mer tilgjengelig for utplassering av måleutstyret.

¹⁹ BTA = Bruttoareal. Byggets areal inkludert yttervegger.

Det ble lagt opp til at all overflateavrenning fra trafikkerte arealer skulle renses ifølge den tekniske hovedplanen for prosjektet. Det ble lagt opp til sedementeringskummer på tomten rensedamner langs tomtens sørside. Vannet fra rensedammene blir ført til Kjeldsrudbekken på tomtens syd og østside, før det tilslutt ender opp i Alnaelva (Hjellnes Consult, 2012). Figur 3.2 viser bilder av rensedammene langs analyseområdet.



Figur 3.2: Bildet av rensedammene på tomtens sørside. Rensedammene skal fange opp sedimentering før det føres videre til Alnaelva. Bildene er tatt 15. april 2018.

3.1.1 Det grønne taket

Taket ble bygget høsten 2015 og har et areal på 0,40 hektar. Taket er flatt med svakt fall inn mot rennene. Det opplever ikke noe skygge fra omgivelsene, på grunn av byggets høyde. Taket er delt inn i tre deler, der den midterste delen, ligger omtrent 150 cm høyere enn de to andre takene. Taket er omringet og sikret med høye kanter på ca. 120 cm.



Figur 3.3: Bilder av det grønne taket på Bring Stasjon termoterminal B1 september 2017.

Det grønne taket er bygd opp med «Sempergreen sedummix», som er sedummatter med en blanding av ti ulike arter per matte. Mattene rulles ut øverst på taket, figur 3.3. De er produsert i Holland og har en standard størrelse på 120 cm x 100 cm. Sedummattene er mellom 2 til 4 cm tykke og skal være minimum 95 % dekket ved leveranse. For dette taket har sedummattene en tykkelse på 3 cm. Mattene veier ca. 15 kg/m² (tørr tilstand) og ca. 20 kg/m² (våt tilstand). Produktspesifikasjon om sedummattene er vedlagt i vedlegg A. Disse mattene er litt lettere enn andre ekstensive matter som ofte varierer mellom 25-50 kg/m² (tørr – våt tilstand). Forskjellen i vekten skyldes sammensetningen i vekstmediet, og at mattene for dette taket er bygget opp med mer lava og pimpstein som gjør matten lettere sammenlignet med andre matter (Sundby, 2018). Taket er utstyrt med sluk, der elvestein i ulik størrelse 40/80²⁰ mm er lagt rundt, for å sikre god drenering (Vital Vekst, 2015).

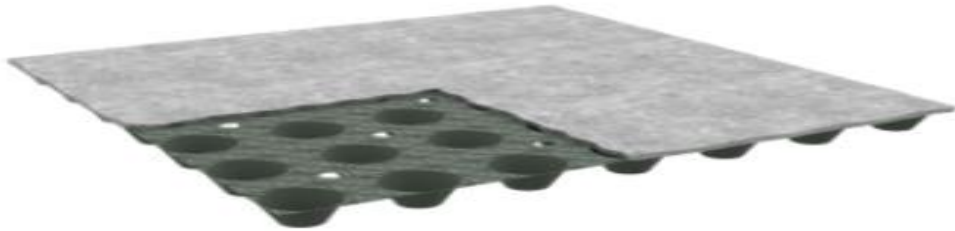


Figur 3.4: Bilder av oppbygningen til det grønne taket tatt den 6. april 2018. Taket er bygget opp med sedum på toppen, etterfulgt av en filtmatte og en dreneringsplate med knaster vendt oppover.

Under sedummattene er det lagt en kombinert dreneringsplate og vannholdig filtmatte, Oldroyd Green XV 25, figur 3.5. Dette er en perforert reservoarmembran med kryssmønster som er laget av polypropylen og et gummiert friksjonssjikt. Membranen har knasteplater som er 20 mm høye og som har et volum på 14,5 ml. Dette tilsvarer ca. 4 l/m² (Sundby, 2018). Over knastene er det lagt en geotekstil (nonwoven) som er 5 mm tykk og veier 600 g/m² som kan lagre ca. 3 l/m² vann (Oldroyd, 2014). Filten bidrar til ytterligere økning av vannlagringsevne. Dette gir et vannreservoar på 7 l/m². Totalt gir dette et vannlagringsvolum på 12 l/m² for det grønne taket (sedummattene + membranen). Membranen har 8 mm store hull som lar overflødig vann lett

²⁰ Steinene vil variere i størrelse mellom 40-80 mm.

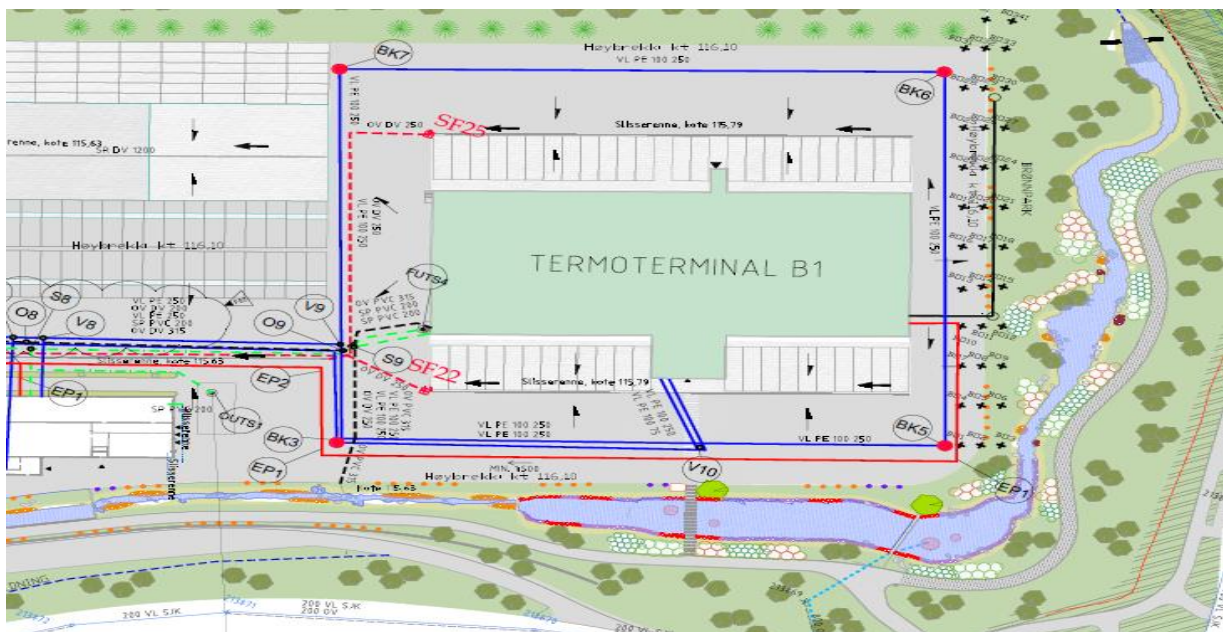
dreneres bort. Membranen har som funksjon å være et vannreservoar for plantene og legges på et vanntett underlag med åpningen til hulrommene vendt oppover (Vital Vekst, 2015). Teknisk datablad for membranen er vedlagt i vedlegg B.



Figur 3.5: Oldroyd Green XV 25 reservoarmembran. Membranen er bygd opp med knasteplater og en geotekstil som kan lagre 7 l/m² med vann (Oldroyd, 2016).

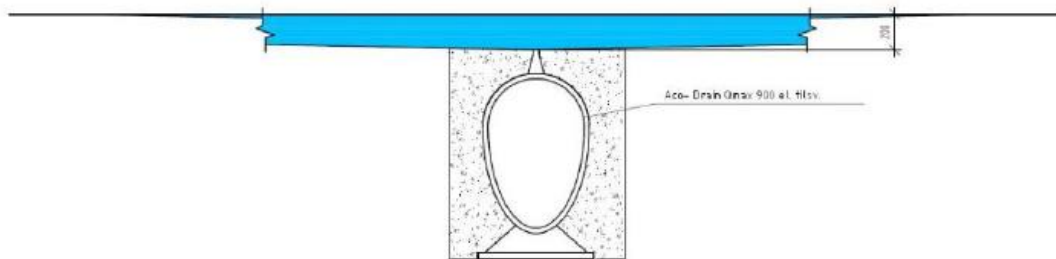
3.1.2 Parkeringsområdet

Parkeringsområdet har et areal på ca. 0,93 hektar. På hver side av bygget er det avlastningsområder av betong for lastebilene (det lyse grå området), figur 3.6. Det mørke grå området, av asfalt, viser kjøre/parkeringsområdet. På begge sider av bygget skal overvannet strømme fra avlastningsområdet og kjøre/parkeringsområdet inn i slisserenner som videre føres til sandfangene, SF22 og SF25. Dette vises med fallpiler i tegningen under.



Figur 3.6: Som bygget tegning fra prosjektet på posten logistikkenter, termoterminal B1. Tegningen viser oversikt over nye ledninger og koblinger, og utløpet fra det grønne taket. Utløpet fra taket er vist med svart stiplede linje. Overvannet fra sandfangene er vist med rød stiplede linje (Hjellnes Consult, 2015a).

Slisserennene er plassert langs skille mellom avlastnings – og parkeringsområdet i et lavpunkt. Det er tenkt å bruke den asfalterte overflaten sammen med rennene til fordrøyning. Slisserennene brukt er Aco Drain Q_{max} 900, figur 3.7. Asfaltoverflaten ble hensiktsmessig utformet ut i fra at vann skulle bli stående i kortere perioder. Prinsippskissen viser at ved større nedbørsmengder vil vann bli lagret på deler av overflaten (det blåe området).



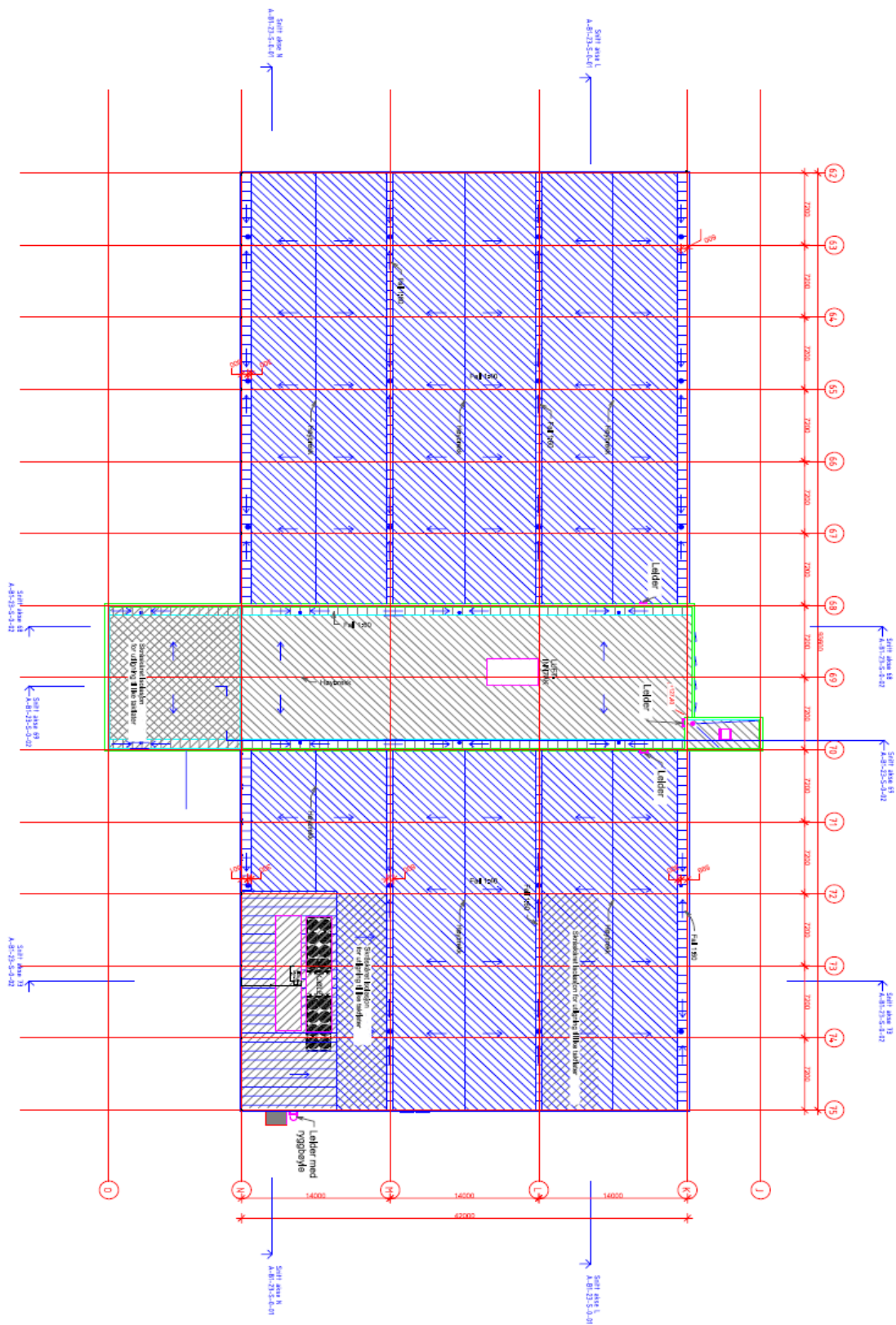
Figur 3.7: Prinsippskisse av slisserenne Aco Drain Q_{max} 900. Ved større nedbørsmengder vil vann bli stående på deler av overflaten (Hjellnes Consult, 2014b).

3.2 Beregningsgrunnlag

Området ble dimensjonert av konsulentfirmaet Multiconsult, tidligere Hjellnes Consult, etter føringer fra den tekniske hovedplanen som ble laget for prosjektet. Bakgrunnen for denne hovedplanen ble gitt i reguleringsbestemmelsene § 9: «...*Takene skal utbygges som grønne tak som fordrøyer avrenningen fra de store takflatene.*» Etter en uttalelse fra VAV ble maksimum påslippsmengde 35 l/s/ha ved dimensjonerende overvannsavrenning fra området (Hjellnes Consult, 2012).

3.2.1 Nedbørfeltene

Nedbørfeltet til det grønne taket er begrenset av takets areal. Taket er utstyrt med renner og sluk, figur 3.8. Fallene på takflaten i horisontal og vertikal retning er henholdsvis 1:60 og 1:40. Slukene fra alle delene føres etter hvert sammen til et felles overvannsrør som føres direkte ut i elveløpet, se stiplet linje figur 3.6.



Figur 3.8: Takplan av termoterminal B1. Planen viser hvor rennene går, helningen og plasseringen av slukene. Fallet i takflaten i horisontal retning er 1:60 og i vertikal retning 1:40 (Hjellnes Consult, 2015b).

Nedbørfeltet til parkeringsområdet er begrenset av høybrekk i ytterkantene som fungerer som et vannskille. Dette gjelder for skille til grøntarealene i retning sørøst, nordøst og nordvest. I retning sørvest finnes et kjøreområde som binder B1-feltet med B2-feltet. Der finnes det ikke noe høybrekk og området begrenses etter fallpilene i tegningen.

3.2.2 Dimensjonering av fordrøyningsvolum

Fordrøyningsvolumet ble dimensjonert etter et gjentaksintervall på 25 år og med et klimapåslag på 30 %. Nedbørdata ble hentet fra Meteorologisk institutt sin målestasjon på Blindern. Det ble dimensjonert etter følgende faktorer for parkeringsplassen og slisserennene (tabell 3.1 og tabell 3.2), og det grønne taket (tabell 3.3).

Metoden som er brukt til beregningene er regnenvelopmetoden. Beregningsgrunnlaget til parkeringsplassen har tatt hensyn til hele arealet på området. Dette gjelder området på B1 uten hensyn til det grønne taket og området mellom B1 og B2 feltet. Dette ble totalt 3,6 hektar. Avrenningsfaktoren er valgt ut i fra VAV sin overvannsveileder for tette flater, 0,95. Påslippet for arealet ble beregnet ut ifra maks spesifikk påslippsmengde oppgitt av VAV. Ut i fra dette ble nødvendig fordrøyningsvolum for hele området 945 m³.

Tabell 3.1: Beregningsgrunnlag for parkeringsplassen på Posten Alnabru felt B1 (Hjellnes Consult, 2014b).

Areal	Avrenningsfaktor	Maks spesifikk påslippsmengde	Påslippsmengde	Nødvendig fordrøyningsvolum
3,6 ha	0,95	35 l/s/ha	126 l/s	945 m ³

Volumberegningene for slisserennene ble beregnet for hele området, inkludert området mellom B1 og B2. Totalt på området er det fire slisserenner, der de to slisserennene på området mellom B1- og B2 - feltet var 140 m lang, mens de to andre på B1-feltet var 95 m lang. Fra beregningene ser man at fordrøyningsvolumet over slisserennen er mye større enn volumet i selve rennen.

Tabell 3.2: Volumberegning av slisserennene Aco Drain Q_{max} 900 (Hjellnes Consult, 2014b).

	Volum	Lengde	Total
Aco-drain Q _{max} 900	0,42 m ³ /lm	470 m	197, 4 m ³
Volum over slisserenner	2 m ³ /lm	470 m	940 m ³
		=	1137, 4 m ³

Det grønne taket ble beregnet med en avrenningsfaktor på 0,7. Det er vanlig å bruke en avrenningsfaktor på 0,6 (Braskerud, 2018). For noen kan dette synes å være konservativt. Maks

påslippsmengde fra det grønne taket ble beregnet til 15 L/s. Ut i fra dette ble nødvendig fordrøyningsvolum 77 m³. Det kan antas at fordrøyningsvolumet ble brukt til å velge oppbygningen til det grønne taket.

Tabell 3.3: Beregningsgrunnlag for det grønne taket på Posten Alnabru felt B1(Hjellnes Consult, 2014b).

Areal tak	Avrenningsfaktor	Maks spesifikk påslippsmengde	Påslippsmengde	Nødvendig fordrøyningsvolum
0,42 ha	0,7	35 l/s/ha	15 l/s	77 m ³

3.2.3 Lover og retningslinjer for prosjektet

Overvannsløsningene på logistikkcenteret er dimensjonert etter retningslinjer fra Oslo kommune sin veileder for overvannshåndtering fra 2012 (Hjellnes Consult, 2012). Hensikten med veilederen er å langsiktig beskytte kommunen mot de framtidige klimaendringene. Et av hovedprinsippene er at alt overvannet skal håndteres lokalt og at tilførselen av overvann til det offentlige avløpsnett skal reduseres. Veilederen følger gjeldende lover, forskrifter og «kommunale planer». Dette er blant annet plan – og bygningsloven, vannressursloven, forurensningsloven, byggeteknisk forskrift, vannforskriften, Oslo kommunes reguleringsplaner, hovedplan avløp 2000-2015 og byøkologisk program 2011-2026 (VAV, 2012).

Oslo kommune setter krav til påslipp til offentlig avløpsnett fra anlegg, etter forurensningsloven § 15-A-4. Når VAV stiller krav om mengder, ligger den langsiktige kapasiteten til avløpsnett til grunn. På grunn av risiko for kjelleroversvømmelser og dårligere renseeffekt fra renseanleggene, vil det alltid bli stilt strengere krav til påslipp på fellesledninger enn overvannsledninger (VAV, 2012), tabell 3.4.

Tabell 3.4: Øvre grenser for påslippmengder for overvannsledning og fellesledning (VAV, 2012).

Totalt avrenningsareal	Overvannsledning	Fellesledning avløp	Minste innvendig ledningsdimensjon
hektar	l/s	l/s	mm
<0,1	3-5	0	230-300
0,1-0,5	5-20	3-5	380-500
0,5-1,0	20-35	5-10	550-650
1,0-1,5	35-50	10-15	650-750

Veilederen bruker den rasjonelle formel (avsnitt 2.4.1 rasjonelle metode) for beregning av overflateavrenning, som vanligvis blir benyttet i de fleste tilfeller. Nedbørstatistikk for Oslo kommune blir hentet fra Meteorologisk institutt sin målestasjon på Blindern (VAV, 2012).

Veilederen følger NORVAR (Norsk vann) sitt anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall²¹ for regnskyllhyppighet for felles – og separatavløpssystem (VAV, 2012). tabell 3.5 viser to inndelinger. Venstre kolonne representerer dimensjonerende regnskyllhyppighet dersom ledningsnettets fylles opp til topp rør. Høyre kolonne viser dimensjonerende regnskyllhyppighet ved oversvømmelse til kjellergulv, som vil si 90 cm over topp innvendig rør.

Tabell 3.5: NORVARs minimums dimensjonerende gjentakintervall for felles – og separatavløpssystem (Lindholm et al., 2008).

Dimensjonerende regnskyllhyppighet * (1 i løpet av "n" år)	Plassering	Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet ** (1 i løpet av "n" år)
1 i løpet av 5	Områder med lavt skadepotensiale	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/forretningsstrøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Undergrunnsbane/underganger/underjordiske næringsområder	1 i løpet av 50

²¹ Gjentakintervall er hvor ofte en hendelse forekommer i snitt over en lengre tidsperiode. For eksempel er en hendelse med 100-års gjentakintervall forventet å opptre i snitt en gang hvert hundrede år over en lengre tidsperiode.

Avrenningskoeffisienten blir bestemt ut ifra veiledende verdier fra Trondheim og Bergen kommune, og Statens vegvesen, tabell 3.6 og tabell 3.7.

Tabell 3.6: Avrenningskoeffisienter for ulike flater hentet fra Trondheim og Bergen kommune (VAV, 2012).

Arealtype	Avrenningskoeffisient (ϕ)
Tette flater (tak, asfalterte plasser/veger og lignende)	0,85 - 0,95
Bykjerne	0,70 - 0,90
Rekkehus-/leilighetsområder	0,60 - 0,80
Eneboligområder	0,50 - 0,70
Grusveier/-plasser	0,50 - 0,80
Industriområder	0,50 - 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 - 0,50

Tabell 3.7: Avrenningskoeffisienter for ulike områder av Statens vegvesen (VAV, 2012).

Arealtype	Avrenningskoeffisient (ϕ)
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6 - 0,9
Grusveger	0,3 - 0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2 - 0,4
Skogsområder	0,2 - 0,5

3.3 Måleutstyr

Måleutstyret brukt til denne studien ble levert og montert av ITAS, Scanmatic Instrument Technology AS.

3.3.1 Nedbørmåling

Nedbørmåleren som ble benyttet er en Lambrecht 15189H. Sensoren måler nedbør etter vippekar-prinsippet og har et volum på 2 cm³. Måleren er vintertilpasset med oppvarmet glødetråd. Mer spesifikasjoner er vist i tabell 3.8.

Tabell 3.8: Spesifikasjoner for Lambrecht 15189H nedbørmåler (ITAS, 2018a).

Måling	Måleområde	Oppløsning	Nøyaktighet
Nedbør	0-10 mm/min	0,1 mm	+/- 2%

Nedbørmåleren ble satt opp 27. november 2017. Målinger ble ikke registrert før 7. desember. Måleren ble montert i en stolpe ca. 1,5 m over bakken. Det var ønskelig å plassere nedbørmåleren på det grønne taket for å få målingene så nøyaktig som mulig. Dette lot seg ikke gjøre, på grunn av manglende strømtilførsel på taket. Nedbørmåleren ble deretter plassert ved siden av utløpet fra det grønne taket, der det var mulig å tilkobles strøm fra vaskehallen ved

siden av. Måleren står utenfor trafikkområde, potensielle varmekilder og unna fare for ødeleggelse, figur 3.9.



Figur 3.9: Plassering og montering av nedbørmåleren 27. november 2017 med ITAS. Bildet til venstre er tatt under monteringen. Bildet til høyre viser nedbørmåleren ferdig montert.

3.3.2 Målemetode for vannføring

Vannføringen ble målt for parkeringsområdet og det grønne taket. For måling av vannføring fra parkeringsområdet var det først ønsket å sette måleutstyr i overvannskum O9, figur 3.6. Dette viste seg til å ikke være mulig, ettersom prosjektet ikke ble bygget slik som det var prosjektert. I virkeligheten befant kummene seg midt i trafikkområdet lengre sørvest. Derfor ble utstyret plassert i sandfangene, SF22 og SF25. For måling av vannføring av det grønne taket var det lettest og mest gunstig å plassere måleutstyr i utløpet ved rensedammen. Det ble brukt to ulike målemetoder for vannføringen, én for takavrenning og én for avrenning fra parkeringsområdet.

3.3.2.1 Måling av vannføring fra det grønne taket

Vannføringen ble målt med et V-overløp der vannstanden ble registrert ved bruk av en ultralyd avstandsmålesensor, PIL P43-F4V-2D-1D0-180E. Sensoren ble montert loddrett over vannflaten i et rør for å unngå turbulens, figur 3.10. Denne sensoren måler avstanden ved å sende ut korte lydimpulser og måle hvor lang tid det tar før lydimpulsen kommer tilbake. Sensoren har avstandsmålinger fra 20 mm til 2000 mm (ITAS, 2018a). Mer spesifikasjoner er vist i tabell 3.9.

Tabell 3.9: Spesifikasjoner for PIL P43-F4V-2D-1D0-180E ultralyd avstandsmålesensor (ITAS, 2018a).

Måling	Måleområde	Nøyaktighet
Avstand	20-2000 mm	+/- 0,5 %

For å beregne vannstrømningen ble det montert opp et V-overløp foran utløpet. Ved å måle vannets høyde over et 60 ° V-spor og høyden i magasinet, kan vannføringen beregnes etter følgende standardisert formel etter utformingen av V-overløpet (ITAS, 2018a):

$$Q = K \cdot \tan \frac{\varphi}{2} \cdot H^{5/2}$$

Formel 3.1: Beregning av vannstrømning ved V-overløp og ultralydsensor.

Der	Q	=	Vannføringen	[L/s]
	K	=	Konstant gitt etter utforming av V-sporet	[-]
	H	=	Vannhøyde over V-sporet, målt fra spissen og opp	[m]

V-overløpet og ultralydsensoren ble montert den 27. november 2017, samme dag som nedbørmåleren, figur 3.10. Det ble ikke registrert noe vannføring før 7. desember. Den minste og største vannføringen som skal kunne måles er henholdsvis 0,01 L/s og 59 L/s.



Figur 3.10: Montering av V-overløpet og ultralydsensoren den 27. november 2017 med ITAS. Bildet til venstre viser løsningen ovenfra, uten montering av ultralydsensoren. Bildet til høyre viser V-overløpet ferdig montert med ultralydsensoren som befinner seg i det gråe røret. Den loddrette platen er plassert et stykke foran utløpet for å sikre laminær strømning inn mot sensoren.

Over løsningen ble det lagt en isolasjonsmatte, for å hindre at snø og regn skulle havne i magasinet og måles i V-overløpet.

Denne metoden ble valgt på grunn av forholdene og utformingen ved utløpsrøret. Det var mulig å benytte andre typer målerenner, men ettersom bruk av V-overløp er en godt utprøvd og nøyaktig metode, var dette det rimeligste alternativet ved måling av lave vannføringer. Sensoren ble valgt på bakgrunn av kostnader og nøyaktighet. Det var andre instrumenter som kunne blitt benyttet, men til en betraktelig dyrere pris.

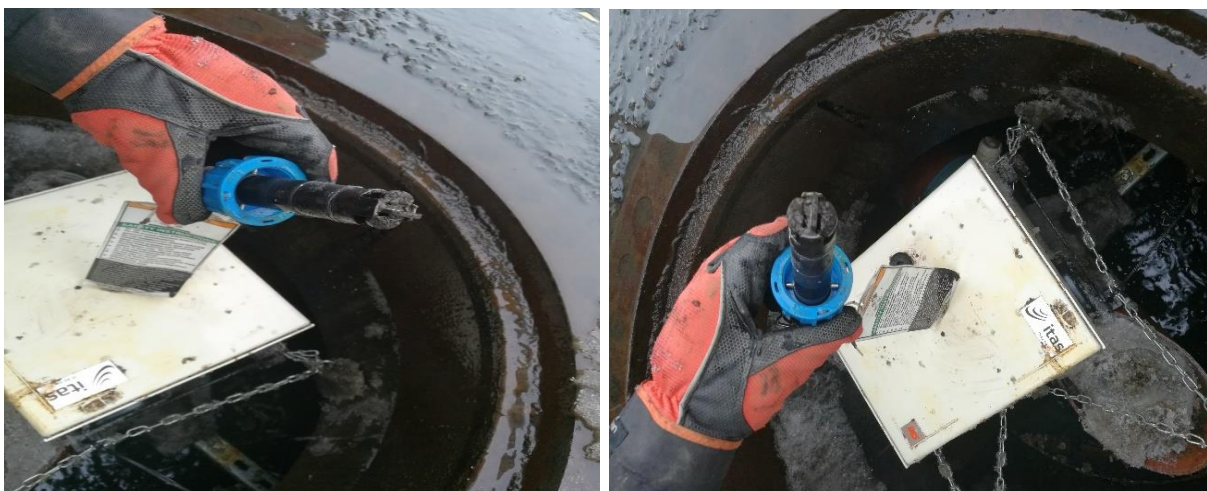
3.3.2.2 Måling av vannføring fra parkeringsområdet

Samme metode for måling av vannføring ble brukt i begge sandfangene, SF22 og SF25. Måleutstyret ble montert den 13. desember 2017. Årsaken til forsinkelsen i monteringen var at sandfangene møtte tømmes før utstyret kunne plasseres ned i kummene.

For måling av vannføringen ble en 2536 Rotor-X Flow Sensor benyttet, figur 3.11. Denne sensoren måler vannstrømningen gjennom en mekanisk propell med pulsteller (ITAS, 2018b). Mer spesifikasjoner er vist i tabell 3.10.

Tabell 3.10: Spesifikasjoner for 2536 Rotor-X Flow Sensor (ITAS, 2018b).

Måling	Måleområde	Lineæritet	Repeterbarhet	Frekvens
Vannstrømning	0,1 – 0,6 m/s	+/- 1 % av max. range (25°)	+/- 0,5 % av max. range (25°)	49 Hz per m/s



Figur 3.11: Bildet til høyre og venstre viser sensoren 2536 Rotor-X Flow. Sensoren ble montert i en tilhørende sadel.

For å måle vannføringen ble det skjøtet på et 45 ° langbend fra Wavin med en diameter på 160 mm på eksisterende innløpsrør vinklet oppover, se figur 3.12 bildet til venstre. Flow-sensoren er montert på røret med en tilhørende sadel, figur 3.12 bildet til høyre. Sensoren ligger nær den ene rørveggen i tverrsnittet. Røret skal være fylt til enhver tid for å få korrekte målinger.



Figur 3.12: Montering og skjøting av langbendet og flow-sensoren den 13. desember 2017 med ITAS. Bildet til venstre viser sandfanget før montering og innløpsrøret fra slisserennene. Bildet til høyre viser ferdig montert løsning med skjøtet langbend fylt med vann, flow-sensoren montert og sikringsskapet.

Vannføringen blir beregnet etter pulsfrekvensen på sensoren og følgende formel (ITAS, 2018b):

$$Q = \frac{f}{49m^{-1}} \cdot \pi \cdot R^2$$

Formel 3.2: Beregning av vannstrømning ved langbend og flow-sensor.

Der	Q	=	vannføringen	[L/s]
	f	=	antall pulser per tidsenhet	[-]
	R	=	Rørets innvendige radius	[m]

Denne formelen er basert på at sensoren har et oppgitt antall pulser per tidsenhet delt på en hastighetsenhet. For denne sensoren er det 49. Rørets radius innvendig er 0,0725 m. I formelen multipliseres volumet til røret med sensorens målinger. Den minste og største vannføringen som skal kunne måles er henholdsvis 1,65 L/s og 9,9 L/s.

Denne metoden ble valgt på bakgrunn av forholdene og plassen i sandfangene. Det ble først planlagt å lage en innretning med måleprofil. Tidligere tegninger og beregninger utført av

konsultentselskapet viste en større rørdimensjon på innløpsrøret i sandfangskummen enn det var i virkeligheten. Denne løsningen ble derfor sett bort ifra tidlig i planleggingen. Dette var på grunn av at målerenna ikke hadde taklet så store vannmengder som beregningene tilviste, og kunne lett blitt overfylt. Den nye løsningen ble derfor valgt på bakgrunn av kostnader og utfordringen med å få plass i sandfangskummene.

3.3.3 Datainnsamling

Datainnsamlingen skjer gjennom dataloggeren CR200 én gang per døgn til ITAS sin innsamlingsserver. Overføringen skjer gjennom et moden (M100eva Series modem). Modemet er vanligvis slått av, men aktiveres hver hele time og er aktiv i 10 minutter. Da blir dataene lagt ut på en presentasjonsside (ITAS, 2018b).

3.3.4 Usikkerheter ved målemetodene

Metoden med V-overløp kan skape usikre resultater ved at nedbør eller avrenning fra snø kan renne inn i løsningen. Finner nedbør veien inn i magasinet, kan det forstyrre målingene. Stolpen til nedbørmåleren stikker opp av isolasjonslaget som er sikret med tunge steiner. Dette lager en liten åpning der det kan være fare for at vannet finner veien inn. Terrenget over utløpet er bratt og det er sannsynlig at noe smeltevann fra dette området kan renne inn. En annen usikkerhet er at vannet kan finne veien tilbake igjen i magasinet. V-overløpet er plassert på et relativt flatt underlag. Ved en stor regnhendelse kan det hende at vannet som passerer V-overløpet kan renne tilbake igjen samme vei, om det strømmer mye vann i rensedammen. Den største faktoren som kan påvirke målingene dukker opp ved vinterstid og ved lave vannføringer, da det er store muligheter for at vannspeilet kan fryse ved lave temperaturer. Dette kan føre til usikre data for deler av vinterperioden.

Lave vannføringer og kalde temperaturer kan også føre til målefeil i målingene av vannføringen i sandfangskummene. En annen usikkerhet knytter seg til forholdene målerne er plassert i. Kjøretøy drar med seg partikler og skaper ofte et urent miljø. Dette gjør at vannet som renner ned til sandfangskummen ikke er av det reneste. Små partikler kan feste seg til propellen på sensoren som gjør at måleren ikke registrerer riktig vannføring. Det urene vannet kan også føre til at mye møkk legger seg i røret, som kan skape problemer for sensoren. En siste usikkerhetsfaktor kan være strømmingen inn mot propellen. Røret fra slisserenna til sandfanget har to bend over en kort avstand. Dette kan skape turbulent strømming, noe som kan påvirke målenøyaktigheten.

3.4 Matematiske modeller

Et system er en avgrenset del av den virkelige verden. For eksempel er et system en elv eller et avløpssystem, der systemet er avgrenset av sitt hydrologiske felt. En matematisk modell er en forenkling av et system fra den virkelige verden. Den vil aldri kunne beskrive virkeligheten slik den faktisk er, men vil kunne gi en forenklet beskrivelse av hvordan ting henger sammen og fungerer i en tilnærming av et virkelig system (Matheussen, 2005). Det er flere fordeler ved bruk av dataprogrammer, og de kan knyttes til tre hovedformål (Silberstein, 2006):

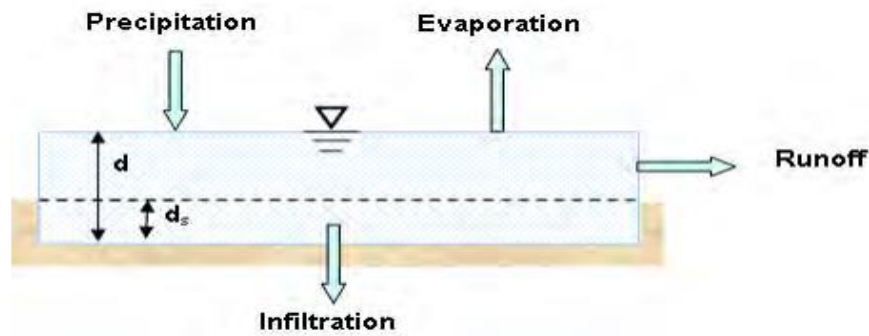
1. *Forståelse*: De gir et rammeverk for å samle forståelse for systemet og utforske hvordan prosessene i systemet fungerer under ulike hendelser.
2. *Støtte til datainnhenting*: De gir muligheter for å teste ut data, fylle ut manglende informasjon, utforske implikasjoner av egne målinger og strukturere vitenskapelig etterforskning ved å tydeliggjøre detaljer bak observasjoner.
3. *Predikere*: Simulere og utforske mulige utfall under en rekke forskjellige inndataforhold avhengig av fremtidige faktorer.

I denne oppgaven blir Storm Water Management Model (SWMM) benyttet. Modellen ble først utviklet i 1971 av U.S. Environmental Protection Agency (EPA), og har fra den tid gått igjennom flere revisjoner og oppdateringer. SWMM er en hydrologisk og hydraulisk simuleringsmodell som kan analysere avrenningen av overvann og spillvann i bebygde områder. Den baserer seg på en inndeling av permeable og tette flater, der fordampning, infiltrasjon, snøsmelting (kan) beregnes. Deretter bruker modellen simulerte eller målte verdier fra hvert delfelt til å beregne transporten av vann gjennom overløp, avløpsnett, pumper, ventiler osv. (Matheussen, 2005).

3.4.1 SWMM beregningsmetode og programoppbygning

I SWMM må man dele området man studerer inn i passende antall homogene nedslagsfelt, der påslippspunktet fra hvert felt til ledningsnettet identifiseres. Disse feltene blir tildelt individuelle egenskaper. Nedslagsfeltene er delt inn i permeable og impermeable delflater, der gropmagasinering²² for flatene er valgfrie parametere (Rossman, 2015). Avrenning på overflaten opptrer når maksimal gropmagasinering er fylt opp, figur 3.13.

²² Gropmagasinering er vann som ikke renner av overflaten eller infiltrerer i jorden, men blir lagret på overflaten til det fordamper (Rossman, 2015).



Figur 3.13: Prinsipp tegning av hvordan overflateavrenning oppstår i modellen. Avrenningen starter når gropmagasinet d_s overstiges (Rossman, 2015).

Nedbørsfeltene mottar nedbør fra en regnhendelse som er forhåndsdefinert. Avrenningen fra nedbørsfeltene ledes til et avløpssystem bygd opp av ledninger, kummer, fordrøyningsbasseng, pumper, kanaler, overløp og LOD-tiltak. Ved hjelp av Mannings formel og vannbalanseligningen beregnes avrenningen og området lagringskapasitet, infiltrasjon og fordampning (Rossman, 2015).

Avløpsnettene kan bestå av både lukkede og åpne systemer der den simulerte strømmingen beregnes etter Saint Venants ligningene for bevaring av masse og bevegelsesmengde for gradvis variert, ikke-stasjonær strømming (Rossman, 2015):

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

Formel 3.3: Saint Venants kontinuitetsligning.

$$\frac{1}{A} \frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{1}{A} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right) + g \frac{(\partial y)}{\partial x} - g(I_0 - I_f) = 0$$

Formel 3.4: Saint Venants ligning for bevaring av bevegelsesmengde.

Der	Q	=	Vannføring	[m ³ /s]
	A	=	Areal av strømningsverrsnitt	[m ²]
	x	=	Avstand i strømningsretning	[m]
	t	=	Tid	[s]
	α	=	Hastighetsfordelingskoeffisient	[-]
	g	=	Tyngdeakselerasjon	[m/s ²]
	y	=	Vanddybde	[m]
	I _f	=	Energilinjens helning	[-]
	I ₀	=	Bunnhelning	[-]

I SWMM finnes det en beregningsmodul kalt LID (Low Impact Development), som gjør det mulig å beskrive de hydrologiske effektene som kan oppnås gjennom implementering av LOD-tiltak. LID-modulen kan anvendes og defineres for hele eller deler av et nedbørsfelt. Når det anvendes for hele nedbørsfeltet, som det blir gjort i denne oppgaven, blir nedbørsfeltets standard overflateegenskaper (helning, permeabilitet osv.) overstyrt av de parameterne som inngår i LID-modulen.

Det finnes syv ulike LID-moduler, blant annet en for grønne tak. I denne modulen representeres det grønne taket som en kombinasjon av tre komponenter: overflatelag, substrat (vekstmedium) og dreneringslag. Disse tre komponentene bygges opp ved hjelp av «LID-kontrollen». LID-kontrollen definerer egenskapene til en LID-modul per arealenhet, slik at den kan overføres i hvilke som helst nedbørsfelt av ulik størrelse. De tre ulike komponentene styres av ulike parametere. En forklaring på parameterne er gitt i tabell 3.11 (Rossman, 2015):

Tabell 3.11: Forklaring på parameterne brukt i LID-modulen for grønne tak.

Parameter	Forklaring
Surface	
Berm height	Maksimale dybden av vann som kan demmes opp på overflaten av taket før det går i overløpet.
Vegetation volume fraction	Volumet i lagringsdybden som blir okkupert av stilker og blader fra vegetasjonen. Dette volumet kan som regel ignoreres, men ved meget tett vegetasjon kan den være så høy som 0,1-0,2.
Surface roughness	Mannings tall for overflateavrenning som beskriver ruheten til overflaten.
Surface slope	Helningen på overflaten.
Soil	
Thickness	Tykkelsen på sedummatten.
Porosity	Forholdet mellom porevolum og totalt volum i jordlaget.
Field capacity	<i>Feltkapasitet:</i> Forholdet mellom vannvolumet i jorda og det totale volumet etter gravitasjonsdrenering.
Wilting point	<i>Visnepunktet:</i> Forholdet mellom vannvolumet i jorda og det totale volumet etter gravitasjonsdrenering og en lang tørkeperiode. Dette er det laveste fuktighetsinnholdet i jorda.
Conductivity	Hydraulisk ledningsevne i mettet jord.
Conductivity slope	Et mål på hvor hurtig den hydrauliske konduktiviteten avtar når fuktigheten avtar.
Suction head	Den gjennomsnittlige verdien av jordkapillærkrefter langs fuktighetsfronten.
Drainage mat	
Thickness	Tykkelsen på dreneringsmatten.
Void fraction	Forholdet mellom hulrom og totalvolumet i matten.
Roughness	Mannings tall som brukes for å beregne strømningshastigheten horisontalt.

Ved simulering utfører programmet vannbalanseberegninger for å bestemme hvordan vannet blir transportert og lagret gjennom de forskjellige lagene. Lagene er forhåndsdefinerte parametere som tillater brukeren å tilpasse modellen i henhold til takstrukturen.

3.5 Modelloppbygning i SWMM

Det ble forsøkt å modellere for asfaltarealet og det grønne taket. For å bygge opp modellen i SWMM måtte man først avgrense nedbørfeltene ved hjelp av polygoner. Et koordinatrett kart over området ble lagt inn i SWMM. Nedbørfeltene for parkeringsplassen ble tegnet inn på bakgrunn av et avrenningskart laget av konsulentfirmaet. På grunn av ulik helning og materiale på hver side av slisserennene, ble det laget to nedbørfelt for hvert parkeringsområde: asfalt nord, betong nord, asfalt syd og betong syd. Det ble laget et nedbørfelt for hele det grønne taket, figur 3.14. Deretter ble utløpspunkter for nedbørfeltene definert og koblet sammen. Parkeringsområdet hadde to utløpspunkter, SF22 og SF25. Utløpspunktet for det grønne taket besto av en renne som hadde utløp i rensedammen på sørsiden av området.



Figur 3.14: Skjermbilde av modellen i SWMM. De skraverte områdene representerer nedbørfeltene. Utløpene er vist i modellen som en trekant og nedbørmåleren er representert med et regnbygesymbol.

3.5.1 Parametere

Tabellene under viser hvilke parametere som ble brukt i primærmodellen i SWMM. Parametere brukt for asfaltområdene nord og syd vises i tabell 3.12. Parametere brukt for betongområdene nord og syd vises i tabell 3.13. Disse parameterne ble hentet fra prosjekteringstegninger av konsulentfirmaet og fra litteraturen.

Tabell 3.12: Parameterverdier brukt for oppbygging av asfaltområdene nord og syd fra parkeringsområdene. Tabellen viser hvor verdien er hentet fra og enhet.

Parameter	Verdi	Kilde	Enhet
Bredde	155	Hjellnes Consult (2014a)	m
Helning	0,75	Hjellnes Consult (2014a)	%
Impermeable flater	100	-	%
Mannings tall for impermeable flater	0,012	David. A. Chin (2013)	s/m ^{1/3}
Dybde på gropmagasinering for impermeable flater	2	David. A. Chin (2013)	mm
% av impermeable flater uten gropmagasinering	0	-	%

Tabell 3.13: Parameterverdier brukt for oppbygging av betongområdene nord og syd fra parkeringsområdene. Tabellen viser hvor verdien er hentet fra og enhet.

Parameter	Verdi	Kilde	Enhet
Bredde	155	Hjellnes Consult	m
Helning	1,24	Hjellnes Consult (2014)	%
Impermeable flater	100	-	%
Mannings tall for impermeable flater	0,011	David. A. Chin (2013)	s/m ^{1/3}
Dybde på gropmagasinering for impermeable flater	0,05	David. A. Chin (2013)	mm
% av impermeable flater uten gropmagasinering	0	-	%

Tabell 3.14 viser hvilke parametere som inngår i de ulike lagene i oppbyggingen av det grønne taket. Verdiparametere som ikke var oppgitt i teknisk datablad fra leverandøren ble hentet fra litteraturen. Flere av parameterne i tabellen ble hentet fra Andersson, C. (2015) sin masteroppgave «Modellering av avrinning från gröna tak». Parameterne hentet fra denne oppgaven var de som gav best resultat for et 4 cm tykt sedumtak. Originalkildene til verdiparameterne er listet opp i tabellen.

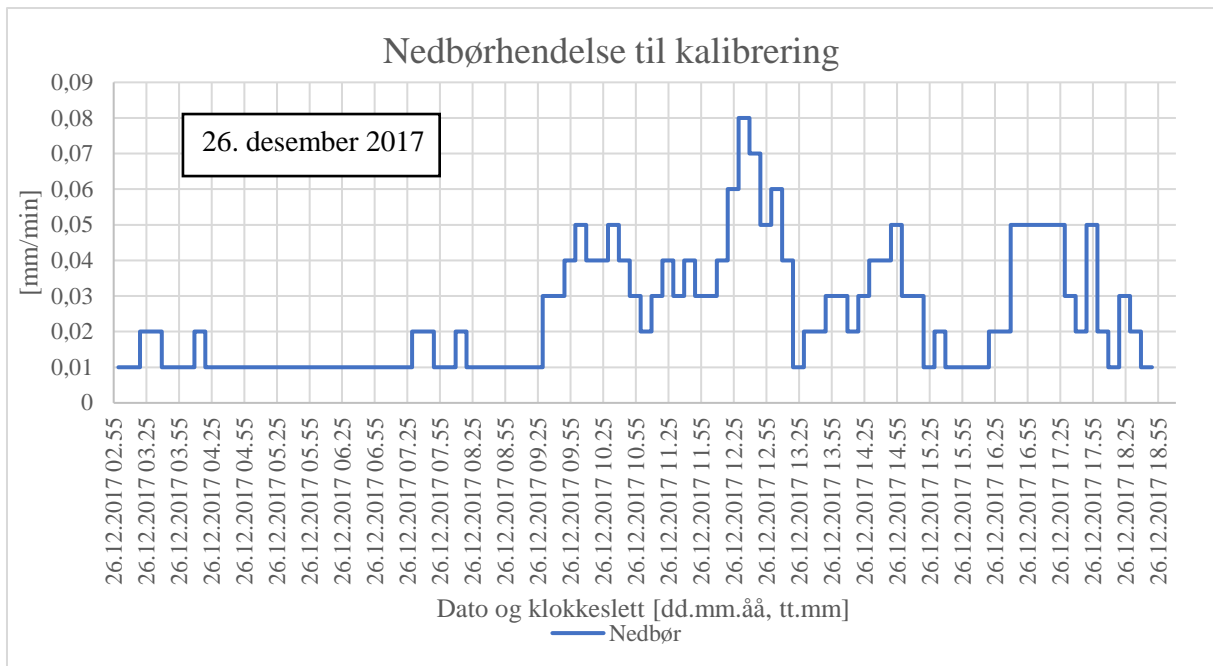
Manglende data fra måleutstyret på de tette flatene førte til at asfalt – og betongområdene ikke ble kalibrert. Under kalibreringen av det grønne taket i modellen laget i denne oppgaven kunne alle parameterne variere, med unntak av tykkelsen for de ulike lagene og takhelningen. Kalibrering og valideringsprosessen er beskrevet nærmere i avsnitt 3.6 kalibrering av modellen.

Tabell 3.14: Parameterverdier brukt for oppbygning av primærmodellen i SWMM før kalibrering. Tabellen viser hvor verdien er hentet fra og enhet.

<i>Parameter</i>	<i>Verdi</i>	<i>Kilde</i>	<i>Enhet</i>
Surface			
Berm height	1	Roehr & Kong (2010)	mm
Vegetation volume fraction	0,1	SWMM help	-
Surface roughness	0,24	McCuen et al. (2002)	-
Surface slope	0	Hjellnes Consult (2015b)	°
Soil			
Thickness	30	Vital Vekst (2015)	mm
Porosity	0,7	Bengtsson et al. (2005)	-
Field capacity	0,45	Bengtsson et al. (2005)	-
Wilting point	0,15	Bengtsson et al. (2005)	-
Conductivity	420	Bear, J. (1972)	mm/h
Conductivity slope	4,85	SWMM help	-
Suction head	3,5	Roehr & Kong (2010)	mm
Drainage mat			
Thickness	25	Vital Vekst (2015)	mm
Void fraction	0,6	SWMM help	-
Roughness	0,1	SWMM help	-

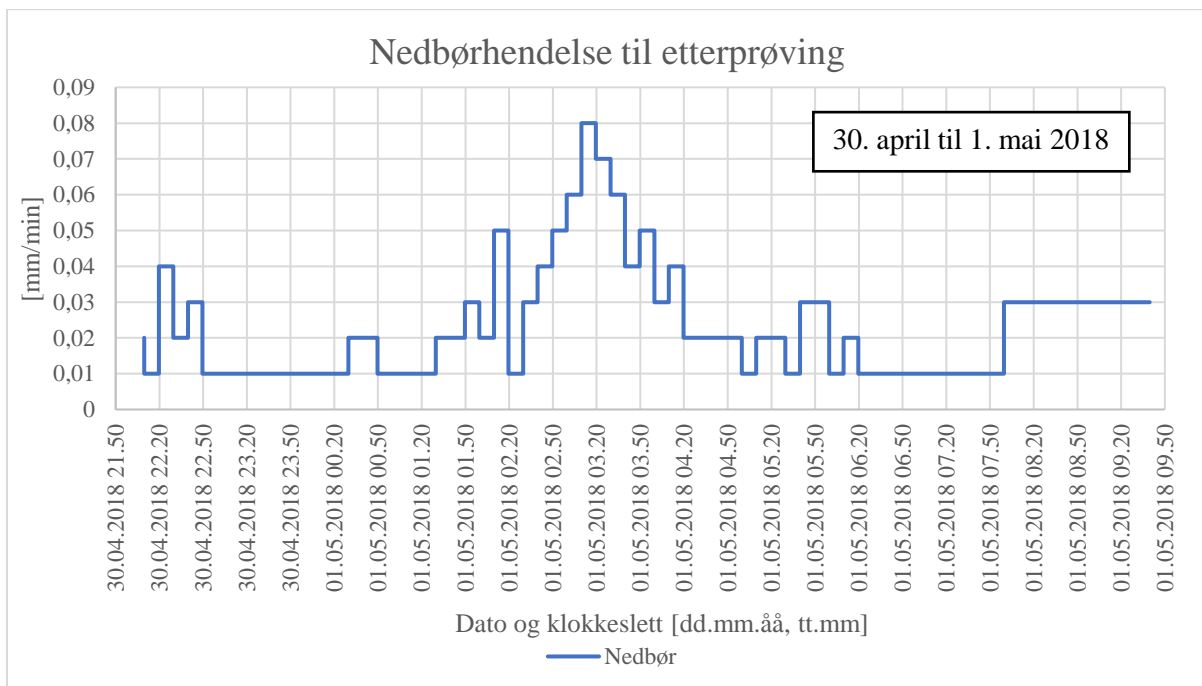
3.5.2 Nedbørdata

Nedbørdata ble hentet fra nedbørmåleren på analyseområdet og lastet ned fra nettløsningen til ITAS. For at SWMM skulle kunne lese filen, måtte CSV-filen omgjøres til en dat-fil, med et format som inneholdt stasjonsnavn, år, måneder, dager, timer, minutter og volum. For kalibrering av modellen ble nedbørhendelsen i figur 3.15 benyttet. Dette var en av de hendelsene som gav mest regn i perioden 7. desember - 26. mars og som hadde lite snø på taket. Det var ønskelig å kalibrere modellen for en hendelse uten snø, ettersom modellen i SWMM ikke tar hensyn til snømengden på taket og hvordan denne påvirker takets ytelse. Da det var snø på taket omtrent gjennom hele måleperioden, var beste løsning å bruke nedbørhendelsen 26. desember. I løpet av nedbørepisoden falt det 19,1 mm totalt. Hendelsen startet på natten og sluttet på kvelden og hadde en varighet på 15 timer og 40 minutter. Ifølge målestasjonen på Blindern var snødybden 9 cm og middeltemperaturen 1,6 °C (Yr, 2018). Om det faktisk var 9 cm med snø på taket denne dagen og om snøen hadde lagt seg på overflaten, er uvisst.



Figur 3.15: Nedbør registrert den 26.12.2017 og brukt til kalibrering av modellen. Denne nedbørhendelsen startet på natten kl. 03:00 og sluttet på kvelden kl. 18:40. Totalt falt det 19,1 mm gjennom episoden.

Til etterprøving (validering) av modellen ble en tilfeldig nedbørhendelse valgt uten snø på taket, figur 3.16. I løpet av hendelsen falt det 14,4 mm regn. Episoden startet på kvelden og sluttet om morgenen og hadde en varighet på 11 timer og 30 minutter. Middelttemperaturen denne dagen var 4,4 °C i henhold til Blindern målestasjon (Yr, 2018).



Figur 3.16: Nedbør registrert 30.04.2018 og brukt til etterprøving av modellen. Denne nedbørhendelsen startet på kvelden kl. 22:10 og sluttet på morgenen 1. mai kl. 09:40. Totalt falt det 14,4 mm regn.

3.6 Kalibrering av modellen

Det er nødvendig å kalibrere på grunn av at det finnes parametere i modellen som det ikke er mulig å måle direkte. Disse parameterne bestemmes ved å justere på dem til man oppnår best mulig samsvar mellom målt og modellert avrenning. Til kalibreringen ble en av de største nedbørhendelsene valgt for å justere input parameterne vist i tabell 3.14.

3.6.1 Modellbekreftelse

For å bekrefte hvor godt modellresultatene samsvarer med målte data, ble forskjellen mellom modellert og målt avrenning for den kalibrerte hendelsen beregnet med formelen under:

$$E_{par} = \Sigma(Q_{m\ddot{a}lt} - Q_{mod})^2$$

Formel 3.5: Absolutt forskjell mellom modellert og målt avrenning.

Der	E_{par}	=	kvadratavviket mellom modellert og målt verdi
	$Q_{m\ddot{a}lt}$	=	målt avrenning
	Q_{mod}	=	modellert avrenning

I summen inngår alle registrerte måletidspunkter for den aktuelle perioden. Modellen som gav lavest kvadratavvik mellom målt og modellert avrenning ble valgt til videre etterprøving.

Modellen ble undersøkt videre ved å gjennomføre en følsomhetsanalyse og en etterprøving av modellen.

3.6.2 Modellfølsomhet

En følsomhetsanalyse ble utført på sekundærmodellen for å utforske hvilke utfall dette hadde på den maksimale avrenningen fra det grønne taket. En slik analyse kan utføres ved å senke eller øke en parameter med et intervall på f.eks. 50 % av parameterens verdi, samtidig som alle andre parametere holdes konstant. Det var flere parametere i LID-kontrollen som var usikre. Parameterne som ble ansett som viktigst og som ble analysert var porøsiteten, visnepunktet, konduktiviteten, konduktivitetsskurven og fraksjonen av hulrom. Disse parameterne ble sjekket opp mot det som var av størst interesse å undersøke, nemlig demping av maks vannføring. Resultatene ble presentert i et stjernerdiagram i avsnitt 4.3.2 modellfølsomhet.

3.6.3 Modellvalidering/etterprøving

Etter følsomhetsanalysen ble modellen etterprøvd for å se om modellen klarte å gjengi virkeligheten. Modellen ble validert ved å benytte en tilfeldig nedbørhendelse som ikke var brukt til kalibrering for å se om modellen kunne aksepteres eller måtte justeres. Det var av

interesse å bruke en hendelse der taket var snøfritt for å se hvordan modellen reagerer med og uten snø. Formel 3.5 ble brukt for å se om modellen kunne aksepteres.

3.6.4 Simulering med konstruert regnhendelse

Modellen ble simulert for et 25 års gjentakintervall hentet fra IVF-kurven på Blindern målestasjon. Ut i fra IVF-kurven ble det konstruert et regnhyetogram med klimatillegg. Varigheten ble satt til 60 minutter med et klimapåslag på 30 %, etter beregninger gjort av konsultentselskapet. IVF-kurven og tabellen for Blindern målestasjon er vedlagt i vedlegg C. Det grønne taket i modellen er satt til å være 45 % mettet ved begynnelsen av simuleringen.

3.6.5 Kontruksjon av regnhyetogram

For å konstruere et regnhyetogram benyttes IVF-kurven til den nærmeste målestasjonen som har minst 10 år med kontrollerte kvalitetsdata. I denne oppgaven er det Blindern målestasjon. IVF-kurven fra Blindern er basert på 49 sesonger og har et 200 års gjentakintervall. IVF-kurven ble hentet fra meteorologisk institutt.

$$I_{10} = \frac{15,8mm}{10min} * 1,3 = 2,054 mm/min$$

$$I_{20} - I_{10} = \frac{23,7mm - 15,8mm}{10min} * 1,3 = 1,027 mm/min$$

$$I_{30} - I_{20} = \frac{28,1mm - 23,7mm}{10min} * 1,3 = 0,572 mm/min$$

$$I_{40} - I_{30} = \frac{32mm - 28,1mm}{10min} * 1,3 = 0,507 mm/min$$

$$I_{50} - I_{40} = \frac{34,5mm - 32mm}{10min} * 1,3 = 0,325 mm/min$$

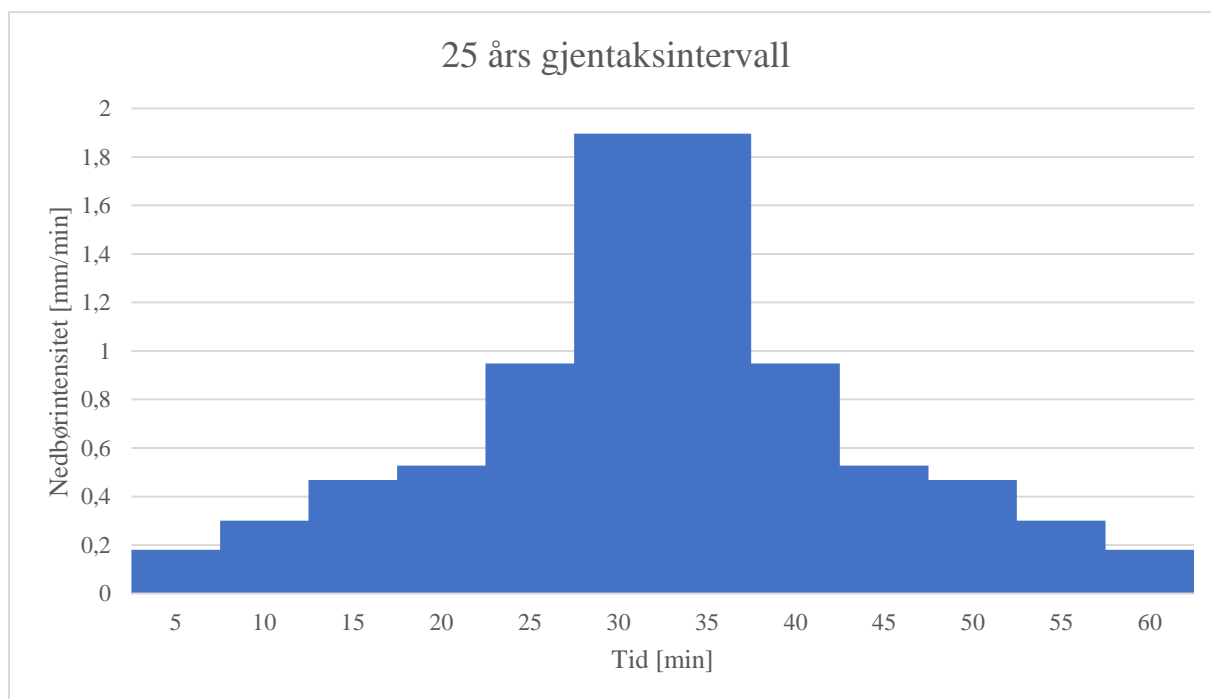
$$I_{60} - I_{50} = \frac{36mm - 34,5mm}{10min} * 1,3 = 0,195 mm/min$$

Tabell 3.15 viser hvordan intensiteten blir fordelt over tidsforløpet. Det forutsettes at regnhyetogrammet er symmetrisk om sin akse.

Tabell 3.15: Resultater fra et 60 minutters regnhyetogram basert på et 25 års gjentakintervall med et klimapåslag på 30 %.

Tidsforløp (minutter)	Intensitet (mm/min)
0-5	0,195
5-10	0,325
10-15	0,507
15-20	0,572
20-25	1,027
25-30	2,054
30-35	2,054
35-40	1,027
40-45	0,572
45-50	0,507
50-55	0,325
55-60	0,195

Verdiene fra tabell 3.15 kan framstilles grafisk, som et symmetrisk regnhyetogram, figur 3.17.



Figur 3.17: Symmetrisk regnhyetogram basert på et 25 års gjentakintervall og en varighet på 60 minutter med klimafaktor 1,3. Nedbørintensiteten [mm/min] er vist på y-aksen og tiden [min] er vist på x-aksen.

3.7 Sammenligning av nedbørdata

Nedbørmåleren som ble satt opp på analyseområdet, Bring stasjon, blir sammenlignet med de nærmeste målestasjonene, Brobekk og Blindern målestasjon. Nedbørdata ble hentet fra eklima.met.no. Brobekk og Blindern målestasjon ligger henholdsvis ca. 2 km og 7,5 km unna nedbørmåleren på Bring stasjon. Avstandene er målt i luftlinje. Nedbørdataene fra stasjonene er målt med ett minuts oppløsning, mens målingene fra nedbørmåleren på Bring stasjon er målt over et gjennomsnitt på 10 minutter. Nedbørdataene blir sammenlignet ved å se på hele måleperioden og enkelte nedbørhendelser. Nedbørhendelsene er av ulik størrelse og er henholdsvis 26. desember 2017 og 4. april 2018.

4. RESULTATER & DISKUSJON

4.1 Måleutstyr og målinger

Dette delkapittelet beskriver observasjonene av måleutstyret og anlegget som ble oppdaget underveis. Deretter blir måleresultatene fra hele perioden presentert. Etterfølgende blir ytelsen til det grønne taket vurdert under ulike enkelthendelser. Disse resultatene blir diskutert fortløpende. Tilslutt blir nedbørdataen fra nedbørmåleren på Bring stasjon sammenlignet med målestasjonen på Brobekk og Blindern.

4.1.1 Observasjoner

Det ble observert flere hendelser i løpet av måleperioden. Under blir noen av de viktigste hendelsene beskrevet og utfordringene som oppstod med måleinstrumentene. I tillegg blir observasjoner knyttet til snømengder på det grønne taket presentert.

4.1.1.1 Parkeringsområdet

Etter monteringen av utstyret i sandfangskummene den 13. desember, ble det ikke registrert noe data. Etter juleferien den 3. januar ble det oppdaget at noe var galt. Utstyret skulle ha registrert regnet som kom den 26. desember og 1. januar ifølge nedbørmåleren. Utstyret ble undersøkt og det ble funnet en lekkasje i skjøten til røret. Dette ble fikset 4. januar.

Etter dette ble det ikke registrert noen målinger. Tirsdag den 23. januar ble det foretatt en befaringsfor å se på forholdene. Parkeringsplassen var isbelagt og det var ikke noe synlig avrenning i slisserennene. Målestasjonen på Blindern målte denne dagen en døgnmiddeltemperatur²³ på -1,1 grader (Yr, 2018). Flere ulike faktorer ble vurdert som potensielle årsaker til at det ikke ble registrert noe data. Blant annet var dette for liten vannføring, defekt sensor, turbulent strømming og for lav temperatur. For å luke ut ulike faktorer ble det utført en befaringsfor den 26. januar. På befaringsfor ble det gjennomført tester på sensorene i kum nord og syd. Dette ble gjort med en spenningsmåler, for å sjekke om sensorene registrerte bevegelse. For kummen i syd ble det observert at hele røret var fylt med vann (som ikke var fryst) men at det ikke hadde blitt registrert noen målinger. For kummen i nord var røret fylt med is, se figur 4.1.

²³ Døgnmiddeltemperatur er den gjennomsnittlige temperaturen for et døgn.



Figur 4.1: Befaring av kummene den 26. januar 2018. Bildet til venstre viser kum nord der røret er helt fylt med is. Bildet til høyre viser kum syd der røret er helfylt med vann. Det var ingen registrerte målinger.

Sensoren i kum nord registrerte ingenting på spenningsmålingene som ble utført. Det ble derfor konkludert at denne sensoren var defekt. Sensoren i kum syd registrerte målinger under spenningstesten. Det ble bestilt en ny sensor for kum nord.

I starten av februar ble løsningen tatt med til verkstedet for en nærmere undersøkning ettersom det ikke hadde blitt registrert noen målinger for kum syd. Det ble gjennomført ulike tester som også hadde blitt utført på forhånd av monteringen. Sensorene ble testet under rennende vann og med en vifte, for å se om propellen reagerte under de ulike forholdene.

Ved demontering av løsningen ble det oppdaget at vannet inne i røret fryser, figur 4.2. Undersøkingen viser i tillegg at det hadde lagt seg små partikler og møkk rundt akslingen til propellen. Det er derfor viktig å rengjøre sensoren og utføre jevnlig sjekk for vedlikehold av sensoren, spesielt under de forholdene som finnes i sandfangskummene. Det ble observert at sensoren hadde en høyere starthastighet når den var dekket av smuss og partikler enn opprinnelig.



Figur 4.2: Innvendig rør ved demontering. Bildet til venstre viser hvordan det så ut inne i røret når det ble undersøkt på verkstedet. Bildet til høyre viser innvendig rør ved demontering på området (ITAS, 2018c).

Selv om propellen på sensoren hadde gått rundt under slike forhold, ville målingene sannsynligvis blitt feil på grunn av en endring i rørtverrsnittet.

Sensoren er montert etter spesifikasjoner fra leverandøren som har erfaringsmessig levert sensorer av høy kvalitet (Sandnes, 2018). Etter flere tester på verkstedet ble det konkludert med at sensoren fryser under kalde forhold, selv om vannet inne i røret ikke er helt fryst. Det ble også diskutert om vannstrømningen har vært for lav for at sensoren har kunnet observert noe bevegelse.

Den 20. februar ble det satt på et lite rør inne i røret mot sensoren, figur 4.3. Dette var et forsøk på å prøve å få en mer laminær strømning inn mot sensoren, da dette kan være en kilde til at en ikke har fått registrert noen målinger. Perioden dette pågikk var preget av lite nedbør med lave temperaturer. Når røret ble montert på plass ble det observert et tykt islag inne i det eksisterende røret. Dette tyder på at noe av store vannmengder fryser før det når fram til sensoren og målepunktet.



Figur 4.3: Bildet av påsatt rør for laminær strømming. Røret er plassert foran propellen til sensoren (ITAS, 2018c).

I april startet det endelig å bli plussgrader døgnet rundt. Likevel hadde det ikke kommet inn noen målinger fra parkeringsområdet. Den 6. april ble det gjennomført en befaring for å se hvordan tilstanden var i kummene. Det ble observert helfylte rør med vann i både kum nord og syd, figur 4.4.



Figur 4.4: Sandfangskummene den 6. april. Bildet til venstre viser kum nord og bildet til venstre viser kum syd. Begge rørene er helfylte.

For kum nord ble det funnet noen isklumper i røret, som lå og fløyt på overflaten, figur 4.5 bildet til venstre. Denne kummen står mesteparten av dagen i skyggen. For kummen i syd var vannet isfritt. Når røret ble halvtømt var det mulig å se hvor mye grums som fantes i røret, figur 4.5 bildet til høyre. Grumset var lett å få øye på og sto ganske høyt i røret.



Figur 4.5: Vannkvaliteten i rørene den 6. april. Bildet til høyre viser mengden grums og partikler i røret til kum syd. Bildet til venstre viser isklumper på vannoverflaten i røret i kum nord.

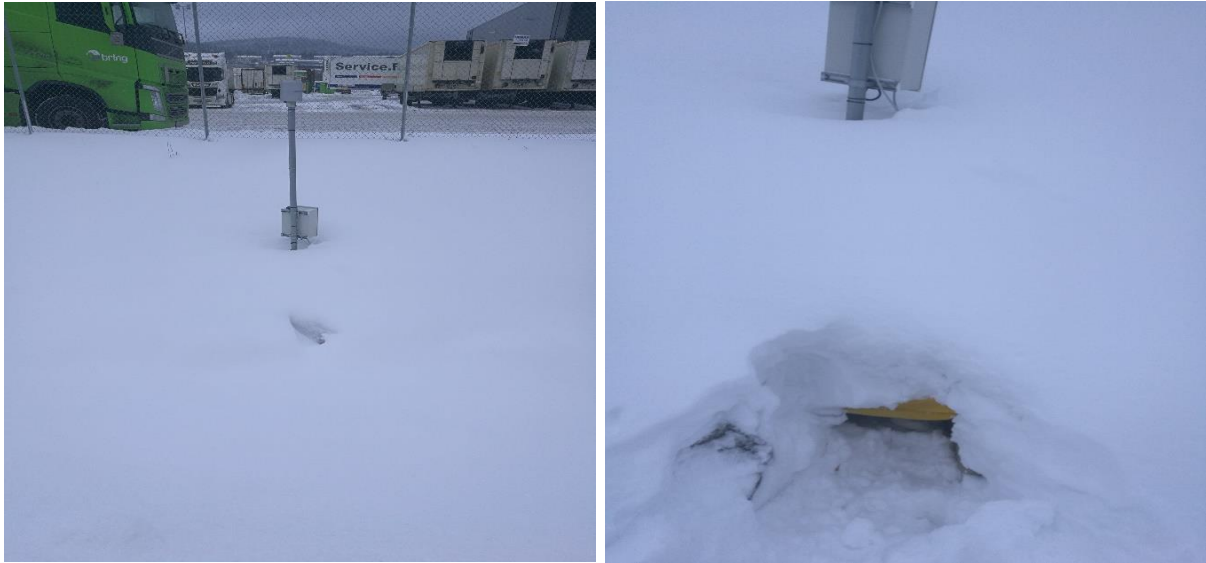
Når sensoren ble koblet ut fra røret i kum syd hadde den et lite lag med partikler rundt akslingen. Propellen så ut til å være relativt ren i forhold til hvor mye grums som fantes i røret, figur 4.6.



Figur 4.6: Nærbilde av sensoren den 6. april for kum syd. Akslingen på sensoren er dekket med et lite lag av partikler.

4.1.1.2 Utløpet fra det grønne taket

Målingene fra det grønne taket startet den 7. desember 2017. Den 23. januar ble det utført en sjekk på utstyret. Det ble observert store snømengder oppå isolasjonsmatten, figur 4.7. For å sjekke om det hadde kommet snømengder inn i magasinet foran V-overløpet ble det forsiktig gravet frem et hull. På stedet ble det ikke observert snø i magasinet foran V-overløpet. Dette er likevel vanskelig å si noe om, ettersom snøen smelter når det kommer i kontakt med vann.



Figur 4.7: Befaring den 23. januar ved utløpet til det grønne taket. Store snømengder ble observert. Bildet til venstre viser nedbørmåleren og sikringsskapet over snømengdene. Bildet til høyre viser litt av løsningen gravd fram for å se om det var kommet noe snø inn i magasinet foran V-overløpet.

Den 3. mars ble det oppdaget fra registrerte målinger at sensoren hadde målt en omtrentlig konstant vannføring siden 28. februar. En befaring ble gjennomført den 7. mars. Det ble observert at deler av vannet hadde fryst i magasinet og i røret der sensoren er plassert, figur 4.8.



Figur 4.8: Bilder tatt fra befaring den 7. mars. Bildet til venstre viser nedbørmåleren. Bildet til høyre viser hvordan det så ut nede i magasinet foran V-overløpet. Det ble observert små mengder med snø og at deler av vannet hadde fryst. På grunn av de store snømengdene rundt løsningen ble det vanskelig å undersøke vannmengdene i magasinet.

På befaringen den 6. april var mye av snøen borte og det var mulig å ta en titt inne i magasinet og på V-overløpet. Det ble observert store vannmengder med isfri overflate, figur 4.9 bildet til venstre. Bildet til høyre viser vann som strømmer ut av magasinet over V-overløpet. Det ble

lagt merke til at små mengder med snø hadde forskjøvet seg under isolasjonsmatten og nær åpningen til V-overløpet.



Figur 4.9: V-overløpet den 6. april. Bildet til venstre viser magasinet med en isfri overflate og V-overløpet fra baksiden. Bildet til høyre viser strømmende vann gjennom V-overløpet fra framsiden.

På terrenget over løsningen var mye av snøen smeltet bort, figur 4.10 bildet til venstre. På grunn av stolpen til nedbørmåleren var det en liten åpning ned til magasinet, figur 4.10 bildet til høyre. Det kan antas at deler av snøen på terrenget over løsningen har smeltet og rent ned i magasinet.



Figur 4.10: Løsningen for utløpet til det grønne taket den 6. april. Bildet til venstre viser mindre snø enn tidligere over isolasjonsmatten og rundt nedbørmåleren. Bildet til høyre viser en liten åpning i isolasjonsmatten rundt stolpen til nedbørmåleren. Deler av terrenget over har smeltet og kan muligens ha rent ned i magasinet.

Den 25. april ble det utført en ny befaring. Nå var all snøen over løsningen borte og det var mulig å se hvor mye vann det var i magasinet og i rensedammen ved siden av utløpet, figur 4.11 og figur 4.12.



Figur 4.11: Bilder fra befaring den 25. april 2018. Bildet til venstre viser nedbørmåleren og løsningen med V-overløp for det grønne taket. Bildet til høyre viser magasinet på innsiden av løsningen.



Figur 4.12: Rensedammen og utsiden av V-overløpet den 25. april 2018. Bildet til venstre viser hvor mye vann som befant seg på utsiden av V-overløpet etter våravrenning fra området. Bildet til høyre viser deler av rensedammen der løsningen til det grønne taket befinner seg. Rensedammen er delvis fylt opp med vann.

Det ble observert noe vann foran V-overløpet. Dette er det meste som har blitt observert gjennom måleperioden. Grunnen til dette er nok på grunn av de store ismassene som har begynt å smelte i bassenget oppstrøms. I følge vaktmesteren på huset, har det aldri blitt registrert høye vannmasser tidligere på dette strekket i rensedammen. Det som har blitt observert er at det ofte

står mye vann i begge bassengene uten at det renner over. Det har også blitt observert at vannet i bassengene inneholder mye grums og partikler, figur 4.13.

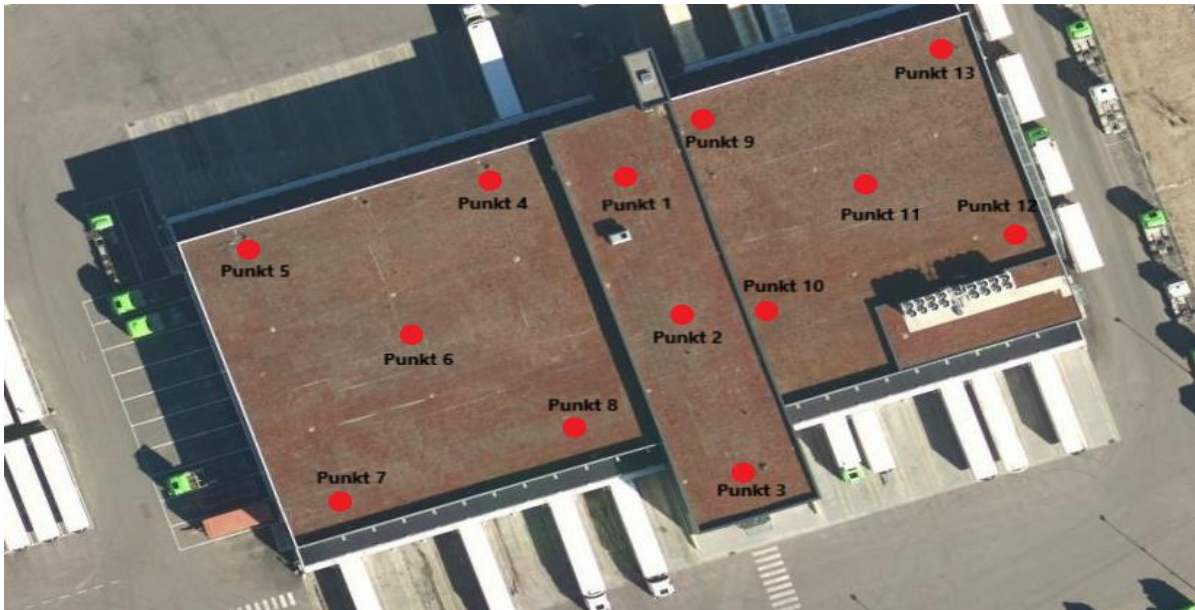


Figur 4.13: Bilder av rensedammen oppstrøms og nedstrøms V-overløpet. Bildet til venstre viser bassenget oppstrøms. Det inneholder fortsatt mye is. Det er tydelig at vannet inneholder en del grums og partikler. Bildet til høyre viser bassenget nedstrøms V-overløpet. Det befinner seg noe vann i rensedammen.

4.1.1.3 Snømengder og andre observasjoner på det grønne taket

Snø dannes ved at vanddamp kondenserer i skyer. Når krystallene faller er det forholdene i atmosfæren som avgjør hvordan de formes. Derfor kan egenskapene til nysnø variere mye. Snø består av både is, luft og vann, alt avhengig av hva slags type snø det er (Müller, 2018). Ved måling av snødybden får man bare en estimering av hvor mye snø som befinner seg på stedet og ikke nødvendigvis hvor mye vann snøen inneholder.

Snødybden på det grønne taket ble målt når det var forventet en større endring i snømengdene. Målingene ble utført manuelt med en tommestokk. Det ble målt i de samme områdene på taket hver gang. Figur 4.14 viser målepunktene på taket. På grunn av stor variasjon i snødybdene ble det i tillegg til de 13 målepunktene, målt i et punkt der det så ut til at snømengden var størst og minst.



Figur 4.14: Målepunkter (1-13) på det grønne taket hvor snødybden ble målt gjennom forsøksperioden (Norgebilder, 2018). Snødybden ble målt manuelt med en tommestokk.

Første snømåling ble gjort den 22. januar. Det ble observert mye snø på taket, figur 4.15. Snøen kunne beskrives som lett puddersnø. Middelttemperaturen ifølge målestasjonen på Blindern var $-4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2018). Den største snømengden målt denne dagen var 87 cm i kanten ved punkt 12 i figur 4.14. Den minste snømengden ble målt til 6,5 cm, målt ved døra nær punkt 1. Gjennomsnittsdypden var 41,6 cm.



Figur 4.15: Bilder av snøen på taket den 22. januar 2018. Bildet til venstre viser snøen fordelt på taket. Bildet til høyre viser måling av snøen med tommestokk.

Andre snømåling ble gjennomført 26. januar, med en middeltemperatur på $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2018). Snøen denne dagen kunne beskrives som tung og veldig våt, figur 4.16 bildet til venstre. Den

største snømengden ble målt til 46 cm ved punkt 13. Den minste målte snømengden var 9 cm ved punkt 1. Gjennomsnittsdybden ble målt til 20,3 cm.



Figur 4.16: Snømengder på det grønne taket. Bildet til venstre er fra befaring den 26. januar av den midterste delen. Snøen har mistet sin høyde på grunn av større mengder vann i snøen. Bildet til høyre er tatt den 7. mars av delen til høyre. Her har det lagt seg et lag med pudder på toppen av skaren. Bildet viser hvordan snøen fordeler seg langs kanten.

Den 7. mars ble snømengdene målt på nytt. Her ble den største snømengden målt til 92 cm i punkt 10. Den minste snømengden denne dagen var 3 cm målt ved punkt 1. Gjennomsnittsdybden var 39,5 cm. Det hadde lagt seg et godt lag med puddersnø over laget med skare, figur 4.16 bildet til høyre. Middelttemperaturen var $-1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2018). Det var vanskelig å måle snømengdene med målestokk denne dagen på grunn av det harde laget på bunnen.

Fjerde snømåling ble gjennomført 6. april. Middelttemperaturen dette døgnet var $4,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2018). Det var mulig å se deler av det grønne taket uten snø, figur 4.17. Stedene der det befant seg snø var preget av is. Det var mulig å gå på snøen uten å falle igjennom. Den største snømengden ble målt til 93 cm ved punkt 10. Den minste snømengden ble målt til 0 cm ved punkt 1, 4 og 13. Gjennomsnittsdybden ble målt til 26,9 cm.



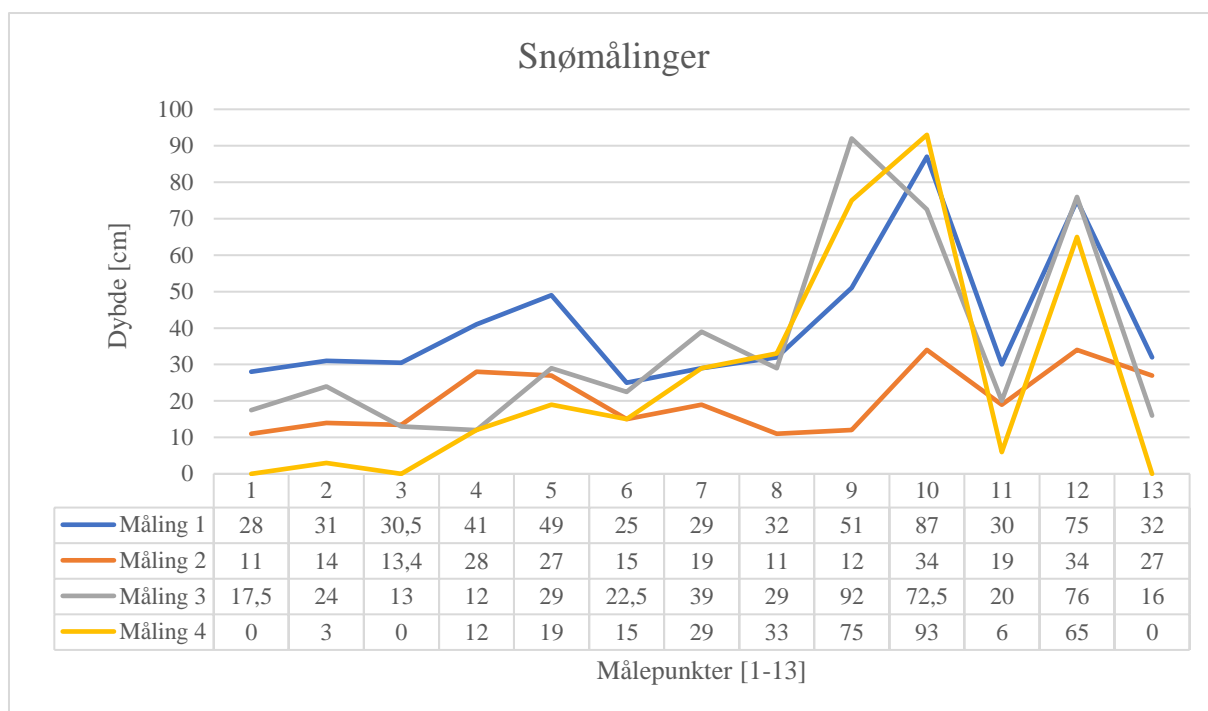
Figur 4.17: Bilder av det grønne taket 6. april 2018. Deler av det grønne taket var uten snø (bildet til venstre). Det var mer snø i kantene enn i midten av taket (bildet til høyre). Bildet er tatt av den midterste delen.

På befaring den 25. april ble det observert at all snøen på taket var borte, figur 4.18. Det grønne taket var delvis vått. Taket hadde en brungrønn farge og noen steder var ikke sedummattene heldekket.



Figur 4.18: Det grønne taket den 25. april 2018. Taket var snøfritt. Bildet til venstre viser den midterste og den venstre delen av det grønne taket. Bildet til høyre viser at noen av sedummattene ikke var heldekket. Det grønne taket hadde en brungrønn farge.

Figur 4.19 viser alle snømålingene gjort gjennom perioden i de ulike målepunktene. Snødybden var størst i målepunkt 9, 10 og 12. Dette er den høyre delen av det grønne taket. De laveste verdiene ble målt i punkt 1, 2 og 3, som er på den midterste delen av taket. Det er tydelig at de ulike delene har forskjellig snømengde.



Figur 4.19: Graf over snømålingene gjennom perioden i de ulike målepunktene (1-13) målt i cm. Målingene ble målt med en tommestokk. Målingene ble utført den 22. januar (måling 1), 26. januar (måling 2), 7. mars (måling 3) og 6. april (måling 4). Den 25. april ble det observert at all snøen var borte.

Gjennomsnittsverdien fra målingene blir brukt videre i diskusjonskapittelet. På grunn av at målingene ikke er arealvektet, kan man anta at gjennomsnittsverdiene beregnet fra målingene er litt høye. Årsaken til dette er fordi gjennomsnittsverdien er basert på flere punkter langs veggen enn punkter i midten av taket.

4.1.2 Registrerte målinger

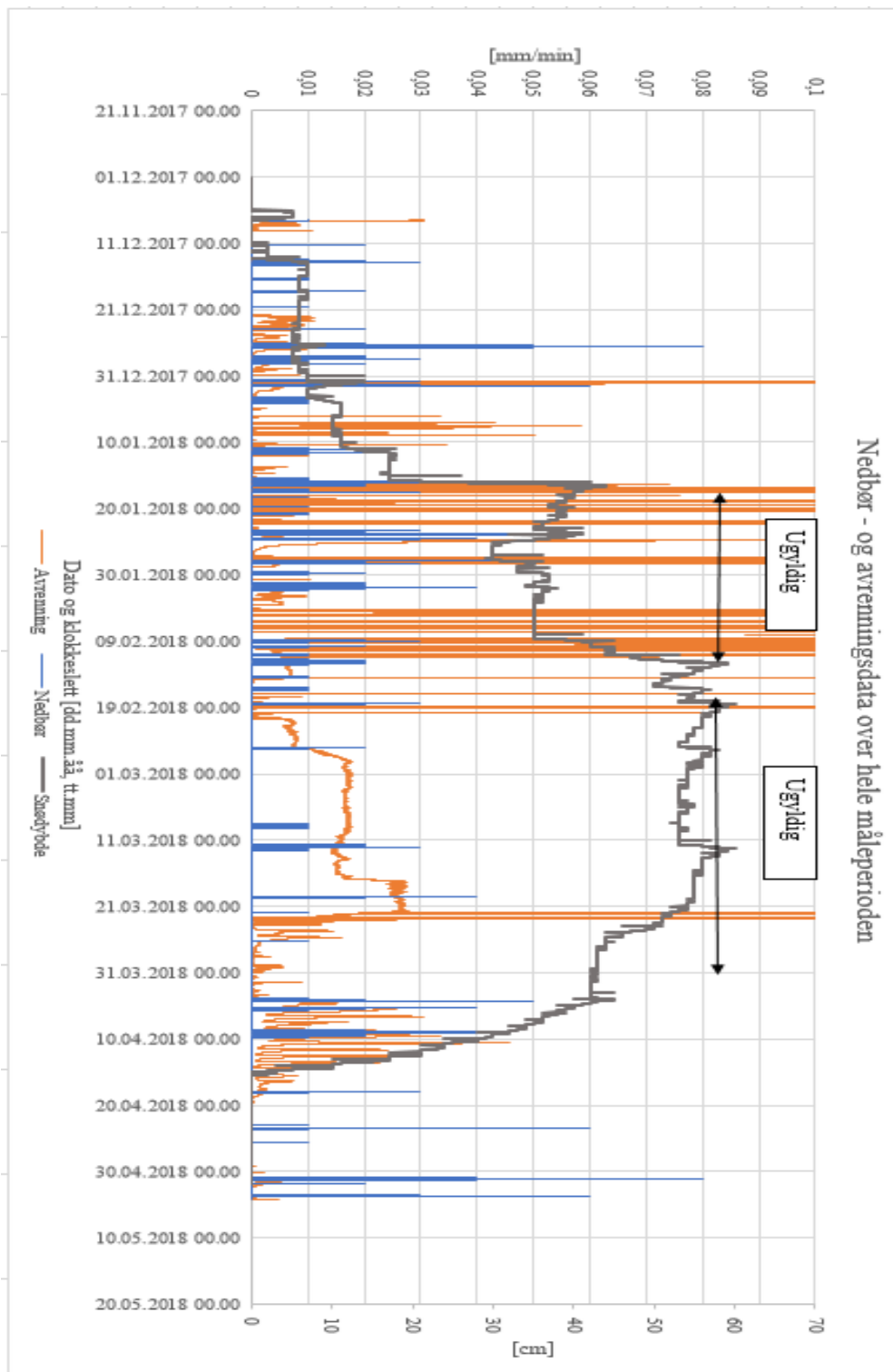
Dette delkapittelet presenterer måleresultatene som ble registrert gjennom perioden 7. desember 2017 til 4. mai 2018. Det ble aldri registrert noen avrenningsmålinger for parkeringsområdene. Resultatene fra målingene blir presentert etter nedbørhendelser under ulike forhold.

4.1.2.1 Hull i dataserien

Det grønne taket var store deler av måleperioden dekket med snø. Snøen la seg på taket i midten av desember og ble værende til 21. april. Det var flere perioder måleresultatene for takavrenningen ble ansett som ugyldige. Dette var blant annet på grunn av at det ble observert is i V-overløpet. På grunn av at man ikke hadde full oversikt over magasinet ved V-overløpet hele tiden, ble det derfor vanskelig å anslå hvilke perioder som var ugyldige. Dette ble evaluert ut ifra registrerte data. Det var to perioder av målingene som skilte seg ut: (1) 29. januar til 15. februar 2018 og (2) 25. februar til 22. mars 2018.

4.1.2.2 Oversikt over nedbør – og avrenning gjennom måleperioden

I dette avsnittet fremlegges alt av registrert data gjennom måleperioden. Det var flere perioder der dataene så ut til å være ugyldige, vist i figur 4.20. Avrenningsdataene blir presentert som spesifikk avrenning i enhet mm/min for å sammenligne med nedbørintensiteten.



Figur 4.20: Nedbør-, avrenning - og snømengder gjennom hele måleperioden 7. desember kl. 12:50 til 4. mai kl. 07:00. Snømengdene er hentet fra Blindern målestasjon og er målt i cm. Figuren er skalert ned til 0,1 mm/min på y-aksen.

Totalt gjennom perioden falt det 181,4 mm nedbør. Den totale avrenningen ble målt til 2778,6 mm, som er betraktelig mye mer enn nedbørsmengden. Det er tydelig at denne forskjellen må skyldes målefeil.

Tabell 4.1 viser total nedbør – og avrenningsdata for hver måned og antall dager med nedbør gjennom perioden desember 2017 ut april 2018.

Tabell 4.1: Oversikt over total nedbør – og avrenningsdata for hver måned og antall dager med nedbør gjennom perioden 7. desember 2017 til 4. mai 2018.

Måneder	Dager med nedbør Antall dager	Nedbør Sum [mm]	Avrenning Sum [mm]
Desember (07.12-31.12)	13	38,4	61
Januar	17	64,4	418,5
Februar	10	22,6	1446,7
Mars	4	7,4	669,1
April	8	30,2	175,2
Mai (01.05-04.05)	2	18,4	7,8
Sum	54	181,4	2778,6

Det ble registrert 54 dager med nedbør i løpet av måleperioden. De fleste av regndagene fant sted i januar, som hadde den største målte nedbørsmengden. Ifølge de registrerte målingene var februar den måneden med størst avrenning, deretter mars og januar. Det kommer frem av tabellen at avrenningsmålingene i februar er skyhøye i forhold til nedbørsmengden i februar og januar.

De ulike nedbørhendelsene som undersøkes nærmere vises i tabell 4.2. Hendelsene ble valgt på grunn av forholdene på taket og/eller nedbørforløpet.

Tabell 4.2: Oversikt over enkelthendelsene som blir analysert videre. Tabellen viser forholdene, når hendelsen hendte, varigheten på hendelsen og total nedbør – og avrenning.

Forhold	Dato og varighet	Total nedbør [mm]	Total avrenning [mm]
<i>Avrenning fra vått tak</i>	24 timer 27 - 28. desember 2017	9	2,6
<i>Avrenning med sludd/snønedbør</i>	28 timer og 40 minutter 15 - 16. januar 2018	18,6	29,8
<i>Avrenning med sludd/snønedbør</i>	6 timer 18 - 19. februar 2018	4,6	31
<i>Avrenning etter nedbør med snø på taket</i>	34 timer 23 - 25. januar 2018	18	47
<i>Våravrenning med nedbør</i>	9 timer og 50 minutter 4. april 2018	7,9	10,3
<i>Våravrenning med nedbør</i>	29 timer (begge hendelsene) 8 - 9. april 2018	8,7	37
<i>Snøsmelting</i>	27. mars - 3. april 2018	0	6,9
<i>Snøsmelting</i>	10. april - 17. april 2018	0	68,7
<i>Avrenning under største nedbørhendelse</i>	15 timer og 50 minutter 26. desember 2017	19,1	18,1
<i>Avrenning fra snøfritt tak</i>	3 timer og 20 minutter 23. april 2018	4	0,047
<i>Avrenning fra snøfritt tak</i>	12 timer 30. april - 1. mai 2018	14,4	5,5

Diskusjon:

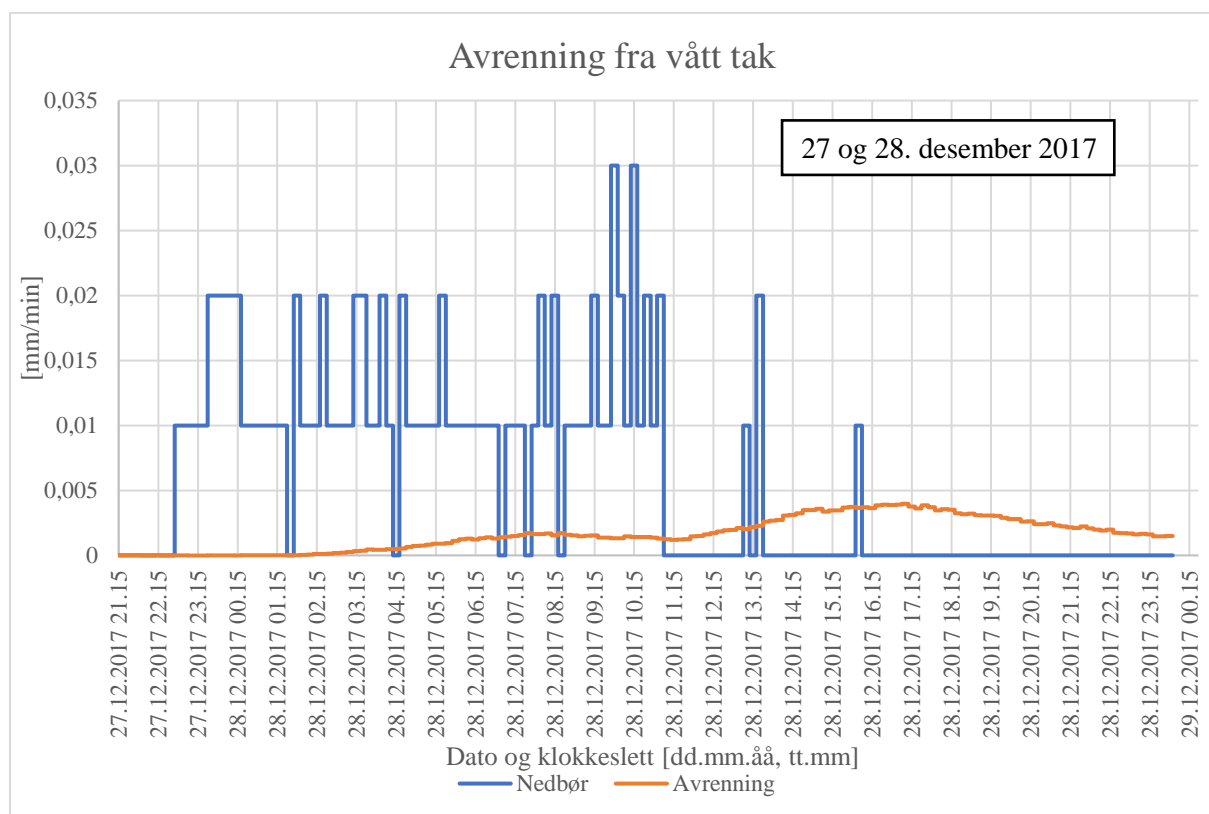
Resultatene fra tabell 4.1 viser en mye høyere total avrenning enn nedbørsmengden. Det er tydelig fra resultatene at det har skjedd en målefeil og at deler av resultatene fra måleperioden er ugyldig. Dette er spesielt tydelig for februar og mars måned, da avrenningen er henholdsvis 64 og 90 ganger større enn nedbørsmengden. Ser man på resultatene Braskerud fikk for testtakene over 5 år (tabell 2.7) for hele vinterhalvåret (desember-februar) ble den totale tilbakeholdelsen for GT1 og GT2 henholdsvis 36 % og 34 %. For perioden desember til februar, er den totale tilbakeholdelsen lik null for taket på Bring stasjon. Avrenningen er ca. 15 ganger

større enn nedbørsmengden. Dette påpeker hvor stort avviket mellom målt avrenning og nedbør er i løpet av disse månedene. På grunn av ugyldige målinger kan man ikke si noe eksakt om fordrøyningsvirkningen til det grønne taket gjennom perioden. Derimot har enkelthendelser blitt undersøkt der målingene antas å være korrekte. Det ble observert flere faktorer i løpet av perioden som kan ha påvirket målingene. Nærmere diskusjon av måleutstyret kommer i underkapittelet 4.2.1 valg av måleutstyr.

Perioden 4. april til 18. april i tabellen viser hvordan snømengden minker med en høyere avrenning i perioden. Det er tydelig at det er her mesteparten av snøsmeltingen foregår.

4.1.2.3 Avrenning fra vått tak

Dagen før, 26. desember, regnet det totalt 19,1 mm nedbør i løpet av 24 timer. Taket var derfor ikke tørt før den nye hendelsen slo til. Nedbørhendelsen startet sent på kvelden den 27. desember og sluttet på ettermiddagen den 28. desember. Ifølge Blindern målestasjon fluktuerte middeltemperaturen disse dagene mellom 1,2 til 1,7 °C, med en snødybde på 5 cm (Yr, 2018).



Figur 4.21: Avrenning fra vått tak, 27. desember kl. 23:00 til 28. februar kl. 16:00. Forrige nedbørhendelse var 26. desember da det falt 19,1 mm nedbør. Figuren viser avrenningsmønsteret til det grønne taket under mettede forhold. Den totale avrennings- og nedbørsmengden ble henholdsvis målt til 2,6 mm og 9 mm.

Totalt falt det 9 mm regn. Avrenningen fra det grønne taket ble målt til 2,6 mm fram til kl. 23:50 den 28. desember. Avrenningen fortsetter slik fram til neste nedbørhendelse den 29. desember. Figur 4.21 viser at det er en betydelig forskjell mellom den totale avrenningen og nedbøren. Det grønne taket klarer å holde tilbake 71,1 % av nedbøren igjennom perioden i figuren.

Nedbøren kommer i flere intensitetstopper, mens avrenningen holder seg relativt stabil gjennom perioden med to slake topper. I starten av perioden renner det litt hele tiden. Avrenningen starter å øke midt på natten. Det grønne taket holder tilbake ca. 94 % av nedbørsmengden fram til første nedbørtopp (kl. 09:50). De to avrenningstoppene oppstår henholdsvis kl. 08:30 (0,0017 mm/min) og kl. 17:10 (0,0039 mm/min). Nedbøren har to like store topper som kommer omtrent samtidig (0,03 mm/min). Dette tilsvarer en demping av den største avrenningstoppen med ca. 87 %. Den siste avrenningstoppen blir forsinket med 6 timer og 50 minutter i forhold til den siste største nedbørtoppen. Før de største nedbørtoppene inntreffer har det allerede regnet 7,1 mm, over to tredeler av den totale nedbøren gjennom perioden.

Diskusjon:

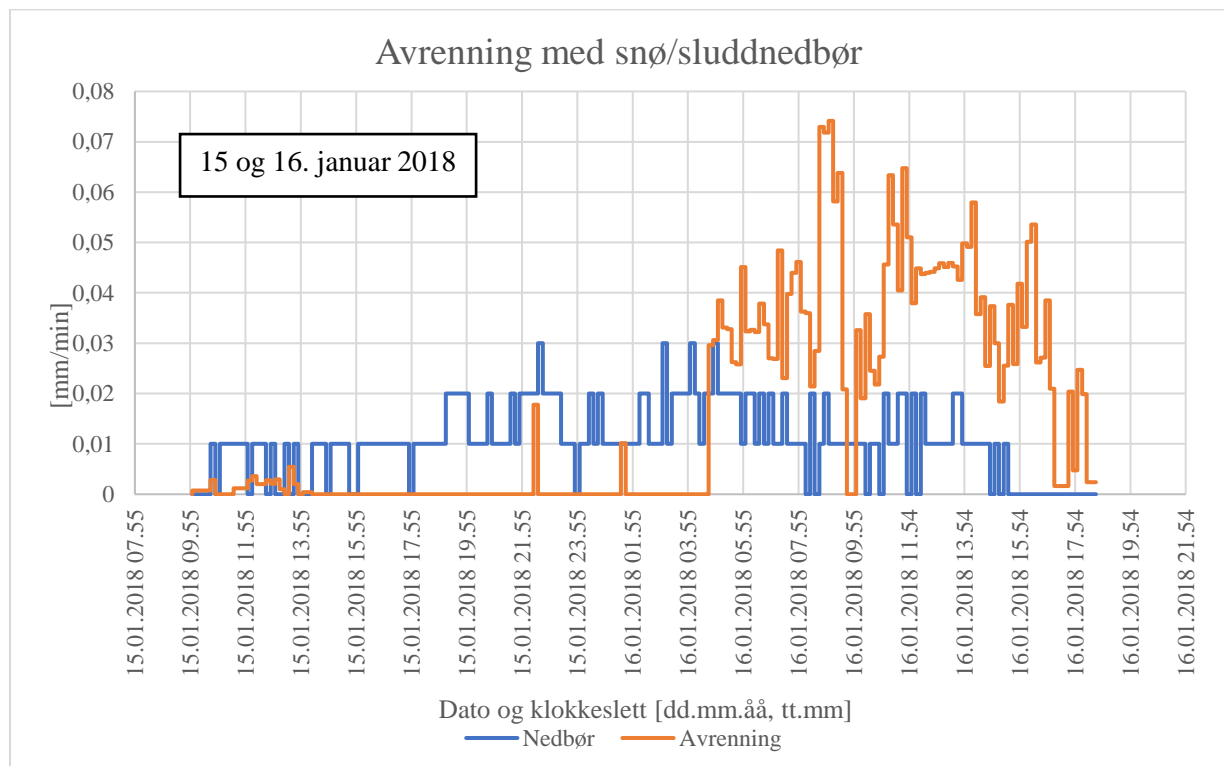
Avrenningen er betraktelig liten sammenlignet med den totale nedbørsmengden gjennom perioden. Grunnen til dette kan være snødekket på taket som kan ha fungert som en demper for avrenningen. Dette er avhengig av hva slags type snø som befant seg på taket, ettersom det ikke ble gjort noe befaring på dette tidspunktet. Det kan tenkes at snødekket kan gi to ulike utslag på avrenningen. Hvis snøen kan ta imot mye vann, kan dette fungere som et fordrøyningsmagasin. Om snøen allerede har et høyt vanninnhold, tar det mindre tid før snødekket mettes og for vannet å strømme gjennom taket, som resulterer i en høyere avrenning. Nedbøren bringer med seg noe varme, som kan bidra til å varme opp snødekket. I dette tilfellet, har oppvarmingen fra nedbøren tatt noe tid ettersom avrenningen ikke starter å ta fart før 3 timer og 20 minutter etter nedbøren. Figur 4.21 viser at det renner litt i starten. Ettersom det hadde vært en større nedbørhendelse dagen før på 19,1 mm (regn), er det overraskende at avrenningen ikke tar fart tidligere. Fra tidsforløpet i figuren ser man at avrenningen øker når det nærmer seg midt på dagen. Da har snøen fått tid til å bli varmet opp. Det er tydelig at det er snøsmeltingen som bestemmer store deler av avrenningsforløpet.

Sammenlignet med hendelsen den 26. desember så følger ikke avrenningen nedbøren. Dette er bemerkelsesverdig med tanke på at denne hendelsen befant seg 28 timer og 20 minutter tidligere ved et tørrere tak. Eneste hovedforklaring på dette er nedbørsmengden og intensiteten til

hendelsen den 26. desember, da det regnet det 10 mm mer enn det gjorde for 27 og 28. desember. Sett i sammenheng med varigheten, var hendelsen den 26. desember mye mer intens ettersom episoden varte i 16 timer sammenlignet med 17 timer for en lavere nedbørsmengde. Varigheten kan ha gjort at snødekket og det grønne taket ble fortere mettet enn det ble døgnet etter. Figur 4.29 viser at avrenningen den 26. desember tar fart midt på dagen, da den varmeste tiden på døgnet starter. Ser man på maksimumstemperaturene den 26, 27 og 28 desember var de henholdsvis 3,9 °C, 3,1 °C og 1,9 °C (Yr, 2018). Det er tydelig et fall i temperaturen fra 26 til 28. desember. De ekstra gradene kan ha hatt en effekt på avrenningen den 26. desember, hvis det var snøsmeltingen som bidro. I følge målestasjonen på Blindern var det skyet alle disse tre dagene. Dette betyr at solstrålingen ikke har vært en betydelig faktor, men lufttemperaturen.

4.1.2.4 Avrenning med snønedbør

Den 15. januar på morgenen fram til ettermiddagen den 16. januar falt det 18,6 mm nedbør på 28 timer og 20 minutter. Denne nedbøren falt som snø og sludd. Middelttemperaturen den 15 og 16 var henholdsvis -1,9 °C og 0 °C. Ifølge målestasjonen på Blindern befant det seg allerede 17 cm med snø dagen før, 14. januar (Yr, 2018). Det var fire dager siden forrige regnhendelse da det falt 1,4 mm. Det kan antas at taket var relativt vått på grunn av den eksisterende snømengden.

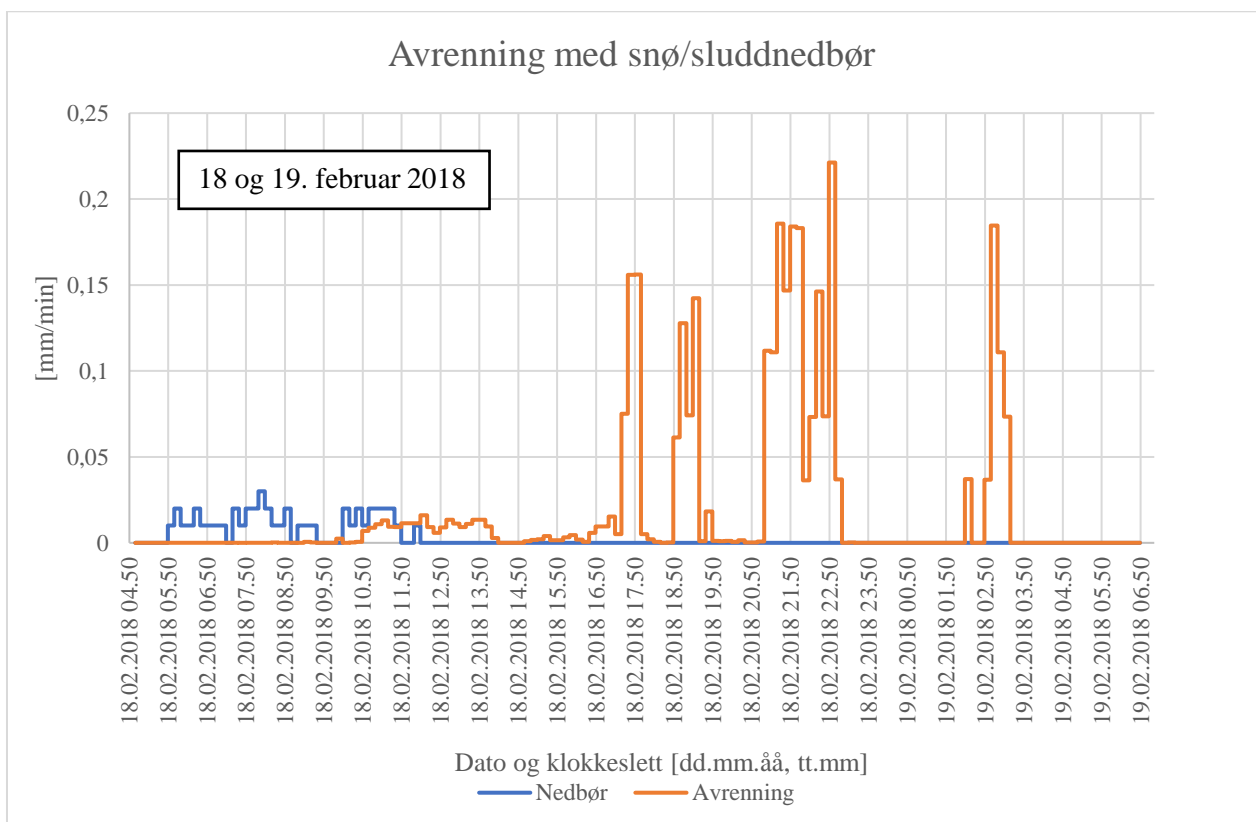


Figur 4.22: Avrenning med snø/sluddnedbør, 15 og 16. januar 2018. Nedbørhendelsen startet kl. 10:50 den 15. januar og sluttet kl. 15:30 den 16. januar. Den totale nedbør – og avrenningsmengden ble målt til 18,6 mm og 29,8 mm.

Den totale avrenningen ble målt til 29,8 mm. Dette betyr at det rant av 11,2 mm mer enn det som falt på taket gjennom perioden. I starten av perioden er avrenningen liten. Dette resulterer i en total tilbakeholdelse av avrenningsmengdene de første 12 timene på 93 %. Etter omtrent 18 timer ser det ut som taket har blitt mettet og at det ikke lenger klarer å holde igjen avrenningen.

Nedbøren kommer i relativ konstant intensitet med omtrent like store topper gjennom perioden. De største nedbørtoppene ble målt til 0,03 mm/min (kl. 22:40, kl. 03:00, kl. 04:00 og kl. 05:00). Avrenningen følger ikke nedbøren gjennom forløpet og har en tydelig avrenningstopp (0,074 mm/min). Denne er mer enn dobbel så stor som den største nedbørtoppen. Sammenlignes den største siste nedbørtoppen og den største avrenningstoppen, forsinker det grønne taket avrenningstoppen med 4 timer og 10 minutter.

Den 18. februar falt det 4,6 mm som snø/sludd i løpet av ca. 6 timer. Middelttemperaturen den 18 og 19. februar var henholdsvis $-0,8^{\circ}\text{C}$ og $-1,2^{\circ}\text{C}$. Snødybden dagen før var målt til 55 cm (Yr, 2018). Siste nedbørhendelse var for to dager siden da det falt 0,9 mm nedbør. Det kan antas at taket var litt vått på grunn av snøen, selv om regnhendelsen i forkant var liten.



Figur 4.23: Avrenning med snønedbør 18 og 19. februar 2018. Nedbørhendelsen startet kl. 06:00 18. februar og sluttet kl. 12:20 den 19. februar. Avrenningsmengden ble målt til ca. syv ganger så mye som nedbørmengden, henholdsvis 31 mm og 4,6 mm. Avrenningen eskalerer 11,5 timer etter nedbørstart.

Den totale avrenningen ble målt til 31 mm, som er omtrent syv ganger mer enn den totale nedbørsmengden. Dette var den hendelsen i løpet av måleperioden som hadde størst total avrenning. Det er tydelig at avrenningen ikke følger nedbøren. Avrenningen starter smått om morgenen og begynner å eskalere på ettermiddagen, etter at nedbørhendelsen er ferdig. De første 10 timene er den totale tilbakeholdelsen av avrenningsmengdene 52 %.

Nedbøren kommer i mindre topper der den største toppen ble målt til 0,03 mm/min (kl. 08:30). De intense avrenningstoppene kommer i intervaller, der den største ankommer kl. 23:00 og ble målt til 0,22 mm/min, som er litt over syv ganger større enn den største nedbørtoppen. Det grønne taket forsinket den største avrenningstoppen med 14 timer og 30 minutter timer sammenlignet med den største nedbørtoppen.

Diskusjon:

Det er tydelig i begge tilfellene at avrenningen er større enn nedbørsmengden, selv om nedbøren faller som snø/sludd. For hendelsen i februar, renner det av betraktelig mye mer enn for hendelsen i januar. Da er det mulig å tenke at disse store vannføringene i februar som kommer stykkevis uten en oppadgående og nedadgående del kan være målefeil, ettersom det ble observert fryst vannspeil den 23. februar. Om man forutsetter at målingene er riktige, kan en annen årsak være at det generelt var varmere den 18 og 19. februar med maksimumstemperaturer på henholdsvis 0,8 °C og 0,4 °C, i forhold til 15 og 16 januar, 1,4 °C og 0,4 °C (Yr, 2018). Når temperaturen er over null, begynner snøsmeltingen. Det er svært sannsynlig at dette har påvirket avrenningen til å gå fortere. Data fra Blindern målestasjon viser at det ikke var noe solinnstrålingen i løpet av disse dagene (Yr, 2018).

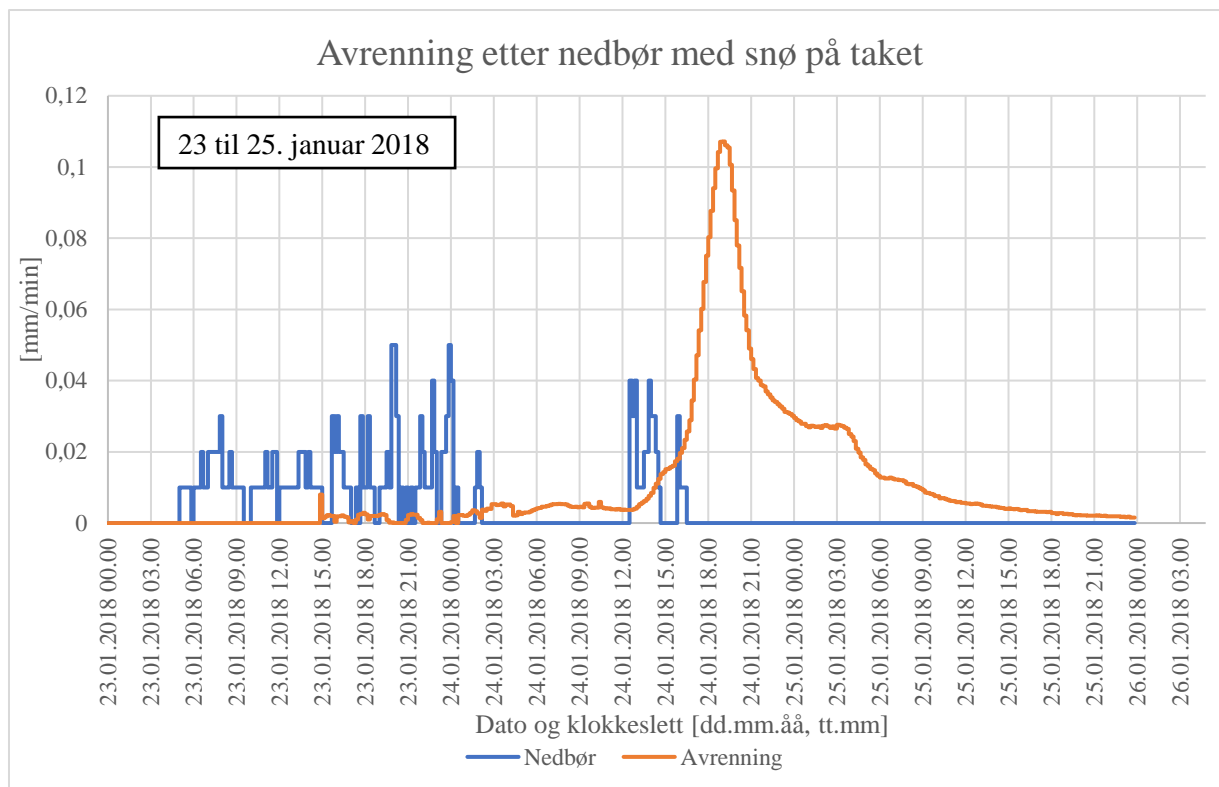
Figur 4.22 viser at avrenningen ikke starter for fullt før ca. 18 timer. En grunn til dette er at nedbøren falt som snø/sludd og la seg på det eksisterende dekket. Da blir ikke snømengdene varmet opp, slik den hadde blitt hvis nedbøren falt som regn. Sammenligner man med hendelsen i figur 4.23, startet ikke avrenningen for fullt før 11,5 timer senere. Hendelsen i januar ble altså forsinket 6,5 timer mer enn hendelsen i februar, selv om denne hendelsen hadde en større nedbørsmengde og mindre snø. Det kan tenkes at taket i februar var mer mettet før nedbøren kom, men for begge hendelsene var det relativt lite nedbør som falt i forkant. Ser man på avrenningsforløpet i starten av perioden ser disse ut til å være ganske like i begge figurene. Hovedforklaringen er nok at hendelsen i februar hadde høyere lufttemperatur, som sannsynligvis har påvirket forsinkelsestiden til å bli kortere.

Det vises tydelig i begge figurene at hendelsen i februar, da det var mest snø (55 cm), hadde betraktelig større avrenningstopp (2,5 ganger større) enn hendelsen i januar, selv om nedbørsmengden var 14 mm mindre. Årsaken til dette kan være den store forskjellen i snømengden. Når snødekket er varmet opp og det grønne taket er mettet, får man en kraftigere avrenningstopp med et dypere snødekke, selv for en lavere nedbørsmengde og intensitet. Hvis avrenningsmålingene stemmer, er det tydelig at det er snøsmeltingen som dominerer avrenningsforløpet. Dette betyr at energibalansen i snøen er mer styrende enn nedbørinputen og at sammenhengen mellom nedbør og avrenning ikke er så sterk.

4.1.2.5 Avrenning etter nedbør med snø på taket

23 og 24. januar falt det totalt 18 mm regn i løpet av 34 timer. Episoden startet på morgenen den 23. januar og sluttet på ettermiddagen den 24. januar. Det var fire dager siden forrige nedbørhendelse da det ble registrert til 0,4 mm i løpet av 4 timer. Middelsestemperaturen den 23, 24 og 25 januar lå henholdsvis på -1,1 °C, 3 °C og 3,4 °C (Yr, 2018).

Snømengden ble målt den 22 og 26. januar manuelt før og etter hendelsen. Gjennomsnittsdypden før hendelsen ble målt til 42,5 cm. Snøen kunne karakteriseres som lett puddersnø. Etter hendelsen hadde gjennomsnittsdypden minket til 20,3 cm. Snøen på taket kunne nå beskrives som tung og hard med stort vanninnhold (se avsnitt 4.1.1.3 snømengder og andre observasjoner på det grønne taket). Middelsestemperaturen den 26. januar var -0,6 °C (Yr, 2018).



Figur 4.24: Avrenning etter nedbør med snø på taket i perioden 23 til 25. januar 2018. Nedbørhendelsen startet kl. 05:30 den 23. januar og sluttet kl. 16:30 den 24. januar. Figuren viser avrenningsmønsteret for det grønne taket med en total nedbør på 18 mm. Gjennomsnittsdybden til snømengden på taket varierte fra 42,5 cm den 22. januar til 20,3 cm den 26. januar. Avrenningstoppen ble målt til 0,107 mm/min.

Figur 4.24 viser at det er en vesentlig forskjell i nedbør – og avrenningsmønsteret. Den totale avrenningen ble målt til 47 mm gjennom perioden, som er omtrent 2,5 ganger mer enn den totale nedbørsmengden. Avrenningen starter ikke før på ettermiddagen, som er 8 timer og 10 minutter etter nedbørstart. Dette resulterer i en total tilbakeholdelse på 87 % i løpet av de første 24 timene. Etter det renner det litt hele tiden fram til kl. 13:20 da avrenningen eskaleres betraktelig.

Det er én tydelig avrenningstopp (0,107 mm/min), mens nedbøren kommer i flere topper med den mest intense perioden mellom kl. 05:50 og kl. 02:00. Den største nedbørtoppen ble målt til 0,05 mm/min (kl. 20:10). Dette betyr at den største avrenningstoppen ble forsinket med 23 timer sammenlignet med den største nedbørtoppen.

Diskusjon:

Det er tydelig fra figur 4.24 at avrenningen den første perioden blir tilbakeholdt. Det tar hele 31 timer fra nedbørstart til avrenningen begynner å eskalere vesentlig. Det kan tenkes at de store snømengdene på taket holdt igjen mye av nedbøren, ettersom snømengdene den 22. januar

ble observert som puddersnø. Lette puddersnøkrystaller består av ca. 90 % luft og har omtrent en tetthet på 100 kg/m^3 (Strand, 2018). Sammenlignet med fritt vann som har en tetthet på 1000 kg/m^3 , er det tydelig at den lette puddersnøen kan ha utsatt avrenningstoppen. Det er likevel vanskelig å si noe om vanninnholdet i snøen uten å måle tettheten.

Figuren viser tydelig når taket blir mettet. Observasjoner fra befaringen den 22 og 26. januar tyder på at mye av snøen smeltet, ettersom snødybden ble halvert etter nedbørhendelsen. Da er det ikke utenkelig at avrenningen var 2,5 ganger høyere enn nedbørmengden. Ser man på temperaturene disse dagene, steg den fra $1,0 \text{ }^\circ\text{C}$ den 23. januar til $5,6 \text{ }^\circ\text{C}$ den 25. januar. Dette kan ha påvirket avrenningsmønsteret betraktelig. Ifølge data fra Blindern målestasjon ble det registrert noe solinnstråling den 25. januar, mens den 23 og 24. januar var skydekket. Sammenlignes de målte snømengdene med differansen mellom avrenningen og nedbøren ($47 \text{ mm avrenning} - 18 \text{ mm nedbør} = 29 \text{ mm}$) ser man at dette tilsvarer grovt 29 cm lett snø. Dette samsvarer ganske bra med differansen i den målte snømengden, 22,2 cm. At 1 cm snø utgjør 1 mm vann, er bare en tommelfingerregel. Da blir det tatt utgangspunkt i at tettheten til snøen er 100 kg/m^3 . For dette tilfellet, da snøen ble observert som lett pudde, kan dette anslås.

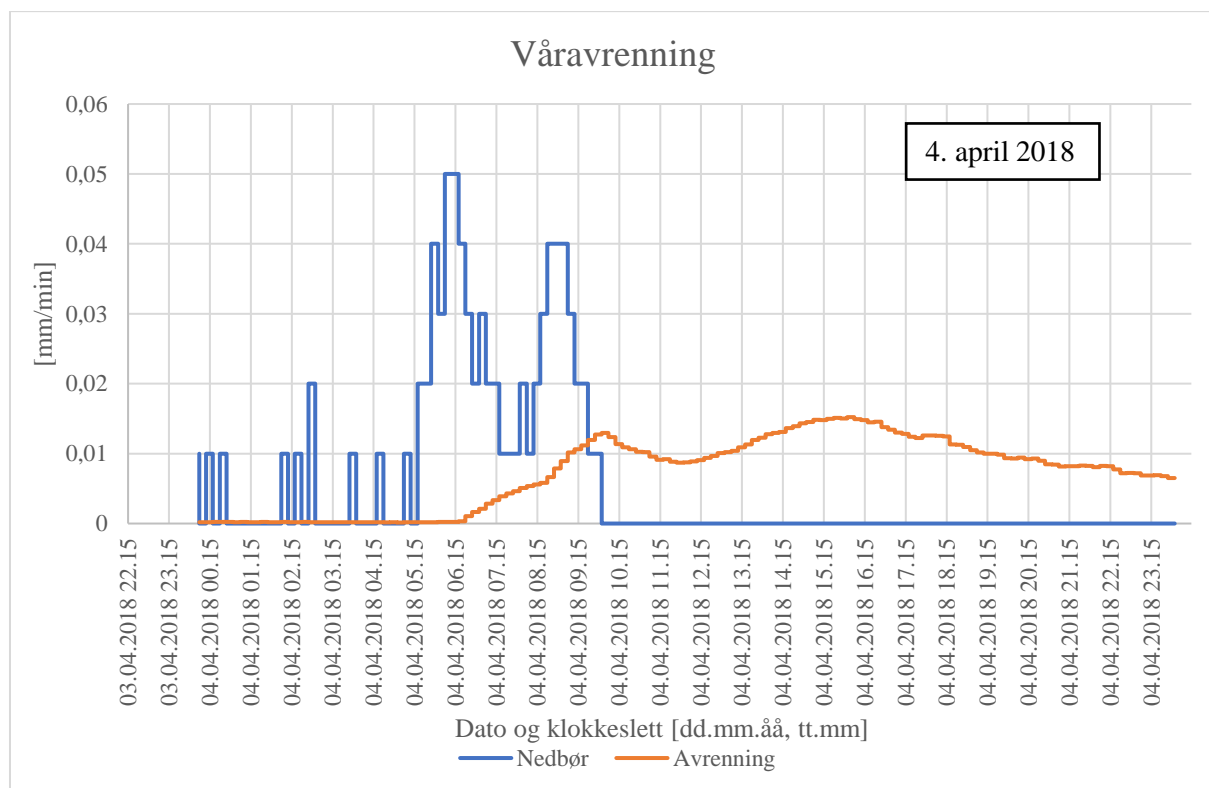
Sammenligner man forsøktaket til Braskerud, GT1b, som var det taket som hadde lignende oppbygning som taket på Bring stasjon, under en hendelse med snøsmelting og regn/yr den 16. februar 2014 (figur 2.19), ser man at avrenningen til GT1b følger nedbøren bedre enn det gjør under denne hendelsen. Hovedårsaken til dette kan være at GT1b hadde mye mindre snø på taket (15 cm), ettersom det ikke var en altfor stor forskjell i nedbørmengden (2,7 mm mer for episoden i januar) og intensiteten for hendelsene da nedbøren kommer i to omganger for hendelsen i januar. Braskerud hadde derimot et referansetak å sammenligne avrenningen mot som gjorde det mulig å se på tilbakeholdelsen til det grønne taket, som ble 25 % for GT1b. Dette er det er vanskelig å si noe om for det grønne taket på Bring stasjon.

Sammenligner man denne hendelsen der nedbøren falt som regn, og hendelsen den 15 og 16. januar der nedbøren falt som snø/sludd, ser man at hendelsen der nedbøren falt som sludd/snø får en lavere avrenningstopp ($0,074 \text{ mm/min}$) enn ved hendelsen der nedbøren falt som regn ($0,107 \text{ mm/min}$). Ved begge hendelsene faller det omtrent like mye nedbør (18,6 mm for hendelsen med snønedbør og 18 mm for hendelsen der nedbøren faller som regn). Varigheten er derimot 5 timer lengre for hendelsen med regn, som betyr at denne har lavere intensitet. Likevel skaper det en høyere avrenningstopp og en høyere total avrenning (17,2 mm mer enn hendelsen med snønedbør). Årsaken til dette kan være at når nedbør faller som regn, varmer dette opp snømengdene i motsetning til når nedbøren faller som snø/sludd. Snøen er aldri

varmere enn 0 °C og smelter på grunn av lufttemperatur, solstråling og regn (Müller, 2018). Når det regner blir tettheten høyere enn 100 kg/m³ (som er utgangspunktet for snø) og kan stige til 350-550 kg/m³ som er sannsynlig tetthet for kompakt snø fylt med vann, rett før den smelter (Strand, 2018). Dette ble observert på befarings etter hendelsen den 26. januar. Det er også sannsynlig at middeltemperaturen var høyere for den dagen det regnet enn den dagen nedbøren falt som snø/sludd, 15 og 16. januar (-1,9 °C og 0 °C) og 24 og 25. januar (3 °C og 3,4 °C) (Yr, 2018). Det er tydelig at avrenningsmønsteret avhenger av værforholdene og energibalansen i snøen om det er snø tilstede.

4.1.2.6 Våravrenning med nedbør

Den 4. april regnet det totalt 7,9 mm på 9 timer og 50 minutter. Nedbørhendelsen startet ved midnatt og sluttet på morgenen. Før dette hadde det omtrent ikke regnet siden 18. mars da det falt totalt 0,7 mm nedbør. Det kan antas på grunn av snøen at taket var litt vått, selv om det ikke hadde regnet på en stund. Maks – og middeltemperaturen denne dagen var henholdsvis 4 °C og 2,5 °C (Yr, 2018). Den gjennomsnittlige snømengden målt den 6. april var 26 cm, da dette blir to dager etter hendelsen. Ifølge Blindern målestasjon var snødybden denne dagen 44 cm (Yr, 2018).



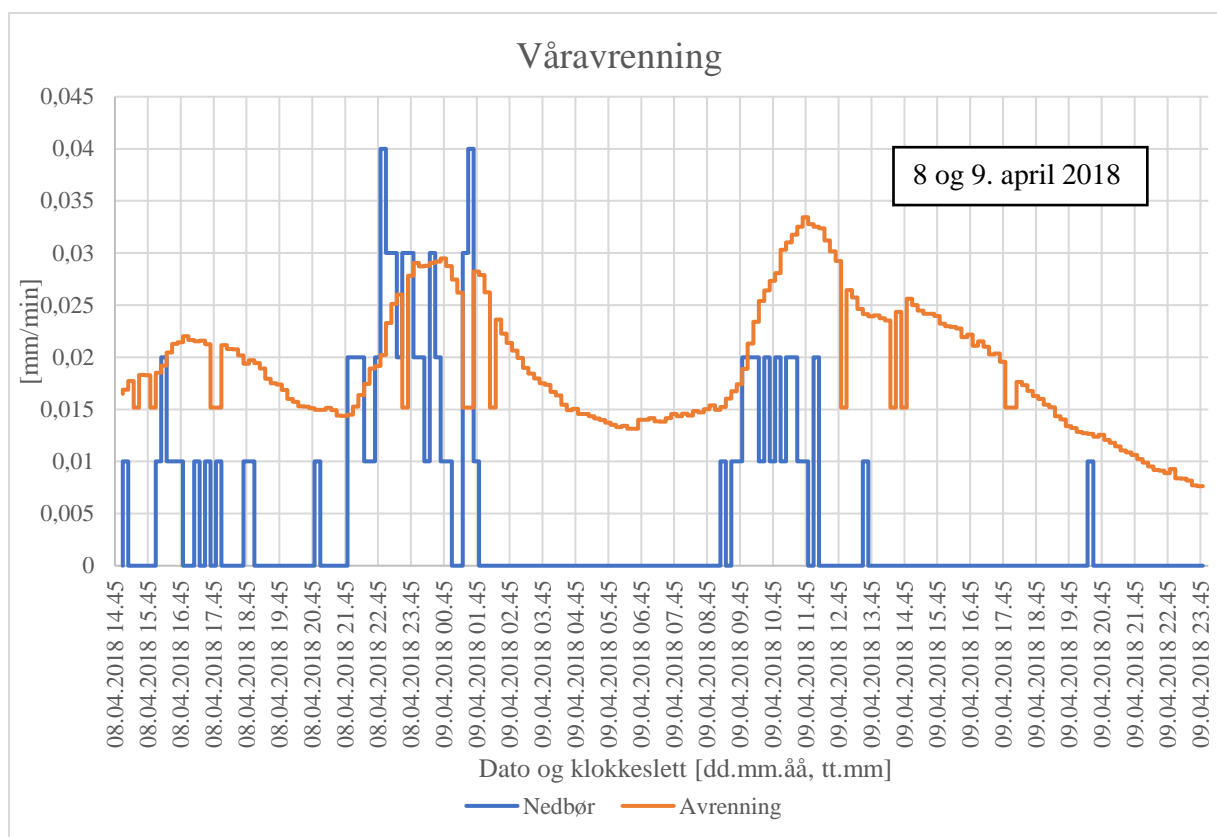
Figur 4.25: Våravrenning den 4. april 2018. Nedbørhendelsen startet kl. 00:00 og sluttet kl. 09:50. Nedbøren vises som to spisse topper, mens avrenningen har en slakere kurve over lengre tid. Den største avrenningstoppen ble målt til 0,013 mm/min og ble forsinket med 4 timer i forhold til den største nedbørtoppen.

Figur 4.25 viser det grønne taket ved våravrenning. Det er tydelig at avrenningen fra det grønne taket følger nedbøren bedre nå enn tidligere hendelser i løpet av måleperioden. Den totale avrenningen ble målt til 10,3 mm for forløpet vist i figuren, som er 2,4 mm mer enn nedbørmengden. Dette kan gi et noe urealistisk bilde av avrenningen. Grunnen til at ikke hele avrenningsforløpet ble sett på er fordi avrenningen fortsetter kontinuerlig gjennom hele april, ettersom snømengdene på taket begynner å smelte bort.

Avrenningen vises som to slakere topper og starter å øke tidlig på morgenen. Før dette renner det litt hele tiden, men da er $Q < 0,0004$ mm/min. Dette resulterer i en total tilbakeholdelse av mengdene de første 6 timene med 95,6 %.

Den første og andre avrenningstoppen ankommer henholdsvis kl. 10:00 (0,013 mm/min) og kl. 16:00 (0,0152 mm/min). Dette betyr at det grønne taket forsinket avrenningstoppene henholdsvis med 4 og 7 timer. Nedbøren kommer i to tydelige topper, der den første toppen ble målt til 0,05 mm/min (kl. 06:00) og andre topp målt til 0,04 mm/min (kl. 09:00). Det grønne taket demper den første og andre avrenningstoppen henholdsvis med 74,1 % og 62 %.

Figur 4.26 viser våravrenningen den 8 og 9. april og sammenhengen mellom de to hendelsene. Den første nedbørepisoden starter midt på dagen den 8. april og slutter på natten den 9. april. I løpet av den første episoden faller det totalt 6,1 mm på ca. 11 timer. Den andre nedbørepisoden starter på morgenen den 9. april og slutter helt på kvelden. Totalt falt det 2,6 mm. Middelttemperaturen den 8 og 9. april var henholdsvis målt til 4,4 °C og 3,3 °C (Yr, 2018). Egne målinger 6. april viser en gjennomsnittsdypde på 26 cm. Før denne hendelsen hadde det regnet både 4 og 5. april. Det kan antas at taket var relativt vått.



Figur 4.26: Våravrenning den 8 og 9. april 2018. Totalt falt det 6,1 mm og 2,6 mm for første og andre nedbørhendelse. Det grønne taket demper nedbøren med høyere intensitet, enn ved lavere intensitet, selv med snø på taket. Den første avrenningstoppen blir dempet med 27,5 % og forsinket med 1 time og 50 minutter.

Det fremgår av figur 4.26 at den totale avrenningen (37 mm) er mye større enn den totale nedbørsmengden (8,7 mm) for hele perioden vist i figuren. Det fremgår tydelig at avrenningen følger nedbøren tettere her enn i de foregående figurene. Det er to tydelige og like store nedbørtopper for den første nedbørhendelsen. Disse ble målt til 0,04 mm/min (kl. 23:00 og kl. 01:40). Avrenningstoppen for den første nedbørhendelsen ble målt til 0,029 mm/min (kl. 00:50). Dette er en demping av den største nedbørtoppen med 27,5 %. Det grønne taket forsinket avrenningstoppen 1 time og 50 minutter i forhold til den første nedbørtoppen.

For den andre nedbørhendelsen kommer avrenningen som en stor topp (kl. 11:50) og ble målt til 0,033 mm/min. Nedbøren kommer i fem like store nedbørstopper på 0,02 mm/min (kl. 10:00, 10:40, 11:00, 11:20 og 12:10). Avrenningstoppen blir forsinket med 1 time og 50 minutter i forhold til den første største nedbørtoppen. Fra figuren er det tydelig den første nedbørhendelsen blir dempet av det grønne taket, mens ved den andre nedbørhendelsen overstiger avrenningen nedbøren. Dette viser metningseffekten i taket og/eller i snøen.

Diskusjon:

Den 4. april er det mulig å se at avrenningen begynner å følge nedbøren tettere. Avrenningen ble målt til å være 2,4 mm mer enn nedbørsmengden. Det grønne taket demper avrenningstoppene betydelig (74,1 % og 62 %) selv om snøen gir ekstra total avrenning. Grunnen til denne dempingen kan være tilstanden til snødekket og taket, ettersom det nesten ikke hadde regnet noe siden 18. mars. Forsinkelsen blir derimot lengre for siste avrenningstopp (7 timer) enn for første (4 timer). Grunnen til dette kan skyldes forskjellen i nedbørintensitet for den første nedbørtoppen. Dette sammenfaller også med hendelsen den 26. desember, da første avrenningstopp (56 %) blir dempet mer enn den andre (42 %) og at forsinkelsen var kortere for første avrenningstopp (2 t og 10 min) enn for den siste (3 t og 30 min). Fra teorien skulle man tro at dette var motsatt for forsinkelsen, at den første toppen ble forsinket mer i forhold til den siste. Forsinkelsestiden avhenger derimot mye av hvordan man måler den og nedbørførløpet gjennom perioden. I dette tilfellet faller det en del regn før første store nedbørtopp. Dette kan påvirke forsinkelsestiden hvis man måler tidsforskjellen mellom største nedbør – og avrenningstopp. Hendelsen den 4. april demper derimot avrenningstoppene mer enn hendelsen 26. desember. Grunnen til dette er at det faller mer nedbør igjennom perioden i desember og at nedbørtoppene er mer intense (0,08 mm/min og 0,05 mm/min).

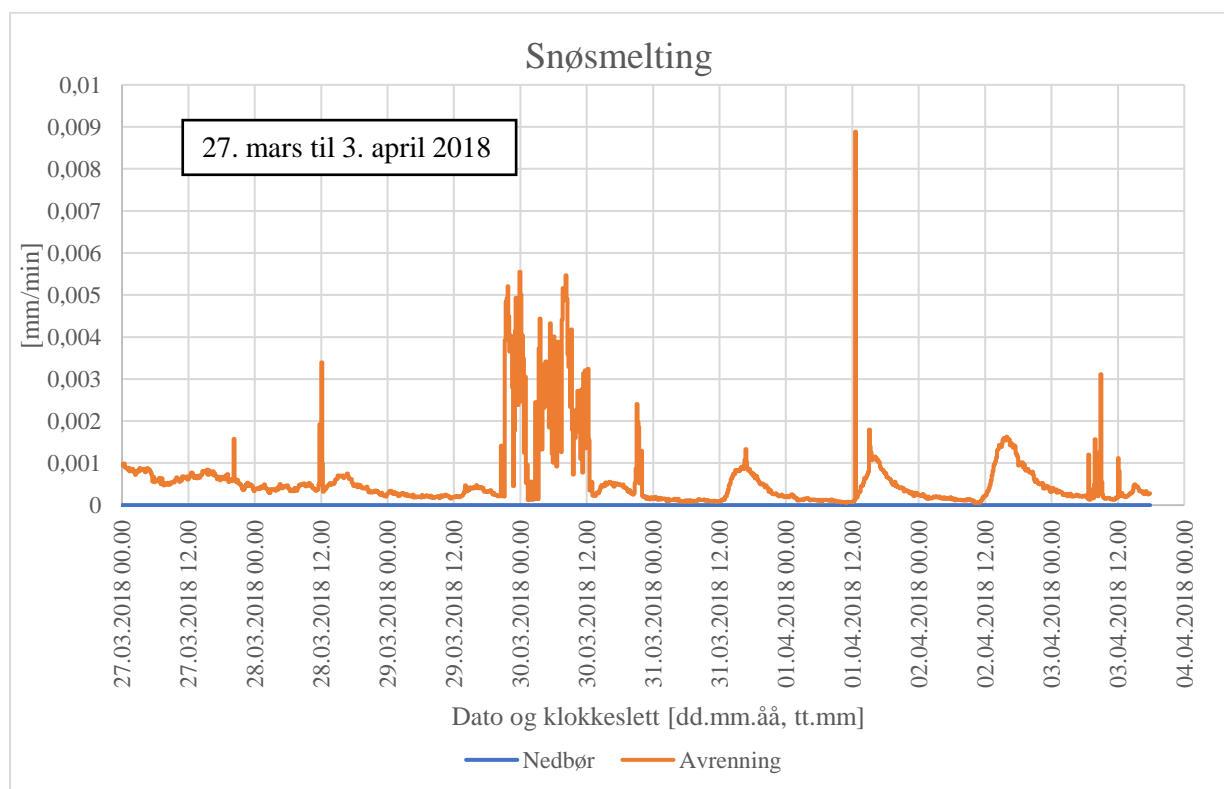
Den 9. april kommer det en voldsom avrenning. Dette er en kombinasjon av den forsinkede avrenningen 8. april og ny avrenning fra den nye regnhendelsen 9. april. Avrenningstoppene den 8 og 9. april ankommer omtrent 1 time og 50 minutter etter første nedbørtopp og det er synlig at forsinkelsen ikke blir like stor i mettet tilstand som for avrenningstoppen 4. april, da taket hadde en lengre periode uten nedbør. Sammenligner man disse hendelsene da det regnet totalt 5,3 mm mer 4. april enn ved 9. april, holder taket tilbake avrenningstoppene henholdsvis 2 timer og 5 timer lengre den 4. april. Dette er betydelig mer ved en større nedbørsmengde og mer intense nedbørtopper. Grunnen til dette kan være fordi at det omtrent ikke hadde regnet siden 18. mars før hendelsen den 4. april. Da kan det tenkes at snømengdene på taket kunne ta imot mye vann, som kan ha fungert som en demper for nedbøren. Siden det hadde regnet både 4 og 5. april før hendelsen 8 og 9. april er det sannsynlig at snødekket og taket var mettet, som har ført til en lavere forsinkelsestid og høyere avrenningsintensitet. Resultatene fra enkelthendelsene viser tydelig at initialtilstanden til taket påvirker når og hvor mye avrenning som kommer.

Våravrenningen den 8 og 9. april viser sammenhengen mellom to tette nedbørhendelser. Det fremgår av figuren at taket demper den første avrenningstoppen (27,5 %), men ikke den siste.

Der overstiger avrenningen nedbøren, selv om nedbørintensiteten er større for den første hendelsen. Grunnen til dette kan være at taket ble mettet etter første hendelse. En annen grunn kan være at den andre nedbørhendelsen kom på dagen, da temperaturen er på sitt høyeste og snøen har blitt varmet opp. Dette kan ha ført til en ekstra avrenning fra snømengdene. Fra den første hendelsen, ser man at avrenningstoppen ankommer på natten, da temperaturen er på sitt laveste. Dette kan ha redusert snøsmeltingen. Som tidligere bemerket, påvirker lufttemperaturen snøsmeltingen betraktelig. Derav er lufttemperaturen førende for avrenningsmønsteret om det er snø tilstede.

4.1.2.7 Snøsmelting

I perioden 27. mars til 3. april kom det ikke noe nedbør. Likevel ble det registrert vannføring fra det grønne taket, totalt 6,9 mm. Middelttemperaturen i denne perioden lå på $-2,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Maksimumstemperaturene fluktuerte mellom $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ til $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$, da den høyeste temperaturen ble målt 1. april (Yr, 2018). Dagen før denne perioden falt det $0,1\text{ mm}$ nedbør. Før dette var målingene ugyldige.



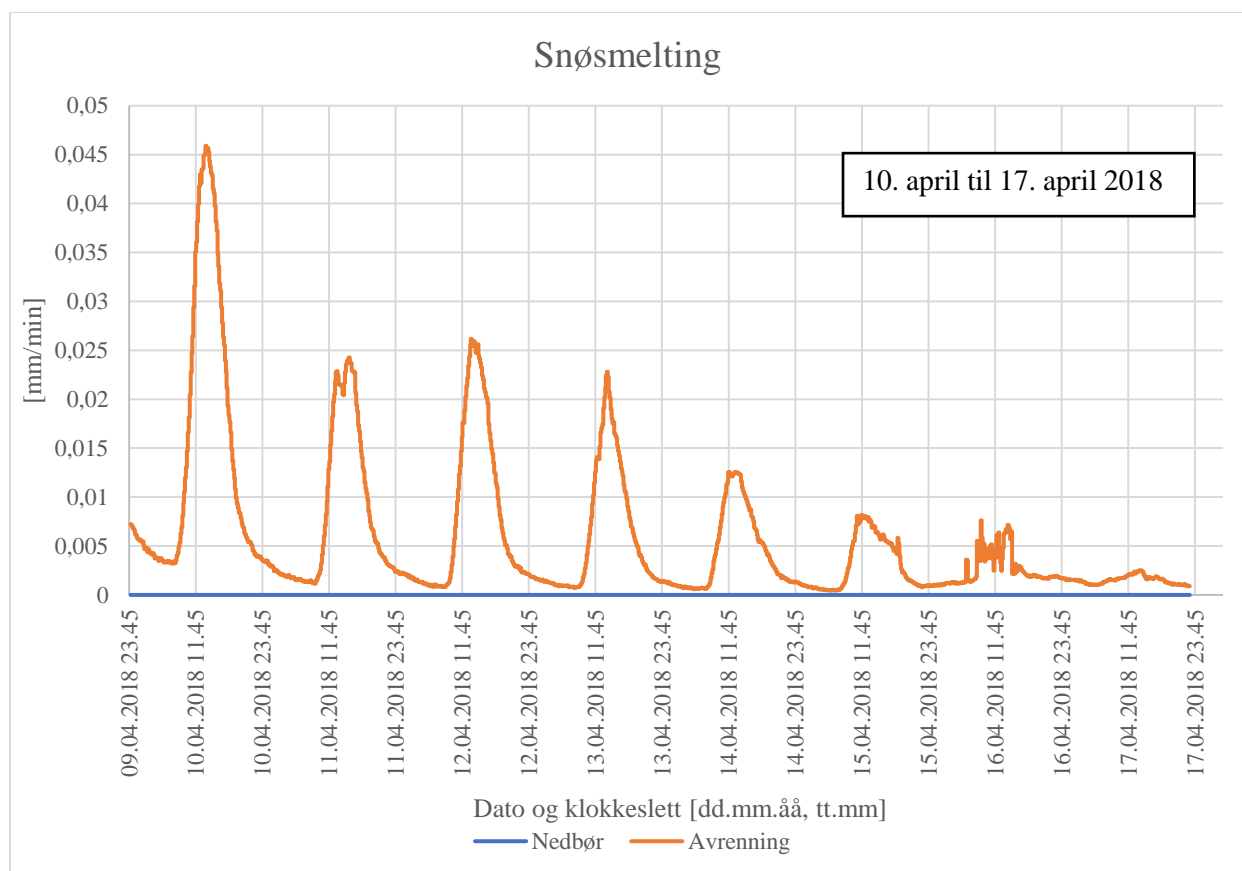
Figur 4.27: Snøsmelting i perioden 27. mars 2018 kl. 00:00 til 3. april 2018 kl. 17:30 uten nedbør. Den høyeste vannføringen ble målt 1. april til $0,0088\text{ mm/min}$.

Før perioden ble ikke snømengden målt. Den siste målingen før 27. mars var 7. mars. Denne dagen var gjennomsnittsdypden $39,5\text{ cm}$. 3 dager etter perioden, den 6. april, ble

gjennomsnittsdybden målt til 26 cm. Snøen i denne perioden kan beskrives som hard med mye is. Ifølge målestasjonen på Blindern var snødybden den 27. mars og 3. april henholdsvis 44 cm og 42 cm (Yr, 2018).

Den høyeste avrenningstoppen finner sted tidlig på dagen den 1. april og ble målt til 0,0088 mm/min. Flere intense avrenningstopper ankommer sent på kvelden den 29. mars frem til morgenen den 30. mars. De høyeste toppene innenfor perioden ble målt til 0,0049, 0,0055 og 0,0052 mm/min. Maksimumstemperaturene disse dagene lå mellom 3,3 °C til 3,8 °C (Yr, 2018). Fra figuren ser man at avrenningen ofte starter på dagtid og får sin høyeste topp rundt ettermiddagen. Da har snøen blitt varmet opp og avrenningen kan starte. Det renner konstant gjennom hele perioden.

I løpet av april var det dager uten nedbør med sol og høye temperaturer. Figur 4.28 viser snøsmelting i perioden 10 til 17. april. Den høyeste temperaturen denne perioden var 17,8 °C og ble målt den 15. april. Middelttemperaturene lå på 4,5 °C til 10,7 °C (Yr, 2018). Den siste nedbørhendelsen før denne perioden var 8 og 9. april, da det totalt falt 8,3 mm regn.



Figur 4.28: Snøsmelting i perioden 10. april til 17. april 2018. Figuren viser tydelig snøsmelting på ettermiddagen og minkende snømengder som resulterer i mindre intense avrenningstopper. Snøen var helt borte 21. april.

4 dager før avrenningen ble gjennomsnittsdybden på snøen målt til 26 cm. Totalt gjennom perioden var avrenningen 68,7 mm. Den største avrenningstoppen ankommer 10. april og ble registrert til 0,0456 mm/min. Figuren viser at avrenningstoppene begynner å stige midt på dagen og når toppen rundt ettermiddagstid. Det er tydelig at snødekket på taket minker i løpet av perioden. Den 21. april var all snøen borte.

Diskusjon:

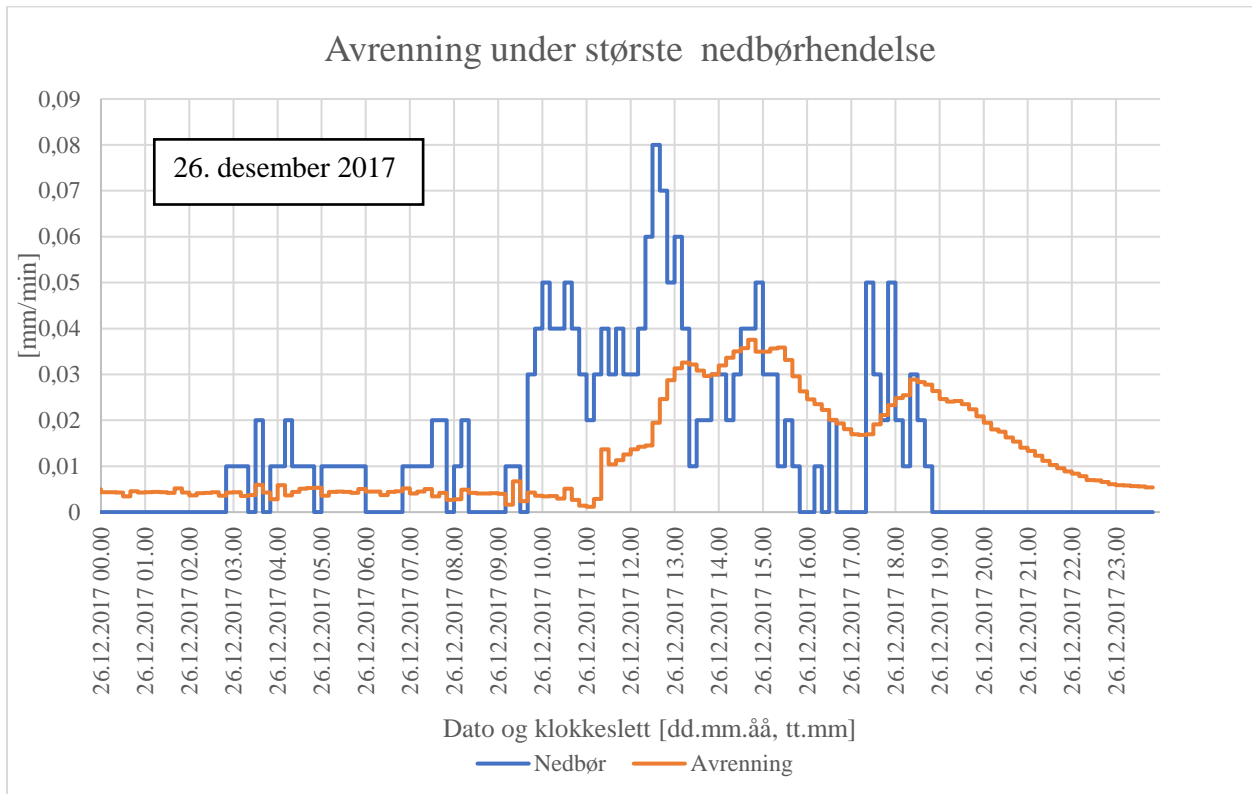
Figur 4.27 viser at snøsmeltingen er temperaturavhengig. Den høyeste avrenningen ble målt 0,0088 mm/min 1. april, da temperaturen var på sitt høyeste, 7,1 °C. I perioden fra 29. mars til 30. mars var det flere høye avrenningstopper. Grunnen til dette kan være temperaturene disse dagene, som var henholdsvis 3,3 °C og 3,8 °C. Altså høye nok til å få varmet opp snøen og å få snøsmelting. Det som er interessant er at avrenningen for denne perioden startet på kvelden og avsluttet på dagen. Man kan derfor lure på om dette er reelle avrenningshendelser eller en målefeil. Det som virker mest logisk er at vannspeilet ved V-overløpet har fryst på natten og dannet is, slik at det har blitt en oppstuvning av vannet. Hvis dette er reelle målinger, kan det være at det har vært et temperaturskifte på natten. Blindern målestasjon målte kalde temperaturer den 29 og 30. mars, henholdsvis -7,3 °C og -8,6 °C (Yr, 2018). Det er vanskelig å si noe helt sikkert, ettersom det ikke ble utført en befaring i tidsrommet.

Det er tydelig fra figur 4.28 at snøen fra taket smelter gradvis bort. I starten er avrenningen høyere enn på slutten. Avrenningen starter tidlig på dagen og når sitt høyeste punkt på ettermiddagen. Sammenligner man med snøsmeltingen i figur 4.27 så følger ikke den et like tydelig avrenningsmønster gjennom perioden. Dette er nok fordi temperaturen var mer variert i perioden 27. mars til 3. april enn fra perioden 10. april til 17. april, da det var plussgrader døgnet rundt. Fra 27. mars til 3. april lå de laveste temperaturene på -5,4 °C til -10,3 °C (Yr, 2018). Dette har nok påvirket avrenningen ettersom den største avrenningstoppen i perioden 10. april til 17. april er 5 ganger større enn den største avrenningstoppen 1. april.

Det ble registrert at all snøen var borte den 21. april. Ettersom det ble målt en snødybde på 26 cm 6. april, kan det tenkes at all denne snøen smeltet bort i perioden. Dette vil svare til en tetthet på snøen på $68,7 \text{ mm} / 260 \text{ mm} * 1000 \text{ kg/m}^3 = 264 \text{ kg/m}^3$. Dette virker rimelig ut i fra forutsetningene da tettheten til snø ligger normalt mellom 350-550 kg/m³ før den smelter (Strand, 2018). Det kan tenkes at tettheten er litt høyere på grunn av mer avrenning fram mot 21. april.

4.1.2.8 Avrenning under den største nedbørhendelsen

Den 26. desember falt det 19,1 mm regn i løpet av 15 timer og 50 minutter. Dette var den hendelsen i måleperioden som målte den høyeste nedbørmengden. Før denne episoden falt det 0,4 mm den 23. desember og 0,1 mm den 20. desember. Snødybden og middeltemperaturen denne dagen var henholdsvis 9 cm og 1,6 °C (Yr, 2018). Det kan anslås at taket var relativt vått.



Figur 4.29: Avrenning under største nedbørhendelse den 26. desember 2017. Nedbørhendelsen kl. 03:00 og sluttet kl. 18:40 Totalt falt det 19,1 mm nedbør, som resulterte i en total tilbakeholdelse på 1 mm nedbør (5,2 %). Den største avrenningstoppen ble målt til 0,0375 mm/min og ble forsinket med 2 timer og 10 minutter. Begge avrenningstoppene ble dempet henholdsvis med 53 % og 42 %.

Den totale avrenningen ble målt til 18,1 mm. Det betyr at taket holdt tilbake 1 mm nedbør, som tilsvarer 5,2 %. De første 6 timene er den totale tilbakeholdelsen av avrenningsmengden 47 %.

Avrenningen kommer som to topper, målt til 0,0375 mm/min (kl. 14:50) og 0,0289 mm/min (kl. 18:30). Nedbøren har flere intensitetstopper gjennom forløpet. Den største nedbørtoppen ble målt til 0,08 mm/min (kl. 12:40). Den andre største nedbørtoppen ble målt til 0,05 mm/min (kl. 15:00) som resulterer i at avrenningstoppene ble dempet med henholdsvis 53 % og 42 % i forhold til de to største og første nedbørtoppene. Det grønne taket forsinket avrenningstoppene henholdsvis med 2 timer og 10 minutter, og 3 timer og 30 minutter.

Diskusjon:

Det fremgår av figur 4.29 at avrenningen følger nedbøren tettere. Hendelsene etter 26. desember og fram til 4. april har ikke noe tydelig avrenningsmønster. Grunnen til dette kan være at det fantes lite snø på taket den 26. desember og at det ble observert at deler av taket var snøfritt rundt 4. april.

Det er tydelig at det grønne taket demper avrenningstoppene under denne hendelsen. Den første blir dempet mer (53 %) enn den andre toppen (42 %). Den totale nedbøren blir derimot bare dempet med 5,2 %, som ikke er så mye i det store bildet. Figuren viser at det grønne taket holder tilbake de første nedbørmengdene. Deretter, ved et visst punkt, er både det grønne taket og snøen mettet og avrenningen starter for fullt. Fra avrenningsforløpet i figuren kan det tenkes at snødekket i starten holdt tilbake avrenningen, helt til snødekket ble varmet opp av regnet og de varmere temperaturene tidlig på dagen. Dette resulterer i en mye høyere avrenning enn det hadde vært uten snø. På grunn av at snødybden ikke ble målt rundt denne tiden, er det vanskelig å si noe eksakt om hvordan snøen påvirket avrenningsmønsteret. Snøen blir en usikkerhetsfaktor med mindre man kan veie og måle tettheten til snøen.

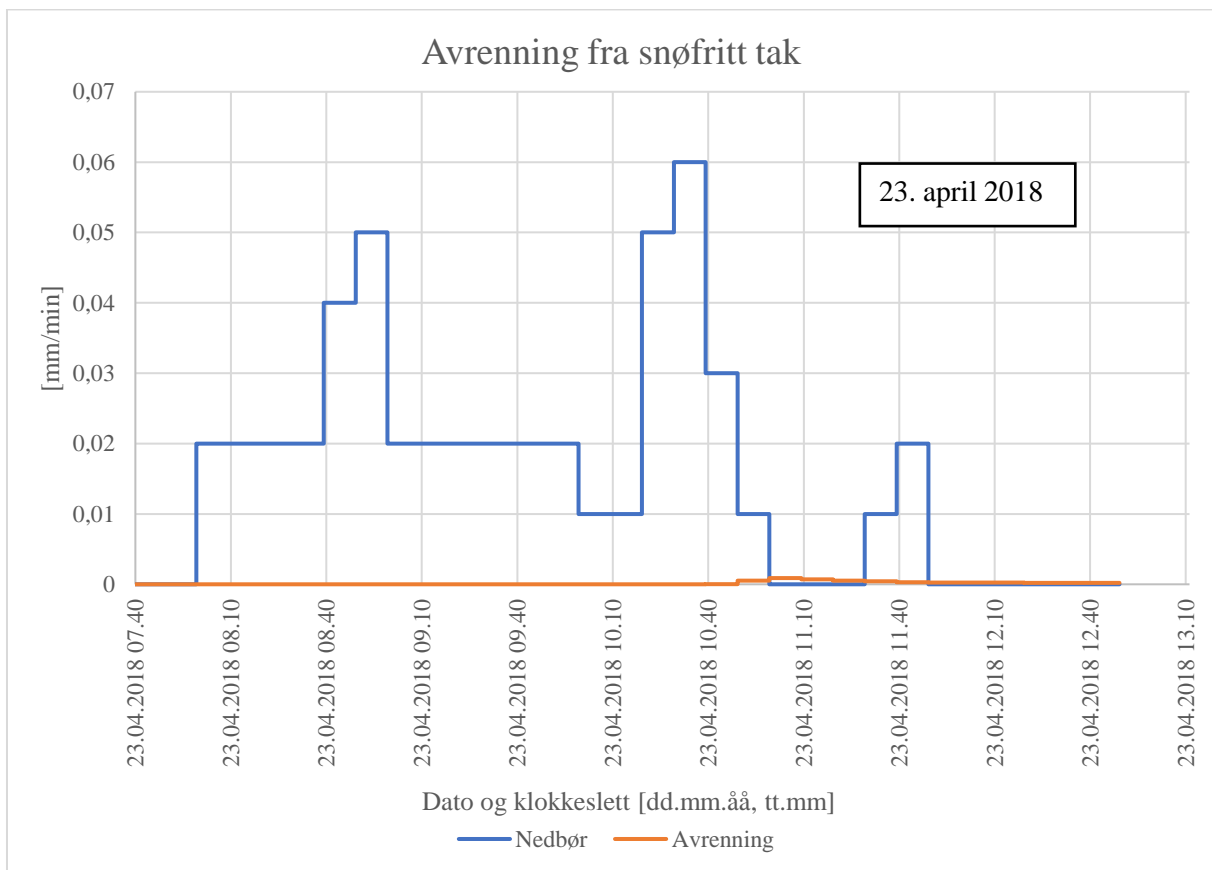
Avrenningstoppene ble likevel dempet selv om snømengdene på taket har resultert i en høyere avrenning. Den første avrenningstoppen blir dempet mer enn den andre. Dette kan være fordi taket ble relativt mettet etter første nedbørtopp, og klarte derfor ikke å dempe andre toppen like mye. Det som er interessant er at den første avrenningstoppen hadde lavere forsinkelsestid enn den andre avrenningstoppen (1 time og 20 minutter forskjell). Dette viser at den første toppen ble dempet mer, men mindre forsinket i forhold til den andre avrenningstoppen. Hovedforklaringen er nok fordi at den første nedbørtoppen (0,08 mm/min) er mer intens enn den andre (0,05 mm/min).

Stovin V. (2010) fikk under sin største nedbørhendelse (20 mm) en tilbakeholdelse på 7,4 mm. Denne hendelsen fant sted om våren med et testtak på 3 m² og 80 mm substrat. Sammenlignet med denne hendelsen, er dette mye mer enn 1 mm fra en nedbørhendelse på 19,1 mm. Grunnen til dette kan være testtakets tykkelse. Mer substrat betyr at vannet kan holde på mer vann. En annen tenkelig grunn er nok forholdene, da hendelsen 26. desember fant sted om vinteren mens den andre hendelsen fant sted om våren. Dette kan påvirke takets funksjon til å finne tilbake til initialtilstanden, da det fortsatt var kaldt og vått. En siste forklaring kan være at avrenningsmålingene for denne hendelsen ikke er helt korrekte ettersom det var minusgrader på natten denne dagen, som kan ha ført til en høyere målt avrenning på grunn av nivåendringer

i magasinet. Om man går ut ifra at målingene er korrekte, er det tydelig at snø påvirker takets ytelse og skaper en høyere avrenning om faktorene for at snøsmelting skal forekomme er oppfylt.

4.1.2.9 Avrenning fra tak uten snø

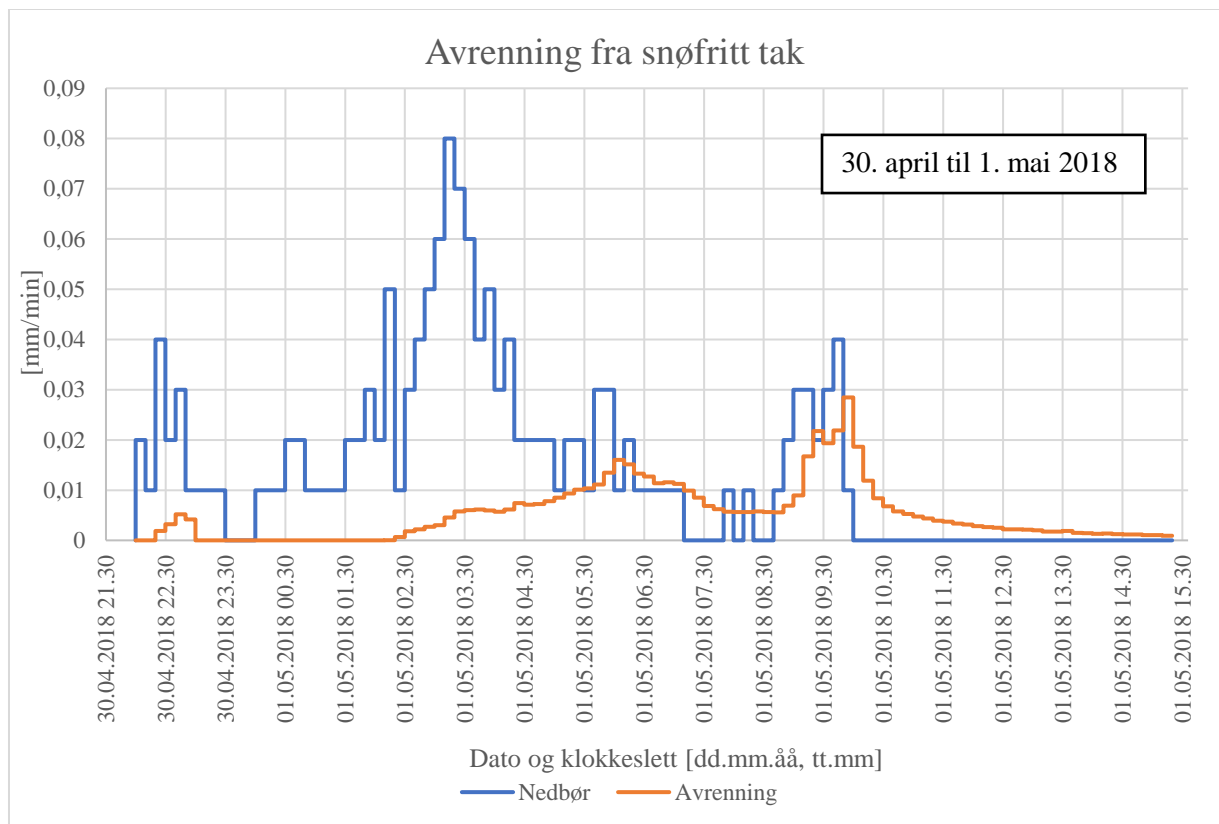
Den 23. april falt det totalt 4 mm i løpet av 3 timer og 20 minutter. Dette var en av de få hendelsene der taket var snøfritt. Nedbøren startet på morgenen og sluttet tidlig på dagen. Den siste hendelsen var for 6 dager siden, 18. april, da det falt totalt 2 mm. Det kan antas at taket var relativt tørt.



Figur 4.30: Avrenning med et snøfritt tak. Nedbørhendelsen startet kl. 08:30 og sluttet kl. 11:50. Totalt falt det 4 mm i løpet av 3 timer og 20 minutter. Det kan antas at taket var relativt tørt. Det grønne taket holder tilbake nedbøren med 98,8 %.

Fra figur 4.30 ser man at avrenningen er betraktelig mye mindre enn nedbørmengden. Det grønne taket holder tilbake 98,8 % av nedbøren gjennom hele perioden. Den største nedbørintensiteten ble målt til 0,06 mm/min (kl. 10:40). Den største avrenningsintensiteten ble målt til 0,00088 mm/min (kl. 11:10), som resulterer i en demping og en forsinkelsestid på avrenningstoppen med henholdsvis 98,5 % og 30 minutter.

Fra overgangen til mai fra april, kom det en regnhendelse på totalt 14,4 mm i løpet av 12 timer. Før denne hendelsen hadde det ikke regnet stort siden 23. april. Det kom 0,1 mm nedbør den 25. april. Det kan antas at taket var relativt tørt.



Figur 4.31: Avrenning fra et snøfritt tak i starten av mai. Nedbørhendelsen startet kl. 22:10 og slutter kl. 09:40. Totalt falt det 14,4 mm i løpet av 12 timer. Taket var relativt tørt før hendelsen. Det grønne taket holder tilbake nedbøren med 61,6 %.

Figur 4.31 viser at det grønne taket demper og holder tilbake avrenningen gjennom perioden. Avrenningen ble målt til 5,5 mm som tilsvarer en total tilbakeholdelse på 61,6 %. Det er to tydelige nedbørstopper og avrenningstopper. Nedbørstopperne ble henholdsvis målt til 0,08 mm/min (kl. 03:20) og 0,04 mm/min (kl. 09:50). Den første avrenningstoppen ble dempet med 79,9 % mens den andre ble dempet med 28,8 %. Det fremgår av figuren at begge avrenningstopperne ble forsinket, henholdsvis 2 timer og 50 minutter, og 10 minutter.

Diskusjon:

Det er tydelig at det grønne taket får en helt annen funksjon når det er snøfritt. Taket holder tilbake omtrent all nedbøren (98,8 %). Selv om hendelsen er relativ liten med lang varighet, ser man at taket klarer å holde tilbake den lille regnhendelsen helt.

Sammenlignes denne hendelsen med 4. april, da det var snø på taket, ser man at taket som er snøfritt demper toppen med 98,5 % selv for en høyere nedbørintensitet (0,06 mm/min). For et

snødekket tak med en nedbørintensitet på 0,05 mm/min, demper taket avrenningstoppen med 74,1 %. I begge hendelsene har det regnet på forhånd før den største nedbørtoppen ankommer. Det er tydelig at avrenningstoppen blir dempet under begge tilfellene.

Forskjellen i forsinkelsestid for de to hendelsene var 3 timer og 30 minutter. Ved et snøfritt tak ble avrenningstoppen bare forsinket med 30 minutter, for en mindre nedbørsmengde med høyere intensitet. Ved et tak med snø på seg (målt 26 cm den 6. april) er forsinkelsen derimot 4 timer, for en større nedbørhendelse med lavere intensitet. Det ser ut til at snøen på taket forsinket avrenningen voldsomt i forhold til et snøfritt tak. I tillegg så demper det avrenningstoppen. Forskjellen ligger i den totale tilbakeholdelsen når avrenningen blir høyere i det lange løp for et tak med snø, som resulterer i en lav total tilbakeholdelse. Dette avhenger nok av snømengden, tettheten til snøen og værforholdene på taket.

Sammenlignes denne hendelsen med 12. juli 2010 med Braskerud sitt forsøktak, figur 2.18, ved intens og kort nedbør, demper GT1a og GT2 avrenningstoppen henholdsvis 74 % og 86 % ved den mest intense hendelsen som gav 14,7 mm på 1 time. Intensiteten for denne hendelsen er mye høyere enn for 23. april. Likevel kan man se at de små testtakene demper nedbøren ganske bra for en så kraftig hendelse. Da er det ikke utenkelig at ved en mindre hendelse med et større tak (som gir litt lengre konsentrasjonstid) at taket klarer å dempe avrenningstoppen 98,5 %.

Den andre hendelsen gjennom perioden som ikke hadde snø på taket, figur 4.31, var omtrent 10 mm større enn hendelsen den 23. april. Det fremgår tydelig i figuren at det grønne taket demper og forsinket avrenningen. Under denne hendelsen var den totale tilbakeholdelsen 61,6 %. Dette er mindre sammenlignet med hendelsen 23. april. Hovedforklaringen til dette er den totale nedbørsmengden og varigheten, ettersom hendelsen i starten av mai var mye større med lengre varighet og med mer intense nedbørtopper.

Ser man på forsinkelsen i begge hendelsene, var forsinkelsen størst for den første avrenningstoppen for hendelsen i mai (2 timer og 50 minutter). Forsinkelsen for hendelsen i april var bare 30 minutter. I følge teorien ville ikke en større nedbørhendelse gitt lengre forsinkelsestid og omvendt. Derfor er det vanskelig å sammenligne disse to forsinkelsene fordi avrenningstoppen for hendelsen i april ikke er en definert topp. Dette gjør det utfordrende å uttale seg noe om forsinkelsestiden for hendelsen den 23. april.

Resultatene i figur 4.31 viser at forsinkelsen er større for første avrenningstopp enn den andre. Det er tydelig at taket klarer å dempe første topp, men når neste nedbørtopp kommer er taket

mest sannsynlig ganske mettet fra forrige hendelse, og derav klarer ikke å ha like god forsinkelsestid. Det fremkommer også at dempingseffekten er betraktelig mye større for første avrenningstopp. Forskjellen i forsinkelsestiden og dempingen er henholdsvis 2 timer og 40 minutter og 51,5 % mellom den første og andre avrenningstoppen. Dette viser metningseffekten for et snøfritt tak.

Det fremgår av resultatene at sammenhengen mellom nedbøren og avrenningen ikke er så sterk for et tak med eller uten snø. Dette er fordi sammenhengen mellom nedbøren og avrenningen består av flere faktorer gitt i formel 2.11. Dette er intersepsjon, transpirasjon, evapotranspirasjon fra jorda og tilbakeholdelsen i substratet. Det er da tenkelig at det er tilbakeholdelsen i substratet som er førende for avrenningsmengden under kalde forhold, da de andre faktorene mest sannsynlig er lav i vinterhalvåret. Tilbakeholdelsen i substratet avhenger av initialtilstanden (metningsgraden) til taket før en nedbørhendelse. Denne avhenger igjen av lengden på oppholdsperioden i forkant av hendelsen og evapotranspirasjonen. Taket var store deler av måleperioden dekket av snø og med få oppholdsperioder. Da kan det antas at initialtilstanden til taket ikke var helt optimalt, som betyr at det er snømengdene som har hatt den største betydningen for fordrøyningsevne gjennom perioden. Dette kan forklare hvorfor tilbakeholdelsen til taket generelt var lav gjennom perioden når snø var tilstede.

Dette sammenfaller med flere litteraturstudier undersøkt i denne oppgaven. Sims et al. (2016) fant blant annet ut at det var fukttilstanden i begynnelsen av en ny regnepisode som styrte takets ytelse til tilbakeholdelse. Johannesen, J & Muthanna, T (2016) konkluderte med at evapotranspirasjonen var hovedfaktoren til å øke fordrøyingskapasiteten. I studien til Braskerud (2014b) ble det funnet at tilbakeholdelsen for et tak med og uten vegetasjon under stabile vinterforhold med snønedbør var liten. For de ti ulike byene undersøkt i Nord-Europa av Johannesen et al. (2017) ble det oppdaget at fordrøyningen var lav for alle takene i vinterperioden.

4.1.2.10 Høyeste vannføring gjennom perioden

Det ble registrert to høye avrenningstopper gjennom perioden. Disse var utenfor de ugyldige måleperiodene. De to avrenningstoppene vises i tabellen under.

Tabell 4.3: Oversikt over de to største avrenningstoppene utenfor de ugyldige måleperiodene. Tabellen viser hvilken dag og klokkeslett avrenningstoppene ankom, antatt initialtilstand til taket, total nedbør for hendelsen og verdien for den høyeste målte avrenningstoppen.

Dato og klokkeslett	Initialtilstand	Nedbør [mm]	Nedbørvarighet	Avrenningstopp [mm/min]
31. desember 2017, kl. 22:10	Relativt vått	4,2	4 timer og 40 minutter (Kl. 16:10 – 20:50)	0,213
16. januar 2018, kl. 22:50	Relativt vått	18,6	15 timer og 20 minutter (Kl. 00:10-15:30)	0,39

Avrenningstoppen i desember ble målt til 0,213 mm/min, som tilsvarer 14,2 L/s. Toppen hadde en tydelig oppadgående og nedadgående del, som gjør målingen mer troverdig. Nedbørsmengden under denne hendelsen var veldig lav sammenlignet med intensiteten til avrenningstoppen. Under hendelsen i januar regnet det mye mer, 18,6 mm. Avrenningstoppen under denne hendelsen ble målt til 0,39 mm/min, som tilsvarer 26 L/s. Under denne hendelsen kom avrenningstoppen brått på, men strakk seg over to 10 minutters intervaller. Dette gjør at målingen blir mindre troverdig.

Diskusjon:

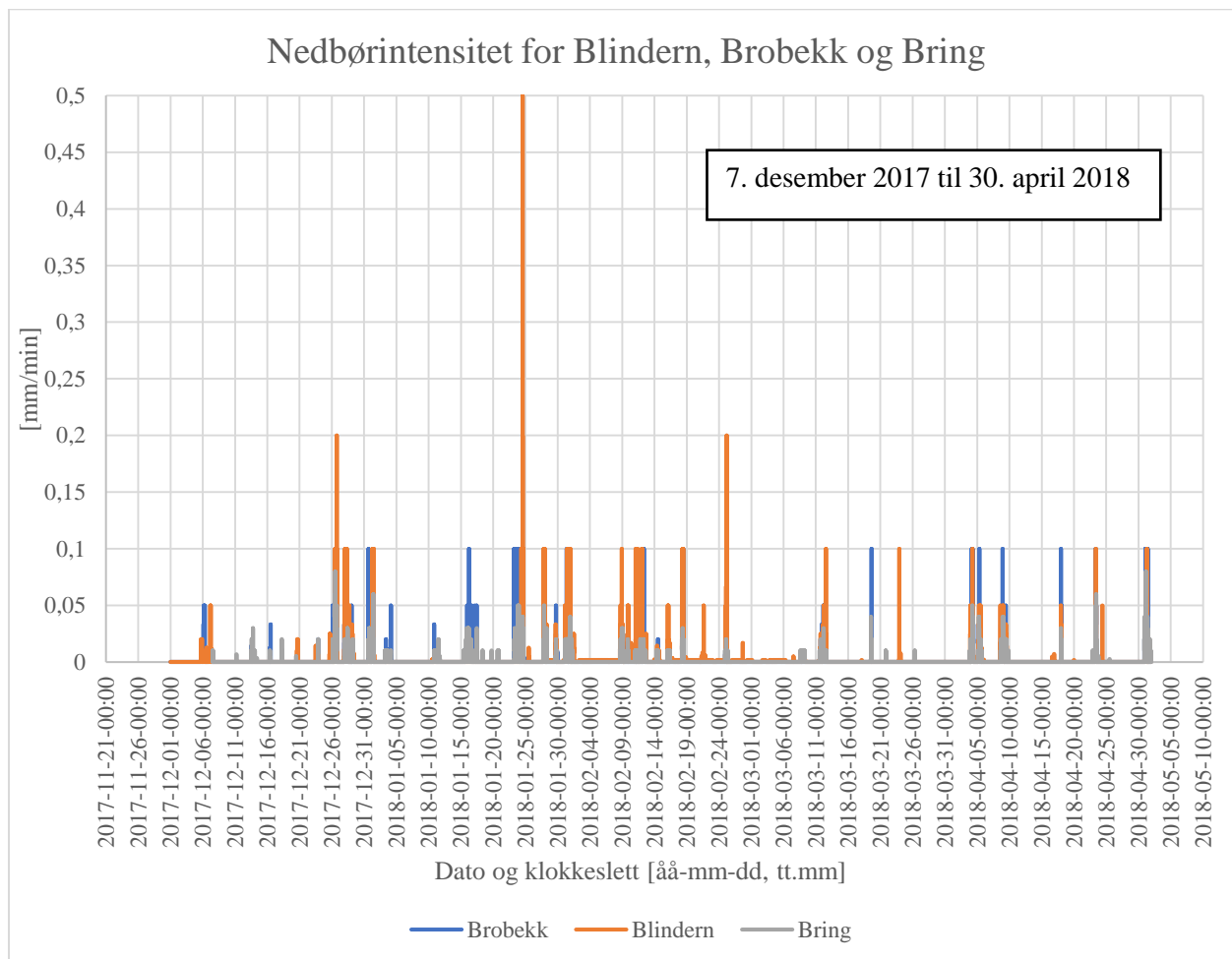
I henhold til krav fra VAV er det i prosjekteringen forutsatt en maksimal videreført vannføring fra taket på 15 L/s, som gav et nødvendig fordrøyningsvolum på 77 m³ for et 25 års gjentakintervall med en klimafaktor på 1,3. Velger man å stole på avrenningsmålingene, er det tydelig at avrenningen fra taket overstiger kravet om 15 L/s selv nå i vinterhalvåret uten kraftig nedbør med uvanlig mye snø. Det er litt bekymringsverdig at selv hendelser med lave gjentakintervall gir avrenning som overstiger den som er forutsatt i prosjekteringen.

4.1.2.9 Sammenligning av nedbørdata

Resultatene for Brobekk, Blindern og Bring målestasjon vises under for hele perioden 7. desember 2017 til 30. april 2018. De blir også sammenlignet for to nedbørhendelser av ulik størrelse, henholdsvis 26. desember, den største nedbørhendelsen gjennom perioden, og 4. april.

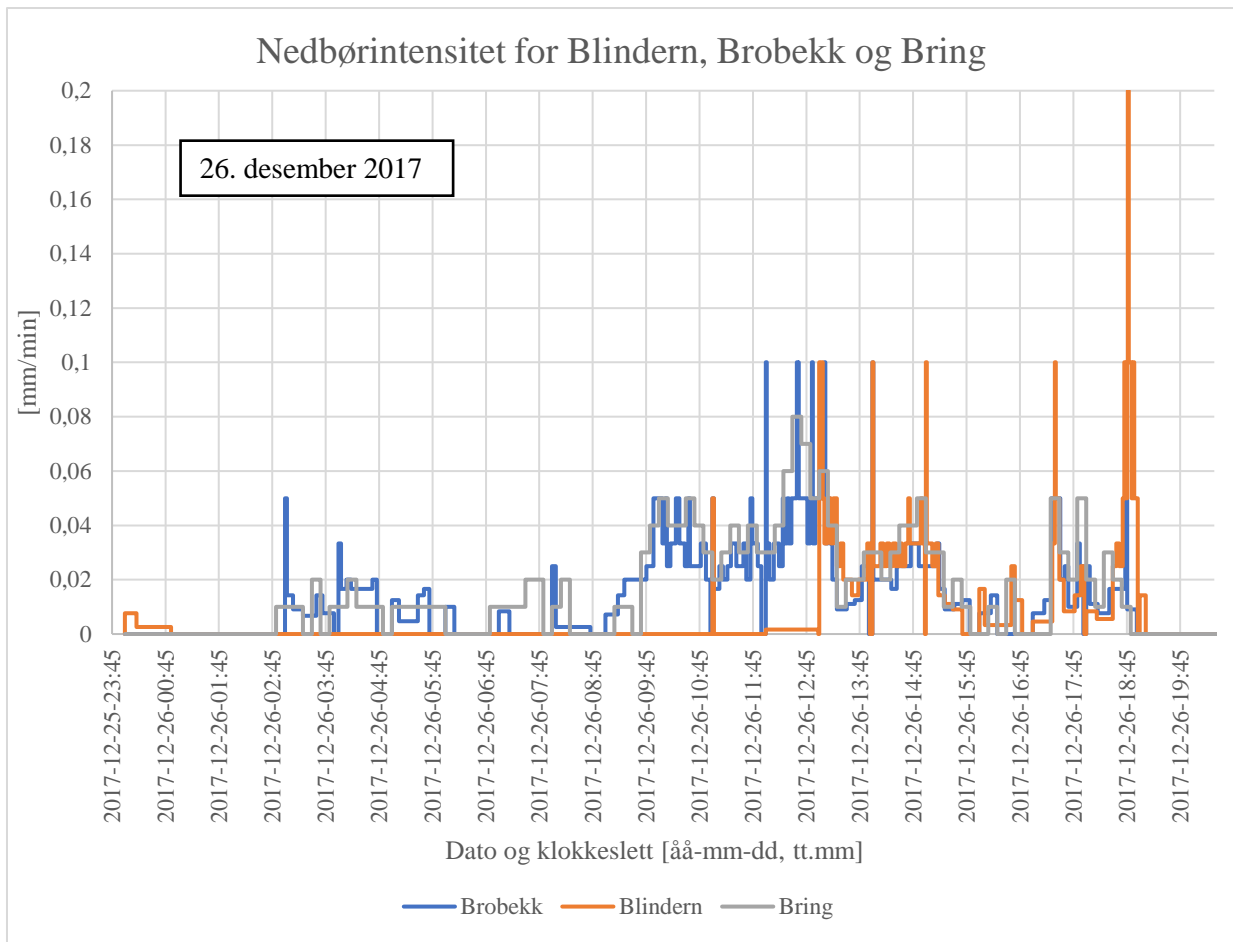
Tabell 4.4: Oversikt over total nedbør over måleperioden fra målestasjonene Brobekk, Blindern og nedbørmåleren på Bring stasjon. Data fra målestasjonene er hentet fra eklima.met.no.

Målestasjon	Brobekk	Blindern	Bring
Total nedbør [mm]	132,4	195,2	172,5



Figur 4.32: Målinger fra Brobekk og Blindern målestasjon sammen med nedbørdata fra nedbørmåleren på Bring stasjon gjennom perioden 7. desember 2017 til 30. april 2018. Nedbørdataene for Brobekk og Blindern er hentet fra eklima.met.no.

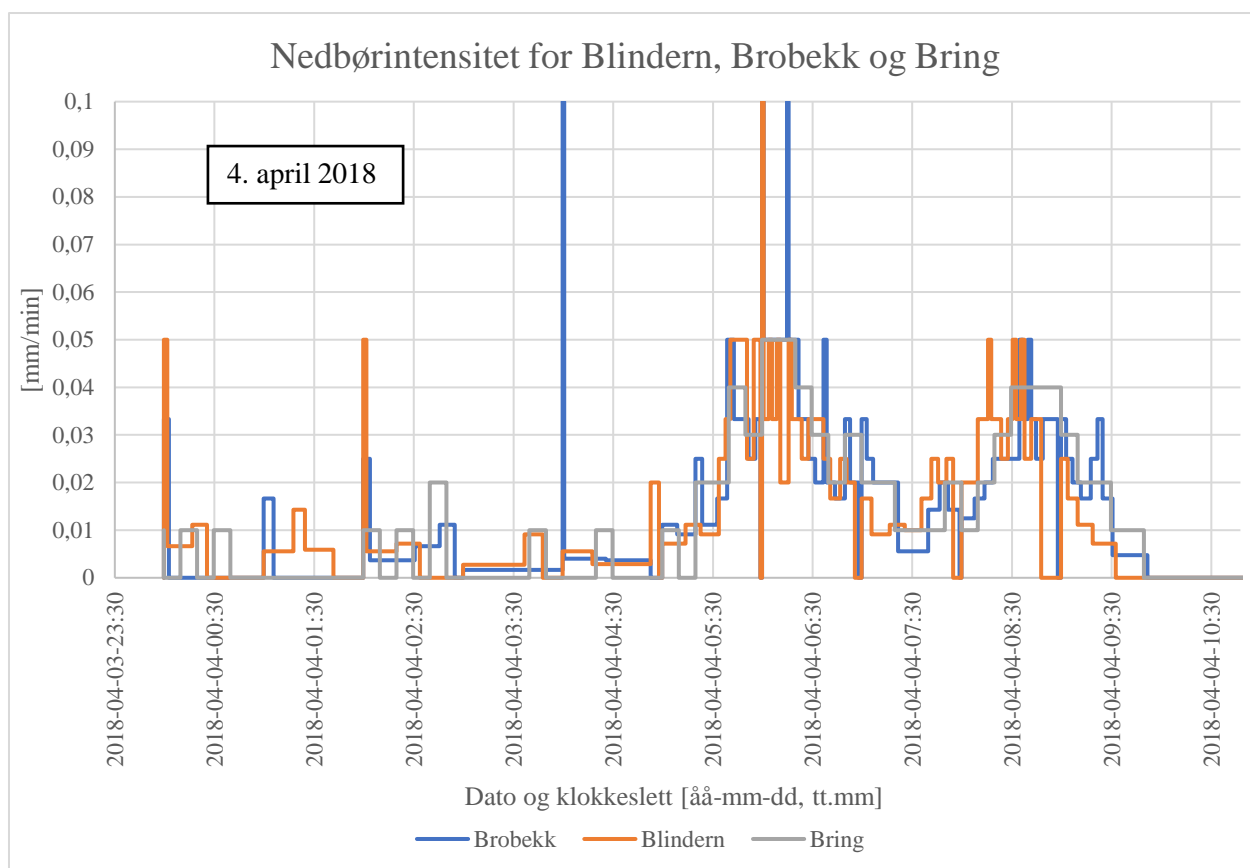
Gjennom hele perioden ble det den totale nedbøren registrert til 132,4 mm for Brobekk og 195,2 mm for Blindern. Bring målestasjon målte en total nedbør på 172,5 mm. Det fremkommer tydelig av figuren at Blindern målestasjon har flere høye nedbørtopper.



Figur 4.33: Resultater fra Blindern, Brobekk og Bring målestasjon den 26. desember 2017. Nedbørddataene for Brobekk og Blindern er hentet fra *eklima.met.no*.

Det fremgår av figur 4.33 at Brobekk har et likere nedbørsmønster enn Blindern sammenlignet med Bring målestasjon. Den totale nedbørsmengden for Brobekk, Blindern og Bring ble henholdsvis målt til 15,2 mm, 8,1 mm og 19,1 mm. Hendelsen for Brobekk målestasjon startet på natten kl. 03:02 og sluttet helt på kvelden kl. 18:57. For Blindern startet hendelsen kl. 23:45 og avsluttet kl. 20:00.

Den totale nedbørsmengden målt fra Brobekk, Blindern og Bring målestasjon den 4. april var henholdsvis 7,5 mm, 7,2 mm og 7,9 mm. Det fremgår av figur 4.34 at både Brobekk og Blindern måler flere høye nedbørtopper i forhold til Bring målestasjon. For Brobekk målestasjon starter hendelsen på natten kl. 00:03 og sluttet på morgenen kl. 09:52. For Blindern målestasjon starter nedbøren ett minutt etter Brobekk målestasjon, kl. 00:02 og sluttet om morgenen kl. 09:33.



Figur 4.34: Resultater fra Blindern, Brobekk og Bring målestasjon den 4. april 2018. Nedbørdataen fra Brobekk og Blindern er hentet fra *eklima.met.no*.

Diskusjon:

Begge målestasjonene målte nedbørhendelsen den 26. desember noe forskjellig (figur 4.33 og figur 4.34). Nedbørmåleren på Bring stasjon målte en total nedbør på 19,1 mm. Regnet startet på natten kl. 03:00 og sluttet på kvelden kl. 18:40. Sammenligner man dette med Brobekk og Blindern målestasjon, som målte en total nedbør gjennom døgnet henholdsvis på 15,2 mm og 8,1 mm, var Brobekk den som hadde nærmest total nedbørmengde. Regnet på Brobekk startet 2 minutter etter regnet hadde startet på Bring stasjon og avsluttet 17 minutter etter. På Blindern målestasjon startet regnet 13 minutter etter regnet på Bring stasjon og sluttet 1 time og 20 minutter senere. Det er tydelig at målestasjonen på Brobekk har nærmere verdier nedbørmåleren på Bring stasjon enn målestasjonen på Blindern.

Nedbørmåleren på analyseområdet målte en total nedbørmengde på 7,9 mm den 4. april. Hendelsen startet akkurat kl. 00:00 og sluttet på morgenen kl. 09:50. Sammenlignes den totale målte nedbørmengden målt den 4. april fra Brobekk og Blindern (figur 4.34) henholdsvis 7,5 mm og 7,2 mm, målte stasjonen på Brobekk en nærmere mengde enn stasjonen på Blindern selv om de ikke var langt fra hverandre. Regnet på Brobekk startet 3 minutter etter regnet på

analyseområdet og sluttet 2 minutter senere. Nedbøren på Blindern startet nærmere regnet på analyseområdet, 2 minutter etter, men sluttet 17 minutter tidligere.

Gjennom perioden målte Blindern målestasjon en nærmere total nedbørsmengde enn Brobekk. Differansen totalt mellom Blindern og Bring var 22,7 mm, mens differansen mellom Brobekk og Bring var 40,1 mm. Brobekk målte mye mindre enn Blindern gjennom perioden. Selv om Blindern hadde en nærmere total nedbørsverdi, er det likevel tydelig at noen av nedbørtoppene har større intensitet enn nedbørtoppene målt fra Bring stasjon.

Fra disse dataene er det klart at Brobekk målte nærmere verdier for enkelthendelsene til nedbørmåleren satt opp på analyseområdet sammenlignet med målestasjonen på Blindern. Grunnen til dette er nok at Brobekk ligger nærmere Bring stasjon, 2 km, enn målestasjonen på Blindern, som ligger hele 7,5 km unna. Det var også tydelig at Brobekk hadde et likere nedbørsmønster enn stasjonen på Blindern. Fra resultatene er det mulig å se at det er en vesentlig forskjell på nedbørhendelser fra sted til sted og at nedbør ofte opptrer lokalt.

4.2 Diskusjon måleutstyr og metode

I dette underkapittelet diskuteres utfordringene og observasjonene med måleutstyret og løsningene som ble brukt. Deretter blir metoden vurdert og snømålingene diskutert.

4.2.1 Valg av måleutstyr

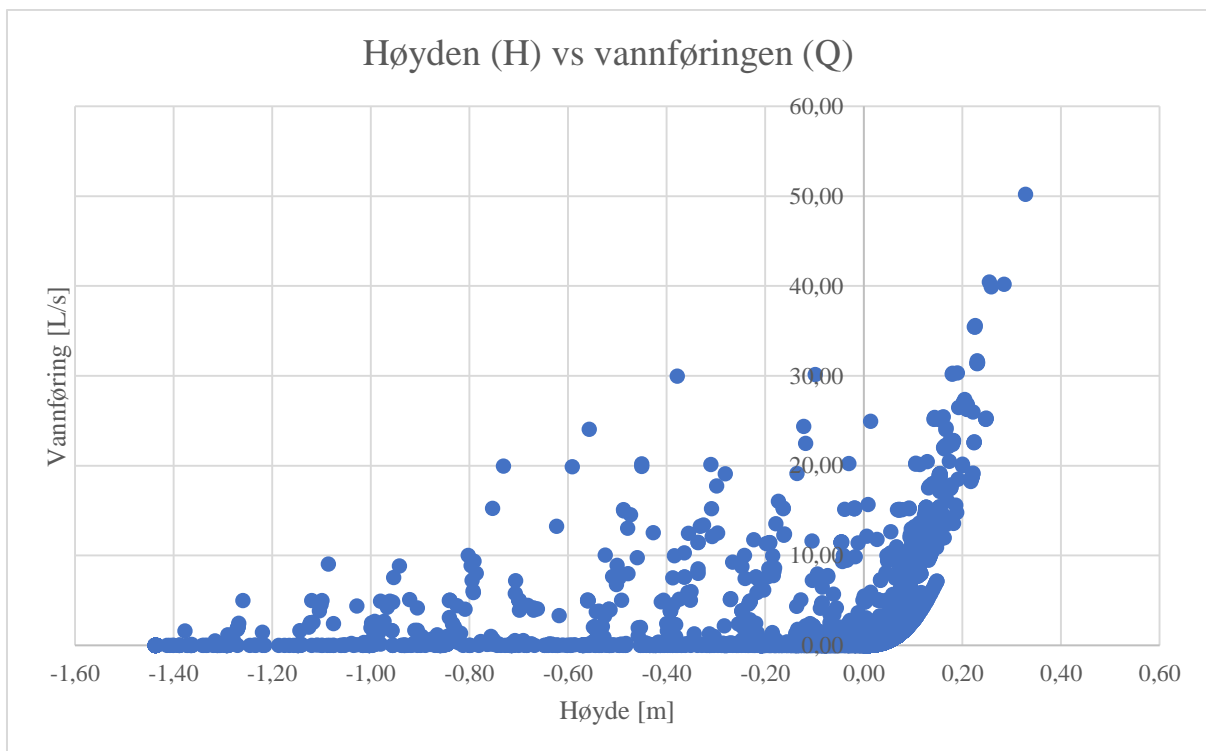
Måleutstyret og metoden ble valgt på bakgrunn av forholdene der det var ønsket å ta målinger. På grunn av at kostnadene på utstyret skulle finansieres, var dette også en avgjørende faktor i valg av måleutstyr og løsning.

4.2.1.1 Målemetode for det grønne taket

Det viser seg gjennom måleperioden at løsningen med V-overløp og ultralydsensor for måling av vannføringen til det grønne taket ikke fungerte optimalt. Det ble registrert alt for høye vannføringsmengder sammenlignet med nedbørsmengdene gjennom perioden. Observasjoner om at vannspeilet frøs i perioden 25. februar til 22. mars har gitt utslag på avrenningsmålingene. Det er i løpet av denne perioden det ble registrert høyest vannføring. Dette er ikke utenkelig da den laveste temperaturen målt i slutten av februar var $-15,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ og det fortsatt i midten av mars var temperaturer helt ned i $-14,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Yr, 2018). Da kan deler av vannspeilet ha fryst, som kan ha resultert i at nivåmålingene til ultralydsensoren ble forstyrret. Før måleperioden var man klar over at denne løsningen kunne resultere i delvis eller helt fryst vannspeil. Det var derimot ikke forventet at omtrent to måneder av registrerte data skulle utgå.

Ifølge statsmeteorolog Geir Ottar Fagerlid, var vinteren 2018 en av de kaldeste siden 1987 (Larsen, 2018). Det er vanskelig å forutse været. At denne vinteren skulle vare så lenge og bli så kald var uventet og påvirket store deler av måleprosessen. Dette er en faktor som skulle blitt tatt hensyn til i planleggingsprosessen da det finnes løsninger som kunne forhindre dette. Blant annet skulle det blitt vurdert å hatt en selvregulerende varmekabel som holdt vannmassen frostfri hele året, slik som Braskerud gjorde i sitt forsøk (Braskerud, 2014a).

Det ble etterhvert oppdaget flere høye avrenningstopper som varierte i stor grad utenom perioden det ble observert at vannspeilet frøs. Faktorer som kan ha påvirket dette er blant annet isklumper/rusk som har settet seg fast i spissen på V-overløpet eller under i røret der sensoren er plassert. I slutten av måleperioden ble det oppdaget en feil i beregningsprogrammet til ITAS. Feilen var at programmet beregnet en positiv vannføring (Q) for negative høyder (H) i V-overløpet. Dette skal i realiteten ikke være mulig. Årsaken til dette er at programmet beregner vannføringen som et gjennomsnitt over et 10 minutters intervall og om høyden er negativ, settes vannføringen lik 0. Så om høyden varierer fra positiv til negativ i løpet av de 10 minuttene, blir vannføringen positiv.



Figur 4.35: Høyden (H) plottet mot vannføringen (Q) for perioden 7. desember 2017 til 4. mai 2018. Figuren viser at vannføringen er positiv for negative høyder.

Det fremgår av plottet i figur 4.35 for flere tilfeller at høyden er negativ for en positiv vannføring. Det er tydelig at punktene er ganske spredt for negative høyder. For positive høyder

er det et tydeligere mønster, der vannføringen øker proporsjonalt med høyden opphøyd i 2,5 (etter formelen). Det var uheldig at dette ble oppdaget i slutten av måleprosessen da dette kunne ha blitt rettet opp i beregningsprogrammet og derav gitt mer korrekte resultater. Selv om vannføringen gjennom overløpet (Q_{\max}) har blitt feil målt, er det sannsynlig at forsinkelsestiden og tiden toppene ankommer er riktig, da dette ikke har noen direkte virkning fra denne feilmålingen av Q_{\max} . For enkelthendelsene valgt ut i oppgaven ble høyden og vannføringen undersøkt for å eliminere eventuelle feilmålinger.

Det var også andre faktorer som det kunne blitt tatt hensyn til tidligere i planleggingsprosessen. Blant annet kunne løsningen blitt sikret og gjort tettere ved for eksempel å ha montert «vegger» rundt kanalen til V-overløpet for å hindre vann og annet rusk å komme inn i magasinet. Isolasjonsmatten brukt til å dekke over utstyret viste seg til å være en dårlig løsning. Dette var fordi isolasjonsmatten ikke dekket godt nok rundt nedbørstolpen som «stakk opp» av magasinet. Dette gjorde at det var et lite hull øverst nær terrenget der nedbør og avrenning fra snøsmeltingen kunne trenge inn. Terrenget over løsningen var derimot ikke mer enn ca. 1-2 m² og besto av gress. Hvor mye dette kan ha påvirket avrenningen avhenger av snødybden på terrenget. Det ble også observert at isolasjonsmatten ikke klarte å holde seg oppe ved større snømengder. Matten begynte å vende seg nedover i løsningen. På befaring ble det observert at isolasjonsmatten ikke lå langt nok nede i magasinet eller V-overløpet til å ødelegge for målingene. Istedenfor å bruke en isolasjonsmatte skulle det for eksempel blitt brukt en hard plate som kunne gitt en tettere og tryggere løsning.

En annen faktor som skulle blitt undersøkt på forhånd var helningen ut til der V-overløpet skulle plasseres. Her var det veldig slak helning som førte ut til rensedammen. Om vannføringen i rensedammen hadde blitt stor, kan det tenkes at vannet som kom fra V-overløpet hadde slått tilbake over overløpet eller at det hadde kommet vann fra rensedammen inn i magasinet. Dette hadde ført til en mye høyere vannstand og usikre målinger. Denne delen av rensedammen står derimot store deler av året uten vann, da den fungerer som et ekstra volum for bassengene som befinner seg i hver sin ende av denne dammen. Ved en kraftig og intens nedbørhendelse der rensedammen hadde blitt fylt med vann, kan det være at vannet hadde slått tilbake på V-overløpet. Dette er derimot vanskelig å si noe om.

4.2.1.2 Målemetode for parkeringsområdene

Metoden for å måle vannføringen fra de tette flatene viste seg å være en løsning som ikke fungerte. Det ble ikke registrert noen målinger i løpet av måleperioden selv om røret ble observert til å være helfylt med vann til tider. Flere tester ble utført på sensorene for å være

sikker på at de ikke var defekte. Sensorene så ut til å reagere på alle testene, bare ikke når de var plassert i sandfangene. Første tanke var at de ikke fungerte på grunn av de store mengdene med is som ble observert, som resulterte i at propellen på sensoren frøs. Dette problemet løste seg ikke etter hvert som sommeren nærmet seg.

Om sensorene hadde registrert noe måling når deler av vannet var fryst, hadde målingene blitt unøyaktige. Fra befaring var det tydelig at tverrsnittet på røret ble endret når vannet hadde fryst langs rørveggen, figur 4.2. Ettersom formelen er basert på tverrsnittet til røret, hadde ikke denne løsningen fungert under kalde forhold.

På grunn av at det ikke ble bygget slik som det fremkom i «som bygget-tegningene», var det vanskelig å vite noe eksakt om hvordan rørene mellom slisserennene og sandfangskummene var utformet. Fra befaring så det ut som at røret kunne ha to bend, som en u-sving, før den kom inn i sandfangskummen. I planleggingsprosessen ble ikke dette tatt hensyn til ettersom det var tenkt at det var bygget slik som det fremkom i tegningene. Fra dette kunne det tenkes at strømmingen som kom mot sensoren var turbulent slik at sensoren ikke klarte å registrere noe. Instrumenttjenesten ITAS valgte deretter å sette på en lite rør foran sensoren som skulle bidra til en mer laminær strømning inn mot propellen. Det kan antas at dette lille røret kan ha bidratt til ekstra strømningsmotstand, som kan ha ført til en lavere hastighet.

Gjennom måleperioden ble det oppdaget mye smuss og skitt på utstyret i sandfangskummene. Det ble også observert at mye av møkket samlet seg i langbendet over tid. Det var tilslutt mulig å se dette stikke opp over vannoverflaten når røret var omtrent halvfyllt etter tømning. Det kan tenkes at et rør med bend vendt oppover under slike forhold ikke var en optimal løsning. Under planleggingen av løsningen var det derimot vanskelig å si noe om forholdene på området. Dette kom ikke fram før under måleperioden.

Det ble senere observert at flere lastebiler daglig lempet fiskevann ut på det asfalterte området. Det ble forklart for forfatteren av vaktmesteren på bygget at en vanlig lastebil slipper ut mellom 200-400 liter vann per lass. Denne ekstra mengden med vann hadde nok bidratt til at vannføringene hadde blitt høyere enn forventet. Det er uvisst hvordan kvaliteten på dette vannet er, men det kan tenkes at det bidrar til mer grums som ender opp i sandfanget. Vaktmesteren på bygget mente at dette vannet inneholdt noe olje. Vannet fra sandfangene går tilslutt ut i Alnaelva. Utslipp av forurenset overvann fra vegarealer til resipienter som er sårbare kan føre til alvorlige negative konsekvenser (Meland et al., 2011). Om vannet fra lastebilene er forurenset, i den form at den inneholder olje eller ulike fiskevirus/parasitter, kan dette være en

fare for fiskebestanden som allerede finnes i Alnaelva. Overvannsveilederen 2012 fra Oslo kommune setter ulike krav om påslipp til resipient. Veilederen har som hovedregel at overvann fra næringsområder skal renses, i form av sedimentering. Om overvannsavrenningen kan føre til fare for forurensning til resipient, anbefaler VAV at det blir gjort en miljørisikovurdering²⁴ (VAV, 2012). Om overvannet kan føre til fare for resipienten er det vanskelig og uforsvarlig å uttale seg noe om. Det bør vurderes nærmere om kvaliteten på vannet lastebilene lempet ut er godt nok til å slippes ut i Alnaelva.

Grunnen til hvorfor sensorene ikke registrerte noe igjennom måleperioden er fortsatt uviss. Det ble bekreftet av leverandøren at både utstyr og monteringen var riktig utført (Sandnes, 2018). Siden det ikke er noe i veien med sensorene, må årsaken ligge i utformingen. En årsak kan være at det ikke er jevn hastighetsfordelingen i røret. I senere tid har det blitt diskutert hvorfor sensoren ikke var plassert på utløpet istedenfor innløpet til sandfanget, da den kunne unngått mye smuss og partikler. Da måtte det eventuelt ha blitt støpt på et rør på dykkeren i sandfangskummen, slik at sensoren kunne stå under vann hele tiden.

I forkant av monteringen skulle det blitt gjort en nøyaktig vurdering av området og forholdene. Dette er ikke alltid like lett, da man oppdager mye underveis i prosessen. Om man hadde hatt mer tid og finansiering kunne man nok tilslutt funnet en løsning som hadde fungert. Etter å ha oppdaget at det er flere faktorer som hadde gjort målingene usikre om de hadde blitt registrert (som den ekstra vannmengden lastebilene slipper ut) er det nok ikke til å anbefale å måle under slike forhold. I tillegg må sandfangskummene etter hvert tømmes for slam. I følge vaktmesteren gjøres dette en gang i halvåret da disse sandfangene driftes privat. Dette hadde ført til at måleutstyret ikke kunne logget over en lengre periode.

4.2.2 Snømålinger

Snømengdene ble målt manuelt med en tommestokk. Dette er generelt en veldig unøyaktig metode. Dette er fordi dybden som blir målt ikke tar i betraktning hva slags type snø det er og hvor mye vann snøen inneholder. Gjennom observasjoner ble det prøvd å definere snøtypen som befant seg på taket. Dette byr på store usikkerheter med mindre man er en snøekspert. For å si noe om snøens vannekvivalent²⁵ anbefales det å veie et kjent snøvolum. Dette gjøres

²⁴ En miljørisikovurdering skal minimalt inneholde informasjon om vannets innhold av forurensning (pH, saltinnhold, miljøgifter, næringsstoffer, ledningsevne, partikulært materiale mm), informasjon om sårbarheten til resipienten og hvordan overvannet kommer til å påvirke biologien (VAV, 2012).

²⁵ Vannekvivalenten til snøen er et mål på hvor mye vann snøen tilsvarer når den smelter (NVE, 2016).

tradisjonelt ved at snødyppet måles og at snøen veies med et sylinderveide rør for å måle tettheten (NVE, 2016).

Det kom til et punkt der det ble etter hvert vanskelig å utføre de manuelle målingene. Årsaken til dette var at snøen begynte å bli hard og at tommestokken ikke kunne bryte igjennom det harde laget med is. Dette gjorde at målingene ble tatt litt på øyemål, noe som gir svært usikre resultater. Selv om målingene av snømengdene ga usikre resultater, ble dette likevel gjort for å ha en «pekepinn» på hvor mye snø som befant seg på taket gjennom perioden.

Resultatene fra målingene viser at snøen fordelte seg ulikt over taket og at snødybden nødvendigvis ikke ble noe mindre med tiden. Figuren viser at snømengdene jevnt over var høyest under første måling, men at måling 4 hadde den største målte verdien. Denne befant seg i punkt 10. For den midterste delen var snødybden lavest. Årsaken til dette kan være høyden på taket, da den midterste delen ligger omtrent 2 meter høyere enn de to andre delene, som ligger på samme plan. Dette gjør at taket er mer utsatt for vindforflytninger. På grunn av at den midterste delen skygger delvis over de to andre delene, gjør det at snøen på den midterste delen smelter fortere i forhold til de to andre delene.

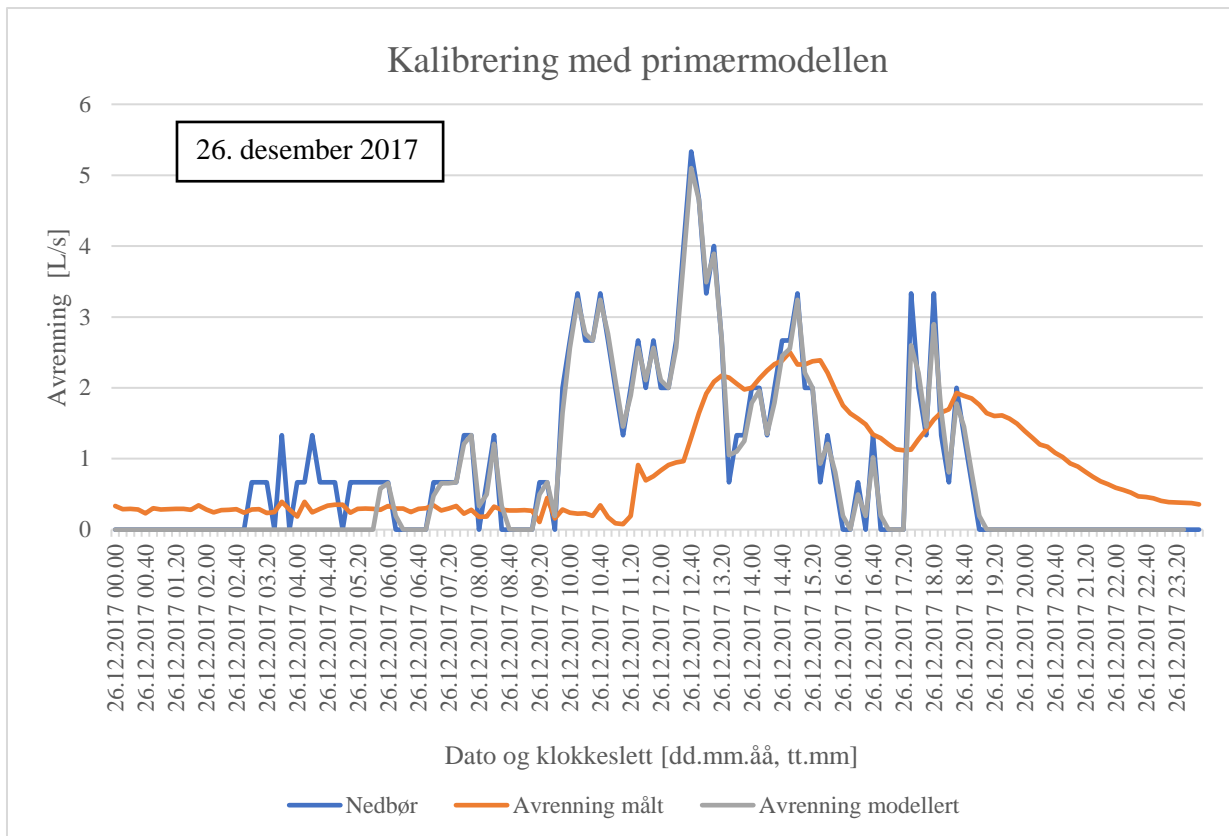
Fra målingene er det tydelig at delen til høyre som ligger i retning nordøst i figur 4.14, hadde de største snømengdene gjennom perioden. Dette kan være på grunn av sol – og vindforholdene. I månedene januar og februar, sto solen opp sørøst og gikk ned sørvest. I månedene mars og april, da avrenningen var størst, sto solen opp henholdsvis sørvest og nordøst og gikk ned sørvest og nordvest (Timeanddate, 2018). Det er tydelig at den høyre delen ikke fikk så mye sol på seg før i april, da den midterste delen har skygget over taket store deler av dagen. Fra måleresultatene var snødybden størst i punkt 9, 10 og 12, som er i hjørnene i retning nordvest, sørvest og sørøst. Om vinteren får Østlandet typisk østlig eller nordøstlig vind (Yr, 2012). Ettersom den høyre delen ligger i retning nordøst kan dette tyde på at vinden har forflyttet snømengdene langs de høye kantene i hjørnene på taket.

4.3 Modellering

I dette underkapittelet blir resultatene fra kalibreringen av primærmodellen til den endelige modellen fremstilt. Tilslutt presenteres resultatene fra modellsimuleringen.

4.3.1 Kalibrering

Kalibreringen ble gjennomført med en valgt nedbørhendelse, 26. desember. Figur 4.36 viser modellert avrenning med primærmodellen med de parameterverdiene som ble brukt til oppbyggingen av taket i SWMM.



Figur 4.36: Primærmodellen. Figuren viser målt og modellert avrenning for det grønne taket med initial parameterne i LID-modulen vist i tabell 3.14.

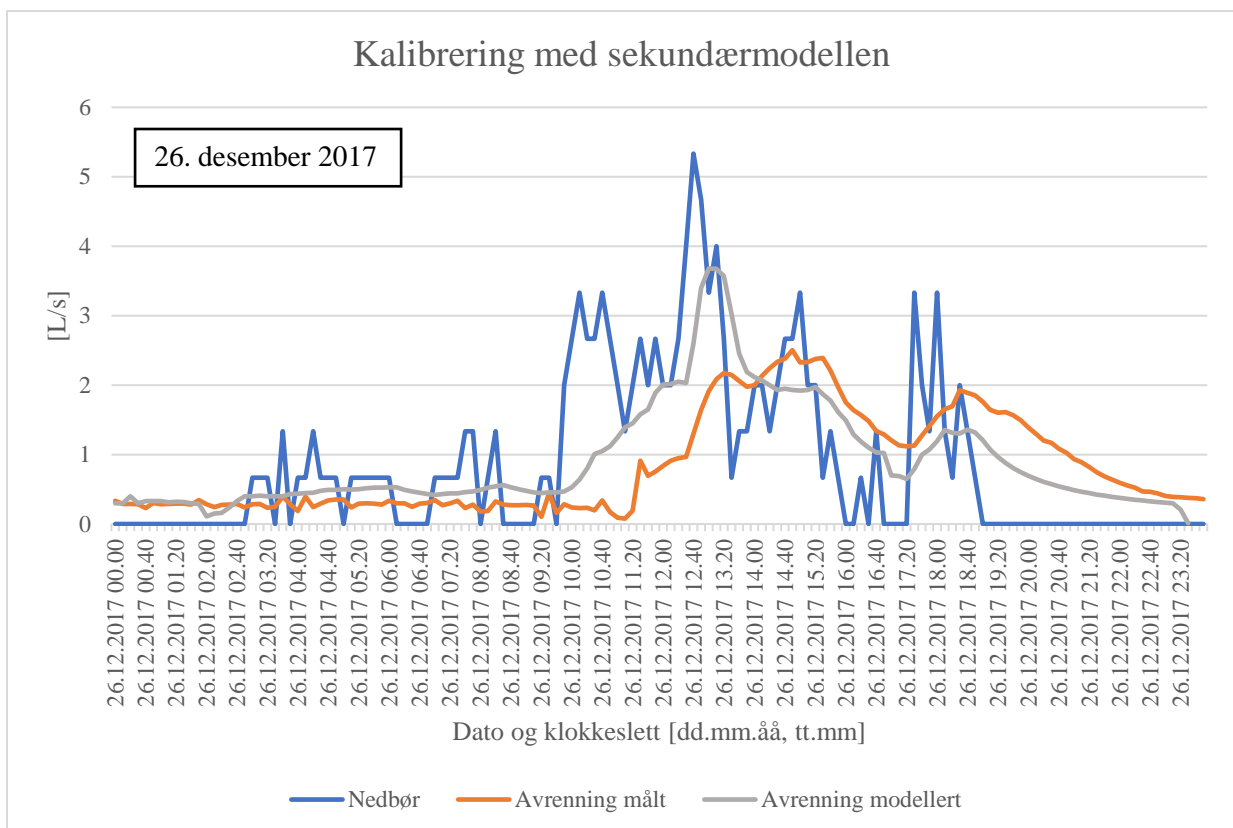
Totalt målt avrenning gjennom perioden var 18,16 mm. Primærmodellen gav en modellert avrenning på 17,35 mm, som gir et avvik på 0,81 mm. Den målte og modellerte avrenningstoppen ble henholdsvis målt til 2,5 L/s (kl. 15:00) og 5,10 L/s (kl. 12:40). Den modellerte avrenningen ved primærmodellen følger nedbøren veldig tett, mens den målte avrenningen har et mye slakere avrenningsmønster med to tydelige topper.

Målt og modellert avrenning med parameterne brukt i primærmodellen ble undersøkt ved formel 3.5, avsnitt 3.6 kalibrering av modellen. Verdien på kvadratavviket for primærmodellen ble 0,656 mm².

Tabell 4.5: Parameterjustering. Primærmodellen blir til sekundærmodellen ved å endre på porøsiteten, feltkapasiteten og konduktivitetskurven.

Parameter	Verdi	Enhet
Soil		
Thickness	30	mm
Porosity	0,67	-
Field capacity	0,3	-
Wilting point	0,15	-
Conductivity	420	mm/h
Conductivity slope	20	-
Suction head	3,5	mm
Drainage mat		
Thickness	25	mm
Void fraction	0,6	-
Roughness	0,1	-

Figur 4.37 viser modellen etter parameterjustering med samme nedbørhendelse.

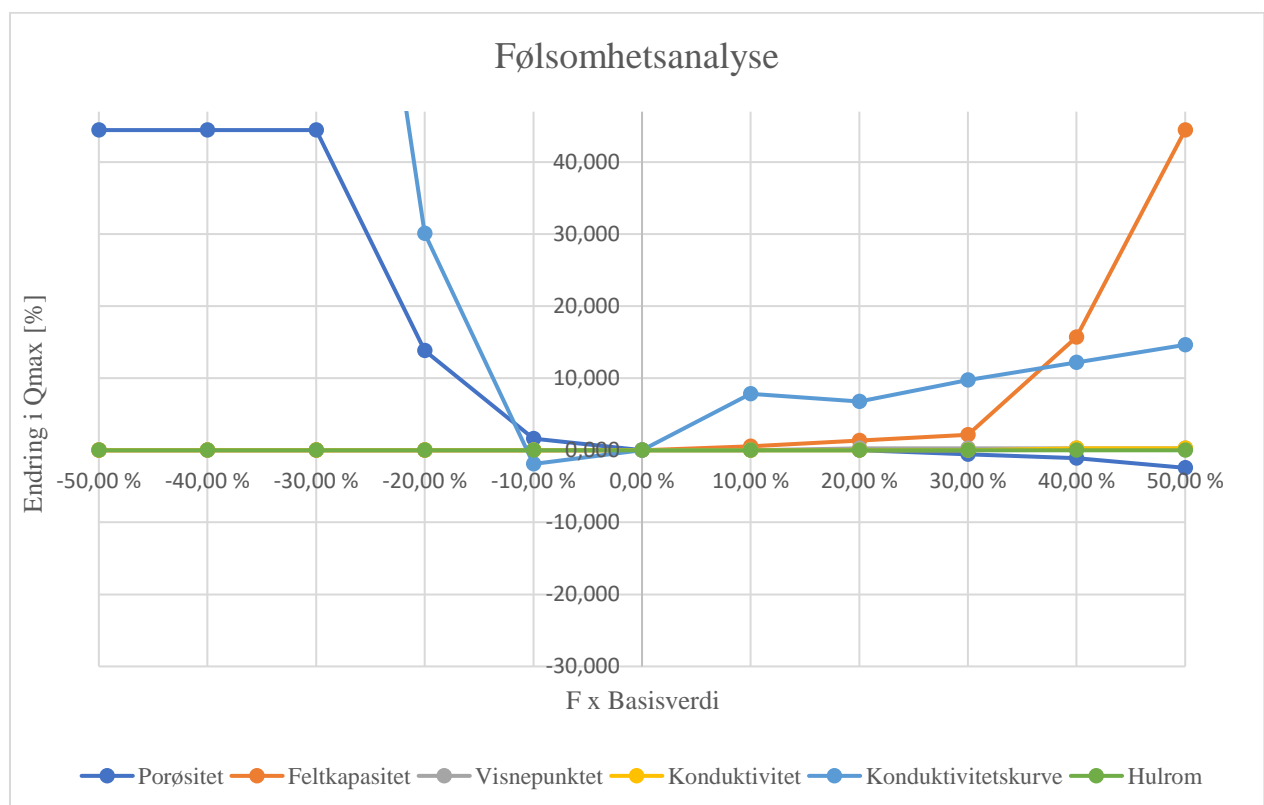


Figur 4.37: Sekundærmodellen. Figuren viser målt og modellert avrenning for det grønne taket etter en justering av parametere for LID-modulen gitt i tabell 4.5.

Sekundærmodellen viser den modellerte avrenningen som to avrenningstopper. Det er tydelig at forløpet til den modellerte avrenningen ligner mer på den målte i sekundærmodellen enn ved primærmodellen. Den første toppen overgår den målte avrenningstoppen, mens den siste faller under. Den første og siste modellerte avrenningstoppen ble henholdsvis målt til 3,89 L/s (kl. 13:10) og 1,36 L/s (kl. 18:40). Den totale modellerte avrenningen ble 18,67 mm, noe som resulterer i en økning på 1,32 mm i forhold til den totale avrenningen i primærmodellen. Avviket mellom målt og modellert avrenning er 0,51 mm, som tilsvarer et kvadratavvik på 0,26 mm².

4.3.2 Modellfølsomhet

Modellfølsomheten ble basert på en enkelt nedbørhendelse, 26. desember. Det var ønskelig å undersøke modellfølsomheten for den samme hendelsen som det ble kalibrert for, dette for å undersøke følsomheten for parameterne i modellen. Figur 4.38 viser følsomhetsanalysen for de ulike parameterne illustrert i et stjernerdiagram. Den prosentvise endringen av parameterne vises på x-aksen og den prosentvise endringen i maksimal vannføring vises på y-aksen.

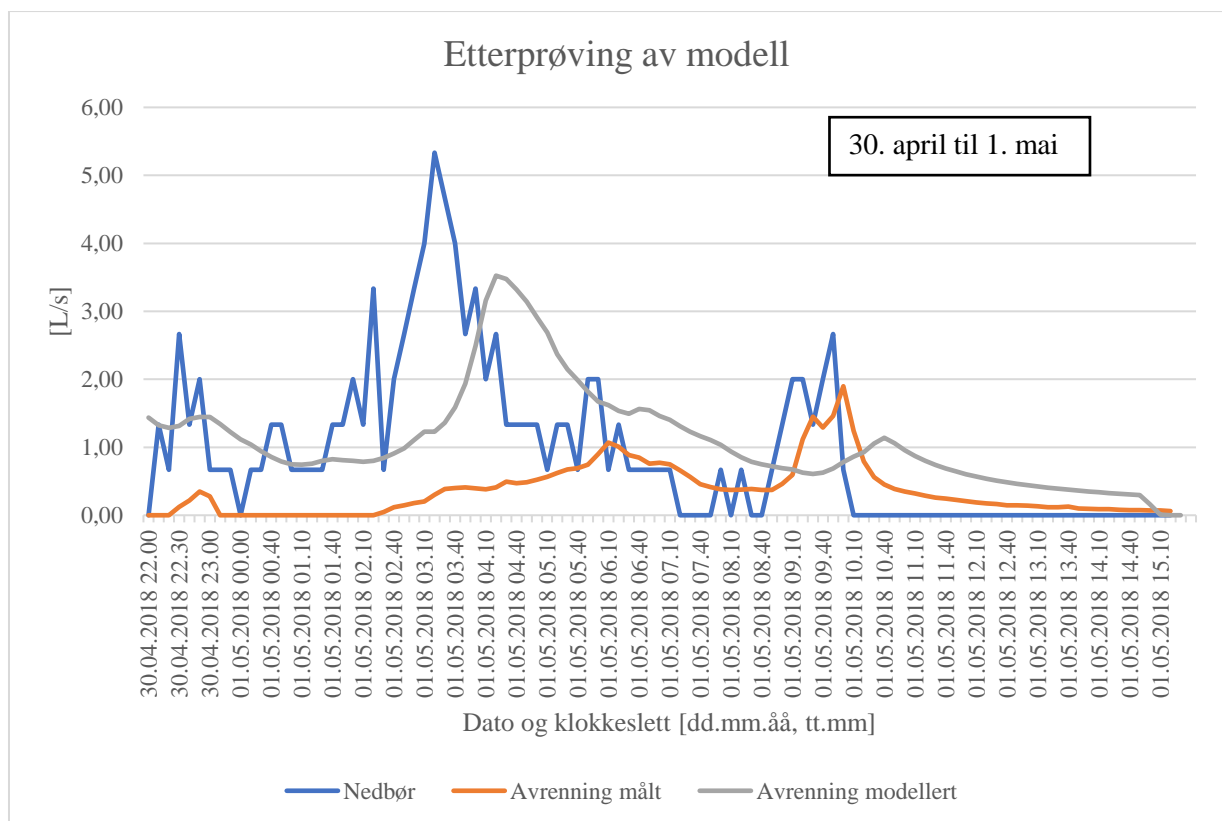


Figur 4.38: Følsomhetsanalyse av parameterne i sekundærmodellen: porøsitet, feltkapasitet, visnepunktet, konduktivitet, konduktivitetskurve og hulrom ble undersøkt for endring i maksimal vannføring. Analysen ble gjort for samme hendelse som det ble kalibrert for, 26. desember 2017.

Parameterne porøsitet, konduktivitetskurve og feltkapasitet gav størst utslag på maks vannføring. En reduksjon i konduktivitetskurven på 20 % førte til en økning i maksimal avrenning på 30 %. Disse tre parameterne kan kategoriseres som følsomme parametere. De andre parameterne gav omtrent ikke noe utslag og kan kategoriseres som mindre følsomme. Blant annet gav ikke fraksjonen av hulrom noe utslag på vannføringen for en økning eller en reduksjon i parametere på 50 %.

4.3.3 Modellvalidering/etterprøving

Modellvalideringen ble utført på en tilfeldig hendelse uten snø på taket, figur 4.39. Resultatet av etterprøvingen viser at avviket mellom målt og modellert total avrenning er 11,3 mm (målt 5,5 mm, modellert 16,8 mm). Dette betyr at den modellerte avrenningen er 67,2 % større enn den målte.

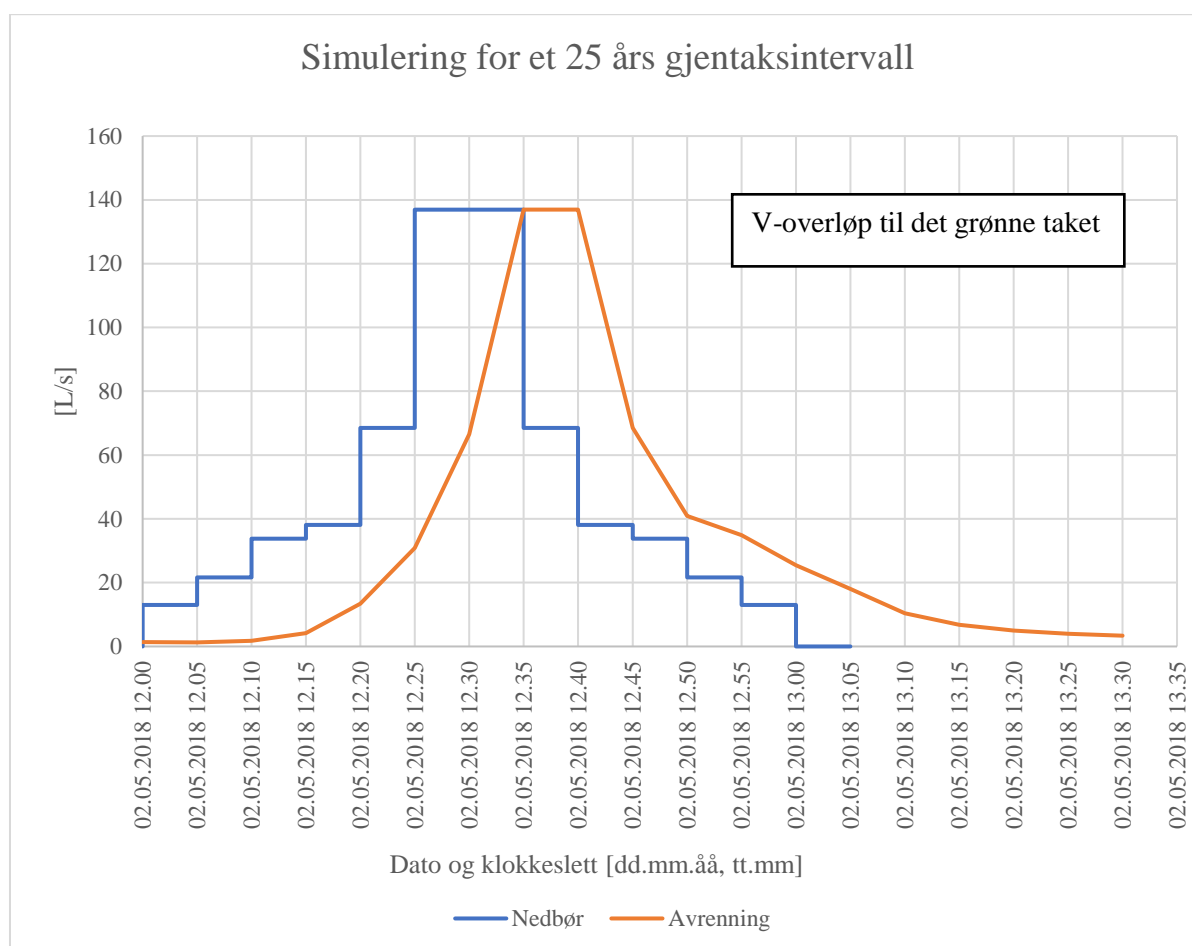


Figur 4.39: Etterprøving av sekundærmodellen på en tilfeldig valgt hendelse uten snø på taket. Figuren viser målt og modellert avrenning for det grønne taket etter justering av parameterne i LID-modulen.

Den målte og modellerte avrenningstoppen ble henholdsvis målt til 1,07 L/s (kl. 06:10) og 3,5 L/s (kl. 04:20). Deretter fortsetter den målte avrenningen og får en større avrenningstopp (1,89 L/s) før den avtar. Den modellerte får en slakere og mindre avrenningstopp før den deretter avtar sakte. For etterprøvingen ble kvadratavviket beregnet til 127,7 mm².

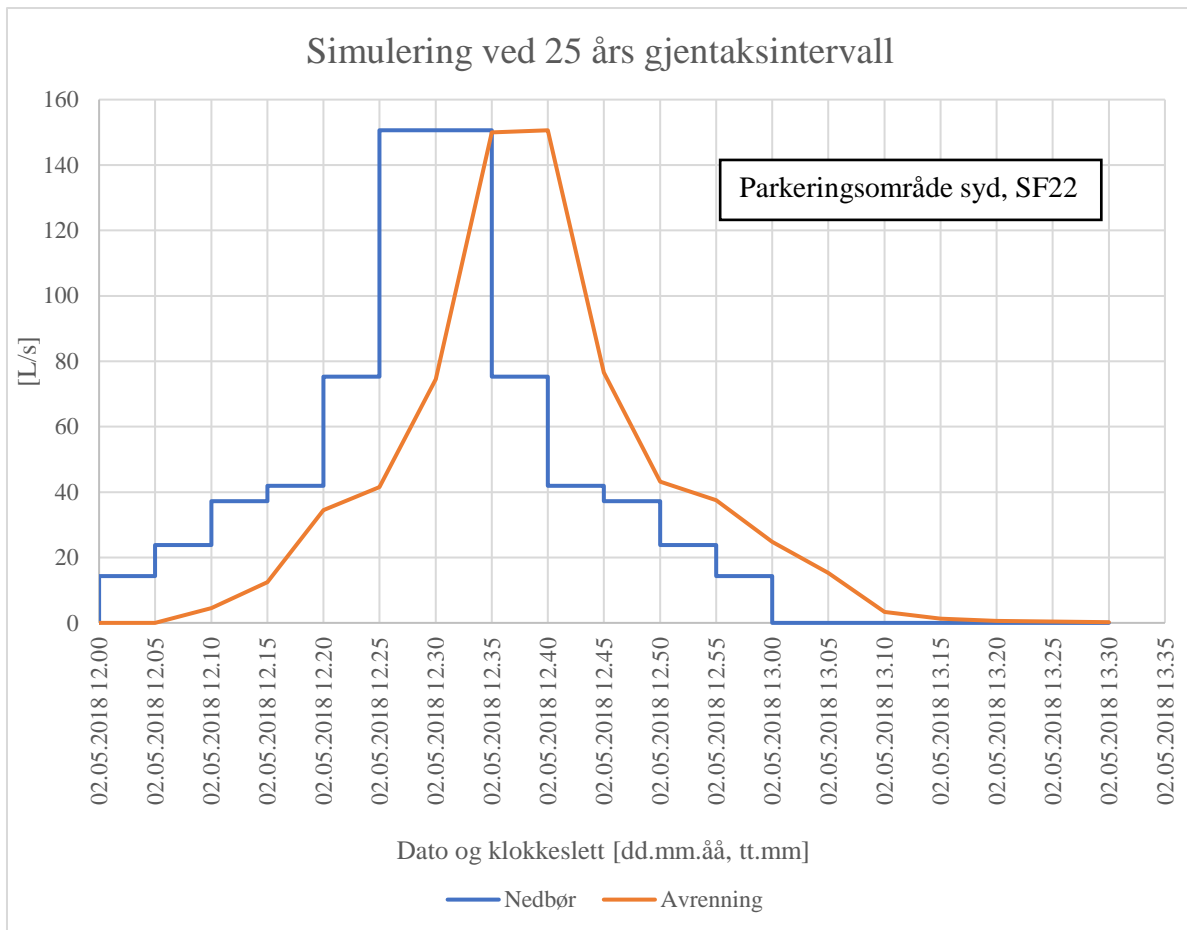
4.3.4 Resultat av simuleringer

Det ble gjennomført en simulering av det grønne taket og parkeringsområdene etter dimensjoneringskriterier fra konsultentselskapet. Det grønne taket ble simulert med parameterne gitt i sekundærmodellen. Figur 4.40, figur 4.41 og figur 4.42 viser resultatene fra simuleringen med et 25 års gjentakintervall med en 60 minutters varighet og en klimafaktor på 1,3.



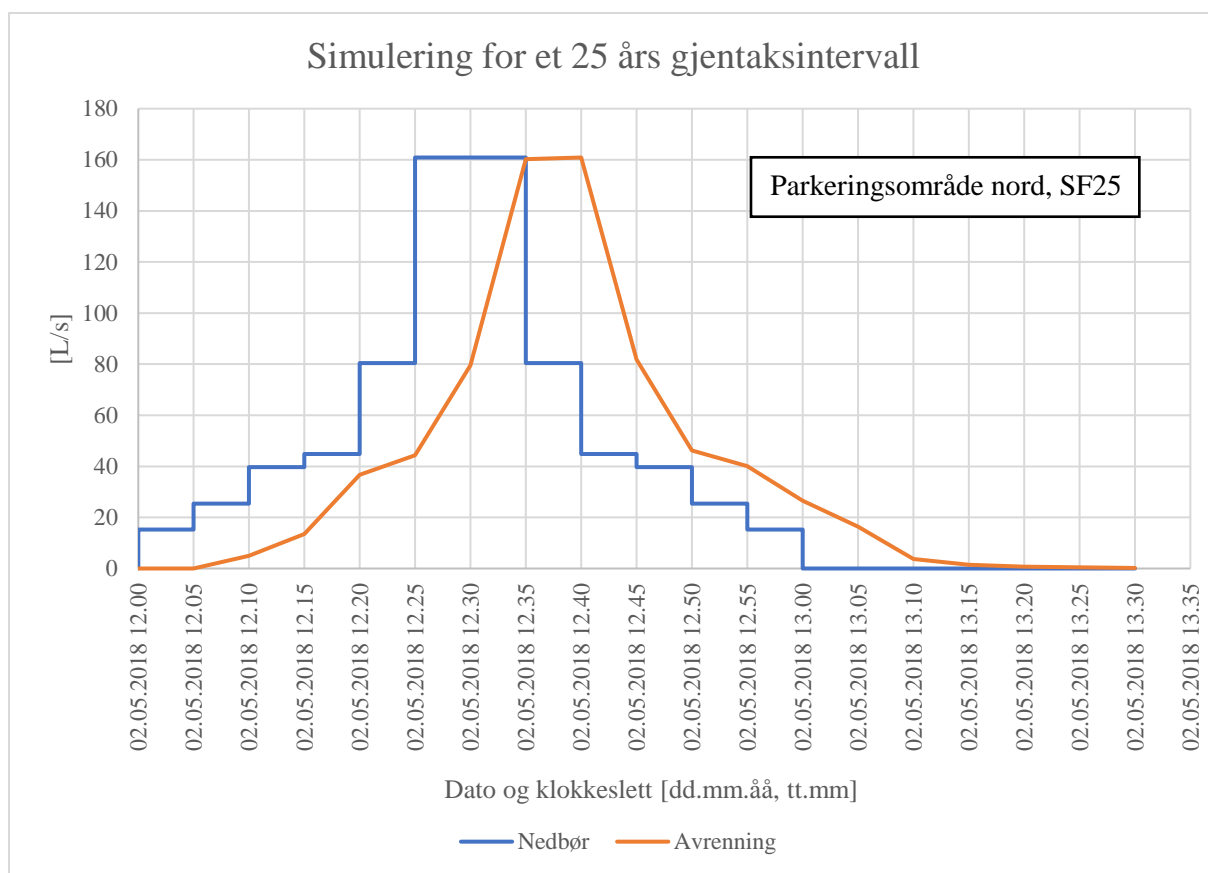
Figur 4.40: Resultat av simuleringen for det grønne taket ved et 25 års gjentakintervall med en 60 minutters varighet og en klimafaktor på 1,3. Dimensjoneringskriteriene er valgt i henhold til konsultentselskapets beregninger.

Fra simuleringen ble den totale avrenningen og nedbøren fra det grønne taket henholdsvis 91,6 mm og 93,6 mm. Dette blir en total tilbakeholdelse på 2,14 %. Figuren viser at det grønne taket holder tilbake avrenningen med 5 minutter i starten til den begynner å øke kraftig og når sin topp (kl. 12:40). Avrenningstoppen ble målt til samme verdi som nedbørtoppen (136,9 L/s) og ankommer 10 minutter senere. Avrenningstoppen blir derfor ikke dempet av det grønne taket under en slik nedbørhendelse.



Figur 4.41: Resultat av simuleringen for parkeringsområde syd, fra utløp SF22 ved et 25 års gjentaksintervall med en 60 minutters varighet og en klimafaktor på 1,3. Dimensjoneringskriteriene er valgt i henhold til konsulentselskapets beregninger.

Figur 4.41 viser den totale avrenningen for parkeringsområde syd fra utløp SF22. Avrenningen og nedbøren ble henholdsvis målt til 100,7 mm og 102,9 mm, som gir en total tilbakeholdelse på 2,2 %. Det fremkommer av figuren at avrenningen tar fart 5 minutter etter nedbøren starter. Avrenningstoppen ble målt til samme verdi som nedbørtoppen, 150,6 L/s og ankommer 10 minutter senere.



Figur 4.42: Resultat av simuleringen for parkeringsområde nord, fra utløp SF25 ved et 25 års gjentakintervall med en 60 minutters varighet og en klimafaktor på 1,3. Dimensjoneringskriteriene er valgt i henhold til konsultantselskapets beregninger.

Figur 4.42 viser resultatene for parkeringsområdet nord fra utløpet SF25. Den totale avrennings- og nedbørsmengden ble målt til 107,6 mm og 109,9 mm. Dette resulterer i en tilbakeholdelse på 2,12 %. Avrenningen starter 5 minutter etter nedbøren og ble målt til samme verdi som nedbørtoppen (160,9 L/s). Avrenningstoppen ankommer 10 minutter senere.

4.4 Diskusjon modellering

Dette underkapittelet tar for seg modellen som ble laget i SWMM og prosessen for å oppnå en modell som var representativ for det grønne taket på analyseområdet. Oppbygningen, hvor godt modellen kunne gjengi virkeligheten og hvor godt egnet modellprogrammet SWMM er for å modellere grønne tak, diskuteres under.

4.4.1 Oppbygning av modell

Nedbørfeltene i modellen ble laget ved å følge etter et kart som ble lagt inn som bakgrunn. Nedbørfeltene var derfor bestemt etter hvor nøyaktig man laget feltene i modellen. Dette er en metode som kan skape litt unøyaktighet i nedbørfeltene arealer.

Modellen for det grønne taket var avhengig av LID-kontrollen da denne overstyrte alle andre parametere som var lagt inn på forhånd. Derfor var disse parameterverdiene essensielle for å skape en virkelighetsnær modell. Parameterne som ikke var faste slik som tykkelsen på lagene og helningen til det grønne taket ble først valgt på bakgrunn av tidligere studier. Disse parameterne var porøsiteten, feltkapasiteten, visnepunktet, konduktiviteten, konduktivitetsskurven og andel hulrom. Initialparameterne ble funnet i en masteroppgave fra Sverige av Andersson, C. (2015) «Modellering av avrinning från gröna tak». Dette var det parametersettet som gav best resultater for et tak som hadde omtrent samme oppbygning som taket på Bring stasjon. Kalibreringen med initialparameterne funnet fra denne masteroppgaven viste seg derimot å ikke gi gode nok resultater.

Det var ikke lett å finne fram til riktige parametere til oppbygningen av det grønne taket i LID-modulen. Dette var delvis fordi det var vanskelig å vite forholdet mellom vanninnholdet og det totale volumet ved gravitasjonsdrenering og ved en lengre tørkeperiode, uten å ha gjort noen målinger eller tester på vekstmediet og sedummatten. Dette var en utfordring da den eneste informasjonen man hadde var fra databladet.

Det kan være flere grunner til at initialparameterne ikke gav riktig utslag. Den ene grunnen kan være at helningen på taket i forsøket til Andersson, C. (2015) var mye større enn taket i denne oppgaven. Dette forsøktaket hadde en helning på 15° , mens taket på Bring Stasjon er forholdsvis flatt. Etter å ha testet verdien på de ulike parameterne var helningen en parameter som hadde stor innvirkning på egenskapene til taket. En endring i denne gav også et stort utslag på resultatene i modellen. Etersom helningen var en fast parameter og som ikke kunne endres, kan det tenkes at denne parameterverdien spilte inn når man skulle kalibrere modellen. Dette kan tyde på at parameterne ikke kan settes uavhengig av hverandre.

En tanke var at forskjellen i takstørrelse kunne virke inn på resultatene. Etter å ha endret på takarealet gav ikke dette noe utslag. Dette er fordi LID-kontrollen er definert per arealenhet, slik at det lett kan overføres til andre nedbørfelt av ulik størrelse. I virkeligheten kan det tenkes at et mindre testtak sammenlignet med et tak i storskala har ulik ytelse og derav får ulike resultater. Dette blir i den forstand strømmingstiden, etter at vannet har rent ut av dreneringsmatten. Dette tar ikke modulen i SWMM hensyn til.

Modellen i SWMM ble bygget opp uten å ta hensyn til snømengdene på taket. Hendelsen modellen ble kalibrert for var en hendelse da det var snø tilstede. Hvor mye snø som faktisk var på taket er vanskelig å si, ettersom snømengdene ikke ble målt rundt 26. desember. Det er tatt

utgangspunkt i at det befant seg 9 cm snø på taket (Yr, 2018). Hva slags type snø dette var og hvorvidt det hadde lagt seg på taket er uvisst. Dette skaper store usikkerheter i kalibreringsprosessen.

4.4.2 Kalibrering

Modellen skulle helst ha blitt kalibrert for en hendelse uten snø på taket. På grunn av manglende data fra et snøfritt tak tidligere i måleperioden, ble valget å kalibrere for den største hendelsen som hadde minst snø på seg. Det kan tenkes at dette gjorde det vanskelig å gjenspeile virkeligheten, ettersom modellen ikke tok hensyn til snømengdene. Dette påvirket også parameterne og jakten på å finne det parametersettet som ville være de mest virkelighetsnære for et tak med og uten snø. Det vanskeligste med kalibreringen var å få den modellerte avrenningen til å forsinkes og bevege seg i samme mønster som den målte.

Primærmodellen, figur 4.36, klarte ikke å oppføre seg slik som det grønne taket gjør i virkeligheten. Den modellerte avrenningen følget nedbøren tett og startet lenge etter den målte. Forskjellen i forsinkelsestiden mellom den målte og modellerte toppen ble på 2 timer og 20 minutter. Grunnen til dette kan være at LID-kontrollen ikke tar hensyn til takets størrelse eller snømengden som eventuelt befant seg på taket. Resultater fra de registrerte målingene viser at et snødekket tak forsinket avrenningen betraktelig. Dette kommer nok ikke frem i modellen. Selv om avrenningsmønsteret var totalt ulikt, ble avviket mellom total målt og modellert avrenning på 0,81 mm for hele nedbørhendelsen. Av figuren ser man at dette avviket kommer av de ulike intensitetene i avrenningstoppene og at modellen med disse parameterne ikke klarer å generere samme vannmengde i starten. Den klarer heller ikke å gjenspeile to større og glattere avrenningstopper. Hovedforklaringen til differansen i avrenningsmengden kan begrunnes med de eksisterende 9 cm med snø på taket, som har ført til en høyere vannføring.

Sekundærmodellen viser derimot et bedre avrenningsmønster enn primærmodellen. Selv om sekundærmodellen sammenlignet med primærmodellen er likere virkeligheten, har den fortsatt en avrenningstopp som er altfor stor. Denne avrenningstoppen er 1,39 L/s større enn den målte og kommer 1 time og 50 minutter før. Sekundærmodellen har ikke like mange avrenningstopper som primærmodellen, men har heller ikke samme forsinkelsestid som i virkeligheten. Grunnen til dette kan være at modellen igjen ikke tar hensyn til snømengdene. Det er tydelig ettersom avrenningen reagerer nesten rett etter nedbørhendelsen.

Den andre modellerte avrenningstoppen stemmer bedre med den målte, med en differanse på 0,56 L/s og en tidsforskjell på 10 minutter. Begge avrenningstoppene har et mindre avvik i både

mengde og tid enn primærmodellen. Det totale avviket mellom målt og modellert avrenning ble 0,51 mm. Dette er en økning på 1,32 mm i forhold til primærmodellen. Ved disse parameterne har modellen klart å generere en større vannføringsmengde.

Det er tydelig at både primærmodellen og sekundærmodellen ikke klarer å gjenskape virkeligheten. Dette gjelder spesielt forsinkelsen av avrenningstoppen og intensiteten. Det var også en forskjell i mengde avrenning, men denne var det lettere å endre på ved å endre input parameterne. Det er to mulige grunner til dette. Den ene kan være at takets størrelse ikke ble tatt med i betraktningen, da avrenningen får en lengre veg, derav større konsentrasjonstid. Dette er fordi LID-kontrollen bare tar for seg hver kvadratmeter og ikke takets areal. Den andre grunnen kan være snømengdene på taket som forsinker avrenningen og også øker vannføringen om forholdene for snøsmelting er gunstig.

4.4.2.1 Modellbekreftelse

En bekreftelse av modellen ble gjennomført ved formel 3.5. Denne formelen oppgir et kvadratavvik, som det kan være vanskelig å analysere. Hvorvidt svaret man får er godt nok til å godta modellen kan diskuteres. Dette kan føre til at det blir usikkerheter rundt modellens kvalitet. Det ble en tydelig reduksjon i kvadratavviket for primærmodellen (0,656 mm²) til sekundærmodellen (0,25 mm²).

For hendelsen brukt til etterprøving, 1. mai, ble kvadratavviket 127,7 mm². Hovedforskjellen i avviket fra kalibreringen til etterprøvingen er at det kom mindre nedbør 1. mai og at taket var snøfritt, som resulterer i en ulik avrenningsmengde og dermed gir et annet avvik mellom målte og modellerte verdier. Dette er derfor kvadratavviket for etterprøvingen ikke kan sammenlignes med kvadratavviket for kalibreringen.

4.4.3 Modellfølsomhet

Modellfølsomheten viser at noen parametere var mer følsomme enn andre for en prosentvis endring i maksimal vannføring. De parameterne som ble ansett som følsomme var porøsiteten, konduktivitetskurven og feltkapasiteten. Det er tydelig fra figur 4.38 at en reduksjon i de to først nevnte parameterne gir en høyere maksimal avrenning. Under følsomhetsanalysen ble det oppdaget at det var flere parametere som var avhengig av hverandre og som ikke kunne settes over hverandre i verdi. Dette gjaldt blant annet parameterne porøsitet, feltkapasitet og visnepunktet.

Det ble også oppdaget at flere av parameterne ikke hadde noen betydning når helningen til taket var satt til null, som helningen er for dette taket i virkeligheten. Dette gjaldt alle parameterne i

dreneringsmatten. Derav var det bare parameterne i overflate - og jordlaget som hadde noen betydning for modellen, som gjør at taket i modellen ikke får en virkelighetsnær funksjon. Dette sammenfaller med at parameteren hulrom ikke gav noe utslag på analysen. Dette viser at LID-modulen for grønne tak i SWMM er laget for et tak med helning.

4.4.4 Modellvalidering/etterprøving

Etterprøvingen av modellen samsvarte ikke helt med virkeligheten. Det er fortsatt tydelig at modellen ikke klarer å oppføre seg likt som det grønne taket. Figur 4.39 viser at den modellerte avrenningen er mye større enn den målte og at den ikke klarer å gjenspeile de slakere toppene, og den lavere avrenningsintensiteten. Grunnen til dette kan være at den målte avrenningen er nå er fra et snøfritt tak, som resulterer i en lavere avrenningsmengde. Den modellerte avrenningen har startet før hendelsen og det er tydelig at verdiene er mye høyere enn de målte. Modellen er kalibrert etter en hendelse med snø på taket, som mest sannsynlig kan ha dempet den høye avrenningen i starten, som man nå ser får utslag for en hendelse uten snø.

Avviket mellom avrenningstoppene var relativ stor (2,43 L/s). Likevel er avrenningsmønsteret mye likere det målte avrenningsmønsteret enn nedbøren. Den første modellerte avrenningstoppen kommer noe før den målte, og den siste kommer noe etter. Det er altså et større gap mellom de modellerte toppene enn de målte. Etter hvert avtar den modellerte og målte avrenningen sakte. Det er tydelig av figuren at den modellerte avrenningen er større gjennom hele forløpet. Dette er fordi parameterne i modellen genererer en for stor avrenningsmengde for et snøfritt tak.

4.4.5 Modellsimuleringen

Resultatene fra simuleringen viser at det grønne taket holdt tilbake avrenningen (2,14 %) minimalt. Det ble derimot holdt tilbake en del i starten, helt til taket fikk en drastisk økning. Årsaken til den drastiske økningen er nok fordi taket ble simulert for en initialtilstand der taket var 45 % mettet.

Avrenningstoppen ble simulert til 136,9 L/s, som er like høyt som nedbørtoppen. Hovedforklaringen til denne høye avrenningen må ligge i at taket ikke har stor nok lagringskapasitet for en slik nedbørhendelse. Regnhendelsen det ble simulert for varte i én time og var på 46,8 mm, og lagringskapasiteten for det grønne taket i modellen er 20,1 mm. Dokumentasjonen fra leverandøren viser at taket skal ha en lagringskapasitet på 12 mm (7 l/m² for filt og vekstmedium + 5 l/m² for sedumvegetasjonen) om taket er tørt på forhånd. Det er tydelig et lite avvik mellom modellen og produsentenes tall på lagringskapasiteten. Dette betyr

at lagringskapasiteten til taket i virkeligheten er mye mindre enn den er i modellen og at avrenningstoppen hadde derav blitt høyere.

Om taket skal overholde kravet fra VAV på 15 L/s, som tilsvarer 13,5 mm/time, må taket altså klare å lagre 33,3 mm for en slik timeshendelse som er simulert. Dette er omtrent 2,5 ganger mer enn hva taket er designet til å klare å holde på i virkeligheten. For at et fordrøyningsanlegg skal være velfungerende er det å ha et tilstrekkelig volum bare én side av funksjonaliteten. Det er også nødvendig at løsningen begrenser videreført vannføring til det som er kravet. Fordrøyningsløsninger med fritt vannspeil blir ofte strupet, derimot er det uvisst hvordan det grønne taket skal begrense vannføringen på 15 L/s. Det kan tenkes at dette skulle skje gjennom vekstmediet i tillegg til en annen form for struping av utløpet.

Fra underlaget til konsultentselskapet ble fordrøyningsvolumet til det grønne taket beregnet til å være 77 m³ med regnvelopmetoden, som tilsvarer 19,3 mm. Dette er altså noe høyere enn hva taket klarer å holde på under optimale forhold. Om dette beregnede fordrøyningsvolumet faktisk er brukt til å designe det grønne taket er uvisst. Kravet fra VAV på maksimalt 35 L/s/ha kan være et krav som begrenser de store avrenningstoppene til å komme ut til resipient, om denne er sårbar. Overvannsveilederen brukt til prosjekteringen sier derimot at det er ansvarlig søker som har ansvaret for mengdene som påslippes og at dette ikke er søknadspiktig. Ettersom vannet fra taket fordrøyes nedstrøms i rensedammene før det slippes ut i Alnaelva ser ikke dette ut til å være årsaken til kravet.

Beregningene fra konsultentselskapet viser at det er blitt brukt en avrenningskoeffisient på 0,7 for beregning av fordrøyningsvolumet. Dette kan ha gjort at fordrøyningsvolumet er mindre enn det som er nødvendig. All nedbøren som faller på flate tak som er omringet av høye kanter har ingen andre steder å ta veien. Dette betyr at alt regn som faller på taket må inngå i fordrøyningsberegningene. Dette gjør at avrenningskoeffisienten egentlig er lik 1.

Tabellen under viser hvilke faktorer som gav et nødvendig fordrøyningsvolum på 77 m³ og hva det nødvendige fordrøyningsvolumet måtte vært om det grønne taket skulle klart å overholde kravet på 15 L/s.

Tabell 4.6: Nødvendig fordrøyningsvolum for det grønne taket med varigheter på 30 og 60 minutter for et 25 års gjentakintervall, klimafaktor 1,3, avrenningsfaktor 1 og en faktor for justering av midlere påslipp (multipliseres med maksimalt påslipp på 15 L/s) ved bruk av regnevelopmetoden.

Gjentaksintervall	Klima faktor	Varighet	Avrenningsfaktor	Justering for midlere påslipp	Nødvendig fordrøyningsvolum
25 år	1,2	60	0,7	1	77 m ³
25 år	1,3	60	1	0,7	160 m ³
25 år	1,3	30	1	0,7	133 m ³

Et fordrøyningsvolum på 77 m³ ble oppnådd ved en klimafaktor på 1,2 ved bruk av regnevelopmetoden. Med en klimafaktor på 1,3 og de forutsetningene som lå i beregningene gav dette et nødvendig fordrøyningsvolum på 79 m³. Selv med ulike klimafaktorer og varigheter viser tabell 4.6 at det nødvendige fordrøyningsvolumet er altfor lavt.

Det er veldig klart fra modellen i SWMM og enkle beregninger at taket ikke har det fordrøyningsvolumet som konsultentselskapet har satt. For en slik kraftig nedbørhendelse kommer det til å gå mer enn 15 L/s fra taket. Hvordan det beregnede fordrøyningsvolumet praktisk er benyttet i designet av taket er derimot uvisst. Ved bruk av regnevelopmetoden under slike forutsetninger burde der nødvendige fordrøyningsvolumet være 160 m³. Fra simuleringen er det tydelig at det ikke er så stor forskjell mellom det grønne taket og de tette flatene under en slik nedbørhendelse.

Det fremkommer av resultatene fra simuleringen at begge parkeringsområdene holder tilbake noe av nedbøren. Grunnen til dette er gropmagasinering. Dybden på gropmagasineringen for asfaltområdene og betongområdene ble henholdsvis satt til 2 mm og 0,05 mm. Dette påvirker den totale avrenningen når noe av vannet lagrer seg på overflaten og fordampes.

Det er umulig å si noe konkret om funksjonen til parkeringsområdene basert på denne simuleringen. Dette er fordi modellen ikke har tatt hensyn til fordrøyningen som finnes der i virkeligheten og at modellen ikke ble kalibrert på grunn av manglende data fra måleutstyret. Det eneste denne simuleringen for SF22 og SF25 viser er at det er behov for fordrøyning under en slik nedbørhendelse for å imøtekomme kravet fra VAV.

5. KONKLUSJON

Det er vanskelig å gi konkrete svar på noen av problemstillingene på grunn av flere usikkerhetsfaktorer og uregistrerte målinger, begrunnet i diskusjonskapittelet. Konklusjonen baserer seg kun på resultater som er målt fra det grønne taket på analyseområdet og gjelder ikke nødvendigvis for andre grønne tak under andre forhold. Måleresultatene presentert i denne oppgaven antas å være gyldige for de forutsetningene som befant seg for analyseområdet under måleperioden. For å svare på problemstillingene mer konkret er det behov for flere studier av grønne tak i storskala under kalde forhold. Under blir problemstillingene punktvis forsøkt å bli besvart så langt det er mulig og faglig forsvarlig:

- Fordrøyningsvirkningen til det grønne taket var lav i vinterhalvåret under de enkelthendelsene som ble studert. Dette er fordi lagringskapasiteten i taket avhenger av initialtilstanden før en regnhendelse. Initialtilstanden avhenger igjen av lengden på tørrværsperioden i forkant av hendelsen og evapotranspirasjonen. Dette er to faktorer som forekommer sjeldent/i liten grad under kalde forhold og ved et snødekket tak, da snøen alltid holder taket litt bløtt. Dette samsvarer også med funnene fra flere tidligere studier som Sims et al. (2016), Johannesen et al. (2017) og Braskerud B. (2014a).
- Under forhold med snø er avrenningsforløpet avhengig av snøsmeltingen. Derfor var forsinkelsestiden ofte høy. For de fleste hendelsene ble snøsmeltingen registrert til å starte på dagen da temperaturene var på vei opp.
- Dempingen og tilbakeholdelsen av avrenningen under forhold med snø så ut til å avhengig av dybden og energibalansen i snøen. Det ble ikke registrert noe tilbakeholdelse for snødybder > 9 cm. Var det kuldegrader fungerte snøen som en demper for nedbøren. For varmegrader gav dette høyere avrenning.
- Avrenningen følger nedbøren tettere ved et snøfritt tak. Under forhold uten snø var forsinkelsen lavere og tilbakeholdelsen høyere. Det var tydelig at taket hadde en bedre fordrøyningsvirkning under forhold uten snø med høyere temperaturer.
- Et dypere snødekke ved et mettete tak gir en høyere avrenningsintensitet ved en lavere nedbørintensitet og nedbørmengde enn et tynnere snødekke med større nedbørmengde.
- Det grønne taket hadde høyest vannføring under forhold der det var snø på taket og nedbøren kom som snø/sludd ved temperaturer over 0 °C.

- Overvannsanlegget så ut til å være velfungerende for de regnhendelsene som kom under måleperioden. Det aldri observert oppstuvninger eller andre overvannsproblemer med verken slisserennene eller det grønne taket.
- Avrenningsmålingene viser at selv for hendelser nå i vinterhalvåret uten kraftig nedbør med uvanlig mye snø at avrenningen fra det grønne taket overstiger kravet fra VAV om maksimal videreført vannføring på 15 L/s, om denne var førende for prosjekteringen. Modellsimuleringen for et 25 års gjentaksintervall med en klimafaktor på 1,3 og enkle beregninger viser at det grønne taket ikke har det nødvendige fordrøyningsvolumet som trengs for en slik nedbørhendelse.
- Målefeil som kan oppstå ved måling av vannføring med V-overløp er: (1) fryst vannspeil, (2) is/rusk som kan komme i veien for sensoren og V-overløpet, (3) avrenning fra andre områder. Målefeil som kan oppstå ved måling av vannføring med langbend og flow-sensor: (1) fryst vann, (2) reduksjon i tverrsnittet, (3) turbulent strømming, (4) partikler og smuss, (5) for lite fall. Andre målefeil som ble oppdaget var feil i beregningsprogrammet.
- Nedbørdataen fra Brobekk og Blindern målestasjon viste at regnhendelser endrer seg fra sted til sted og at nedbør ofte opptrer lokalt. Brobekk hadde de nærmeste registrerte verdiene for enkelthendelser og et likere nedbørsmønster. Blindern målestasjon målte en nærmere total nedbørverdi over perioden.
- Modellen i SWMM var ikke representativ for det grønne taket. Overvannsmodellen genererte omtrent samme avrenningsmengde, men klarte ikke å gjenspeile forsinkelsen eller avrenningsintensiteten for et tak med eller uten snø. For et tak uten helning ble flere av parameterne i LID-modulen skrudd av. Modellen i denne studien er derfor ikke virkelighetsnær. Det ble konkludert med at LID-modulen for grønne tak ikke fungerer optimalt for et flatt tak.

6. PERSONLIG REFLEKSJON OG VIDERE ARBEID

- Måleprosessen viser hvor viktig det er å undersøke forholdene på et område der hvor man ønsker å plassere måleutstyr, ettersom man ikke alltid kan stole på som bygget-tegningene fra prosjektet. Befaringer er gull verdt og gir innsikt på en helt annen måte enn tegninger gjør. Flere uforutsette elementer kan likevel dukke opp og det er ofte vanskelig å forutsi forholdene på et område. Ved utførelse av en slik prosess er det viktig at man har god tid til å eventuelt justere på løsningene.
- Manglende data gjorde det kun aktuelt å se på enkelthendelser gjennom perioden. Dette er ofte vanskelig, da en hendelse ofte henger sammen med andre hendelser. Dette gjelder spesielt for de større regnepisodene som ofte er sammensatt av flere små regn. Dette gjør at en hendelsesstudie ikke er helt ideelt for å studere effektene av slike store regn med lengre varighet.
- Det var utfordrende å analysere fordrøyningsvirkningen for enkelte hendelser der det var vanskelig å skille avrenningsresponsen fra en bestemt nedbørhendelse fra andre nedbørhendelser som kom rett før og rett etter, og også fra bakgrunnsavrenning som trolig skyldes snøsmelting.
- Ved bruk av overvannsprogrammet SWMM og LID-modulen til grønne tak er det viktig å bygge opp modellen riktig slik at den tar hensyn til de forholdene som befinner seg der i virkeligheten. Dette ble ikke gjort for det grønne taket, da modellen ikke tok hensyn til snømengdene. Dette gjorde at modellen var heftet av usikkerhet.
- Det mest optimale hadde vært å ha et vanlig referansetak (uten vegetasjon) å sammenligne avrenningsmålingene med. Dette er fordi sammenhengen mellom nedbøren og avrenningen ikke er enkel for et grønt tak (består av flere faktorer), og særlig ikke for et grønt tak med snø på seg. Sammenligning med et referansetak ville gitt bedre muligheter for å vurdere fordrøyningsvirkningen til et grønt tak enn sammenligning med bare nedbør.
- For videre arbeid anbefales det å investere i en temperaturmåler, jordfuktmåler og tetthetsmålinger av snø for å få et mer realistisk bilde av hvordan takets tilstand, værforholdene på stedet og snømengdene påvirker funksjonen.

- Ved bruk av V-overløp anbefales det å investere i en selvregulerende varmekabel som kan holde vannspeilet frostfritt hele året. I tillegg burde løsningen med V-overløp sikres bedre med f.eks. «vegger» rundt kanalen for å hindre rusk og annen avrenning å trenge inn i magasinet. Isolasjonsmatten burde byttes ut med et hardere materiale som ikke påvirkes av de store snømengdene som eventuelt kan forekomme.

REFERANSER

- Aarnes, J. F. (2018). *Nomografi*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/nomografi> (lest 02.03.2018).
- Andersson, C. (2015). *Modellering av avrinning från gröna tak: Avrinningskoeffisienter och modellåparametrar*. Masteroppgave. Uppsala: Uppsala University.
- Bear, J. (1972). *Dynamics of Fluids in Porous Media*. I, s. 764. New York: American Elsevier Publishing Company.
- Bengtsson, L., Grahn, L. & Olsson, J. (2005). Hydrological function of a thin extensive green roof in southern Sweden. *Nordic Hydrology*, 36 (3): 259-268.
- Berge, G. (2013). *Kommunale avløp: Ressursinnsats, utslipp, rensing og slamdisponering 2013. Gebyrer 2014*. Rapport 2014/41: Statistisk sentralbyrå, . Tilgjengelig fra: <http://www.ssb.no/offentlig-sektor/kostra> (lest 19.02.2018).
- Braskerud, B. C. (2009). *Detention of heavy rain on an extensive norwegian sedum roof*. Oslo: Norges miljø - og energidirektorat (NVE). Tilgjengelig fra: <http://www.isprambiente.gov.it/files/acque/p11-paper-braskerud.pdf> (lest 17.02.2018).
- Braskerud, B. C. (2014a). *Grønne tak og styrtregn: Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og smøsmelting i Oslo*. NVE Rapport nr. 65: Norges vassdrags - og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2014/rapport2014_65.pdf (lest 23.02.2018).
- Braskerud, B. C. (2014b). *Styrtregn og avrenning fra grønne tak med sedumvegetasjon*: Bioforsk. Tilgjengelig fra: <http://www.bioforsk.no/ikbViewer/Content/116590/Braskerud.pdf> (lest 21.02.2018).
- Braskerud, B. C. (2018). *Grønne tak - sedumdekke* (E-post fra Bent Braskerud 07.03.2018).
- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Nordeide, T., Semb, T., Skretteberg, R. & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi*. Rapport fra NVE Nr.10. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/publikasjon/1997/publikasjon1997_10.pdf (lest 11.02.2018).
- Chin, A. D. (2013). *Water-Resources Engineering*. Edinburgh, England: Pearson Education Limited.
- COWI. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*. Oslo: Miljødirektoratet (lest 17.02.2018).
- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*. Oslo: Miljødirektoratet og COWI.
- Dalen, E., Ree, B. L., Vatne, A. & Wenger, F. (2016). *NVE sitt urbanstasjonsnettverk*. I: NVE (red.). Oslo.
- Dannevig, P. & Harstveit, K. (2013). *Klima i Norge*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/Klima_i_Norge#-Nedb%C3%B8r_og_skyer (lest 14.02.2018).
- DSB. (2016). *Risikoanalyse av regnflom i by*. Tilgjengelig fra: https://www.dsb.no/globalassets/dokumenter/rapporter/delrapport_-_regnflom_2016.pdf (lest 11.02.2018).
- Espelien, A. & Wifstad, K. (2016). *Industrianalyse grønne tak og fasader*. Menon publikasjon nr.60/2016. Tilgjengelig fra: <https://www.menon.no/wp-content/uploads/2016-60-Industrianalyse-grønne-tak-og-fasader.pdf> (lest 26.02.2018).
- Flyen, C., Mellegård, S., Bøhlerengen, T., Almås, A., Groven, K. & Aall, C. (2014). *Sårbarhet og tilpasningsevne til klimaendringer*. Forskningsrapport: Bygninger og infrastruktur. Oslo: SINTEF.
- FNs Klimapanel. (2013). *Klima i endring*. FNs klimapanel's femte hovedrapport. Oslo: Miljødirektoratet.
- Forskrift om tekniske krav til byggverk. (2017). *Byggeteknisk forskrift - TEK 17*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/globalassets/byggeteknisk-forskrift-tek17/veiledning-til-byggeteknisk-forskrift-tek17-01.07.2017_oppdatert-12.12.2017.pdf (lest 15.02.2018).
- Frøslie, K. (2018). *Korrelasjon*: Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/korrelasjon> (lest 15.04.2018).
- Førland, E., Mamen, J., Dyrdal, A. V., Grinde, L. & Myrabø, S. (2015). *Dimensjonerende kortidsnedbør*. MET report: Norges vassdrags - og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2015/rapport2015_134.pdf (lest 11.02.2018).

- Googlemaps. (2018). *Googlemaps*. Tilgjengelig fra: <https://www.google.no/maps> (lest 22.04.2018).
- Grøn, Ø. (2016). *Elektromagnetisk stråling*. Store norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/elektromagnetisk_str%C3%A5ling (lest 14.04.2018).
- Grønsten, H. A., Eie, J. A., Haugsgjerd, I. & Kvernhaugen, F. T. (2012). *Slipp og dokumentasjon av minstevannføring for små vassdragsanlegg med konsesjon*. Veileder nr.1/2012. Oslo: NVE. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2012/veileder2012_01.pdf (lest 14.03.2018).
- Haase, D. (2009). Effects of urbanisation on the water balance: A long-term trajectory. I: *Environmental Impact Assessment Review*, s. 211-219.
- Hansen, M. (2017, 28.02.2017). Alnabru har fått Europas mest moderne logistikk-senter. *Posthornet*. Tilgjengelig fra: <https://frifagbevegelse.no/posthornet/alnabru-har-fatt-europas-mest-moderne-logistikk-senter-6.158.447033.fd485dcef1> (lest 20.03.2018).
- Hanslin, H. & Johannessen, B. G. (2015). *Erfaringer med grønne tak i 7 norske byer i perioden 2014-2015*. NIBIO Rapport. Rogaland: Norsk institutt for bioøkonomi.
- Hanssen-Bauer, I. F., E.J. , Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J. E. Ø., Sandven, S., Sandø, A. B., Sorteberg, A. & Ådlandsvik, B. (2015). *Klima i Norge 2100*. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning 2/2015. Norge: Miljødirektoratet.
- Hjellnes Consult. (2012). *Teknisk Hovedplan*. Upublisert manuskript.
- Hjellnes Consult. (2014a). *DWG-tegninger i 3D av termoterminal B1 i AutoCAD*. Upublisert manuskript.
- Hjellnes Consult. (2014b). *Overvannshåndtering og drenering B1 og B2*. Upublisert manuskript.
- Hjellnes Consult. (2015a). *Som bygget plantegning av termoterminal B1*. Upublisert manuskript.
- Hjellnes Consult. (2015b). *Takplan for Posten logistikk-senter terminal B1*. Upublisert manuskript.
- IPCC. (2018). *The Climate System*. Tilgjengelig fra: <http://www.ipcc.ch/ipccreports/tar/wg1/040.htm> (lest 25.01.2018).
- ITAS. (2018a). *Prosjektmanual 1570*. Upublisert manuskript.
- ITAS. (2018b). *Prosjektmanual 1571-1572*. Upublisert manuskript.
- ITAS. (2018c). *Spørsmål angående metode*. Upublisert manuskript.
- Johannessen, B. G. & Muthanna, T. M. (2016). *Hydraulic performance of extensive green roofs in cold climate*. Tilgjengelig fra: https://www.researchgate.net/publication/308265210_Hydraulic_performance_of_extensive_green_roofs_in_cold_climate (lest 03.03.2018).
- Johannessen, B. G., Hanslin, H. & Muthanna, T. M. (2017). Green roof performance potential in cold and wet regions I: *Ecological Engineering*, s. 436-447.
- Krisiandsand kommune. (2016). *Overvannsveileder for kristiansand kommune*: Kristiansand kommune. Tilgjengelig fra: https://www.kristiansand.kommune.no/globalassets/teknisk-og-eiendom/vann-og-avlop/dokumenter/overvannsveileder_1_rev_10_8_2016.pdf (lest 05.05.2018).
- Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F. W., Laar, M. & Gusmao, F. (2001). Urban water Retention by Greened Roofs in Temperate and Tropical Climate. *Technology Ressource Management & Development*, 2: 151-162.
- Larsen, R. G. (2018). *Sibirkulde i Norge: Varsler 40 minus*. Tilgjengelig fra: <https://www.abcnyheter.no/nyheter/norge/2018/02/26/195375202/sibirkulde-i-norge-varsler-40-minus> (lest 22.04.2018).
- Lindholm, O. (2008). *Flomproblemer i urbane områder*. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2008_748056.pdf (lest 16.03.2018).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Særgrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*. Norsk Vann Rapport 162/2008. Hamar: Norsk Vann.
- Lindholm, O., Buhler, L. & Bjerkholt, J. (2013). *Hva hvis monsterregnet fra København 2.juli 2011 hadde falt i Norge?* Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_882444.pdf (lest 11.02.2018).
- Lindholm, O. (2015). *Overvannsdammer: Beregning av volum VA* miljøblad nr. 69. Oslo: Norsk vann.

- Matheussen, B. V. T., S.T. (2005). *Avløpsmodellering med bruk av gratis programvare: Eksempler med SWMM 5.0 og fGIS*. 3 utg. Oslo: Norsk vannforening. Tilgjengelig fra: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2005_30343.pdf (lest 06.02.2018).
- McCuen, R. H., Johnson, P. A. & Ragan, R. M. (2002). *Highway hydrology*. Hydraulic design series No.2, Second edition. Maryland: U.S Department of Transportation: Federal Highway Administration.
- Meland, S., Farnen, E., Heier, L. S., Rosseland, B. O., Salbru, B., Song, Y. & Tollefsen, K. E. (2011). Hepatic gene expression profile in brown trout (*Salmo trutta*) exposed to traffic related contaminants. *Elsevier*, 409 (8): 1430-1443. doi: 10.1016/j.scitotenv.2011.01.013.
- Meld. St. 33 (2012-2013). *Klimatilpasning i Norge*. Oslo: Det kongelige miljøverndepartement. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e5e7872303544ae38bdbdc82aa0446d8/no/pdfs/stm201220130033000dddpdfs.pdf> (lest 19.02.2018).
- Meteorologisk institutt. (2014). *Dimensjonerende nedbør: Blindern målestasjon*. Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/ivf-verdier-fra-et-utvalg-m%C3%A5lestasjoner/attachment/6411?ts=14fcac37fa3> (lest 24.04.2018).
- Meteorologisk institutt. (2018). *Værstasjoner i norske kommuner*. Tilgjengelig fra: <https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedb%C3%B8r/hjelp-til-%C3%A5-etablere-v%C3%A6rstasjon/attachment/7107?ts=150a498c4cc> (lest 10.03.2018).
- Meteorologisk Institutt. (2017a). *Frontnedbør*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/frontnedb%C3%B8r> (lest 12.02.2018).
- Meteorologisk Institutt. (2017b). *Konvektiv nedbør*: Store Norske Leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/konvektiv_nedb%C3%B8r (lest 12.02.2018).
- Meteorologisk Institutt. (2017c). normalperiode. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/normalperiode> (lest 24.01.2018).
- Miljødirektoratet. (2016). *Klimatilpasning: Håndtering av overvann*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimatilpasning.no/sektorer/vann-og-avlop/oppgaver/handtering-av-overvann/> (lest 01.02.2018).
- Miljødirektoratet. (2017). *Klima i Norge 2100*. Miljøstatus.no. Tilgjengelig fra: www.miljostatus.no/tema/klima/klimainorge/klimainorge-2100/ (lest 20.02.2018).
- Müller, K. (2018). *Snø og snøskred*. Varsom.no. Tilgjengelig fra: <http://www.varsom.no/snoskredskolen/kursmaterieell-og-film/> (lest 20.04.2018).
- Nagase, A. & Dunnett, N. (2011). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roof: Effects of plant species, diversity and plant structure. I: *Landscape and Urban Planning*, s. 356-363.
- Noreng, K., Kvalvik, M. B., J.O., Ødegård, I. M. & Clewing, C. S. F., H.K. (2012). *Grønne tak: Prosjektrapport 104*. Resultater fra et kunnskapsinnhentesprosjekt. Oslo: SINTEF byggforsk.
- Norgebilder. (2018). *Norge i bilder*. Tilgjengelig fra: <http://norgebilder.no/> (lest 24.03.2018).
- Norsk Hydrologiråd. (2011). *Fagseminar: Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: http://www.grunnvanninorge.no/Seminar/Fagseminar_Urbanhydrologi_sept2011.pdf (lest 25.01.2018).
- Norsk Klimaservicesenter. (2018). *Nedbør med kort varighet*. Tilgjengelig fra: <https://klimaservicesenter.no/faces/desktop/article.xhtml?uri=klimaservicesenteret/dimensjonerende-nedbør/korttidsnedbør> (lest 11.02.2018).
- NOU 2010:10. *Tilpassing til eit klima i endring*. Oslo: Departementenes sikkerhets- og serviceorganisasjon.
- NOU 2015:16. *Overvann i byer og tettsteder: Som problem og ressurs*. Tilgjengelig fra: <https://www.regjeringen.no/contentassets/e6db8ef3623e4b41bcb81fb23393092b/no/pdfs/nou201520150016000dddpdfs.pdf> (lest 30.01.2018).
- NTB. (2014). *Spaden i jorda på Norges største logistikkcenter*. Tilgjengelig fra: <https://www.ntbinfo.no/pressemelding/spaden-i-jorda-pa-norges-storste-logistikkcenter?publisherId=89771&releaseId=7663903> (lest 03.03.2018).
- NVE. (2011). *Flom og overvannsproblematikk i byer og tettsteder som følge av økt nedbør*. Tilgjengelig fra: <https://gammelweb.vfk.no/Documents/Vestfold%20Klima->

- [%20og%20energiforum/Seminarer/Klimatilpasning/Klimatilpasning%20i%20Vestfold%206.juni%202011/Par.%20sesjon%20%20-%20arealplanlegging/Flom%20og%20overvannsproblematikk%20i%20byer%20og%20tettsteder%20-%20NVE.pdf](#) (lest 15.03.2018).
- NVE. (2015). *Historiske data*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/hydrologiske-data/historiske-data/> (lest 03.02.2018).
- NVE. (2016). *Snøtaksering*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/sno/snotaksering/> (lest 01.05.2018).
- NVE. (2017). *Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/urbanhydrologi/> (lest 28.01.2018).
- NVE. (2018). *Hydrologi*. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/> (lest 28.01.2018).
- Oldroyd. (2014). *Teknisk datablad Oldroyd Xv Green 25*. Upublisert manuskript.
- Oldroyd. (2016). *Oldroyd Green Xv25*. Tilgjengelig fra: <http://www.oldroyd.no/no/gronne-tak/7-oldroyd-green-xv25.html> (lest 18.03.2018).
- Oslo kommune. (2018). *Befolkningsframskrivninger*. Tilgjengelig fra: <https://www.oslo.kommune.no/politikk-og-administrasjon/statistikk/befolkning/befolkningsframskrivninger/#gref> (lest 25.04.2018).
- Paus, K. H. (2018). Forslag til dimensjonerende verdier for trinn 1 i Norsk Vann sin tre-trinns strategi for håndtering av overvann. *Norsk Vann artikkel*.
- Pedersen, K. (2012). *Derfor regnar det mest i vest*: Yr. Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/artikkel/derfor-regnar-det-mest-i-vest-1.8009790> (lest 12.02.2018).
- Roehr, D. & Kong, Y. (red.). (2010). *Stormwater Runoff Reduction Achieved by Green roofs: Comparing SWMM Method to TR-55 Method*. San Francisco, California: American Society of Civil Engineers.
- Rossmann, L. A. (2015). *Storm Water Management Model*. User's Manual Version 5.1: United States Environmental Protection Agency. Tilgjengelig fra: <https://www.innovyze.com/products/swmm/download/ZyPDF.pdf> (lest 07.02.2018).
- Sandnes, K. (2018). *E-post med Kjetil Sandnes fra instrumenttjenesten ITAS*. Oslo (14.03.2018).
- Silberstein, R. P. (2006). Hydrological models are so good, do we still need data? *Environmental Modelling and Software*, 21 (9): 1340-1352. doi: 10.1016/j.envsoft.2005.04.019.
- Sims, A. W., Robinson, C. E., Smart, C. C., Voogt, J. A., Geoffrey, J. H., Lundholm, J. T., Powers, B. & O'Carroll, D. M. (2016). Retention performance of green roofs in three different climate regions I: *Journal of Hydrology*, s. 115-124.
- SINTEF. (2015). *Frykter urban flom*. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/siste-nytt/frykter-urban-flom/> (lest 18.03.2018).
- SSB. (2018). *Kommune-Stat-Rapportering: KOSTRA*. Tilgjengelig fra: <https://www.ssb.no/offentlig-sektor/kostra> (lest 15.04.2018).
- Statens Vegvesen. (2014). *Vegbygging*. Håndbok N200. Oslo: Statens Vegvesen. Tilgjengelig fra: [https://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+\(21+MB\).pdf](https://www.vegvesen.no/attachment/188382/binary/980128?fast_title=H%C3%A5ndbok+N200+Vegbygging+(21+MB).pdf) (lest 19.02.2018).
- Stenius, S., Glad, P. A., Wang, T. K. & Væringstad, T. (2015). *Veileder for flomberegninger i små uregulerte felt* NVE. Tilgjengelig fra: http://publikasjoner.nve.no/veileder/2015/veileder2015_07.pdf (lest 10.02.2018).
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G., Tignor, M. M. B., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (2013). *Climate Change: The Physical Science Basis*. Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Tilgjengelig fra: https://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar5/wg1/WGIAR5_SPM_brochure_en.pdf (lest 27.01.2018).
- Stovin, V., Dunnett, N. & Hallam, A. (2007). Green Roofs - Getting Sustainable Drainage Off the Ground. *6th International Conference of Sustainable Techniques and Strategies in Urban Water management*: 11-18.
- Stovin, V. (2010). The potential of green roofs to manage Urban Stormwater. *Water and Environmental Journal*, 24: 192-199.
- Strand, H. B. (2018). *Spørsmål om snø* (E-post fra snøeskper i NVE Heidi Backe Strand 26.04.2018).
- Sundby, J. (2018). *Grønne tak - tørr og våt tilstand*. Oslo (17.04.2018).

- Timeanddate. (2018). *Soloppgang, solnedgang og dagens lengde*. Tilgjengelig fra: <https://www.timeanddate.no/astronomi/sol/norge/oslo?maaned=4&year=2018> (lest 01.05.2018).
- Tovslid, B. M. (2018). *Grønne tak - sedumdekke* (E-post til Bergknapp 06.03.2018).
- UIO. (2018). *Øvelser i GEO1021: Hydrologi*. Oslo: Universitetet i Oslo (Øvelser/Forelesning 01.02.2018).
- USGS. (2016). *Amerikas geologiske undersøkelse: Vannets kretsløp*. Tilgjengelig fra: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclenorwegian.html> (lest 28.01.2018).
- VAV. (2012). *Overvannshåndtering: En veileder for utbygger*. Veileder. Oslo: Vann - og avløpsetaten, Oslo kommune.
- VAV. (2017a). *Kravspesifikasjon for instrumentering*. Tilgjengelig fra: <http://docplayer.me/36316235-Kravspesifikasjon-for-instrumentering-maling-av-volumstrom-i-delfylt-ror.html> (lest 15.04.2018).
- VAV. (2017b). *Overvannshåndtering*. En veileder for utbygger. Oslo: Vann - og avløpsetaten.
- VegTech. (2018). *VT-filt; vannansorberende + drenerende*. Tilgjengelig fra: <https://www.vegtech.no/om-oss-kontakt/> (lest 23.02.2018).
- Vital Vekst. (2011). *Magasinerer regnvann*. Tilgjengelig fra: <http://www.vitalvekst.no/magasinerer-regnvann/> (lest 11.03.2018).
- Vital Vekst. (2015). *FDV-dokumentasjon for sedumdekke med Filt Xtra*. Upublisert manuskript.
- Wells, H. G. (2017). *En powerpoint presentasjon av Hanne G. Wells, gruppeleder av standard norge: Standard for overvannshåndtering og grønne tak*. Norge (26.02.2018).
- Yr. (2012). *Hvilket vær gir vindretningene?* Tilgjengelig fra: <http://www.yr.no/artikkel/hvilket-vaer-gir-vindretningene-1.7961642> (lest 01.05.2018).
- Yr. (2018). *Observasjoner for Oslo (Blindern) målestasjon*. Tilgjengelig fra: www.yr.no/sted/Norge/Oslo/Oslo/Oslo/almanakk.html?dato=2018-02-24 (lest 01.05.2018).
- Ødegaard, H. (2014). *Vann - og avløpsteknikk*. Oslo: Norsk vann.
- Åstebøl, S. O. (red.). (2013). *Blågrønn struktur, overvannshåndtering og grøntområder*.
- Åstebøl, S. O., Robba, S., Stenvik, G., Kristoffersen, H. V. & Olsen, S. B. (2013). *På lag med regnet*. Veileder for lokal overvannshåndtering. Tilgjengelig fra: http://www.miljodirektoratet.no/Global/klimatilpasning/COWI_Veileder%20overvann%20overvannsh%20A5ndtering%20J%20C3%A6ren_2013.pdf (lest 31.01.2018).
- Åstebøl, S. O., Karlsson, I., Bergom, H. & Kvile, K. R. (2017). *Veileder for lokal håndtering av overvann i kommuner*. Rapport fra Vestfold fylkeskommune. Tilgjengelig fra: <https://www.vfk.no/Global/vfk.no-media/Planportal%20Vestfold/PDF/Klimatilpasning/Veileder%20overvann%2030-01-17.pdf> (lest 30.01.2018).

7. VEDLEGG

Vedlegg A

Produktspesifikasjon for sedummattene Sempergreen

PRODUCT PHOTO



TECHNICAL DATA:

Coverage:	95%
Weight when dry:	approx. 15 kg/m ²
Saturated weight:	approx. 20 kg/m ²
Thickness:	2-4 cm
Standard sizes:	120 cm x 100 cm 120 cm x 200 cm 100 cm x 100 cm 100 cm x 200 cm (Other sizes can be agreed)
Maximum roll length:	20-25 m
Number of m ² per pallet:	Max. 50 m ² (for standard sizes)
Pallet size:	130 cm x 110 cm

Figur 7.1: Teknisk data om sedummattene Sempergreen brukt på det grønne taket på Posten Bring terminalen (Vital Vekst, 2015)

Vedlegg B

Teknisk datablad for membranen OLDRROYD Xv Green 25



Teknisk Datablad

Dato: 04.03.2014

Utg.: 1

OLDRROYD Xv Green 25

Polypropylen membran EN 13252 F+D

3-lags mørk grønnfarget perforert membran for filtrering og drenering av grønne tak, med store knotter for ekstra høy drenerings- og reservoarkapasitet. Leveres på rull med B x L=2,0 x 5 m og med en pålimt tykk 600 g nonwoven toppfilt av resirkulert syntetisk fiber. Den tykke filten bidrar til ytterligere økning av vannreservoaret.

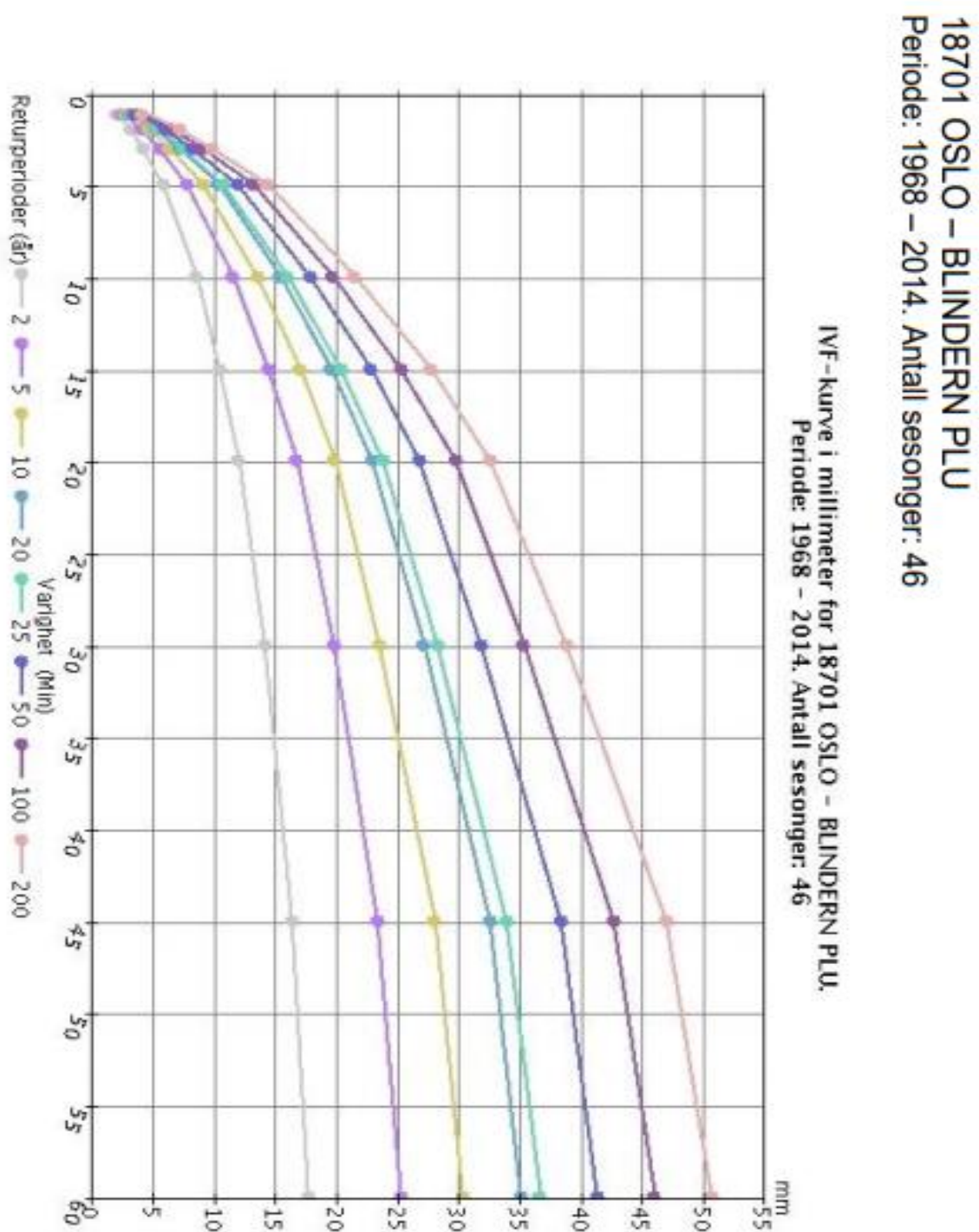
Membranen legges på vanntett underlag med hulrommet til knottene og filten vendt oppover, slik at de danner vannreservoarer for tørre perioder.

EGENSKAPER	STANDARD	ENHET	VERDI
Tykkelse membran		mm	0,8
Høyde total, ca.		mm	25
Retthetsavvik		mm/10m	<20
Vekt total, inkludert filt, ca.		kg/m ²	1,5
Vannreservoar, ca		L/m ²	6
Luftvolum		L/m ²	15
Strekkstyrke, MD/TD (membran)	EN ISO 10319	kN/m	>10
Forlengelse, MD/TD (membran)	EN ISO 10319	%	>30
Motstand mot oksidasjon	EN ISO 13438		Bestått
Motstand mot UV/vann-aldring	EN 12224		Bestått
Farlige kjemikalier	REACH direktiv	SVHC-liste	Ingen
Nonwoven filt			
Vekt		g/m ²	600
Materiale	Resirkulert polyester		
Holdbarhet i all naturlig jord (< 25°C, tildekkes i løpet av 2 uker)		År	> 50

Figur 7.2: Teknisk datablad og beskrivelse av membranen Oldroyd Xv Green 25 (Oldroyd, 2014)

Vedlegg C

IVF-kurve og tabell for Blindern målestasjon



Figur 7.3: IVF-kurve for Blindern målestasjon (Meteorologisk institutt, 2014).

18701 OSLO – BLINDERN PLU

Periode: 1968 – 2014

Antall sesonger: 46

(mm) Returperioder(år); Nedbørsum (mm)

År	Varighet (minutter)												
	5	10	15	20	30	45	60	180	360	720	1440		
2	5,6	8,4	10,3	11,8	13,9	16,1	17,5	22,8	25,9	34,6	41,5		
5	7,6	11,4	14,2	16,5	19,6	23,2	25,1	30,2	34,1	41,9	50,1		
10	8,9	13,3	16,9	19,7	23,4	27,9	30,1	35,2	39,5	46,7	55,3		
20	10,2	15,2	19,4	22,7	27	32,3	35	40	44,7	51,4	60,5		
25	10,6	15,8	20,2	23,7	28,1	33,8	36,5	41,5	46,4	52,7	61,3		
50	11,8	17,7	22,7	26,6	31,6	38,2	41,2	46,1	51,4	57,5	66,5		
100	13	19,5	25,1	29,5	35,2	42,5	45,9	50,8	56,4	61,8	71,7		
200	14,2	21,3	27,5	32,4	38,6	46,8	50,5	55,4	61,6	66,5	76		

Figur 7.4: Tabell for nedbørintensiteten i mm/min ved ulike varigheter for Blindern målestasjon (Meteorologisk institutt, 2014).



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway