



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2019 30 stp.

Fakultet for realfag og teknologi – REALTEK
Faculty of Science and Technology

Sammenlikning av tiltak for overvannshåndtering – Prosjekt Bekkestua Sør

Comparison of storm water management measures
- Case Bekkestua Sør

Mathias W. Adolfsen

Vann- og miljøteknikk

Lær av regnet, min venn.

Det er alltid en dråpe igjen.

Ole Paus (1947–)

Forord

Denne oppgaven er avsluttende masteroppgave for masterprogrammet Vann- og miljøteknikk ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet - NMBU. Avhandlingen er skrevet på Fakultetet for realfag og teknologi i Ås våren 2019 og omfatter 30 studiepoeng.

Oppgavens hensikt er å se på effekten av ulike LOD-tiltak, med et prosjekt i Bærum kommune som utgangspunkt. Det er laget modeller i modeleringsprogrammet SWMM og gjort analyser med data fra kjøring med disse.

Jeg vil takke en rekke mennesker for assistanse med oppgaven og støtte gjennom arbeidet. En stor takk til professor emeritus Oddvar G. Lindholm fra Realtek, som fungerte som hovedveileder. Oddvar bidro med tilstedeværelse, gode, konstruktive forslag, faglige innspill og god støtte gjennom arbeidet. Takk til sivilingeniør Glenn Stenshorne fra Erichsen & Horgen AS, som fungerte som biveileder. Glenn bidro med faglige innspill, datagrunnlag og ikke minst motiverende ord. Postdoktor Vegard Nilsen har også assistert under arbeidet.

Jeg vil rette en takk til alle medstudenter på TF 120 for kakefredager, hyggelig lunsjprat og faglig hjelp og innspill. Jeg vil også takke min familie for støtte gjennom en tidvis frustrerende, men mest av alt lærerik og morsom arbeidsprosess.

En rekke programvarer er brukt i oppgaven. Jeg vil takke Esri og NMBU for lån av lisenser til disse programmene kostnadsfritt, og DHI Norge og Halvord Hardang for lisens og god assistanse. I tillegg vil jeg takke Erichsen & Horgen AS for lån av datamaskin og forslag til problemstilling.

Ås, Juni, 2019

Mathias Wennerød Adolfsen

Sammendrag

Grunnet global oppvarming kan det ifølge Hanssen-Bauer mfl. (2015) i Norge forventes hyppigere og mer ekstreme nedbør i fremtiden. Ifølge SSB (2018) er det ventet befolkningsvekst i Norge og de siste årene har antall boliger i Norge vært økende ifølge SSB (2019). Utbygging og befolkningsvekst kan føre til urbanisering, og gjentetting av grønne flater. Sammen med endringene i nedbør krever dette håndtering av overflatevann.

På Bekkestua i Bærum kommune skal et område etableres som boligfelt, og bygninger vil bli plassert på grønne områder. Dette prosjektet skal implementere håndtering av overvann. Bærum kommune krever i sin VA-norm (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019) at det dimensjoneres for en nedbørhendelse med gjentaksintervall 25 år og at en klimafaktor på 1.4 blir brukt.

Denne oppgaven ønsker å sammenlikne hvordan ulike overvannshåndtering påvirker overflateavrenningen på tomten og total strømning i ledningsnett som leder ut fra tomten. Overflatevann kan håndteres på en rekke ulike måter. Dette kan være på konvensjonell måte med ledningsnett, eller med lokal overvannshåndtering, kalt LOD, som grønne tak og regnbed. Konvensjonell håndtering er i oppgaven sammenliknet med en kombinasjon av konvensjonell håndtering og de nevnte LOD-tiltakene. LOD tiltakene er sammenliknet separert og i kombinasjon. Det er sett på hvilket LOD-tiltak som er rimeligst, med tanke på tilbakeholdelse av nedbør fra ledningsnett. Det er i tillegg gjort sensitivitetsanalyse på infiltrasjonshastighet, overflateruhet på upermeabelt areal og gropmagasinerings på upermeabelt areal. Dette viser hvordan en endring i disse parameterne forandrer maksimal strømning ved utløpet.

For å sammenlikningen overvannstiltakene ble fire modeller opparbeidet i dataprogrammet EPA SWMM. En modell i SWMM bygger på et stort antall parametere og elementer som må bestemmes. Plassering av elementer og utforminger av arealer er gjort på bakgrunn av projektskisse levert fra landskapsarkitektfirmaet Grindaker. Siden oppbygningen av modellen inneholder mange parametere, og disse er hentet fra en rekke kilder, kan det forventes en betydelig feilmargin i resultatene. I tillegg ble det gjort enkelte feil ved opparbeiding av modellen. Resultatene må derfor betraktes som et unøyaktig estimat.

Resultater fra kjøringene med modellene viser at de grønne takene, regnbedene og kombinasjonen av disse reduserer maksimal vannføring (Q_{maks}) med henholdsvis 34.7 %, 31.7 % og 43.9 % i utløpet av ledningsnett, og henholdsvis 36.3 %, 30.9 % og 44.8 % redusert maksimal avrenning fra overflatene, i forhold til bruk av konvensjonell håndtering. Deler man tilbakeholdelsen av vann fra utløpet til ledningsnett på arealet som er lagt inn av hvert LOD-tiltak, er det regnbed som er mest effektivt. Den rimeligste løsningen med hensyn på antall l/s som er holdt tilbake fra utløpet av ledningsnett per kvadratmeter LOD-tiltak lagt inn, er også regnbed. Da dette har stor magasinkapasitet har det potensiale til å holde tilbake en god del vann.

Summary

Due to global warming it is expected that in Norway, the frequency and intensity of rainfalls with high intensity will increase, this according to Hanssen-Bauer mfl. (2015). According to Statistics Norway, SSB (2018, 2019), there will be an increase in the Norwegian population, and in the last years the number of houses in Norway have been increasing. Development of property and rise in population are factors of urbanisation. This can lead to permeable areas replacing green area. The combination of more high intensity rainfalls and less permeable areas demand management of the runoff water.

In Bekkestua in Bærum municipality in Norway there are plans to develop a residential area on the site of green areas. To develop this area, low-impact development (LID) measures will be implemented. For the use of rainfall data, Bærum municipality request a recurrence interval of 25 years and that a factor of 1.4 is multiplied with the rainfall intensities.

This thesis compare how different surface runoff mitigation strategies impact the surface runoff and the flow in the outlet pipe of the property. The mitigation of surface runoff water can be done with several different methods. One method is the conventional method with drains and pipes. Another category of methods is LID. Example of LID techniques are green roofs and rain gardens. In this thesis, conventional strategy is compared with green roofs and rain gardens. The LID techniques are compared separately and in combination. Which LID technique that is cheapest, regarding its retention capabilities compared to its distribution, is assessed. In addition, a sensitivity analysis is conducted on the parameters infiltration rate, surface roughness in impermeable areas and depth of depression storage in impermeable areas. It indicates how a modification in these parameters affect the flow in the output pipe.

To be able to compare the runoff mitigation strategies, four models were built in the computer program EPA SWMM. A model in SWMM consists of many parameters that must be determined. The placement of the elements and shaping of the areas was based on a project drawing file supplied from the landscape architect Grindaker. Many of the parameters in SWMM are fetched from different sources with different accuracy. This affects the accuracy of the models. In addition, some mistakes were done building the models. The results therefore

has to be seen as an uncertain estimate.

Running the four models and comparing results showed that the maximum flow in the output pipe was reduced by 34.7 %, 31.7 % and 43.9 % in the models with greens roofs, rain gardens and the combination of both, respectively. The surface runoff in the models with green roofs, rain gardens and the combination of both was reduced by 36.3 %, 30.9 % and 44.8 %, respectively. This is compared with the results from the model with conventional runoff mitigation strategy. If the retention of water is divided by the amount of area utilised by each LID technique, rain garden is the most efficient. Rain garden is also the cheapest option regarding how much water it retains compared to its area. This is due to its large capacity.

Innhold

Forord	iii
Sammendrag	v
Summary	vii
Innhold	ix
Figurliste	xiv
Tabeller	xv
Akronymer	xvii
1 Introduksjon	1
1.1 Forutsetninger for oppgaven	1
1.2 Formål og problemstilling	1
1.3 Struktur	2
2 Bakgrunn for oppgaven	3
2.1 Klima	3
2.1.1 Generelt om klima	3
2.1.2 Normalperioder	3
2.1.3 Klimaendringer	4
2.2 Nedbør	5
2.2.1 Nedbørintensitet	5
2.2.2 Konstruerte nedbør	6
2.2.3 Gjentakintervall	7
2.2.4 IVF-data	8
2.3 Hydrologi	8
2.3.1 Den hydrologiske syklusen	9
2.3.2 Hydraulisk konduktivitet	9
2.4 Urbanisering og urbanhydrologi	10
2.4.1 Befolkningsvekst og boligutbygging	10
2.4.2 Overvannshåndtering og treleddsstrategien	11
2.4.3 Grønne tak	13
2.4.4 Regnbed	14

2.5	Prosjektområdet	15
2.6	Dataprogrammer	16
2.6.1	Autocad	16
2.6.2	ArcGIS Pro 2.2	16
2.6.3	EPA SWMM	16
2.7	EPA SWMM	16
2.7.1	Width og slope	17
2.7.2	Nedbørmåler	18
2.7.3	Delfelt	18
2.7.4	Noder	19
2.7.5	Ledninger	21
2.7.6	LOD-tiltak	23
3	Metode	29
3.1	Oppbygging av modellene i SWMM	29
3.1.1	Bakgrunnskart	30
3.1.2	Nedbørdata brukt i SWMM	30
3.1.3	Elementer i SWMM brukt i modellene	32
3.1.4	Oppbygging av LOD-tiltakene	33
3.1.5	Kjøring av modellene, uthenting av data og utregning av resultater . . .	37
3.1.6	Sensitivitetsanalysen	38
3.1.7	Kostnadsanalysen	38
4	Resultater	41
4.1	Sammenlikning av tiltakenes tilbakeholding av vann	41
4.2	Sensitivitetsanalysen	42
4.3	Kostnadsanalysen	43
5	Diskusjon	45
5.1	Sammenlikning av overvannstiltakene	45
5.2	Oppbygning av modellene	45
5.2.1	Innlegging av bakgrunnskart	46
5.2.2	Innleggelse av ledninger	46
5.2.3	LOD-tiltak i SWMM	46
5.3	Sensitivitetsanalysen	48
5.4	Kostnadsanalysen	49
5.5	Videre arbeid	49
6	Konklusjon	51
	Referanser	53

Vedlegg A IVF-data	56
Vedlegg B Resultater av utregninger av nedbørintensiteter	57
Vedlegg C Nedbørdata brukt i SWMM	59
Vedlegg D Regnhyetogram og grafer av tolket nedbørdata i SWMM	60
Vedlegg E Verdier brukt i SWMM	63
Vedlegg F Parameterverdier og resultater fra sensitivitetsanalysen	70
Vedlegg G Kart	71

Figurer

2.1	Endringer i temperatur på jorden.	4
2.2	Hydrologiske syklusen	9
2.3	Framskrivning av befolkningstall i Norge frem til 2060.	10
2.4	Avrenningsmønstre ved ulike typer bebyggelse.	11
2.5	Eksempel på konvensjonell håndtering av overvann.	12
2.6	Illustrasjon av treleddsstrategien.	12
2.7	Eksempel på LOD-tiltak i urbant område.	13
2.8	Oppbygning av grønt tak.	13
2.9	Oppbygning av regnbed.	14
2.10	Oversiktskart over plassering av prosjektområdet.	15
2.11	Løsmassekart over prosjektområdet.	15
2.12	Illustrasjon av <i>width</i> og hvordan vannet routes gjennom delfelt med og uten LOD-tiltak.	17
2.13	Symbol for nedbørmåler i SWMM.	18
2.14	Symbol for nedbormaler i SWMM.	18
2.15	Symbol for <i>junction node</i> i SWMM.	20
2.16	Symbol for <i>outfall node</i> i SWMM.	20
2.17	Symbol for <i>flow divider nodes</i> i SWMM.	21
2.18	Symbol for <i>conduit</i> i SWMM.	21
2.19	Strømning av vann gjennom LOD-tiltak i SWMM.	24
2.20	Illustrasjon av <i>green roof</i> i SWMM.	25
2.21	Illustrasjon av <i>rain garden</i> i SWMM.	27
4.1	Strømning i utløpsnoden.	42
4.2	Sensitivitetsanalysene.	43
D.1	Symmetrisk regnhyetogram for gjentakintervall på 10 år.	60
D.2	Symmetrisk regnhyetogram for gjentakintervall på 25 år.	61
D.3	Graf over nedbørdata tolket av SWMM for gjentakintervall på 10	61
D.4	Graf over nedbørdata tolket av SWMM med 25 års gjentakintervall.	62

G.1	Bakgrunnskart konstruert i ArcGIS PRO.	71
G.2	Skisse fra landskapsarkitekt og arkitekt med forslag til prosjektering.	72
G.3	Utklipp av endelig modell fra SWMM.	73
G.4	Utklipp med delfelt, noder og ledninger fra SWMM.	73

Tabeller

2.1	Anbefalte gjentaksintervall for nedbør	8
3.1	Modellene og deres innlagte tiltak for overvannshåndtering.	30
3.2	LOD-tiltakenes utbredelse.	34
3.3	Parameterliste for grønne tak i SWMM.	35
3.4	Parameterliste for regnbed i SWMM.	37
3.5	Investerings- og driftskostnader for utvalgte LOD-tiltak	39
4.1	Maksimal strømning i utløpsnoden og maksimal overflateavrenning for alle fire modeller	41
4.2	Endringer i strømning i utløpsnoden og overflateavrenning ved bruk av ulike LOD-tiltak mot modell uten bruk av LOD.	41
4.3	Nedgang i maksimal strømning i utløpsnoden per areal LOD-tiltak.	42
4.4	Kostnad per reduserte enhet av Q_{maks}	43
B.1	Data og utregninger til regnhyetogram, 10 års gjentaksintervall, klimafaktor 1.4.	57
B.2	Data og utregninger til regnhyetogram, 25 års gjentaksintervall, klimafaktor 1.4.	58
C.1	Nedbørdata lagt inn i SWMM.	59
F.1	Parameterverdier og resultater fra sensitivitetsanalysen.	70

Akronymer

DWG	Drawing. Tegning på norsk
GIS	Geografisk informasjonssystem
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVF	Intensitet, varighet og frekvens
LID	Low-impact development. LOD på norsk
LOD	Lokal overvannsdiskonering (-håndtering). LID på engelsk
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NMBU	Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
NOK	Norsk krone
NS	Norsk standard
SSB	Statistisk sentralbyrå
SWMM	Storm Water Management Model
US EPA/EPA	United States Environmental Protection Agency
WMO	Verdens meteorologiorganisasjon (Forente nasjoner)

1. Introduksjon

1.1 Forutsetninger for oppgaven

Mye kan tyde på at klimaendringer vil føre til forandringer i nedbørmønstre, ved at det blir hyppigere og mer ekstreme nedbør (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Dette sammen med urbanisering som gir flere upermeable områder, krever at det planlegges for håndtering av overvann ved utbygging av tidligere ubebygde områder. Bærum kommune sier i sin strategi for overvannshåndtering (Sweco AS og Bærum kommune, 2017) at de ønsker planlegging av overvannshåndtering allerede på et tidlig stadium av planleggingsprosessen.

Denne oppgaven tar for seg dimensjonering av overvannstiltak i et utbyggingsprosjekt på Bekkestua i Bærum kommune. Tomten er en gresskledd flate. Ved tidspunktet da denne oppgaven ble utarbeidet, var prosjektet i en tidlig skissefase. Masteroppgaven er et samarbeid med Erichsen & Horgen AS, for å utarbeide en modell som kan gi en indikasjon på hvordan overvannshåndteringen bør utarbeides og dimensjoneres på tomten.

SWMM ble valgt som modelleringsverktøy. Dette er et verktøy som er mye brukt, gratis og relativt enkelt å sette seg inn i uten hjelp fra leverandør. I tillegg passet dette programmet fint med tanke på tilgjengelig datagrunnlag. Prosjektskissen som SWMM-modellen er basert på, hadde svært lite data om høyder. Dette gjorde at det ikke var mulig å bruke programvare som krever mer detaljert terrengmodell, slik som for eksempel MIKE Flood (MIKE 21 og MIKE URBAN) fra DHI.

1.2 Formål og problemstilling

Formålet med denne oppgaven er å undersøke ulike håndtering av overvann og effekten av LOD-tiltak sammenliknet med konvensjonelle løsninger på et utbyggingsområde på Bekkestua i Bærum. Oppgaven skal gjøre dette ved at det konstrueres modeller i SWMM. Problemstillingen oppgaven skal svare på er delt i fire:

1. Hvordan modelleringsprogrammet SWMM kan brukes til å gjøre beregninger av overflateavrenning og strømming i ledningsnett i en tidlig fase av prosjektering.
2. Hvor stor påvirkning LOD-tiltak har på overflateavrenning og strømming i ledningsnett, sammenliknet med bruk av konvensjonell håndtering av overvann alene.

3. Hvordan endringer i ulike parametre som brukes i modellene påvirker resultatene.
4. Hvilken forskjell i kostnader det er på de de ulike LOD-tiltakene med hensyn på deres effektivitet.

1.3 Struktur

Oppgaven er satt sammen av seks kapitler. I kapittel 1 legges forutsetninger, formål og problemstilling for oppgaven frem. Kapittel 2 er et bakgrunnskapittel der relevant teori forklares. Blant annet viktige aspekter med programvaren SWMM. Kapittel 3 inneholder metode for opprettelse av SWMM-modellene, uthenting av data og gjennomføring av sensitivitets- og kostnadsanalyser. I Kapittel 4 blir resultater for å sammenlikne tiltakenes tilbakeholdelse av vann, sensitivitetsanalysene og kostnadsanalysen, lagt frem. Disse resultatene, samt oppbygningen av modellene, blir diskutert i kapittel 5. Kapittel 6 konkluderer med hva oppgaven har kommet frem til.

2. Bakgrunn for oppgaven

Denne masteroppgaven tar utgangspunkt i en rekke data, antakelser og teori. Dette kommer frem som parameterverdier lagt inn i dataprogrammer og grunnlag for utregninger. Dette kapittelet vil gå gjennom mye av denne teorien og antakelsene. Det vil også gå gjennom mange av hovedelementene i programvaren SWMM.

2.1 Klima

Regndataene i denne oppgaven blir ganget med en klimafaktor. Dette er etter krav fra Bærum kommune (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019), og er gjort på bakgrunn av antakelsen om at klimaet er i endring. I dette delkapittelet vil det bli redgjort for hvorfor denne antakelsen kan virke fornuftig og plausibel.

2.1.1 Generelt om klima

Vær er fenomener som kan observeres på et bestemt sted til en bestemt tid. Noen faktorer som beskriver været er luftfuktighet, lufttrykk, skydekke, temperatur, nedbør og vind. (Hanssen-Bauer mfl., 2015).

Klima kan beskrives som trender i været over et gitt tidsintervall, og på et bestemt sted (Hanssen-Bauer mfl., 2015). Klimaet kan observeres ved å samle inn data på faktorer som påvirker været. Det kan også observeres klima fra før målinger begynte. Dette kan blant annet gjøres ved å se på boreprøver fra jord og is (Petit mfl., 1999). Meteorologisk institutt har laget oversikter som viser trender for nedbør og temperatur i Norge. Dette blir kalt klimanormaler og følger en normalperiode (Aune, 1993a,b).

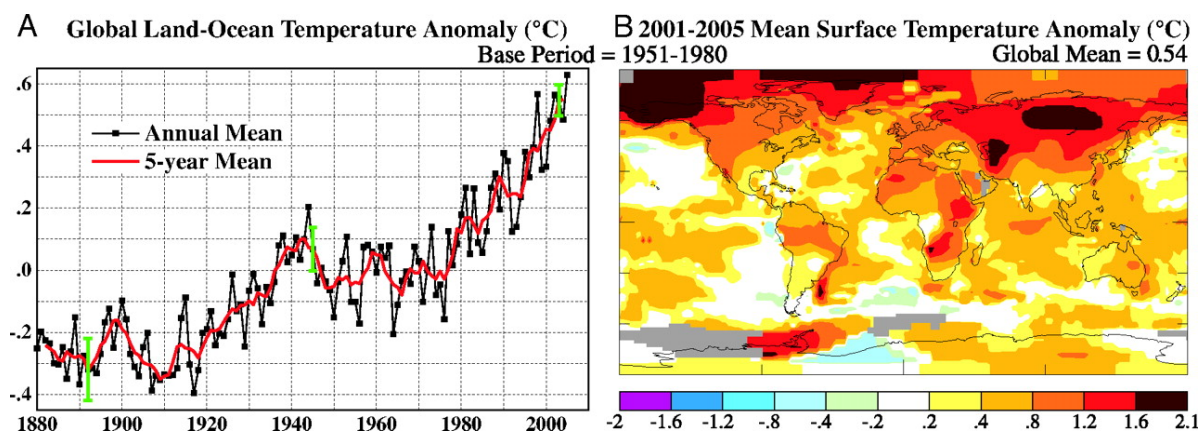
2.1.2 Normalperioder

En normalperiode er en periode på 30 år. Et intervall på 30 år ble valgt av den grunn at det var intervallet det var tilgjengelige data for, på det tidspunktet anbefalingen ble satt. Det er internasjonalt bestemt på den 17. World Meteorological Congress, at normalperioden 1961 til 1990 kan brukes som en standard referanseperiode for endringer i klima over lang tid. Det ble også bestemt at normalperioden som bør brukes for sammenlikning med denne perioden er den seneste 30-årsperioden som ender på et årstall som ender på 0. Et eksempel er siste

gjeldende periode, som er 1980 til 2010. Tilgjengeligheten på nye data og simuleringer er med på å begrense om hvor nære 30-årsperioden er sanntid (Hanssen-Bauer mfl., 2015). FN sitt organ for meteorologi og hydrologi WMO, følger denne bestemmelsen. Ifølge WMO blir neste normalperiode det skal regnes data for, 1991 til 2020 (WMO, 2017).

2.1.3 Klimaendringer

FN har nedsatt et eget panel som skal undersøke mulige endringer i klimaet på jorden. Panelet kalles FNs klimapanel, og forkortes ofte til IPCC. Ifølge IPCC har gjennomsnittstemperaturen på jorden, sett over ti år, vært varmere tre tiår etter hverandre (IPCC mfl., 2013). Figur 2.1 viser forskjell i temperatur fra gjennomsnittstemperaturen i normalperioden 1951 til 1980. Denne viser en klar trend mot økende temperaturer på jorden.



Figur 2.1: Endringer i temperatur på jorden sammenliknet med normalperioden 1951 til 1980. Fra Hansen mfl. (2006).

Formler og fysiske konsepter brukes til å lage klimamodeller som skal prøve å modulere hvordan klimaet blir i fremtiden. IPCC presenterer blant annet i IPCC mfl. (2013), flere scenarier basert på ulike prediksjoner på klimagassutslipp. Disse er tilpasset (nedskalert) til å kunne modellere endringer i det norske klimaet. Resultater fra disse modelleringene viser blant annet at det blir økt nedbørintensitet og mer av de kraftige nedbørene (Førland mfl., 2015; Hanssen-Bauer mfl., 2015).

Klimafaktor

Klimafaktor er en faktor som multipliseres med dimensjonerende nedbørintensitet. Dette brukes for å gi et nedbør som er anslått til å være realistisk for en tid fremover. Det er flere metoder som kan brukes for å regne ut klimafaktorer, og en rekke parametere spiller inn

(Paus mfl., 2014). Formel 2.2 er en beskrivelse av klimafaktor hentet fra Paus mfl. (2014).

$$K_f(GI, t + \Delta t, T, Z, S) = \frac{I(GI, t + \Delta t, T, Z, S)}{I(GI, t, T, Z, S)} \quad (2.1)$$

Hvor:

K_f = Klimafaktor

GI = Gjentakintervall

t = Nåtid eller referanseperiode

Δt = Varighet på framskrivingsperioden

T = Regnvarighet

Z = Geografisk posisjon

S = Klimascenarioet som er lagt til grunn for framskrivingsperioden

Klimafaktor er altså et forhold mellom nåværende og fremtidig nedbørintensitet. For eksempel vil en klimafaktor på 1.5 tilsa at nedbørintensiteten så mange år som framskrivingsperioden lagt til grunn går frem, vil være 50 % høyere enn ved det tidspunktet dataene for nåværende nedbørintensitet er hentet ut for er.

2.2 Nedbør

Nedbør oppstår når hydrometeorer faller mot bakken. Hydrometeorer er vann i væskeform eller is. Disse dannes ved at dråper og partikler i atmosfæren kolliderer og danner enheter som er store nok til å falle til bakken (Stull, 2017).

2.2.1 Nedbørintensitet

Nedbørintensitet beskriver nedbør utfra en rekke faktorer. Paus mfl. (2014) sier at nedbørintensitet kan beskrives slik:

$$I = I(GI, T, Z, t) \quad (2.2)$$

Hvor:

I = Dimensjonerende nedbørintensitet

GI = Gjentakintervall for nedbørintensiteten (år)

T = Regnvarighet (min.)

Z = Geografisk posisjon

t = Tidsperioden (normalperioden) det er beregnet IVF-data for

Nedbørintensitet oppgis ofte i liter per sekund per hektar eller mm/time. Verdier for dette kan hentes ut fra IVF-data. Nedbørintensiteten kan variere i løpet av en regnhendelse og påvirkes av regnets varighet. Kortere varighet på regnet gir høyere maksimal nedbørintensitet (Førland mfl., 2015).

2.2.2 Konstruerte nedbør

For å bruke nedbørdata i en simulering må det enten brukes data for en ekte nedbørhendelse, eller så må en nedbørhendelse konstrueres. Dette kan konstrueres på flere måter. En mulighet er kasseregner. Da brukes en regnintensitet for en valgt varighet. Intensiteten til denne hendelsen settes så til å være konstant gjennom hele hendelsen. Dette gir et plott som er firkantet. Dette gir kun en realistisk regnintensitet for de områdene av arealet som undersøkes som har samme tilrenningstid som den dimensjonerende varigheten (Ødegaard, 2014). I denne oppgaven er det valgt å bruke et symmetrisk regnhyetogram. Prinsippet er at det ut fra IVF-data regnes ut intensiteter som er økende mot midten av nedbørhendelsen og så synker mot slutten. Intensitetene er symmetriske om midten. Eksempel på dette kan finnes i Vedlegg D.1.

En måte å konstruere symmetrisk regnhyetogram er slik:

- Innhenting av IVF-data som meter vannsøyle.
- Lineær interpolering av dataene.
- Omregning av dataene til millimeter per time for nødvendige regnvarigheter.

Når IVF-dataene er hentet inn, og ved hjelp av lineær interpolering utfylt til å dekke flere regnvarigheter, kan det regnes ut intensiteter. SWMM krever nedbørintensiteter med enhet millimeter per time. Datene regnes om til dette. Det kan brukes valgfritt beregningssteg. IVF-dataene hentes inn som millimeter vannsøyle. Det vil si hvor høy vannsøyle som er regnet ut for en gitt varighet. Intensitet fåes ved å finne ut hvor stor vannsøyle som oppstår per tid. Hvordan intensitetene er regnet ut i denne oppgaven, kan finnes i Kapittel 3 sammen med likningene som brukes. Resultatene fra disse utregningene finnes i Vedlegg B.

Først regnes det ut intensitet for midten. Det tenkes at midtpunktet av hendelsen er tidspunktet halvveis ut i hendelsen. Intensitetene speiles om dette punktet. Det brukes beregningssteg i minutter ut fra dette punktet. Siden intensitetene speiles om midten vil denne intensiteten være dobbelt så lenge som beregningssteget. Det hentes ut en vannsøyle for en varighet lik det dobbelte av beregningssteget. Dette gjelder alle utregningene. For eksempel vil et beregningssteg på fem minutter, bety at den største intensiteten varer i ti minutter. Vannsøylen som er oppgitt i datene for varigheten som tilsvarer varigheten til det dobbelte av beregningssteget, ti minutter i dette eksempelet, blir regnet om til millimeter

per time. Dette blir gjort ved å dele vannsøylen på varigheten i minutter delt på minutter i én time. For å finne intensiteten for neste steg, brukes varigheten som ble regnet for midten (beregningssteget gange to) addert for varigheten med det neste steget. Denne nye varigheten er varigheten til det første trinnet i tillegg til det neste. Denne varigheten vil ha en vannsøyde som representerer nedbøren som falt i første og andre trinn. Siden store deler av denne vannsøyden falt i løpet av det første intervallet, må vannsøyden for det første intervallet trekkes fra vannsøyden for varigheten som inneholder det første intervallet og det neste. For å få intensiteten deles vannsøyden som representerer den nye steget på det dobbelte av beregningssteget delt på minutter i én time. Dette gjentas for alle steg helt til varigheten på vannsøyden det hentes ut data for, er lik hendelsens varighet.

2.2.3 Gjentakintervall

Gjentaksintervall sier hvor ofte det er sannsynlig at en hendelse av en viss størrelse vil opptre. Dette er kun en sannsynlighet, så en hendelse med stort gjentakintervall kan opptre flere ganger innenfor kort tid. For eksempel to 200 års-regn med tre års mellomrom. (Skaaraas, 2015)

Anbefalinger og regelverk for gjentakintervall

For boligområder anbefaler Norsk vann i Lindholm mfl. (2008) at det blir brukt gjentakintervall på 10 år, når det skal dimensjoneres for ledninger. Da skal kun vann fylle ledningene, men ikke gå nevneverdig opp i kum. De anbefaler at når det brukes gjentakintervall på 20 år ikke skal gå vann over kummens høyde. Anbefalingene finnes i Figur 2.1, som er hentet i sin helhet fra Lindholm mfl. (2008). Bærum kommune krever i VA-normen for kommunen (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019) at det brukes 25 års gjentakintervall som dimensjonerende. Det kreves også der at det brukes 1.4 som klimafaktor og IVF-kurven for Blindern i Oslo. IVF-dataene finnes i vedlegg A.

Tabell 2.1: Anbefalte gjentaksintervall for nedbørshendelser. Etter Lindholm mfl. (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 (utkantområder, landbrukskommuner)	1 i løpet av 10
1 i løpet av 10	Boligområder	1 i løpet av 20
1 i løpet av 20	Bysenter/industriområder/ forretnings -strøk	1 i løpet av 30
1 i løpet av 30	Underganger/ områder med meget høyt skadepotensial	1 i løpet av 50

*Ledningsnettene skal bare fylles til topp av rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet.

**Oversvømmelsesnivået skal normalt regnes til et kjellernivå 90 cm over topp av rør i hovedledningsnettene.

2.2.4 IVF-data

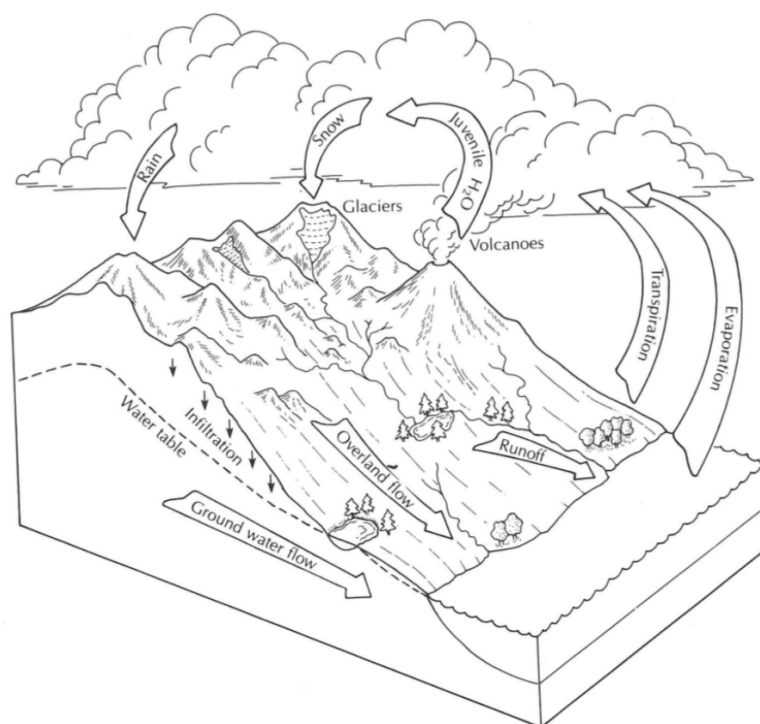
IVF står for intensitet, varighet og frekvens. Dette er sammenhengen mellom maksimal regnintensitet for gitt gjentaksintervall og gitt regnvarighet (Lindholm mfl., 2008). Dataene gjelder kun for målestasjonen den er samlet inn ved. IVF-data kan hentes blant annet fra Norsk klimaservicesenter (Norsk klimaservicesenter, udatert). Regnvarighetene det er beregnet intensitet for i dataene fra Norsk klimaservicesenter varierer fra ett minutt til 24 timer (Førland mfl., 2015). Eksempel på IVF-data kan finnes i vedlegg A. Dette er data hentet fra Blindern målestasjon.

2.3 Hydrologi

Fetter (2001) sier at hydrologi er læren om vann, og at hydrologi ser på forekomsten, utbredelsen, de kjemiske egenskapene og bevegelsene til vann på jorden.

2.3.1 Den hydrologiske syklusen

Hvordan vann transporteres kan beskrives gjennom den hydrologiske syklusen. Figur 2.2 viser en illustrasjon av den hydrologiske syklusen. Kort oppsummert består syklusen av at vann varmes opp av solinnstråling, fordampes, fraktes som skyer, faller ned som nedbør og samles på ulike måter på overflaten, under overflaten og i havene (Hendriks, 2010). Når vannet treffer bakken kan det enten lagres som snø/is eller i groper som innsjøer, renne i bekker og elver, og infiltrere ned i bakken og fraktes som grunnvann.



Figur 2.2: Den hydrologiske syklusen. Fra Fetter (2001).

2.3.2 Hydraulisk konduktivitet

Den franske ingeniøren Henry Darcy fant ut gjennom eksperimenter, at strømningshastighet (m/s) gjennom et medium er proporsjonal med hydraulisk gradient (Harter og Rollins, 2008). Dette kan uttrykkes ved (Fetter, 2001):

$$q = -K * \frac{dh}{dl} = -K * i \quad (2.3)$$

Hvor:

- q = Strømningshastighet gjennom et medium (m/s)
- K = Hydraulisk konduktivitet (m/s)
- dh = Høydeforskjell (m)
- dl = Lengde (m)
- i = Helning

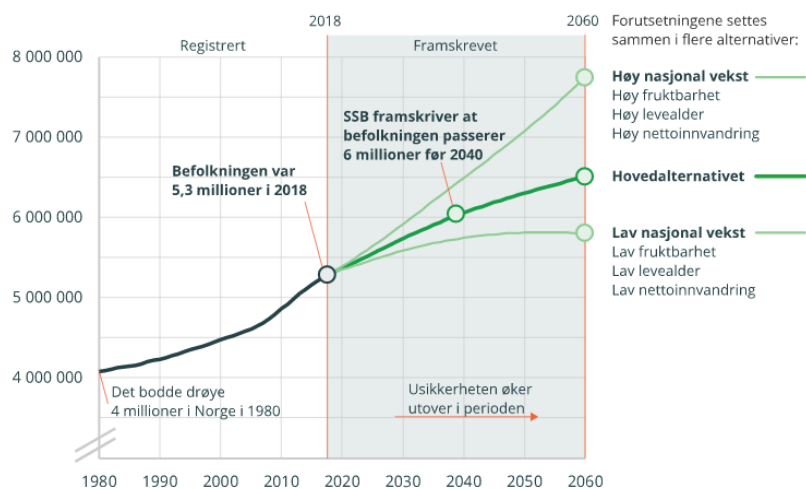
Hydraulisk konduktivitet er beskrevet i læreboken Fetter (2001). Det kan ifølge denne boken sees på som en konstant som er avhengig av både mediet og væsken sine egenskaper. Egenskap ved væsken som er med på å bestemme den hydrauliske konduktiviteten er spesifikk vekt. Spesifikk vekt skrives ofte med γ , og er kraften fra gravitasjonen på en volumenhet av væske (Fetter, 2001). Ulik kornstørrelse, porøsitet og sortering av mediet som væsken strømmer gjennom påvirker konduktiviteten (Fetter, 2001). I tillegg stiger den hydrauliske konduktiviteten til et medium når temperaturen til mediet stiger (Gao og Shao, 2015).

2.4 Urbanisering og urbanhydrologi

Urbanhydrologi er hydrologi anvendt i områder hvor mennesker i stor grad har påvirket naturlige prosesser, som i byer (Niemczynowicz, 1999).

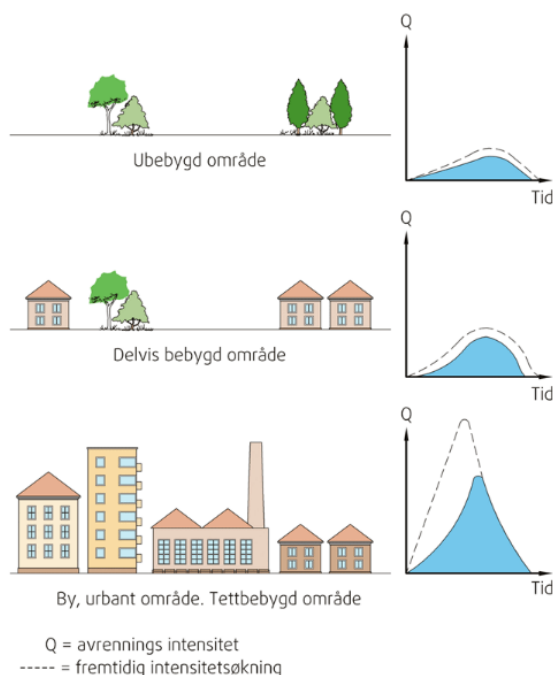
2.4.1 Befolkningsvekst og boligutbygging

SSB (2018) sier at det vil være en befolkningsøkning i Norge i årene som kommer. I tillegg sier SSB (2019) at det ble bygget 280 416 nye boliger i Norge mellom 2009, og 2019 og 33 423 nye boliger mellom 2018 og 2019, med tall oppdatert 12.04.2019.



Figur 2.3: Framskrivning av befolkningsstall i Norge frem til 2060. Fra SSB (2018)

Større befolkning og flere bygninger kan føre til urbanisering og fortetting. Dette kan igjen føre til gjentetting av flater, noe som påvirker overflateavrenningen. Ifølge SINTEF Byggforsk (2012) vil urbane områder kunne oppleve et avrenningsmønster som er mer intensivt enn i mindre bebygde strøk. Figur 2.4 viser typiske avrenningsmønstre ved ulik grad av utbygging. Tette flater gir mindre permeable arealer, noe som gir mindre areal for infiltrasjon og tilbakeholdelse. Ifølge Skaaraas (2015) vil mer avrenning på grunn av urbanisering og bygging over grøntområder, i tillegg til mer nedbør på grunn av global oppvarming, gi økte skader på infrastruktur.

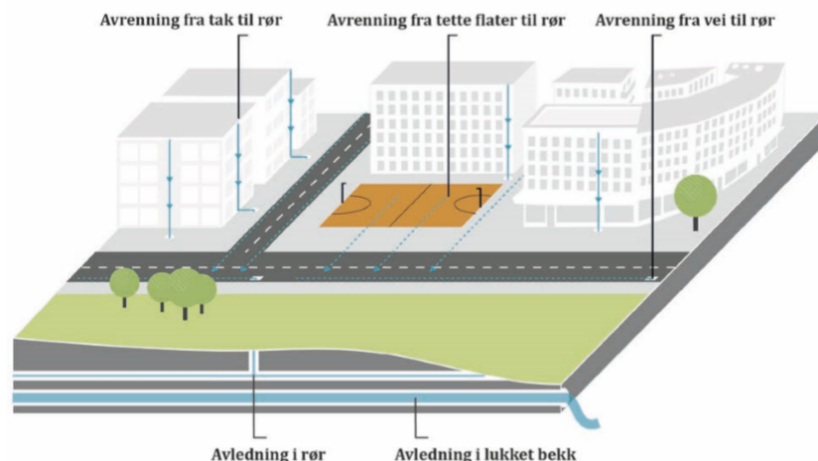


Figur 2.4: Avrenningsmønstre ved ulik type bebyggelse. Fra SINTEF Byggforsk (2012).

2.4.2 Overvannshåndtering og treleddsstrategien

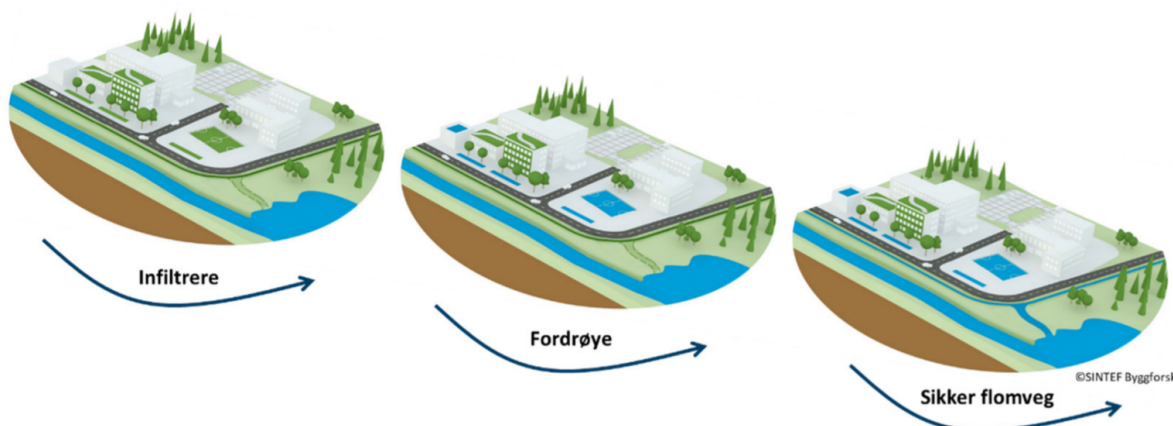
Det forsøkes å begrense skadene fra overvann ved å ta hensyn til dette i prosjektering av utbygging. Ifølge Skaaraas (2015) konstaterte Bergen kommune i sine retningslinjer for overvannshåndtering fra 2005 at bruk av konvensjonelle overvannsløsninger ville gi økt overflateavrenning, og at det skulle legges opp til lokal fordrøyning og infiltrasjon.

Konvensjonelle metoder går ut på å frakte overvannet fra overflaten og ned til et ledningsnett (Skaaraas, 2015). Figur 2.5 viser hvordan en slik håndtering kan fungere. Ifølge Skaaraas (2015) kan Konvensjonell håndtering av overvann gi utfordringer ved nedbørmengder som er større enn det ledningsnettets er dimensjonert for. Da vil kummer kunne bli oversvømt, og vann gå i overløp og havne i vassdrag. I tillegg går mye av overvannet til renseanlegg, hvor det er med på å vanne ut avløpsvannet, og gjør det utfordrende å rense vannet (Skaaraas, 2015).



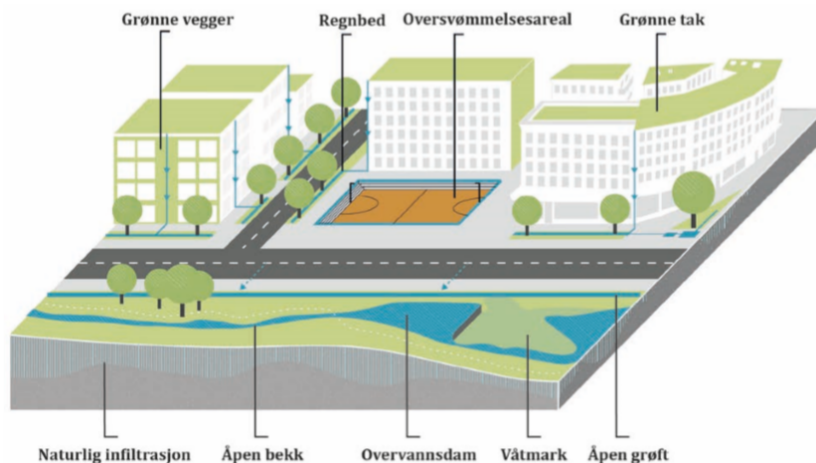
Figur 2.5: Eksempel på konvensjonell håndtering av overvann. Fra Skaaraas (2015).

I Lindholm mfl. (2008) foreslås treleddsstrategien for håndtering av overvann. Den går ut på at små nedbør skal infiltreres lokalt, mellomstore nedbør skal fordrøyes lokalt, og at overvannet ved store nedbør blir fraktet til resipient i trygge flomveier.



Figur 2.6: Illustrasjon av treleddsstrategien. Fra Sivertsen mfl. (2019) etter Lindholm mfl. (2008).

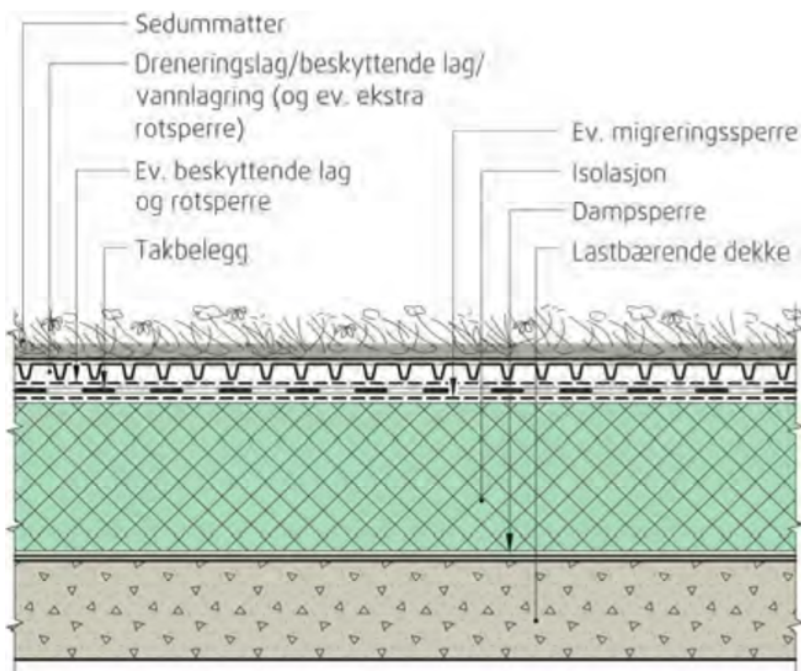
Lokal overvannsdisponering, LOD, kan holde tilbake og/eller infiltrere vann (Lindholm mfl., 2008). På denne måten blir vannet forsinket eller hindret fra å nå ledningsnett. Dette er derfor løsninger som reduserer mengden vann som kommer i ledningsnett (Skaaraas, 2015). Figur 2.7 viser eksempel på LOD-tiltak i urbane områder. I denne oppgaven er det valgt å bruke regnbed og grønne tak. Videre kommer derfor en forklaring på hva disse tiltakene går ut på.



Figur 2.7: Eksempel på LOD-tiltak i urbant område. Fra Skaaraas (2015).

2.4.3 Grønne tak

Grønne tak er tak på bygninger som har planter voksende på seg i et vekstlag, og hvor nedbørvannet holdes tilbake, blir fordampet og brukt til respirasjon hos plantene (Holm, 2013). Ifølge Noreng mfl. (2012) kan grønne tak bestå av lagene: Plantedekke, vekstmedium, geonett, drenerende sjikt, vannlagrende sjikt, beskyttende sjikt, ekstra rotsperre, takmembran, isolasjon, dampsperre og bærekonstruksjon. Disse er illustrert i Figur 2.8.



Figur 2.8: Oppbygning av grønt tak. Fra Noreng mfl. (2012)

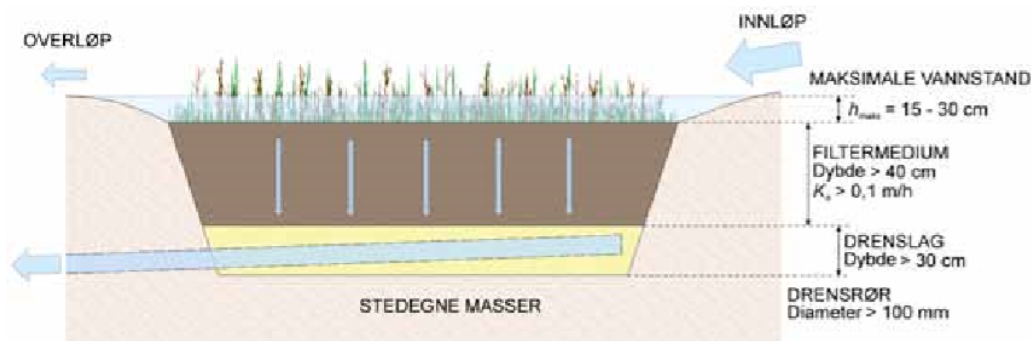
Grønne tak deles ifølge FLL mfl. (2018) og Noreng mfl. (2012) inn i tre kategorier. Noreng

mfl. (2012) sier at overgangen mellom disse kan være flytende. De tre typene er:

- Ekstensive tak: Lette tak med lav oppbygning på rundt 120 mm totalt, og ofte begrodd med sedum, som bergknapp, som kan leveres som ferdige vekstmatter (Noreng mfl., 2012). Et slikt tak krever ofte lite vedlikehold, og plantentene skal tåle lite ettersyn og tøffe vekstforhold (FLL mfl., 2018).
- Semi-intensive tak: Et slikt tak beskrives av Noreng mfl. (2012) som en mellomting mellom ekstensive tak og intensive tak. De er tynnere enn intensive tak og er mellom 130 til 230 mm tykke, og er i noen tilfeller ment for å tåle opphold av mennesker. Typiske vekster på slike tak er gress, trær, busker og stauder (Noreng mfl., 2012).
- Intensive tak: Tunge tak som skal tåle at mennesker oppholder seg på de, og i tillegg kan disse bestå av stauder, busker og trær og ha en tykkelse på mellom 150 og 400 mm på vekstlaget (Noreng mfl., 2012). FLL mfl. (2018) sier at disse kan bestå av planter som stauder, gress, blomsterløk, sommerblomster og busker og med tanke på bruksområder sammenliknes med åpne plasser på bakkenivå. Disse takene krever mye vedlikehold, som vanning og gjødsling (FLL mfl., 2018).

2.4.4 Regnbed

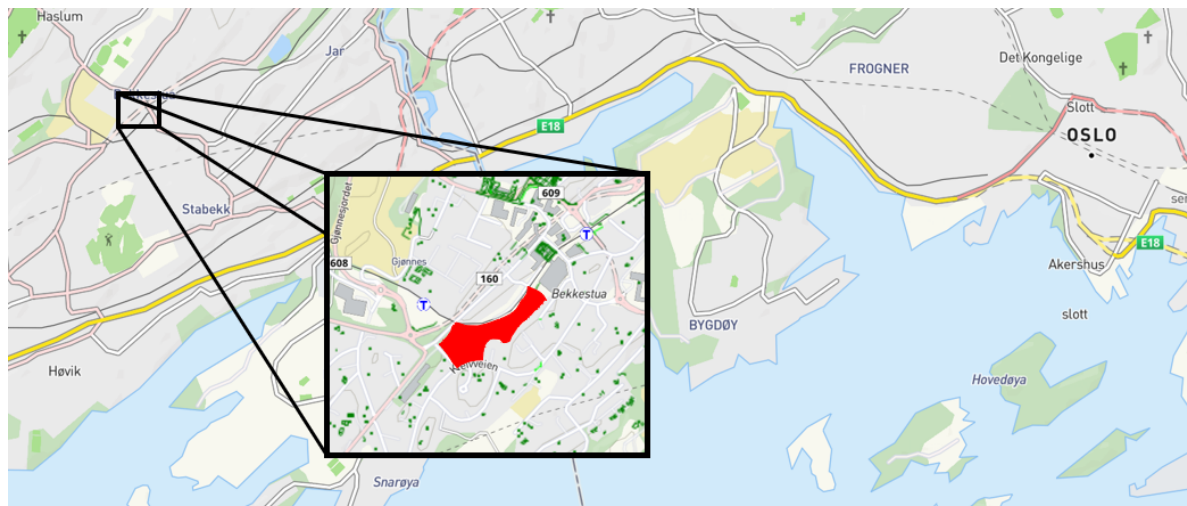
I Paus og Braskerud (2013) beskriver forfatterne regnbed som forsenkinger i terrenget som inneholder et medium for vekst av planter og tilbakeholdelse av vann, i tillegg til et mulig fordrøyningsvolum mellom dette mediet og toppkanten på bedet. Det har ikke permanent vannspeil og er beplantet med flere plantearter (Paus og Braskerud, 2013). Et regnbed kan være drenert, udrenert og ha mulighet for infiltrasjon. En generell oppbygging av regnbed kan være slik: Fordrøyningsvolum mellom topp av vekstlag og topp av kant på regnbedet, vekstlag/filtermedium og drenslag (Paus og Braskerud, 2013). Disse lagene er vist i Figur 2.9.



Figur 2.9: Eksempel på oppbygging av regnbed. Fra Paus og Braskerud (2013).

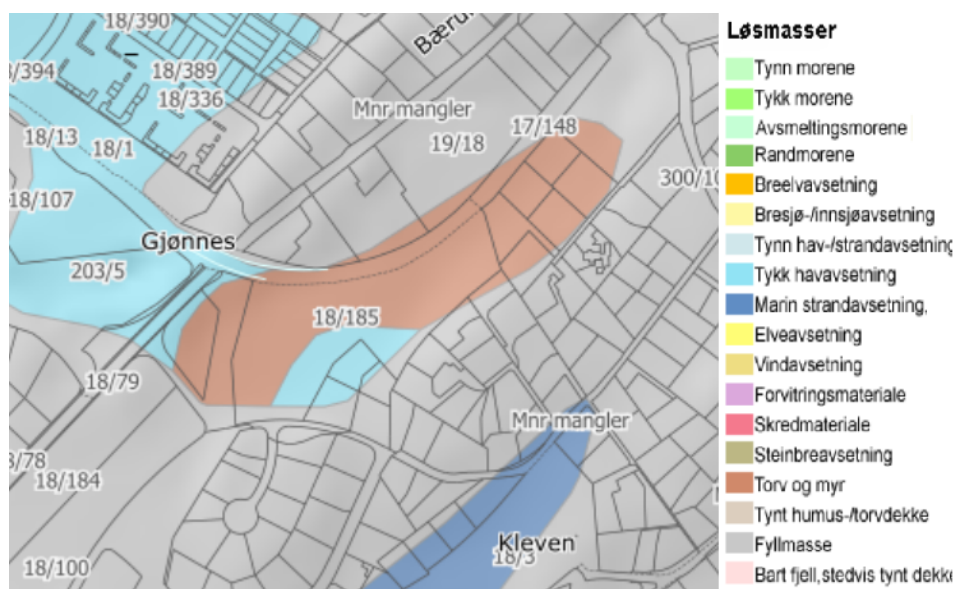
2.5 Prosjektområdet

Prosjektet har fått navnet Bekkestua Sør. Prosjektområdet er plassert ved Gjønnes T-banestasjon, på Bekkestua i Bærum kommune i Akershus fylkeskommune. Det er i dag en gresskledd flate og to bolighus på området.



Figur 2.10: Oversiktskart over plassering av prosjektområdet. S sammensatt av kart fra Norkart (2019).

Som løsmassekart fra NGU viser, er prosjektområdet preget av tykk havavsetning, torv og myr. Tykk havavsetning kan ifølge NGU (2008) indikere silt og leir.



Figur 2.11: Løsmassekart over prosjektområdet. Fra NGU (2017).

Prosjektskisse som finnes i Vedlegg G som Figur G.2 (Grindaker AS Landskapsarkitekter, 2019) viser at det er planlagt en rekke bygninger på prosjekttomten i tillegg til grøntområder og bil- og gangveg.

2.6 Dataprogrammer

En rekke dataprogrammer ble benyttet til oppgaven. Noen programmer var tilgjengelig kostnadsfritt, mens andre behøvde lisens.

2.6.1 Autocad

Autocad er en programvare utviklet av Autodesk. Autocad er et tegne- og designprogram med stort utvalg av funksjoner (Gindis og Kaebisch, 2018). Programvaren er utbredt, og brukes blant annet til å lage digitale tegninger i prosjekteringsarbeid. Programmet kan blant annet åpne filformatet DWG. Tegning av prosjektert terreng og bygninger brukt i denne oppgaven, ble levert i en DWG-fil. Autocad ble brukt til å åpne og lese denne filen. Lisensen som ble brukt, var anskaffet gjennom NMBU sin avtale med Autodesk.

2.6.2 ArcGIS Pro 2.2

ArcGIS er utviklet av Esri. ArcGIS er et GIS-program. Det håndterer kart- og stedsdata. Lisensen ble gitt gratis fra Esri gjennom deres studentambassadør på NMBU.

2.6.3 EPA SWMM

EPA SWMM er utviklet av EPA. Programmet er nøyere beskrevet i kapittel 2.7. SWMM ble lastet ned gratis fra EPA sin nettside.

2.7 EPA SWMM

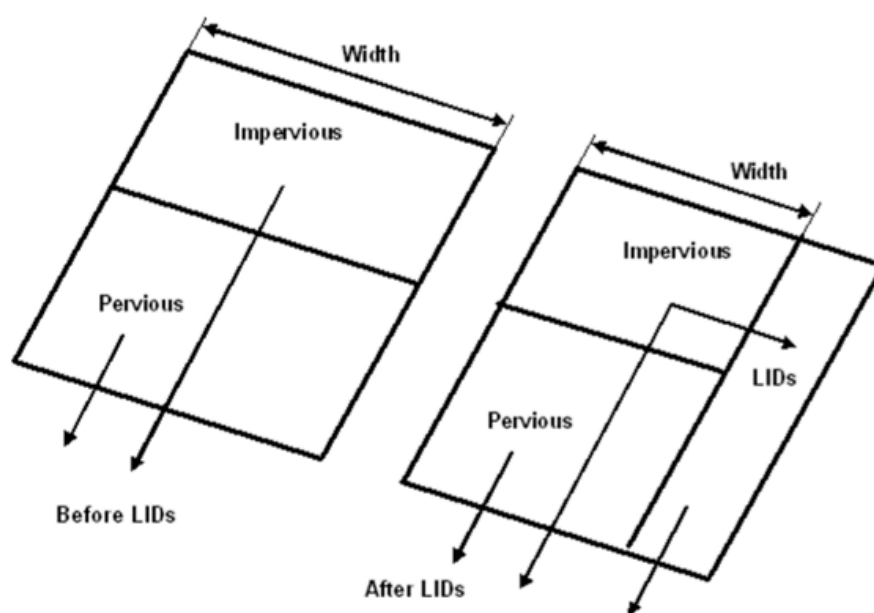
SWMM står for *Storm water management modell* og er utviklet av United States Environmental Protection Agency (US EPA). Programmet ble først utviklet i 1969 til 1971 og oppdateres fortsatt med jevne mellomrom (Rossman og Huber, 2016). SWMM er et dataprogram som simulerer overflateavrenning og rørstrømning. Det er altså et hydrologisk-hydraulisk modelleringsprogram. Programmet bruker nedbørsdata til å simulere nedbør som treffer et nedbørfelt. Avrenningen som oppstår blir kalkulert, og vannet blir så rutet videre. Vannet kan rutes gjennom blant annet enheter som lagrer vannet, ledningsnett eller åpne

kanaler. En SWMM-modell bygges opp av en rekke komponenter. Disse blir beskrevet videre i dette kapittelet.

2.7.1 Width og slope

Delfelt i SWMM har en bredde, kalt *width*. Hvordan denne bredden kan estimeres er beskrevet i Rossman (2015): *Width* estimeres ved å ta arealet til delfeltet og dele det på den hydrauliske lengden til delfeltet. Den hydrauliske lengden er den lengste avstanden vann kan renne fra utkanten av delfeltet og bort til et punkt hvor det havner i en form for kanal. I denne oppgaven vil det si den lengste lengden vannet må strømme før det når et sluk. Flere LOD-tiltak i SWMM har en egen *width*. Denne må taes hensyn til, og trekkes fra delfeltets totale *width*. *Width* er illustrert i figur 2.12. Siden *width* styrer lengden av delfeltet sammen med arealet, påvirker denne tilrenningstiden i delfeltet. Verdien oppgis i meter.

Delfeltets helning er kalt *slope*. Det er gjennomsnittlig helning på delfeltet (Rossman, 2015). Den er i denne oppgaven regnet ved å ta den lengste avstanden vann kan falle i et delfelt og dele på høydeforskjellen mellom start- og slutt punktet til denne lengden. Verdien oppgis i prosent.



Figur 2.12: Illustrasjon av *width* og hvordan vannet routes gjennom delfelt med og uten LOD-tiltak. Fra (Rossman, 2015).

2.7.2 Nedbørmåler



Figur 2.13: Symbol for nedbørmåler i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

En nedbørmåler i SWMM er koblet til et datasett over nedbør, som må legges inn i SWMM. Dette er data for nedbørhendelsen modellen skal bruke. En nedbørmåler er en funksjon som kobler nedbørdata til et nedbørfelt/delfelt. En modell kan ha flere nedbørmålere, og derfor bruke ulike nedbørdata i ulike nedbørfelt. Datasettet består av intensitet i mm/time på et bestemt tidspunkt i en nedbørhendelse. Eksempel finnes i Vedlegg C. Det kan simuleres registrerte eller konstruerte. Et eksempel på et konstruert nedbør er et symmetrisk regnhyetogram.

2.7.3 Delfelt



Figur 2.14: Symbol for nedbørmåler i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

Delfelt kalles i SWMM for *Subcatchment*. Området i en SWMM-modell deles inn i ett eller flere delfelt. Et delfelt kan ha overflate som både er permeabel og upermeabel. Et område som er upermeabelt kan deles inn i område med og uten magasinering i grunnen. Infiltrasjonen i et permeabelt område gjennom den vadose sonen, kan i SWMM simuleres med en rekke modeller. Disse er Horton, Green-Ampt og Curve Number (Rossman, 2015). Et delfelt er koblet til en nedbørmåler. Denne bestemmer hvor mye nedbør som faller på delfeltet og på hvilket tidspunkt.

Det er en rekke av delfeltets egenskaper som må legges inn som parametere i SWMM. Her er de viktigste (Rossman, 2015):

- Navn på tilhørende nedbørmåler.
- Navn på utløp. Dette kan være et annet delfelt eller en node.
- Bruk av arealet. Brukes i beregninger av vannkvalitet.
- Delfeltets areal.

- Bredden på overflatestrømning i delfeltet.
- Hvor stor andel av arealet som er upermeabelt.
- Helningen på delfeltet.
- Manningstallet på overflatestrømning for områder som er permeable og områder som er upermeable.
- Magasinering i permeable og upermeable områder.
- Prosent av delområdet som er upermeabelt som ikke har magasinering.
- LOD-tiltak som er koblet til delfeltet.

Rossmann (2015) sier dette om nedbør som treffer et delfelt: Nedbør som treffer et delfelt i SWMM kan enten infiltrere, bli transpirert og fordampe (evapotranspirasjon) eller renne av på overflaten. Delfeltet blir av SWMM behandlet som et ikke-lineært basseng. Vannet vil renne av på overflaten hvis dybden på vannet i bassenget går over kapasiteten til gropmagasineringen i delfeltet. Denne vannstanden regnes ut numerisk med vannbalanselikning.

På permeable arealer i delfeltet kan det foregå infiltrasjon. I SWMM kan infiltrasjon av nedbør regnes ut på flere ulike måter. Det kan velges mellom disse infiltrasjonsmodellene (Rossmann, 2015):

- Horton
- Modifisert Horton
- Green-Ampt
- Modifisert Green-Ampt
- *Curve Number*

2.7.4 Noder

Noder i SWMM er punkter med ulike egenskaper. Det er tre ulike type noder. Disse er *junction node*, *outfall node* og *flow divider nodes*.

Junction node



Figur 2.15: Symbol for *junction node* i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

Rossman (2015) forklarer *junction node*, eller kryssnode, slik: Det er en node som kan fungere som et sluk for et nedbørfelt, en kum og kobling mellom ulike ledninger. Det kan tilføres en ekstern innstrømning i en *junction node*, for eksempel for å simulere tilrenning fra en ledning som ikke er med i modellen.

De viktigste parameterne som kan legges inn i en *junction node* i SWMM er:

- Innstrømning.
- Høyde over 0-nivå for bunn i noden. Eksempel høyde over havet i bunnen av noden.
- Høyde fra bunnen til toppen av noden.

Outfall node



Figur 2.16: Symbol for *outfall node* i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

En *Outfall node*, eller utløpsnode, blir forklart slik av Rossman (2015): De fungerer som et utløp for en ledning. Kun én ledning kan kobles til denne type node. Vann fra utløpet kan rutes ut på et delfelt.

De viktigste parameterne som kan legges inn i en *outfall node* i SWMM er:

- Innstrømning.
- Høyde over 0-nivå for bunn i noden. Eksempel høyde over havet i bunnen av noden.
- Bruk av tilbakeslagsventil.
- Delfelt som utløpsvannet eventuelt føres til.

Flow divider nodes



Figur 2.17: Symbol for *flow divider nodes* i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

Flow divider nodes, eller strømningsdelere, forklares slik av Rossman (2015). Det er noder som deler opp strømmingen til ulike ledninger. Strømmingen inn i en gitt ledning kan styres til ønsket mengde.

2.7.5 Ledninger



Figur 2.18: Symbol for *conduit* i SWMM. Fra (Rossman, 2015).

Ledninger blir i SWMM kalt *conduits*. De blir forklart slik i Rossman (2015): Dette er enheter som transporterer vann, enten i åpne kanaler eller ledninger. Tverrsnittet på disse kan ha ulik form. Eksempler er trapesformede kanaler og sirkulære ledninger. Lengden kan legges inn, men også måles automatisk av SWMM.

De viktigste parameterne som kan legges inn i en *conduit* i SWMM er:

- Form.
- Diameter.
- Lengde.
- Ruhet.

For ledninger som ikke er fylt opp og ikke under trykk, bruker SWMM Mannings formel (Rossman, 2015). Mannings formel blir brukt til å beskrive sammenhengen mellom volumstrømmen (Q), hydraulisk radius (R), tverrsnittarealet (A) og helningen (S). I tillegg brukes manningstallet (n) som beskriver overflateruhet. Mannings formel beskrevet i Hendriks (2010), og skrevet om til å bli løst med hensyn på Q , er slik:

$$Q = \frac{1}{n} * A * R^{\frac{2}{3}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (2.4)$$

Hvor:

Q = Volumstrøm (l/s)

n = Manningstallet

A = Tverrsnittareal (m²)

R = Hydraulisk radius (m)

S = Helning

I Norge kan manningstallet forekomme som bokstaven M , hvor:

$$n = \frac{1}{M} \quad (2.5)$$

For ledninger som er under trykk, bruker SWMM enten Darcy-Weisbachs formel eller Hazen-Williams formel. Darcy-Weisbachs formel som beskrevet i Rossman (2015):

$$Q = \sqrt{\frac{8g}{f}} * A * R^{\frac{1}{2}} * S^{\frac{1}{2}} \quad (2.6)$$

Hvor:

Q = Volumstrøm (l/s)

g = Tyngdeakselerasjonen (9.81 m/s²)

f = Darcy-Weisbachs friksjonsfaktor

A = Tverrsnittareal (m²)

R = Hydraulisk radius (m)

S = Helning

Hazen-Williams formel som beskrevet i Rossman (2015) og med SI-enheter i Finnemore og Franzini (2009):

$$Q = 0.849C * A * R^{0.63} * S^{0.54} \quad (2.7)$$

Hvor:

Q = Volumstrøm (l/s)

C = Hazen-Williams faktor

A = Tverrsnittareal (m²)

R = Hydraulisk radius (m)

S = Helning

Routing av vann i ledninger i SWMM er regnet ved St. Venants likninger. Dette er likninger for massebevaring (kontinuitetslikningen) og bevaring av bevegelsesmengde (bevegelseslikningen) med tidsberegninger for gradvis varierende strømming. Det er tre valg for hvordan disse likningene skal regnes ut (Rossman, 2015):

- *Steady flow routing.*

- *Kinematic wave routing.*
- *Dynamic wave routing.*

Steady flow routing er den minst nøyaktige og *Dynamic wave routing* er mest nøyaktig (Rossman, 2015).

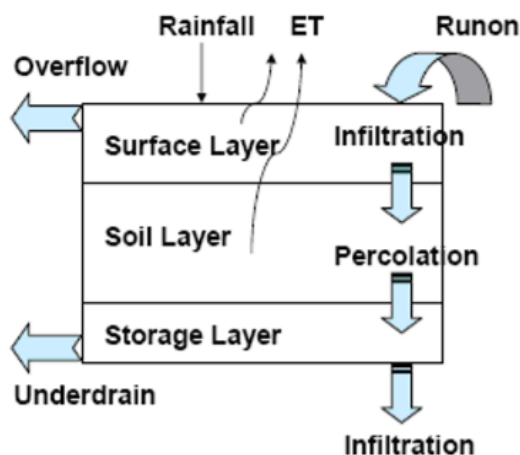
Det er i denne oppgaven brukt *Dynamic wave routing*. Denne metoden løser éndimensjonale St. Venants-likninger. I ledninger består disse likningene av kontinuitets- og bevegelseslikningen og for noder en volum-kontinuitetslikning. Med denne metoden skjer oversvømming i en node når vannsøylen i noden overstiger nodens høyde (Rossman, 2015).

2.7.6 LOD-tiltak

I SWMM kalles LOD-tiltak for LID. SWMM har mulighet til å simulere disse LOD-tiltakene:

- Regnbed med magasin (*bio retention cell*).
- Regnbed uten magasin (*rain garden*).
- Grønne tak (*green roof*).
- Infiltrasjonsgrøft (*infiltration trench*).
- Permeabel asfalt (*permeable pavement*).
- Regntønne (*rain barrel*).
- Avkobling av taknedløp (*rooftop disconnection*).
- Swale (*vegetative swale*).

I denne oppgaven er det valgt å bruke grønne tak og regnbed uten magasin. Videre vil disse bli forklart mer inngående. Figur 2.19 viser hvordan vann beveger seg inn i, gjennom og ut av LOD-tiltak i SWMM. Dette er en illustrasjon som viser alle mulighetene for strømning i et LOD-tiltak, og ulike typer LOD-tiltak vil ha ulike variasjoner av disse mulighetene.

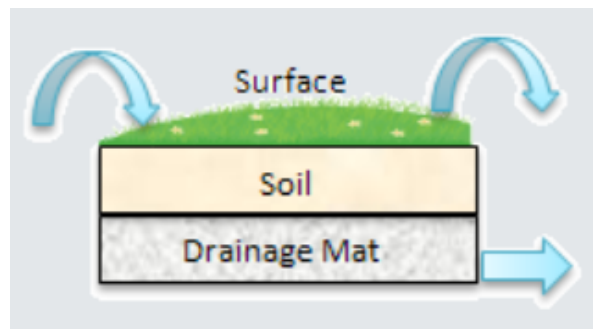


Figur 2.19: Strømning av vann gjennom LOD-tiltak i SWMM. Fra Rossman (2015).

I fanen *LID controls* i SWMM, kan det legges inn LOD-tiltak og deres parameterverdier. Disse parameterverdiene er beskrevet i underkapitlene som spesifikt omhandler grønt tak og regnbed i SWMM. For å legge et LOD-tiltak inn i SWMM, lages det et eget delfelt til tiltaket, eller så legges tiltaket til i eksisterende delfelt. Ved å lage eget delfelt til LOD-tiltak er det mulig å route vannet gjennom disse i serie. I denne oppgaven er LOD-tiltakene lagt inn i eksisterende delfelt. Ved å gjøre dette blir tiltak som ligger i samme delfelt liggende i parallell. Se Figur 2.12 for illustrasjon av hvordan LOD-tiltak legger seg inn i et delfelt. Ved innleggelse av tiltaket velges det blant forhåndsdefinerte, unike LOD-tiltak. Dette gjør det mulig å ha ulike variasjoner av én type LOD-tiltak. For eksempel regnbed med ulike tykkelser eller vekstmedium. Det kan legges flere LOD-tiltak inn i ett delfelt. I hvert delfelt velges hvilke forhåndsdefinerte LOD-tiltak som skal legges inn, sammen med disse parameterne:

- Arealet hver enhet av tiltaket opptar (m^2).
- Antall enheter.
- *Surface Width* (m).
- Prosent av tiltaket som er mettet ved start.
- Andel av delfeltets upermeable arealer som blir behandlet av tiltaket i prosent.
- Andel av delfeltets permeable arealer som blir behandlet av tiltaket i prosent.
- Eventuelt delfelt dremsvann skal overføres til.
- Om utløpsvannet skal overføres til permeabelt areal i delfeltet.

Grønne tak i SWMM



Figur 2.20: Illustrasjon av *green roof*. Fra EPA (2018)

Figur 2.20 viser hvilke lag grønne tak består av, og hvilke muligheter vann har for å bevege seg inn og ut av disse. Grønne tak kalles i SWMM for *green roof* og er beskrevet inngående i Rossman og Huber (2016): Det består av tre lag; en overflate, et underliggende jordlag/vekstlag og et drensag i bunnen. Det fanger kun opp nedbør som treffer på det grønne takets areal. Det er en rekke variabler som bestemmer et grønt tak sine egenskaper i SWMM (Rossman og Huber, 2016):

- Kanthøyde (*berm height*). Høyde fra jordlaget/vekstlaget til toppen av kanten til taket/høyden på sluket.
- Andel av overflatevolumet som er vegetasjon (*Vegetation volume fraction*).
- Overflateruhet (*Surface roughness*).
- Overflatehelning (*Surface slope*).
- Tykkelse på jordlaget/vekstlaget (*Thickness*).
- Porøsiteten til jorden (*Porosity*).
- Feltekapasiteten til jordlaget/vekstlaget (*Field capacity*). Mengden vann som holdes igjen av jorden etter at den er drenert.
- Visningspunkt (*Wilting point*). Andelen vann i jordlaget/vekstlaget som ikke er høy nok til at planter kan hente ut nødvendig mengde vann.
- Hydraulisk konduktivitet (*Conductivity*).
- Konduktivitetshelning (*Conductivity slope*). Helningen til kurven over logaritmen til hydraulisk konduktivitet mot andelen vann i jorden. Kan estimeres med $0.48 * (\%sand) + 0.85 * (\%leir)$.
- Kapillærhøyden (*Suction head*). Gjennomsnittlige kapillære sugeshøyden til jorden.

- Tykkelse på dreneringsmatten (*Thickness*).
- Andel hulrom i dreneringsmatten (*Void fraction*).
- Ruheten til dreneringsmatten (*Roughness*).

Hvilke enhet parameterne i listen over har, og hvilke parameterverdier som er valgt for disse i denne oppgaven, finnes i Tabell 3.3. Disse parameterverdiene forteller SWMM hvilke egenskaper det gitte grønne taket har.

Det er tre likninger som beskriver vannmengden i de ulike lagene i et grønt tak i SWMM, og ifølge Rossman og Huber (2016) er disse Likningene 2.8 for overflatelaget, Likning 2.9 for jordlaget/vekstlaget og Likning 2.10 for dreneringsmatten:

$$\phi_1 \frac{\delta d_1}{\delta t} = i - e_1 - f_1 - q_1 \quad (2.8)$$

$$D_2 \frac{\delta \theta_2}{\delta t} = f_1 - e_2 - f_2 \quad (2.9)$$

$$\phi_3 \frac{\delta d_3}{\delta t} = f_2 - e_3 - q_3 \quad (2.10)$$

Hvor:

ϕ_1 = Andel av volum over overflatenivå som inneholder vegetasjon

d_1 = Vanndybde til vann lagret på overflaten (m)

t = Tid

i = Nedbørsraten som faller rett på overflaten (m/s)

e_1 = Evapotranspirasjonsrate ved overflaten (m/s)

f_1 = Infiltrasjonsraten til overflatevann til jordlaget (m/s)

q_1 = Avrenning fra overflaten (m/s)

D_2 = Tykkelse på jordlaget (m)

θ_2 = Vanninnhold i jordlaget (Volum vann/Totalt volum av jord)

e_2 = Evapotranspirasjonsraten til jordlaget (m/s)

f_2 = Perkulasjonsraten fra jordlaget til lag med lagring (m/s)

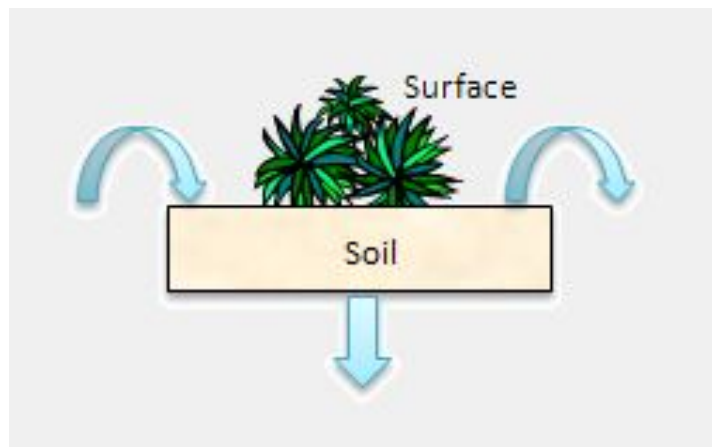
θ_3 = Andel tomrom i lagrings-/dreneringslag

d_3 = Vanndybde i lagrings-/dreneringslag (m)

e_3 = Evapotranspirasjonsraten til lagrings-/dreneringslag (m/s)

q_3 = Utløpsstrømning fra lagrings-/dreneringslag (m/s)

Regnbed uten magasin



Figur 2.21: Illustrasjon av *rain garden*. Fra EPA (2018)

Regnbed uten magasin kalles i SWMM for *rain garden* og er beskrevet inngående i Rossman og Huber (2016): Det består av to lag; en overflate og et underliggende jordlag. Det er en rekke variabler som bestemmer regnbedets egenskaper i SWMM. Regnbed og grønne tak har de samme parameterne for overflaten og jordlaget/vekstlaget, men regnbed har parametere for lagring der grønne tak har parametere for dreneringsmatte. Parameterne for lagring er:

- Tykkelse på lagringsvolumet (*Thickness*).
- Andel tomrom (*Void ratio*).
- Gjennomstrømningsrate (*Seepage rate*).
- Faktor for gjentetting (*Clogging factor*).

Hvilke enhet disse har og hvilke parameterverdier som er valgt finnes i Tabell 3.4.

Det er to likninger som styrer endring i vanninnhold i regnbed. Likning 2.11 beskriver overflaten, mens Likning 2.12 beskriver jordlaget (Rossman og Huber, 2016):

$$\phi_1 \frac{\delta d_1}{\delta t} = i + q_0 - e_1 - f_1 - q_1 \quad (2.11)$$

$$D_2 \frac{\delta \theta_2}{\delta t} = f_1 - e_2 - f_2 \quad (2.12)$$

Hvor:

ϕ_1 = Andel av volum over overflatenivå som inneholder vegetasjon

d_1 = Vanndybde til vann lagret på overflaten (m)

t = Tid

i = Nedbørsraten som faller rett på overflaten (m/s)

q_0 = Strømning til overflaten som kommer fra andre delfelt (m/s)

e_1 = Evapotranspirasjonsrate ved overflaten (m/s)

f_1 = Infiltrasjonsraten til overflatevann til jordlaget (m/s)

q_1 = Avrenning fra overflaten (m/s)

D_2 = Tykkelse på jordlaget (m)

θ_2 = Vanninnhold i jordlaget (Volum vann/Totalt volum av jord)

e_2 = Evapotranspirasjonsraten til jordlaget (m/s)

f_2 = Perkulasjonsraten fra jordlaget til lag med lagring (m/s)

3. Metode

Dette kapitlet omhandler metodikken bak det praktiske arbeidet med oppgaven. Dette arbeidet består av oppbygning av datamodell og hente ut data fra kjøring av disse, samt å bruke dataene til og sammenlikne effekt av LOD-tiltak og kostnaden av disse. I tillegg er sensitiviteten til noen av parameterne i modellen undersøkt.

3.1 Oppbygging av modellene i SWMM

Store deler av tiden som er brukt på oppgaven gikk ut på å bygge modeller i SWMM. Modellene bygger på en prosjektskisse med et forslag til prosjektering av tomten. De bygger også på prosjektering gjort av forfatter på bakgrunn av hva som virker hensiktsmessig og data fra kilder. Arbeidet med oppbygging av modellene kan deles inn i fire:

- Opprettelse av bakgrunnskart og innleggelse av dette i SWMM.
- Bearbeide nedbørdata og legge dette, samt nedbørmåler, noder, ledninger og delfelt, inn i SWMM.
- Legge inn parameterverdier i SWMM for noder, ledninger og delfelt.
- Legge inn LOD-tiltak og parameterverdier for disse i SWMM.

Til sammen ble det bygget fire modeller i SWMM. Disse ble nummerert med romerske bokstaver fra I til IV. Én modell, Modell I, inneholder delfelt, ledningsnett og kummer. De resterende tre bygger på Modell I, men inneholder i tillegg ulike variasjoner av LOD-tiltak. Modell I er tenkt å simulere konvensjonell håndtering av overvann, mens de resterende modellene i tillegg simulerer håndtering med LOD-tiltak. Ruheten i ledningsnettet ble satt til 0.013 for å simulere et betongrør (Engineering_Toolbox, 2004). Tabell 3.1 gir en oversikt over hvilke overvannstiltak hver av modellene inneholder. Modell II inneholder grønne tak, Modell III inneholder regnbed og Modell IV inneholder tiltakene i Modell II og III samlet i én modell. I Modell IV er ikke tiltakenes totale areal endret fra Modell II og III. Det er altså like mange kvadratmeter grønne tak i Modell II og IV og like mange kvadratmeter regnbed i Modell III og IV.

Tabell 3.1: Modellene og deres innlagte tiltak for overvannshåndtering.

Navn på modell	Overvannsledninger og sluk	Grønne tak	Regnbed
Modell I	Ja	Nei	Nei
Modell II	Ja	Ja	Nei
Modell III	Ja	Nei	Ja
Modell IV	Ja	Ja	Ja

3.1.1 Bakgrunnskart

For å kunne legge inn elementer i SWMM slik at de ble mest mulig realistisk fremstilt i modellene, ble det laget et bakgrunnskart. ArcGIS PRO 2.3 ble brukt til å lage dette bakgrunnskartet. Dette kartet inneholdt ingen høydedata. Dette var altså ikke en terrengmodell. Det fungerte som et bakgrunnsbilde. EPA SWMM har ikke mulighet til å hente inn kart med posisjonsdata, men dette er mulig å hente ut av ArcGIS og brukes i for eksempel PCSWMM, som er en modifisert utgave av EPA SWMM.

Grunnlagskartet som ble brukt, var et kart over eksisterende boliger og veier. Dette kartet lå liggende inne som standard i ArcGIS PRO. Data fra prosjektskissen i Vedlegg G som Figur G.2, ble lastet inn i ArcGIS. Dette er en DWG-fil. Det ble så valgt ut relevante datalag. Disse datalagene var omriss av bygninger og veier. Da landskapsarkitektene og arkitektene har brukt reelle koordinater, la datalagene fra DWG-filen seg riktig inn i kartet. Bakgrunnskartet ligger som Vedlegg G og Figur G.1.

Det konstruerte bakgrunnskartet ble lastet inn i SWMM ved å bruke funksjonen som heter *backdrop*. For at SWMM og bakgrunnskartet skulle ha lik målestokk, ble kartet kalibrert. Dette ble gjort ved å finne koordinatene til nedre venstre hjørne og øvre høyre hjørne i kartet i ArcGIS, og legge de inn i SWMM. Se kapittel 5.2.1 for feilkilde vedrørende bakgrunnskartet. Kalibreringen gjør at SWMM måler riktige lengder og arealer for elementer som bruker dette.

3.1.2 Nedbørdata brukt i SWMM

Nedbørdataene er en viktig del av moduleringen. Det er disse som bestemmer hvor mye vann som kommer inn i modellen, og hvordan dette fordeler seg over tid. SWMM bruker tidspunkt og korresponderende nedbørintensitet for å lage en nedbørhendelse. Som nevnt i Kapittel 2.2, er det flere måter å bruke nedbørdata, og konstruere en nedbørhendelse på.

Konstruksjon av nedbørhendelsene

Det er konstruert to nedbørhendelser som er brukt til dimensjonering av ledningsnett i SWMM og simulering av avrenning og strømming i ledningsnett. Den ene nedbørhendelsen har et gjentaksintervall på 10 år, etter norsk vann sin anbefaling (Lindholm mfl., 2008), og den andre et gjentaksintervall på 25 år, etter Bærum kommune sine krav (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019). Begge regnhendelsene har klimafaktor 1.4 og dataene er, etter krav fra Bærum kommune, hentet for Blindern (Norsk klimaservicesenter, udatert) og ligger i vedlegg A.

For at nedbørhendelsene skulle bli realistiske ble de konstruert som symmetriske regnyetogrammer. Symmetrisk hyetogram er i følge Lindholm mfl. (2008), godt egnet til dette. Disse finnes i Vedlegg D som Figur D.3 og Figur D.4. De utregnede dataene for nedbørintensitet som ble brukt til å plote hyetogrammene finnes i Vedlegg B som Tabell B.1 og Tabell B.2. Det ble brukt to minutter som beregningssteg. Siden dataene oppgitt for Blindern (Norsk klimaservicesenter, udatert) ikke gir verdier for alle regnvarigheter, ble det brukt lineær interpolering for å anslå verdier for alle aktuelle regvarigheter. Nedbørhendelsene varer i 60 minutter. Det ble først beregnet intensitet for sentrum. Da beregningssteget er på to minutter, og intensitetene spesiles om midten, varer dette steget i fire minutter og intensiteten regnes slik:

$$I_{28-32} = \frac{S_{28-32}}{\Delta t} = \frac{12.24mm}{\frac{4min}{60min/time}} = 183.6mm/time \quad (3.1)$$

Hvor:

I_{28-32} = Nedbørintensitet for hendelsen mellom 28. og 32. minutt (mm/time).

S_{28-32} = Vannsøyle for hendelsen mellom 28. og 32. minutt (mm).

Δt = Regnvarighet (timer).

Neste trinn ble regnet ut ved å se på hvor lenge dette trinnet pluss forrige trinn varte, og finne vannsøylen til denne varigheten. Siden det kun er ønskelig å finne vannsøylen til det nye trinnet, trekkes vannsøylen til forrige trinn fra vannsøylen til det sammenlagte trinnet. Det regnes slik:

$$I_{26-28} = I_{32-34} = \frac{S_{26-34} - S_{28-32}}{\Delta t} = \frac{18.87 - 12.24mm}{\frac{4min}{60min/time}} = 99.58mm/time \quad (3.2)$$

Hvor:

I_{26-28} = Nedbørintensitet for hendelsen mellom 26. og 38. minutt (mm/time).

I_{32-34} = Nedbørintensitet for hendelsen mellom 32. og 34. minutt (mm/time).

S_{26-34} = Vannsøyle for hendelsen mellom 26. og 34. minutt (mm). Regnvarighet på 8 minutter.

S_{28-32} = Vannsøyle for hendelsen mellom 28. og 32. minutt (mm).

Δ_t = Regnvarighet (timer).

De resterende trinnene regnes på samme måte. Det ble brukt samme metode for å regne på hendelsen med 10 års gjentaksintervall og klimafaktor 1.4. Resultatene fra Tabell B.1 og Tabell B.2 ble speilet om den høyeste verdien for å danne data som kan plottes som hyetogram og for å kunne legges inn i SWMM. Disse dataene finnes i Vedlegg C. SWMM tolket disse dataene, og i vedlegg D ligger grafene over de to nedbørhendelsene, hentet direkte fra SWMM. SWMM tolker dataene slik at det blir en lineær overgang mellom intensitetene. Etter at dataene var lagt inn i SWMM, kunne de kobles til en nedbørmåler.

3.1.3 Elementer i SWMM brukt i modellene

SWMM-modellene i denne oppgaven er bygget opp av nedbørmåler, delfelt, ledningsnett, noder og LOD-tiltak. Dette ble prosjektert etter hva som virket hensiktsmessig og etter krav i Bærum kommune sin VA-norm. (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019).

Nedbørmåler

Nedbørmåleren ble koblet til datasettene over nedbørhendelsene som skulle simuleres. Nedbørmåleren ble koblet til hvert delfelt, da det var ønskelig at alle delfeltene skulle få den samme nedbørmengden. Dette fordi prosjektområdet var relativt lite.

Noder og ledninger

Det er brukt to ulike noder i SWMM-modellene, *junction node* og *outlet node*. *Junction*-nodene er brukt som sluk. De er plassert i punkter hvor det kan virke hensiktsmessig å ha sluk. Slike punkter er kryss hvor flere veier møtes og andre punkter det er naturlig å ville lede bort vann. Det er forsøkt å ta hensyn til helning, slik at vann naturlig vil kunne ha fall mot punktene.

Ledningenes dybde under bakken ble bestemt i nodene. Det er to høyder som ble lagt inn. Disse er høyden over havet eller høyden over et annet nullpunkt i bunnen av noden, og avstanden fra toppen av noden til bunnen. Disse kalles i SWMM for henholdsvis *invert elevation* og *max. depth*. Til sammen utgjør de bakkenivå til punktet noden er plassert i. Hver ledning skal ha minst 1.8 meter overdekning (NBI og GLAVA AS, udatert). En node som er tilknyttet en ledning med diameter 200 mm vil da måtte ha *max. depth* på 2 meter for å møte

dette kravet. Alle dybder lagt inn for nodene, utenom utløpsnoden, kan finnes i Vedlegg E. De ble bestemt ved å se på høyder i prosjektskissen. Da skissen ikke inneholder tilstrekkelig med høydedata, ble noen høyder estimert ved å se på nærliggende høyder. Ledningsdimensjonene ble funnet ved å kjøre nedbørhendelsene på ti og 25 års gjentaksintervall. Ledningene ble dimensjonert etter anbefalinger i Lindholm mfl. (2008) og krav fra Bærum kommune (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019). Dette innebar at vannet gikk maksimalt til toppen av rørene ved tiårs-hendelsen. Det ble deretter undersøkt at kummene ikke ble oversvømt ved 25 års-hendelsen.

Utløpsnoden ble plassert omtrent der den eksisterende kommunale overvannledningen gikk. Det ble ikke tatt hensyn til dybden på denne, da det er sannsynlig at det vil bli nødvendig å gjøre endringer på overvannsnettet i sammenheng med utbygningen. Overvannsledninger ble lagt mellom nodene, og består av et nettverk som leder overvannet til utløpsnoden. Når vannet når utløpsnoden, går det ut av modellen. Lengden på ledningene ble automatisk målt inn av SWMM.

Kart med plasseringen av noder og ledninger i SWMM-modellene finnes i Vedlegg G som Figur G.4.

Delfelt

Prosjektområdet ble delt opp i 27 delfelt. Før delfeltene ble delt inn, ble slukene og ledningsnettet plassert. Hvert sluk fikk sitt eget delfelt, slik at all avrenningen fra et delfelt ble ledet til et sluk. For å avgrense delfeltet ble faktorer som helning og plassering av bygninger og grøntområder vurdert. Da det var lite høydedata tilgjengelig om tomten i prosjektskissen, måtte en del høyder anslås. Flere av de store takene ble delt i to delfelt, og flere av de større grøntområdene fikk eget delfelt. *Width* og *slope* ble regnet ut slik det er beskrevet i Kapittel 2.7.1.

Da det var utfordrende og veldig tidkrevende å måle arealer nøyaktig i SWMM, ble noen av arealene estimert. Takarealene ble målt inn i SWMM. Det ble etter beste evne prøvd å estimere hvor store andeler av det resterende arealet som var permeabelt og hva som ikke var det.

3.1.4 Oppbygging av LOD-tiltakene

Det ble valgt to LOD-tiltak som ble simulert i SWMM. Disse var et grønne tak og et regnbed. Begge LOD-tiltakene ble prosjektert for denne oppgaven, og er forslag til hvordan LOD-tiltakene kan gjennomføres i praksis. Tabell 3.2 viser hvor mange kvadratmeter som hvert

av tiltakene har i utbredelse. Parameterverdiene som er brukt for å simulere LOD-tiltakene er hentet fra en rekke kilder. Det er blant annet brukt verdier hentet fra forsøk gjort av Braskerud i Braskerud mfl. (2013) og Braskerud (2014). Disse verdiene er lagt inn i tabell 3.3 og 3.4.

Tabell 3.2: LOD-tiltakenes utbredelse.

Tiltak	Areal (m²)
Grønne tak	9300
Regnbed	2106
Kombinert	11406
Hele tomten	33700

Grønne tak

Det grønne taket brukt i SWMM-modellen, ble konstruert ved å bruke parameterverdier for grønne tak hentet fra en rekke kilder, og forsøk gjort av Braskerud (2014). EPA har lagt inn standardverdier i SWMM, og noen av disse er beholdt. Verdiene og hvor de er hentet finnes i Tabell 3.3.

Grønne tak ble lagt inn i eksisterende delfelt som inneholdt hustak. De er tenkt å dekke de eksisterende takene helt. Det er gjort noen antakelser angående takene. Disse finnes i Kapittel 5.2.3. De grønne takene tar kun opp nedbør som lander direkte på de. Parameteren hydraulisk bredde, eller *width* i SWMM, måtte justeres for delfelt med grønne tak. Dette fordi de tar opp noe av nedbørfeltet de er plassert i sin *width*. Det grønne taket sin *width* ble justert til å være hele feltet sin *width* ganget med en faktor som var andelen av delfeltets areal som det grønne taket opptok. Delfeltets *width* ble så justert ned tilsvarende det grønne taket sin *width*. Altså ville et grønne tak som opptok 10 % av et felt på 100 m² og med en *width* på 20 m, fått en *width* på 2 m. Dette tenkte delfeltets nye *width* ble da 18 m. I Modell II ble vannet rutet direkte til utløpet fra det grønne taket. I Modell IV ble vannet rutet videre til permeabelt området. Dette simulerer at regnbedene tar imot vann fra takene.

Mange av parameterne er hentet fra Rossman (2015) og Rossman og Huber (2016), som er manualen og referansemanualen til EPA SWMM. Rossman og Huber (2016) henviser til typiske verdier, hentet blant annet fra litteraturstudie gjort av Perelli (2014). Parameterverdiene som ble hentet fra andre kilder var *berm height*, overflateruhet og -helning på overlaten, hydraulisk konduktivitet og *conductivity slope* for vekstlaget og tykkelse, andel tomrom og ruhet for dreneringslaget. *Berm height* ble satt til 50 mm for at det skal være et fordrøyningsvolum over vekstlaget. Verdi for overflateruhet ble hentet fra Chin (2013). Her ble det valgt verdi for spredt vegetasjon/gress. Overflatehelningen ble hentet fra NS 3840-2015 (Standard Norge, 2015). Dette er minimumshelningen som er satt for overflaten av flate tak.

Den hydrauliske konduktiviteten til jordlaget ble hentet fra Lappala (1978). Det er hentet verdi for fin sand til fin grus. *Conductivity slope* er regnet med formelen (Rossman og Huber, 2016):

$$\xi = 0.48 * \Phi_s + 0.85 * \Phi_l \quad (3.3)$$

Hvor:

ξ = *Conductivity slope*

Φ_s = Prosent andel sand i vekstmediet

Φ_l = Prosent andel leire i vekstmediet

Φ_s og Φ_l ble hentet fra en analyse gjort av Braskerud (2014). Dette vekstmediet var kategorisert som "sandjord" og inneholdt 1 % leir, 6 % silt og 93 % sand. Silt er medberegnet i leiren, slik at leirprosenten som er brukt er på 7 %. Utregning med likning 3.3 blir slik:

$$\xi = 0.48 * 93 + 0.85 * 7 = 50.6 \quad (3.4)$$

I Braskerud (2014) ble det brukt dreneringslag fra Nophadrain som heter Nophadrain 5+1. Det er parameterverdier for tykkelse og andel tomrom fra denne type dreneringslag som er brukt, og dataene er hentet fra deres nettside (Nophadrain, 2019).

Tabell 3.3: Parametere brukt for å simulere grønne tak i SWMM.

Parameter	Verdi	Enhet	Kilde
Surface			
Berm heigt	50	mm	Eget estimat
Vegetation volume fraction	0.1	-	Rossman, 2015
Surface roughness	0.15	-	Chin, 2013
Surface slope	2.5	%	Standard Norge, 2015
Soil			
Thickness	100	mm	Rossman og Huber, 2016
Porosity	0.5	-	Rossman og Huber, 2016
Field capacity	0.4	-	Rossman og Huber, 2016
Wilting point	0.1	-	Rossman og Huber, 2016
Conductivity	813	mm/hr	Lappala, 1978
Conductivity slope	50.6	-	Braskerud, 2014, Rossman, 2015*
Suction head	76	mm	Rossman og Huber, 2016
Drainage mat			
Thickness	27.5	mm	Nophadrain, 2019
Void fraction	0.21	-	Nophadrain, 2019
Roughness	0.01	-	Rossman og Huber, 2016

*Utregnet med sammensetting av jord fra Braskerud (2014) og likning fra Rossman (2015).

Regnbed

I likhet med det grønne taket er parameterne brukt for å simulere regnbed i SWMM hentet fra ulike kilder. Verdiene finnes i Tabell 3.4. Regnbedet er primært basert på et regnbed kalt NB21 i Braskerud mfl. (2013) og Paus og Braskerud (2013). Det er ikke brukt drenerør i regnbedet i denne oppgaven, slik det er i det opprinnelige regnbedet kalt NB21. Dette regnbedet har en betydelig høyde på 200 mm mellom toppen av jordlaget til toppen av kanten på regnbedet. Dette gir potensiale for et betydelig lagringsvolum over jordlaget. Mange av parameterne er her hentet fra Rossman (2015) og Rossman og Huber (2016), som er manualen og referansemanualen til EPA SWMM. Parameterne som ble hentet fra andre kilder var *Berm height* over overlaten, tykkelse, hydraulisk konduktivitet og *conductivity slope* for jordlaget og gjennomstrømningsrate for bunnen. *Berm height* ble satt til 200 mm og hydraulisk konduktivitet til 370 mm/hr etter mål oppgitt i Paus og Braskerud (2013). *Conductivity slope* er regnet med formel 3.3. Φ_s og Φ_l ble hentet fra Paus og Braskerud (2013). Analyse av jorden viste at den inneholdt 6 % leir, 17 % silt og 77 % sand. Utregning ble gjort som med grønne tak med likning 3.3.

Regnbedet ble lagt inn i delfelt som inneholdt hustak. Regnbedene skulle ta opp vann fra hustakene og eventuelt annet vann som havnet på permeable flater som var dekket av regnbedet i modellen. Regnbedene var tenkt plassert på permeable flater, da flater som ikke er permeable ofte er tenkt til gangvei eller tak. Det var tatt utgangspunkt i at regnbedene skulle dekke 10 % av nedbørfeltet det var plassert i (Paus og Braskerud, 2013). Dette var ikke mulig i alle delfelt, da ikke alle delfeltene bestod av $\geq 10\%$ flater som var permeable. I de tilfellene delfeltet bestod av $< 10\%$ permeable flater, ble alle permeable flater regnet som regnbed. I modellen ble dette gjort i praksis ved i hvert delfelt å sette at regnbedet skal håndtere overvann fra den prosentandelen av permeable flater som det var beregnet at regnbedet skulle oppta. I Modell II ble andelen overvann regnbedet skulle håndtere fra flater som ikke var permeable satt til takets areal. I Modell IV ble andelen av overvann fra flater som ikke var permeable som regnbedet skulle håndtere, satt til å være null. Dette fordi det i denne modellen var grønne tak på takene, og at avrenning fra disse skulle rutes videre til permeable områder. Da det kan antas leire på tomten (NGU, 2017), var infiltrasjonen i regnbedet satt til null.

Tabell 3.4: Parametere brukt for å simulere regnbed i SWMM.

Parameter	Verdi	Enhet	Kilde
Surface			
Berm height	200	mm	Paus og Braskerud, 2013
Vegetation volume fraction	0.1	-	Rossman, 2015
Surface roughness	0	-	Rossman, 2015
Surface slope	0	-	Rossman, 2015
Soil			
Thickness	800	mm	Braskerud mfl., 2013
Porosity	0.5	-	Rossman og Huber, 2016
Field capacity	0.4	-	Rossman og Huber, 2016
Wilting point	0.1	-	Rossman og Huber, 2016
Conductivity	370	mm/hr	Paus og Braskerud, 2013
Conductivity slope	42	-	Paus og Braskerud, 2013, Rossman, 2015*
Suction head	76	mm	Rossman og Huber, 2016
Storage			
Thickness	0	mm	Låst standardverdi i SWMM
Void ratio	0.75	-	Låst standardverdi i SWMM
Seepage rate	0	mm/hr	Eget estimat
Clogging factor	0	-	Låst standardverdi i SWMM

*Utregnet med sammensetting av jord fra Paus og Braskerud (2013) og likning fra Rossman (2015).

3.1.5 Kjøring av modellene, uthenting av data og utregning av resultater

Et av målene med oppgaven var, som nevnt, å sammenlikne maksimal overflateavrenning og maksimal strømning (Q_{maks}) i utløpsnoden for ulike tiltak av overvannshåndtering. Modell I ble brukt som sammenlikningsgrunnlag, siden denne ikke inneholdt LOD-tiltak. Det ble laget en *time series table* for maksimal overflateavrenning og for Q_{maks} i utløpsnoden. Den maksimale verdien i disse tabellene ble notert ned. Dette ble gjort for alle Modellene.

For å finne reduksjonen i Q_{maks} i utløpsledningen og maksimal overflateavrenning, er resultater fra Modell I sammenliknet med resultater fra Modell II, III og IV. Areal av regnbed og maksimal volumstrøm i utløpsledningen ved bruk av grønne tak, er hentet fra Modell II. Tilsvarende data for bruk av regnbed er hentet fra Modell III. Modell IV har gitt data for en kombinert bruk av disse. Arealet hvert av LOD-tiltakene opptar, er ikke endret i Modell IV, i forhold til Modell II og III. For å finne nedgang i Q_{maks} i utløpsnoden per areal brukt av et LOD-tiltak, ble nedgangen i Q_{maks} i Modell II, III og IV i forhold til Modell I, delt på arealet LOD-tiltakene utgjorde.

For sensitivitetsanalysene ble det kjørt en kjøring for hver endring av parameterverdi. Maksimal strømming i utløpsledningen ble etter hver kjøring lest av gjennom SWMM sitt statistiske verktøy og notert ned.

3.1.6 Sensitivitetsanalysen

En sensitetsanalyse forteller hvordan ulike parametere påvirker resultatene i en modell. For å undersøke følsomheten til ulike parametere i modellen, er det gjennomført sensitivitetsanalyse for infiltrasjonshastigheter, overflateruhet for arealer som ikke er permeable og gropmagasinering i arealer som ikke er permeable. Dette ble gjort ved å endre parameterverdien for disse parameterne i Modell I, og kjøre denne på nytt. Verdien for Q_{maks} i utløpsnoden ble så hentet ut for hver av kjøringene. Endring i utløpsstrømmingen ble altså brukt for å sammenlikne endringene i parameterne. Det er brukt regnhendelse med gjentakintervall på 25 år og klimafaktor 1.4.

For å kunne plote alle tre parameterne i samme graf, ble det regnet ut endring i Q_{maks} i prosent fra den opprinnelige verdien brukt i Modell I, og denne ble brukt til å plote verdi for y-aksen. For x-aksen ble det regnet ut en faktor som er den faktoren som parameterverdien brukt i den opprinnelige Modell I, må multipliseres med for å få en ny verdi som ble brukt i sensitivitetsanalysen. Eksempel kan være å endre overflateruheten fra 0.01 til 0.02. I dette eksempelet ble det en endring i Q_{maks} fra 1004.109 l/s til 962.057 l/s. Dette tilsvarer en endring på -4.2 %. Den opprinnelige verdien på 0.01 må ganges med en faktor F på to for å bli 0.02. To er derfor faktoren, som endringen i Q_{maks} i prosent, skal plottes sammen med. Verdiene som er brukt kan finnes i vedlegg F. Her er standardverdien som blir brukt i Modell I markert i grønt.

3.1.7 Kostnadsanalysen

I valg av LOD-tiltak er det interessant å se på kostnader knyttet til hvert tiltak. Kostnadene ved et LOD-tiltak kan ifølge Magnussen mfl. (2015) deles inn i investeringskostnader og driftskostnader i NOK. Investeringskostnader kan bestå av materialkostnader, gravearbeid og annet forberedende arbeid av tomt og konstruksjoner. Driftskostnader er kostnader knyttet til drift og vedlikehold av tiltaket. Magnussen mfl. (2015) har satt denne kostnaden til én prosent av gjennomsnittlig investeringskostnad for tiltaket.

I rapporten *Kostnader og nytte ved overvannstiltak* kommer Magnussen mfl. (2015) med kostnadsanslag for både tradisjonelle overvannstiltak og LOD-tiltak. Disse tallene er brukt til å beregne kostnadene av LOD-tiltakene i denne oppgaven. Disse kostnadene er

presentert i Tabell 3.5. Det er brukt nåverdiberegninger på kostnadene i rapporten, og disse er basert på tiltaket sin antatte levetid. Det er også en rekke usikkerhet knyttet til tallene, da det er mange faktorer som spiller inn. Kostnadene for grønne tak er i tillegg oppgitt som et intervall. Det er derfor valgt å ikke gjøre nye nåverdiberegninger, men bruke verdiene i rapporten. For grønne tak er det valgt å bruke medianverdien for oppgitt kostnadsintervall. For å regne totale kostnader ble driftskostnadene ganget med antatt levetid, da denne verdien var oppgitt i norske kroner per kvadratmeter per år.

Kostnadsanalysen er gjort ved å se på de totale Kostnadene av LOD-tiltakene, basert på arealene som er brukt i SWMM-modellene. Disse er delt på hvor mye vann de respektive tiltaket holder tilbake ved Q_{maks} i utløpsnoden. Altså kostnad per tilbakeholdt enhet volumstrøm (l/s). Kostnad per reduserte enhet Q_{maks} i utløpsnoden er for grønne tak og regnbed regnet slik:

$$\frac{\text{Areal} * \text{Kostnad per areal}}{\text{Reduksjon i } Q_{maks}}$$

For en kombinasjon av LOD-tiltak er arealet til det enkelte tiltaket, ganget med kostnaden til dette tiltaket, og deretter summert opp. Dette er så delt på reduksjonen i Q_{maks} i utløpsnoden:

$$\frac{(\text{Areal 1} * \text{Kostnad per areal 1}) + (\text{Areal 2} * \text{Kostnad per areal 2})}{\text{Reduksjon i } Q_{maks}}$$

Tabell 3.5: Investerings- og driftskostnader for grønne tak og regnbed. Fra Magnussen mfl. (2015).

Tiltak	Investeringskostnad (NOK/m ²)	Driftskostnad (NOK/m ² xår)	Total (NOK/m ²)
Grønne tak*	500	6	800
Regnbed**	1400	15	2000

*Antatt levetid på 50 år.

**Antatt levetid på 40 år.

4. Resultater

I dette kapittelet vil resultater fra sammenlikning av overvannstiltak, sensitivitetsanalysen og kostnadsanalysen bli presentert.

4.1 Sammenlikning av tiltakenes tilbakeholding av vann

Det ble hentet ut data for maksimal overflateavrenning (*runoff*) og maksimal strømning i utløpsnoden (Q_{maks}), som oppstod i løpet av den konstruerte nedbørhendelsen i Modell I til IV. Dataene er presentert i tabell 4.1.

Tabell 4.1: Maksimal strømning gjennom utløpet og maksimal overflateavrenning for systemet for hver av modellene.

Modell	Q_{maks} (1/s)	Maks. <i>runoff</i> (1/s)
I (Bare ledninger)	1004.11	1156.03
II (Grønne tak og ledninger)	655.55	736.94
III (Regnbed og ledninger)	685.46	799.11
IV (Grønne tak, regnbed og ledninger)	563.34	637.56

Q_{maks} i utløpsnoden og maksimal overflateavrenning, *runoff*, i Modell II, III, og IV ble sammenliknet med det samme i modell I. Alle tre modellene hadde nedgang i disse to parameterne sammenliknet med Modell I. Hvor stor denne nedgangen var i liter per sekund og i prosent, er presentert i tabell 4.2.

Tabell 4.2: Endringer i strømning i utløpsnoden og overflateavrenning ved bruk av ulike LOD-tiltak mot modell uten bruk av LOD. Sammenlikning mellom Modell I og Modell II, III og IV.

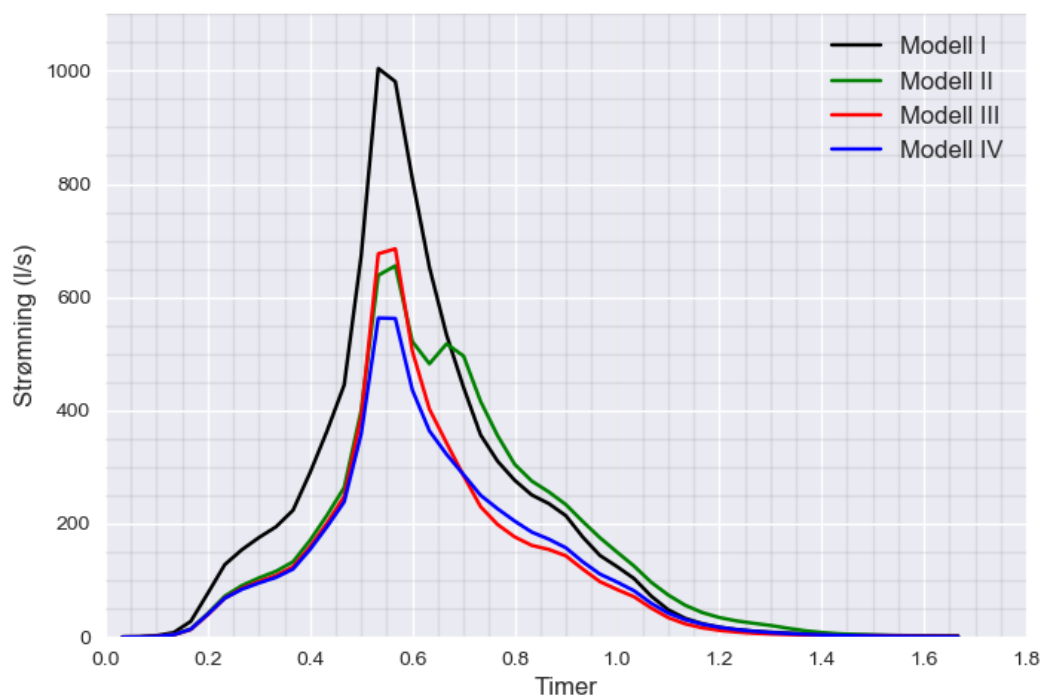
Modell	Nedgang i Q_{maks} (1/s)	Endring i Q_{maks} (%)	Nedgang i maks. <i>runoff</i> (1/s)	Endring i maks. <i>runoff</i> (%)
II	348.56	34.7	419.09	36.3
III	318.65	31.7	356.92	30.9
IV	440.77	43.9	518.47	44.8

Tabell 4.3 viser nedgang i maksimal strømning i utløpsnoden per areal av LOD-tiltak i de ulike modellene.

Tabell 4.3: Nedgang i maksimal strømming i utløpsnoden per areal LOD-titlak.

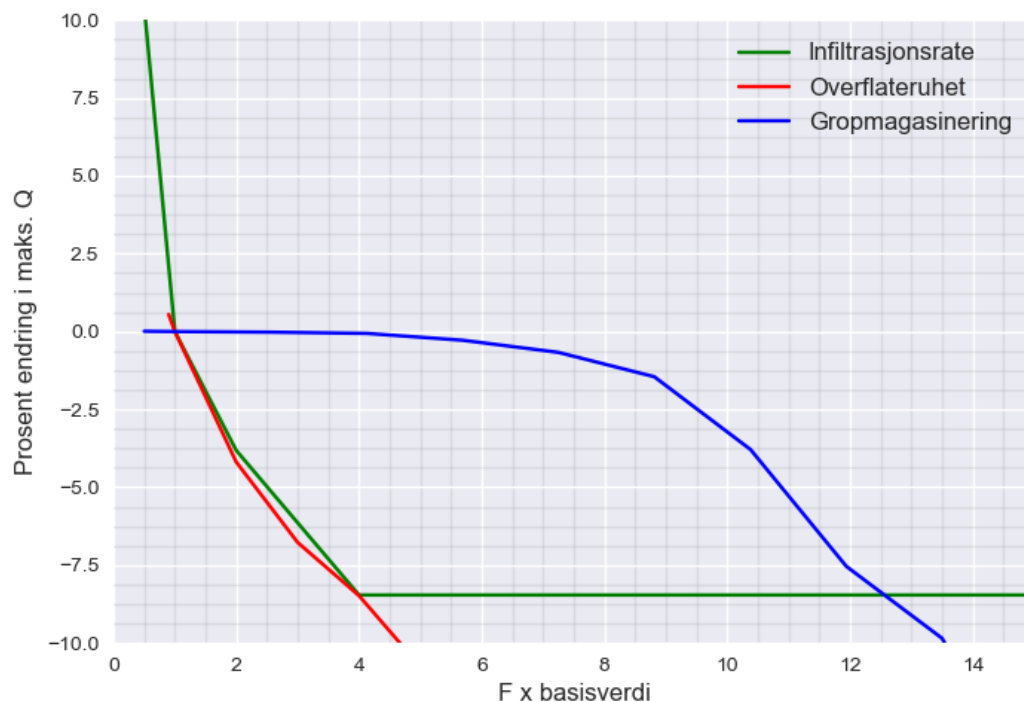
Modellnr.	Areal LOD (m ²)	Nedgang i Q_{maks} (l/s)	Nedgang i Q_{maks} per areal LOD ((l/s)/m ²)
II	9300	348.56	0.037
III	2106	318.65	0.151
IV	11406	440.77	0.038

Strømming i utløpsnoden for nedbørhendelsen på 60 minutter og en total simulering over 1.6 timer er plottet for alle modellene i figur 4.1.

**Figur 4.1:** Strømming i utløpsnoden per time

4.2 Sensitivitetsanalysen

Det er gjort sensitivitetsanalyse på faktorene overflateruhet og gropmagasinering for arealer som ikke er permeable og infiltrasjonsrate. Figur 4.2 viser plot av resultatene samlet i én graf. Resultatene kan finnes i Vedlegg F i Tabell F.1.



Figur 4.2: Sensitivitetsanalysene for utvalgte parametere i forhold til maksimal strømming (Q_{maks}) i utløpsnoden.

4.3 Kostnadsanalysen

Resultatene for kostnadsanalysen er presentert i Tabell 4.4. Det er i denne tabellen også lagt ved arealet, kostnad per m² og reduksjon i Q_{maks} ved utløpsnoden. Det er gjort for enklere å kunne sammenlikne tiltakene. Resultatene som kan leses tabellen, viser at regnbed alene er det klart billigste valget. Deretter er grønne tak alene billigere enn kombinasjonen av disse to.

Tabell 4.4: Kostnad per reduserte enhet av Q_{maks} .

Tiltak	Areal (m ²)	Kostnad (NOK/m ²)	Reduksjon i Q_{maks} (1/s)	Kostnad per reduserte enhet Q_{maks} (NOK/(1/s))
Grønne tak	9300	800	348.56	21345
Regnbed	2106	2000	318.65	13218
Kombinasjon	11406	-	440.77	26436

5. Diskusjon

I dette delkapittelet vil momenter rundt gjennomføringen av modelloppbygningen, resultatene fra kjøringene med modellene og sammenlikning av disse, sensitivitetsanalysen og den økonomiske analysen bli diskutert. I tillegg kommer det forslag til videre arbeid med oppgaven.

5.1 Sammenlikning av overvannstiltakene

Resultatene som gir grunnlag for å sammenlikne tiltakene i Modellene, er presentert i kapittel 4.1. Resultatene er ment å skulle gi et sammenlikningsgrunnlag mellom Modell I og Modell II, III og IV. Det er registrert tydelig nedgang i både maksimal overflateavrenning og maksimal strømning (Q_{maks}) i utløpsnoden for Modell II, III og IV, sammenliknet med Modell I. Dette viser at nedbør er holdt igjen i de simulerte grønne takene, regnbedene og når disse er kombinert. Modellene sammenlikner kun bruk av LOD-tiltak beskrevet i kapittel 3.1.4. Resultatene er kun representative for denne konfigurasjonen og utbredelsen av de valgte LOD-tiltakene.

Grønt tak og regnbed kombinert gir størst tilbakeholdelse av både vann fra utløpsnoden og overflateavrenning. Regnbedene holder tilbake minst nedbør, hvis det sees på total tilbakeholdelse for alle regnbedene sammen. Hvis tilbakeholdelsen av nedbør fra utløpsnoden blir delt på arealet LOD-tiltaket utgjør, er derimot regnbed mest effektivt i forhold til utbredelse. Grønt tak alene er med knapp margin minst effektivt per areal med utbredelse når det gjelder tilbakeholdelse av vann fra utløpsnoden. Disse resultatene finnes i Tabell 4.2 og 4.3. Regnbedene har stor dybde, og derfor stor magasinkapasitet. Dette kan tenkes er årsaken til deres effektivitet, til tross for lav utbredelse sammenliknet med utbredelsen av grønne tak.

Modell II har større nedgang i maksimal overflateavrenning (*runoff*) enn nedgang i maksimal strømning Q_{maks} i utløpsnoden. Dette kan være fordi vannet fra de grønne takene i Modell II går rett til kummen i delfeltet, og renner derfor ikke av som overflateavrenning.

5.2 Oppbygning av modellene

Det er en god del elementer som ble lagt inn i SWMM, og hver av disse har mange parameterverdier knyttet til seg. Beregninger i SWMM er derfor avhengig av en kompleks blanding av parameterverdier, hvor alle påvirker modellens nøyaktighet.

5.2.1 Innlegging av bakgrunnskart

Da EPA SWMM ikke tar inn filer som inneholder posisjonsdata, måtte bakgrunnskartet kalibreres. Dette ble gjort som beskrevet i Kapittel 3.1. Det var utfordrende å finne riktige koordinater for hjørnene på kartet i ArcGIS PRO. Modellens målestokk må derfor anses som en stor feilkilde. Det må antas at det er store unøyaktigheter i alle arealer og ledningslengder. I tillegg var det utfordrende å tegne kantene av delfeltene som går ut fra eiendommen, likt som i prosjektskissen. Det kan virke som det ble tatt med arealer i SWMM-modellen som ikke er med i prosjektskissen. Dette sammen med ikke nøyaktig målestokk, fører til at det totale arealet i prosjektskissen og i SWMM-modellen ikke stemmer overens. Totalt areal i prosjektskissen er 32141 m², mens det totale arealet i SWMM-modellene er 33700 m². Det kan forventes at det vil være overflateavrenning og grunnvannsstrømming fra nærliggende tomter. Da det ikke fantes sikre data på hvor store mengder dette kan være, er det valgt å se bort fra dette i modellene. I realiteten vil dette være noe som må taes hensyn til.

5.2.2 Innleggelse av ledninger

Det ble tatt utgangspunkt i at toppen av ledningene skal ligge minst 1.8 meter under bakkenivå (NBI og GLAVA AS, udatert) og at helningen skal være minst 10 ‰ (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019). Kravet på 10 ‰ ble tolket fra VA-normen til Bærum kommune (Norsk vann og Norsk rørsenter, 2019), hvor det står at spillvannsledninger skal ha minimum 10 ‰ fall for at ikke selvrensing trenger og dokumenteres. Det står i tillegg at overvannsledninger som regel har samme fall som spillvannsledninger. Det var utfordrende å etterstrebe disse kravene, da det er noe høydeforskjell på tomten. En konsekvens ble at fallet ble stort langs noen strekninger av ledningen.

5.2.3 LOD-tiltak i SWMM

Siden byggeprosjektet fortsatt var i et skissestadium da denne oppgaven ble skrevet, var ikke LOD-tiltak bestemt. Hvilke løsninger som skulle brukes ble derfor bestemt av oppgavens forfatter. To løsninger ble valgt, da dette virket hensiktsmessig i forhold til tidsbruk og omfang. Regnbed og grønne tak ble valgt, da dette er løsninger som er utbredt. Disse virker derfor sannsynlig brukt i byggeprosjektet ved ferdigstillelse.

Det er i denne oppgaven valgt å legge inn LOD på alle delfelt som inneholder tak. Det er også gjort en antakelse om at alle takarealer skal være flate grønne tak. Dette er en forenkling for enklere å kunne måle takareal som skal brukes til grønne tak. Ved ferdigstillelse vil antakelig noen av takene være saltak eller vanlige flate tak. Noe av arealet som er antatt til å være grønt tak i denne oppgaven, vil også kunne antas å skulle bli terrasse eller platting

på bakkenivå. Denne forenklingen vil derfor føre til for høy tilbakeholdelse av vann i Modell II og IV, siden disse inneholder grønne tak. LOD-tiltakene er tenkt å skulle behandle takvann. På grunn av hvordan tiltakene er lagt inn i SWMM vil likevel regnbedene behandle vann fra arealer som ikke er tenkt til tak. Regnbedene i Modell IV behandler vann som renner av områder som ikke er permeable og som også ikke er tak.

Som vist i tabellene 3.3 og 3.4, er det mange parametere som skal legges inn for å kunne modelere grønne tak og regnbed. I tillegg kommer parametere lagt inn for å beskrive utbredelsen i hvert enkelt delfelt. De to nevnte tabellene viser også hvilke kilder som er brukt. Flere av parameterverdiene er hentet ut fra SWMM-manualen (Rossman, 2015) og referansemanualen (Rossman og Huber, 2016). Dette ble gjort fordi det var utfordrende å finne eksempel på grønne tak og regnbed som inneholdt alle nødvendige data og som hadde tilfredstillende spesifikasjoner med tanke på tykkelse av jordlaget for grønne tak.

Braskerud (2014) beskriver forsøk med grønne tak. Det er fra beskrivelse av jordtype brukt i denne rapporten regnet ut *conductivity slope*, men vekstlaget brukt i dette forsøket ble funnet for tynne i forhold til ønsket lagringskapasitet og anbefalinger i referansemanualen til SWMM og mulig tykkelse beskrevet i VA-miljøblad nr. 107 (Holm, 2013), ved bruk av bergknapp og gress. Det ble derfor valgt en tykkelse på 100 mm på vekstlaget. Spesifikasjonene for dreneringsmatten brukt i denne oppgaven er hentet fra samme dreneringsmatte som er brukt av Braskerud (2014), produsert av Nophadrain (Nophadrain, 2019). Denne ble valgt da den virker å ha god magasinkapasitet, og nødvendige data om produktet var lett tilgjengelig.

Parameterdataene brukt til å simulere regnbed i denne oppgaven er i stor grad inspirert av et regnbedet kalt NB21 i Braskerud mfl. (2013) og Paus og Braskerud (2013). Dette regnbedet ble valgt fordi det var tilgjengelige data for en rekke parametere, og at det har en god dybde fra toppkant til jordlag som gir god kapasitet til magasinerings. Det ble valgt å ikke ha infiltrasjon i regnbedene, da det antas å være leire i grunnen, og at det er ønskelig for denne modelleringen at vannet skal holdes tilbake, men ende opp i utløpsnoden. Det ble etter modellens ferdigstilling og innhenting av data oppdaget en feil i en pararameterverdi lagt inn for grønne tak. Når en legger inn grønne tak, må prosent andel områder som ikke er permeable endres, selv om ikke tiltaket er tenkt å skulle ligge på permeable områder. Dette fordi Rossman (2015) sier at ved innleggelse av LOD-tiltak er det nødvendig å endre prosent andel permeabelt område til å bli prosent av gjenværende område som ikke er permeabelt delt på totalt areal av områder som ikke er LOD-tiltak. Dette er blitt gjort for grønne tak, men ikke regnbed. Dette fører til oppmot 11 % feil i prosentandelen områder som ikke er permeable i delfeltene med regnbed. Denne feilen er regnet ut slik:

$$\Phi = \frac{A_{IP}}{(A_{IP} + A_P)} \quad (5.1)$$

$$\Phi_L = \frac{A_{IP}}{A_{IP} + (A_P - A_L)} \quad (5.2)$$

Som når regnbed utgjør 10 % av totalt areal, og totalt areal som ikke er regnbed må multipliseres med en faktor på 0.9, blir:

$$\Phi_L = \frac{A_{IP}}{0.9 * (A_{IP} + A_P)} = \frac{1}{0.9} \Phi = 1.11 \Phi \quad (5.3)$$

Hvor:

Φ = Prosent andel av totalt areal som ikke er permeabelt

Φ_L = Prosent andel av totalt areal som ikke er permeabelt med LOD-tiltak

A_{IP} = Areal som ikke er permeabelt

A_P = Areal som er permeabelt

A_L = Areal som LOD-tiltak utgjør

5.3 Sensitivitetsanalysen

Sensitivitetsanalysen ga tre ulike grafer, en for hver av parameterne som ble undersøkt. Disse er presentert i Figur 4.2.

Kurven for infiltrasjonsrate har et stort fall ned frem til $F = 0$. Deretter minsker fallet i stigningstall noe, før kurven flater ut ved $F = 4$. Det viser at en reduksjon i overflateruhet i forhold til standardverdien som er brukt i Modell I, gir stor oppgang i Q_{maks} i utløpsnoden. Sensitiviteten til infiltrasjonsraten er avtagende følsom frem til $F = 4$. Der flater kurven ut. Det kan antas at årsaken til dette er at infiltrasjonsraten ved $F = 4$ blir så høy at alt vannet som kommer på permeable flater infiltrerer. Det er da kun vann fra andre kilder som kommer frem til utløpsnoden.

Kurven for overflateruhet viser en litt ujevn sensitivitet. Kurven endrer stigningstall flere ganger, men ender lineær.

Kurven for gropmagasinering er tilnærmet flat frem til rundt $F = 4$, deretter går grafen nedover. Det kan være fordi nedbørmengden brukt i modellene er stor. På grunn av dette må det stor endring til i gropmagasineringen for arealer som er upermeable, før det blir stort nok volum til å holde igjen merkbare mengder nedbør.

5.4 Kostnadsanalysen

Kostnadsanalysene gjort i denne oppgaven, viser ulik kostnad for implementering av de ulike LOD-tiltakene og kombinasjonen av disse. Det er verdt å legge merke til at analysen gjelder utbredelsen brukt i dette prosjektet. Analysen gir likevel en indikasjon på lønnsomheten til de ulike tiltakene. Regnbed har en veldig god tilbakeholdelse sammenliknet med grønne tak. Dette til tross for at det totale arealet til regnbed i Modell III og IV (2106 m²) er betydelig mindre enn det totale arealet til grønne tak i modell II og IV (9300 m²). En viktig faktor for at regnbedet er kostnadseffektivt, er som nevnt at regnbedet har stor evne til å holde tilbake vann, da det har en stor magasinkapasitet over jordlaget.

Grønne tak alene holder tilbake mest vann, men er også langt mer utbredt enn regnbed. Dette gjør at forskjellen mellom regnbed og grønne tak når det gjelder tilbakeholdelse ikke er stor nok til å gjøre opp for kostnaden de grønne takene vil ha, ved at det trengs et større areal av disse for å oppnå samme tilbakeholdelse som regnbed har. Dette igjen til tross for regnbedenes høyere kostnad per kvadratmeter.

Kombinasjonen av begge tiltakene er det dyreste alternativet i forhold til hvor mye vann som tilbakeholdes. Det holdes tilbake mest vann i Modell IV, hvor tiltakene er kombinert. Det holdes ikke tilbake nok vann i forhold til hvor mye dyrere en løsning hvor tiltakene kombineres er, i forhold til hvor mye som holdes tilbake i modellene hvor tiltakene er plassert alene.

5.5 Videre arbeid

Det var ikke mulig å anskaffe den mer avanserte versjonen av EPA SWMM, kalt PCSWMM før arbeidet med modelleringen i denne oppgaven begynte. Da PCSWMM kan bruke kart med posisjonsdata, kan forslag til videreføring av denne oppgaven være å operette en modell ved bruk av PCSWMM. Hvis terrengmodell med høydedata med fin oppløsning skulle bli tilgjengelig for dette prosjektet, vil det være aktuelt å modellere overvann ved bruk av programvare som MIKE Flood. Det er i tillegg aktuelt for et videre arbeid å se på hvordan innstrømning av overflatevann og grunnvann påvirker avrenningen på tomten. Det er også aktuelt å se på hvordan vann fra overvannsledningene ut fra prosjektområdet påvirker det kommunale ledningsnett. Det kan også utforskes muligheter for trygge flomveier videre ut av prosjektområdet.

6. Konklusjon

I denne oppgaven har fire modeller blitt konstruert med dataprogrammet SWMM. Kjøring av disse modellene ga data om maksimal overflateavrenning og maksimal strømming gjennom utløpsnoden etter en gitt nedbørhendelse. Disse dataene ble så brukt til å sammenlikne ulike type LOD-tiltak, og deretter gjøre en kostnadsanalyse. Parameterverdier for infiltrasjonsrate, overflateruhet og gropmagasinering ble systematisk endret for å gjøre en sensitivitetsanalyse av Modell I.

En SWMM-modell bygger på mange parametere, og mange antakelser. Det er derfor stor usikkerhet knyttet til analyser gjort med en slik modell. Det ble i tillegg gjort enkelte feil ved innlegging av data og opptegning av delfelt. Det vil derfor antas at resultatene kun kan sees på som et grovt estimat på hvilken størrelsesorden man kan forvente på resultater under reelle forhold.

Med utbredelsen av LOD-tiltakene bestemt for modellene i denne oppgaven, er det registrert tilbakeholdelse av vann som følge av alle typene LOD-tiltak som er brukt. Grønne tak holdt tilbake mest vann. Dette er fordi de i denne oppgaven har stor utbredelse. Hvis en ser på tilbakeholdelse i utløpsnoden per areal utbredelse av hvert LOD-tiltak, er regnbed mest effektivt. Dette fordi det har stort lagringsvolum per regnbed, men er lite utbredt arealmessig.

Sensitivitetsanalysen viser at nedgang i infiltrasjonsrate i forhold til verdien det ble tatt utgangspunkt i, har stor innvirkning på maksimal strømming i utløpsnoden (Q_{maks}). Blir infiltrasjonsraten derimot tilstrekkelig stor, vil den ikke lenger påvirke Q_{maks} ytterligere. Dette skyldes antakelig at ved en viss infiltrasjonsrate vil alt vann infiltrere, og kun arealer uten infiltrasjon bidrar til Q_{maks} i utløpsnoden. Antakelig grunnet at det er brukt store nedbørmengder i simuleringene, vil det være behov for store endringer i gropmagasinering på upermeabelt område, før det påvirker Q_{maks} i utløpsnoden. Overflateruhet påvirker Q_{maks} i økende grad når den økes.

Kostnadsanalysen viser at det billigste alternativet per l/s nedgang i Q_{maks} er regnbed. Dette skyldes at regnbed holder tilbake store mengder vann. Det trengs derfor mindre av disse i forhold til grønne tak, for å holde tilbake samme mengden med nedbør. Dette til tross for at regnbed har størst kostnad per areal bygget regnbed.

Referanser

- Aune, B. (1993a). *Nedbornørmaler 1961-1990*. Tekn. rapp. Meteorologisk institutt.
- Aune, B. (1993b). *Temperaturnormaler 1961-1990*. Tekn. rapp. Meteorologisk institutt.
- Braskerud, B. C. (2014). *Grønne tak og styrtregn, Effekten av ekstensive tak med sedumvegetasjon for redusert avrenning etter nedbør og snøsmelting i Oslo*.
- Braskerud, B. C., Paus, K. H. og Ekle, A. (2013). *Anlegging av regnbed*. URL: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2013/rapport2013_03.pdf.
- Chin, D. A. (2013). *Water-Resources Engineering*. 3. utg. Pearson Education Limited: 930.
- Engineering_Toolbox (2004). *Manning's roughness coefficients for common materials*. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/mannings-roughness-d_799.html.
- EPA (2018). *EPA SWMM*.
- Fetter, C. W. (2001). *Applied hydrogeology*. 4. utg. Prentice-Hall.
- Finnemore, E. J. og Franzini, J. B. (2009). *Fluid mechanics with engineering applications - International Edition*. 10. utg. Bd. 10. New York: McGraw-Hill.
- FLL, Losken, G., Ansel, W., Backhaus, T., Bartel, Y.-C., Bornholdt, H., Bott, P., Henze, M., Hokema, J., Kohler, M., Krupka, B., Mann, G., Munster, M., Neisser, H., Roth-Kleyer, S., Ruttensperger, S., Schenk, D., Sprenger, D., Upmeier, M. og Westerholt, D. (2018). *Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs*. Tekn. rapp.: 0–120.
- Førland, E., Mamen, J., Dyrddal, A. V., Grinde, L. og Myrabø, S. (2015). *Dimensjonerende korttidsnedbør*. Tekn. rapp. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektorat: 92.
- Gao, H. og Shao, M. (2015). Effects of temperature changes on soil hydraulic properties. *Soil and Tillage Research* 153: 145–154. DOI: 10.1016/j.still.2015.05.003.
- Gindis, E. J. og Kaebisch, R. C. (2018). *Up and Running with AutoCAD 2018 - 2D Drafting and Design*. Elsevier. DOI: 10.1016/c2018-0-00039-0.
- Grindaker AS Landskapsarkitekter (2019). *Prosjektskisse Bekkesua Sør*.
- Hansen, J., Sato, M., Ruedy, R., Lo, K., Lea, D. W. og Medina-Elizade, M. (2006). Climate change and the tropical Pacific: The sleeping dragon wakes. *PNAS* 97 (4): 1355–1358. DOI: 10.1073/pnas.97.4.1355.
- Hanssen-Bauer, I., Førland, E., Haddeland, I., Hisdal, H., Mayer, S., Nesje, A., Nilsen, J., Sandven, S., Sandø, A., Sorteberg, A., Ådlandsvik, B., Andreassen, L., Beldring, S., Bjune, A., Breili, K., Dahl, C. A., Dyrddal, A., Isaksen, K., Haakenstad, H., Haugen, J., Hygen, H., Langehaug, H., Lauritzen, S.-E., Lawrence, D., Melvold, K., Mezghani, A., Ravndal, O., Risebrobakken, B., Roald, L., Sande, H., Simpson, M., Skagseth, Skaugen, T., Skogen, M., Støren, E., Tveito, O. og Wong, W. (2015). Klima i Norge 2100. Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. *Norwegian Environment Agency* (2): 204. URL: www.miljodirektoratet.no/20804.
- Harter, T. og Rollins, L. (2008). *Watersheds, groundwater and drinking water: A practical guide*. Bd. 3497. UCANR Publications.
- Hendriks, M. (2010). *Introduction to physical hydrology*. 1. utg. Oxford University Press.
- Holm, E. (2013). Grønne tak. *VA-miljøblad* 107.

- IPCC, Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M, Allen, S. K., Boschung, J, Nauels, A, Xia, Y, Bex, V og Midgley, P. M. (2013). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, United Kingdom og New York, NY, USA: Cambridge University Press: 1535. DOI: 10.1017/CB09781107415324.
- Lappala, E. (1978). Quantitative hydrogeology of the Upper Republican Natural Resources District, southwest Nebraska.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. og Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering*: 79. DOI: 10.1016/j.ecoinf.2016.09.006.
- Magnussen, K., Wingstedt, A., Rasmussen, I. og Reinvang, R. (2015). *Kostnader og nytte ved overvannstiltak*. Tekn. rapp. URL: www.vista-analyse.no.
- NGU (2008). *Tolkning av løsmassekart*. URL: <https://www.ngu.no/nyheter/tolkning-av-lasmassekart>.
- NGU (2017). *NGU løsmassekart*. URL: <http://geo.ngu.no/kart/losmasse/>.
- Niemczynowicz, J. (1999). Urban hydrology and water management—present and future challenges. *Urban water* 1 (1): 1–14.
- Nophadrain (2019). *No Title*. URL: <https://www.nophadrain.com/product-overview/filter-and-drainage-layer/nd-5plus1-drainage-system/>.
- Noreng, K., Kvalvik, M., Busklein, J. O., Merete, I., Susanne, C., Og, C. og Kristine, H. (2012). *Grønne tak. Resultater fra et kunnskapsinnhentingsprosjekt*. Sintef. URL: www.sintef.no/byggforsk.
- Norkart (2019). *Kommunekart Bærum og Oslo*. URL: <https://kommunekart.com/>.
- Norsk vann og Norsk rørsenter (2019). *VA-norm for Bærum kommune*. URL: <http://va-norm.no/baerum/>.
- Ødegaard, H (2014). *Vann- og avløpsteknikk*. 2. utg. Norsk vann.
- Paus, K. H. og Braskerud, B. C. (2013). Forslag til dimensjonering og utforming av regnbed for norske forhold. *VANN* 01: 14. URL: https://vannforeningen.no/wp-content/uploads/2015/06/2013_872571.pdf.
- Paus, K. H., Førland, E. J., Fleig, H., Lindholm, O. og Åstebøl, S. O. (2014). *Metoder for beregning av klimafaktorer for fremtidig nedbørintensitet*. Tekn. rapp. Miljødirektoratet.
- Perelli, G. (2014). Characterization of the Green Roof Growth Media. (August). URL: <http://ir.lib.uwo.ca/etd/2205/>.
- Petit, R. J., Raynaud, D., Basile-Doelsch, I., Chappellaz, J, Ritz, C, Delmotte, M, Legrand, M, Lorius, C, Pe, L, Petit, J.-R., Jouzel, J., Raynaud, D., Barkov, N. I., Barnola, J.-M., Basile, I., Bender, M., Chappellaz, J, Davis, M og Delaygue, G (1999). Climate and atmospheric history of the past 420,000 years from the Vostok ice core, Antarctica. *Nature* 399 (6735): 429–436.
- Rossmann, L. A. (2015). Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1 Office of Research and Development Water Supply and Water Resources Division. (September).
- Rossmann, L. A. og Huber, W. C. (2016). Storm Water Management Model Reference Manual Volume III – Water Quality. *U.S. Environmental Protection Agency* III (July): 12; DOI: 10.1016/S0021-9290(00)00018-X.
- SINTEF Byggforsk (2012). Vann i by - håndtering av overvann i bebygde områder. *Byggforskserien* 311.015.
- Sivertsen, E., Elvebakk, K. og Kvande, T. (2019). *KLIMATILPASSET BYGNING Anvisning for anskaffelse i plan- og byggeprosessen*. Tekn. rapp. 12. SINTEF byggforsk.
- Skaaraas, H (2015). *Overvann i byer og tettsteder: som problem og ressurs*. Tekn. rapp.
- SSB (2018). *Befolkningsframskrivningene. 2018-2060*. URL: https://www.ssb.no/befolkning/statistikker/folkfram/_attachment/352874?_ts=166cf8e04b8.
- SSB (2019). *Boliger*. URL: <https://www.ssb.no/boligstat>.

REFERANSER

- Standard Norge (2015). *NS3840-2015 - Grønne tak - Planlegging, prosjektering, utførelse, skjøtsel og drift - Ekstensive tak.*
- Stull, R. (2017). *Practical Meteorology - An Algebra-based Survey of Atmospheric Science.*
- Sweco AS og Bærum kommune (2017). *Overvann: fra problem til ressurs! - Strategi for overvannshåndtering 2017-2030.*
- WMO (2017). *WMO Guidelines on the Calculation of Climate Normals. World Meteorological Organization (1203): 29.*

Vedlegg A. IVF-data

OSLO - BLINDERN PLU (SN18701)

Oslo, Oslo

Höh.: 94 m

Måleperiode for stasjonen: 01.01.1968 - 08.02.2019

Antall sesonger i IVF-statistikk: 49

RETURPERIØ	VARIGHET (MINUTTER)										Returverdi for nedbør (mm)				
	1 min	2 min	3 min	5 min	10 min	15 min	20 min	30 min	45 min	60 min					
2	1.76	2.97	4.03	5.63	8.40	10.28	11.81	14.04	16.28	17.68					
5	2.24	3.85	5.27	7.53	11.27	14.12	16.42	19.57	23.14	25.06					
10	2.55	4.44	6.09	8.78	13.16	16.68	19.46	23.22	27.68	29.95					
20	2.86	5.00	6.87	9.99	14.98	19.12	22.38	26.73	32.02	34.67					
25	2.95	5.18	7.12	10.37	15.56	19.89	23.32	27.85	33.40	36.14					
50	3.25	5.72	7.89	11.54	17.34	22.28	26.17	31.27	37.67	40.75					
100	3.54	6.27	8.65	12.71	19.11	24.65	29.00	34.67	41.88	45.29					
200	3.84	6.81	9.41	13.88	20.87	27.02	31.84	38.07	46.09	49.86					

(Norsk klimaservicesenter, udatert)

Vedlegg B. Resultater av utregninger av nedbørintensiteter

Tabell B.1: Data og utregninger til regnhyetogram, 10 års gjentaksintervall, klimafaktor 1.4. Plot av tilhørende regnhyetogram finnes i Figur D.1.

Varighet (min)	Vannsøyle (mm)	Intensitet (mm/time)
4	10.41	156.13
8	15.98	83.52
12	20.40	66.30
16	24.13	55.97
20	27.25	46.82
24	29.35	31.55
28	31.46	31.55
32	33.34	28.25
36	35.00	24.95
40	36.67	24.95
44	38.33	24.95
48	39.38	15.80
52	40.23	12.75
56	41.08	12.75
60	41.93	12.75

Tabell B.2: Data og utregninger til regnhyetogram, 25 års gjentaksintervall, klimafaktor 1.4. Plot av tilhørende regnhyetogram finnes i Figur D.2.

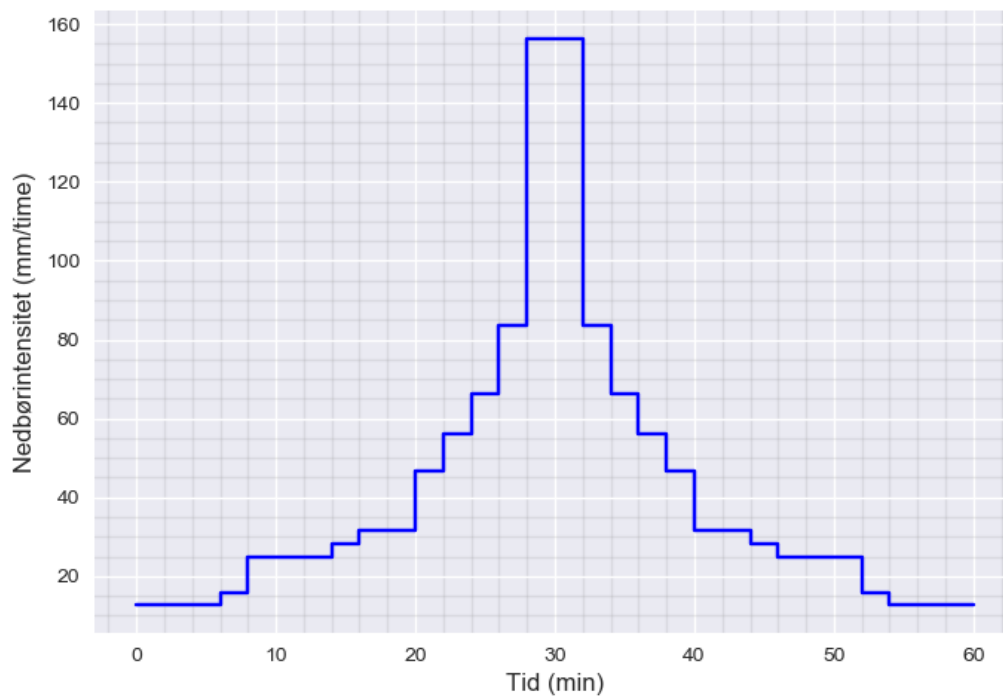
Varighet (min)	Vannsøyle (mm)	Intensitet (mm/time)
4	12.24	183.61
8	18.88	99.58
12	24.21	79.98
16	28.81	68.90
20	32.64	57.56
24	35.18	38.05
28	37.72	38.05
32	40.02	34.57
36	42.09	31.10
40	44.17	31.10
44	46.24	31.10
48	47.53	19.30
52	48.55	15.37
56	49.58	15.37
60	50.60	15.37

Vedlegg C. Nedbørdata brukt i SWMM

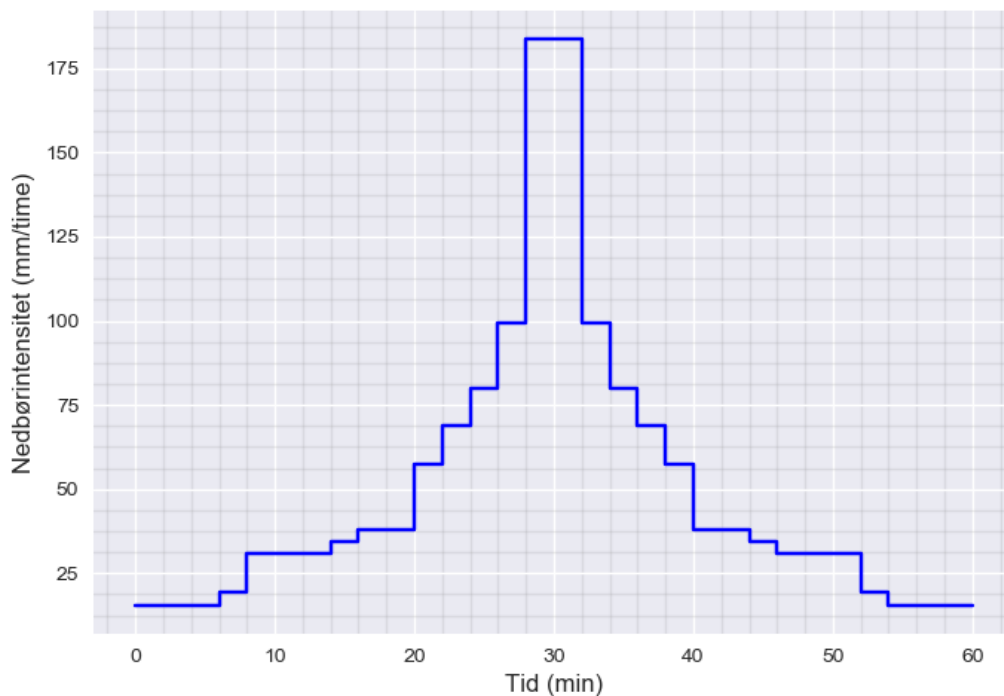
Tabell C.1: Nedbørdata lagt inn i SWMM.

10 års gjentakintervall med KF 1.4		25 års gjentakintervall med KF 1.4	
timer:min	Intensitet (mm/time)	timer:min	Intensitet (mm/time)
00:00	12.7512	00:00	15.372
00:02	12.7512	00:02	15.372
00:04	12.7512	00:04	15.372
00:06	15.8004	00:06	19.3032
00:08	24.948	00:08	31.0968
00:10	24.948	00:10	31.0968
00:12	24.948	00:12	31.0968
00:14	28.2492	00:14	34.5744
00:16	31.5504	00:16	38.052
00:18	31.5504	00:18	38.052
00:20	46.8216	00:20	57.5568
00:22	55.9692	00:22	68.8968
00:24	66.3012	00:24	79.9848
00:26	83.5191	00:26	99.5841
00:28	156.1329	00:28	183.6135
00:30	156.1329	00:30	183.6135
00:32	83.5191	00:32	99.5841
00:34	66.3012	00:34	79.9848
00:36	55.9692	00:36	68.8968
00:38	46.8216	00:38	57.5568
00:40	31.5504	00:40	38.052
00:42	31.5504	00:42	38.052
00:44	28.2492	00:44	34.5744
00:46	24.948	00:46	31.0968
00:48	24.948	00:48	31.0968
00:50	24.948	00:50	31.0968
00:52	15.8004	00:52	19.3032
00:54	12.7512	00:54	15.372
00:56	12.7512	00:56	15.372
00:58	12.7512	00:58	15.372
01:00	0	01:00	0

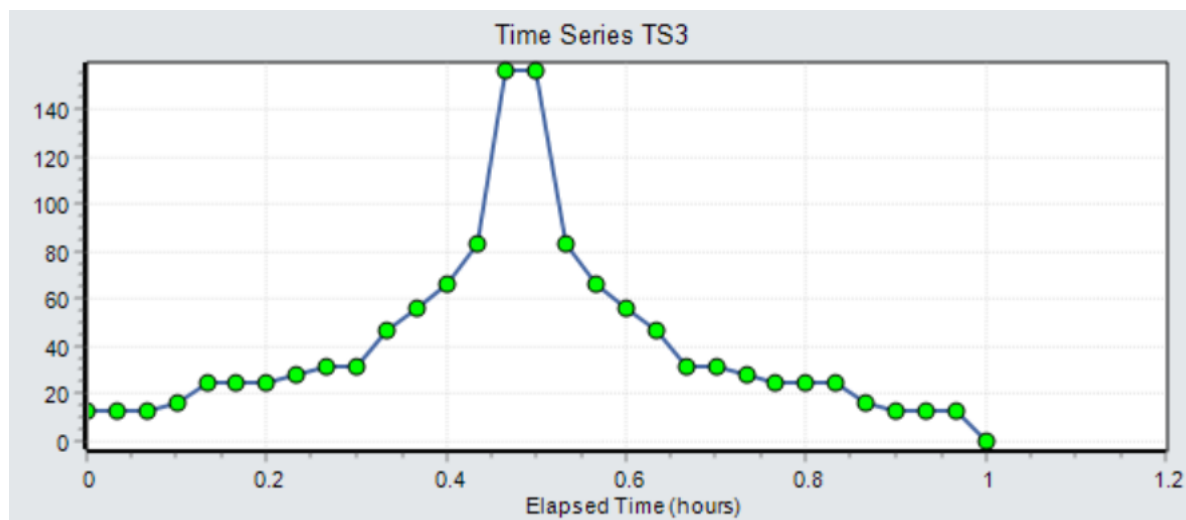
Vedlegg D. Regnhyetogram og grafer av tolket nedbørdata i SWMM



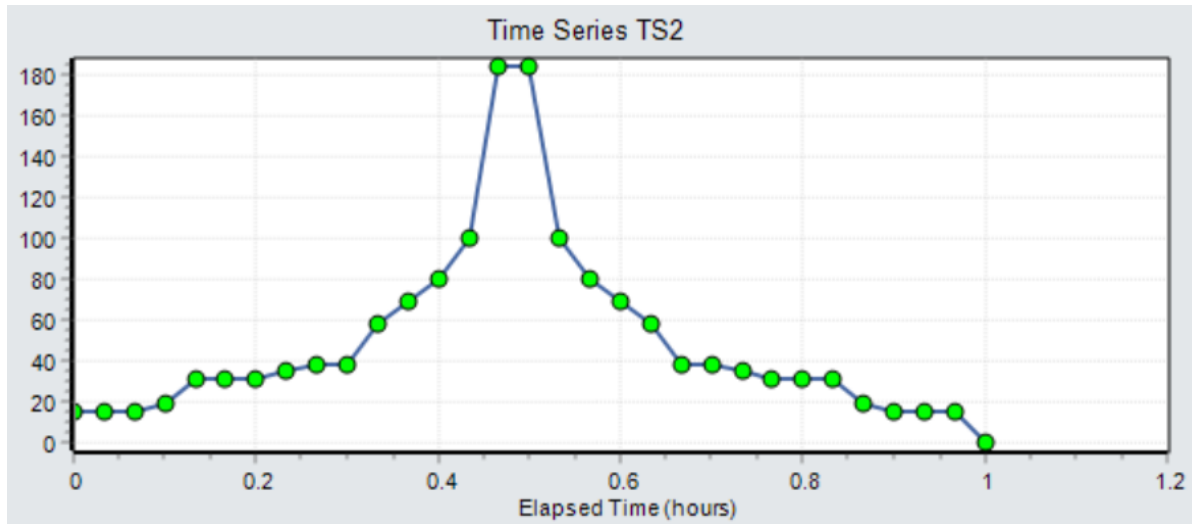
Figur D.1: Symmetrisk regnhyetogram for gjentaksintervall på 10 år og klimafaktor 1.4. Data fra Blindern målestasjon.



Figur D.2: Symmetrisk regnhyetogram for gjentaksintervall på 25 år og klimafaktor 1.4. Data fra Blindern målestasjon.



Figur D.3: Graf over nedbørdata tolket av SWMM for gjentaksintervall på 10 år og klimafaktor 1.4.



Figur D.4: Graf over nedbørdata tolket av SWMM for gjentaksintervall på 25 år og klimafaktor 1.4.

Vedlegg E. Verdier brukt i SWMM

I dette vedlegget ligger utskrift fra inp-filen til Modell I. Denne viser hvilke parameterverdier og noen av utregningsmodellene som er lagt inn og brukt av SWMM.

[TITLE]
 ;;Project Title/Notes

[OPTIONS]
 ;;Option Value
 FLOW_UNITS LPS
 INFILTRATION HORTON
 FLOW_ROUTING DYNWAVE
 LINK_OFFSETS DEPTH
 MIN_SLOPE 0
 ALLOW_PONDING NO
 SKIP_STEADY_STATE NO

START_DATE 03/04/2019
 START_TIME 00:00:00
 REPORT_START_DATE 03/04/2019
 REPORT_START_TIME 00:00:00
 END_DATE 03/04/2019
 END_TIME 01:40:00
 SWEEP_START 01/01
 SWEEP_END 12/31
 DRY_DAYS 0
 REPORT_STEP 00:02:00
 WET_STEP 00:05:00
 DRY_STEP 01:00:00
 ROUTING_STEP 0:00:30
 RULE_STEP 00:00:00

INERTIAL_DAMPING PARTIAL
 NORMAL_FLOW_LIMITED BOTH
 FORCE_MAIN_EQUATION D-W
 VARIABLE_STEP 0.75
 LENGTHENING_STEP 0
 MIN_SURFAREA 1.167
 MAX_TRIALS 8
 HEAD_TOLERANCE 0.0015
 SYS_FLOW_TOL 5
 LAT_FLOW_TOL 5
 MINIMUM_STEP 0.5
 THREADS 1

[EVAPORATION]
 ;;Data Source Parameters
 ;;-----
 CONSTANT 0.0
 DRY_ONLY NO

[RAINGAGES]
 ;;Name Format Interval SCF Source
 ;;-----
 NMB1 INTENSITY 0:02 1.0 TIMESERIES TS2

[SUBCATCHMENTS]
 ;;Name Rain Gage Outlet Area %Imperv Width %Slope
 CurbLen SnowPack
 ;;-----
 DF2 NMB1 N28 0.07 93 21 5.15
 0
 DF3 NMB1 N30 0.08 88 17 5.4
 0
 DF5 NMB1 N26 0.03 33 12 1.2
 0
 DF6 NMB1 N15 0.08 92.5 27 1.33
 0
 DF7 NMB1 N24 0.10 95 19 1.15
 0
 DF8 NMB1 N29 0.13 69 40 2.5
 0

DF9 0	NMB1	N10	0.06	17	18	0.91
DF10 0	NMB1	N9	0.11	18	22	0.98
DF11 0	NMB1	N8	0.10	40	22	0.22
DF12 0	NMB1	N23	0.10	96	26	0.77
DF13 0	NMB1	N21	0.09	84	45	0
DF14 0	NMB1	N7	0.16	10	30	0.38
DF15 0	NMB1	N20	0.09	60	16	0.7
DF16 0	NMB1	N25	0.11	12	31	0
DF17 0	NMB1	N6	0.22	80	35	0.16
DF18 0	NMB1	N17	0.11	14	22	0.6
DF19 0	NMB1	N4	0.08	85	57	1.4
DF20 0	NMB1	N18	0.15	90	33	0.6
DF21 0	NMB1	N3	0.13	80	50	0.38
DF22 0	NMB1	N19	0.22	85	36	7.4
DF23 0	NMB1	N32	0.32	40	64	2
DF24 0	NMB1	N13	0.16	81	31	0.39
DF25 0	NMB1	N14	0.12	88	60	0.5
DF26 0	NMB1	N16	0.11	50	39	0.36
DF27 0	NMB1	N12	0.17	85	38	0.22
DF28 0	NMB1	N11	0.16	69	29	0.18
DF29 0	NMB1	N2	0.11	27	22	0.4

[SUBAREAS]

;;Subcatchment PctRouted ;;	N-Imperv	N-Perv	S-Imperv	S-Perv	PctZero	RouteTo
DF2	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF3	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF5	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF6	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF7	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF8	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF9	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF10	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF11	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF12	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF13	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF14	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF15	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF16	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF17	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF18	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF19	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF20	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF21	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF22	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF23	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF24	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET

DF25	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF26	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF27	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF28	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET
DF29	0.01	0.1	1.6	5	25	OUTLET

[INFILTRATION]

;;Subcatchment	MaxRate	MinRate	Decay	DryTime	MaxInfil
DF2	75	20	4	7	0
DF3	75	20	4	7	0
DF5	75	20	4	7	0
DF6	75	20	4	7	0
DF7	75	20	4	7	0
DF8	75	20	4	7	0
DF9	75	20	4	7	0
DF10	75	20	4	7	0
DF11	75	20	4	7	0
DF12	75	20	4	7	0
DF13	75	20	4	7	0
DF14	75	20	4	7	0
DF15	75	20	4	7	0
DF16	75	20	4	7	0
DF17	75	20	4	7	0
DF18	75	20	4	7	0
DF19	75	20	4	7	0
DF20	75	20	4	7	0
DF21	75	20	4	7	0
DF22	75	20	4	7	0
DF23	75	20	4	7	0
DF24	75	20	4	7	0
DF25	75	20	4	7	0
DF26	75	20	4	7	0
DF27	75	20	4	7	0
DF28	75	20	4	7	0
DF29	75	20	4	7	0

[JUNCTIONS]

;;Name	Elevation	MaxDepth	InitDepth	SurDepth	Aponded
N4	52.9	3.1	0	0	0
N2	52	4.8	0	0	0
N19	55.5	5.5	0	0	0
N17	53.8	2.4	0	0	0
N14	54.9	2.1	0	0	0
N13	54.1	2.3	0	0	0
N12	53.8	2.5	0	0	0
N11	53.1	3.3	0	0	0
N16	54.3	2.1	0	0	0
N20	54.35	2.15	0	0	0
N28	57.3	2	0	0	0
N10	55.95	2.05	0	0	0
N9	55.2	2.2	0	0	0
N30	57.15	2.05	0	0	0
N8	54.65	2.25	0	0	0
N23	55.2	2.3	0	0	0
N21	54.90	2.6	0	0	0
N6	53.3	2.7	0	0	0
N24	55.75	2.15	0	0	0
N26	56.15	2.05	0	0	0
N7	54.15	2.65	0	0	0
N29	56.15	2.05	0	0	0
N18	54.35	2.15	0	0	0
N15	56.4	2.1	0	0	0
N25	53.75	3.25	0	0	0
N32	54.4	2.1	0	0	0
N37	54.55	2.15	0	0	0
N3	52.6	3.9	0	0	0

[OUTFALLS]

;;Name	Elevation	Type	Stage Data	Gated	Route To
N1	51.9	FREE		NO	

[CONDUITS]

;;Name	From Node	To Node	Length	Roughness	InOffset
OutOffset	InitFlow	MaxFlow			
L10	N11	N2	40.24	0.013	0
0	0				0
L12	N13	N12	29.76	0.013	0
0	0				0
L13	N14	N13	64.49	0.013	0
0	0				0
L15	N16	N11	54.97	0.013	0
0	0				0
L17	N18	N17	49.73	0.013	0
0	0				0
L19	N20	N6	35.22	0.013	0
0	0				0
L20	N21	N8	23.96	0.013	0
0	0				0
L22	N23	N21	22.47	0.013	0
0	0				0
L23	N24	N9	50.00	0.013	0
0	0				0
L25	N26	N10	20.43	0.013	0
0	0				0
L28	N29	N10	13.53	0.013	0
0	0				0
L29	N30	N29	35.53	0.013	0
0	0				0
L7	N8	N7	44.95	0.013	0
0	0				0
L8	N9	N8	52.89	0.013	0
0	0				0
L9	N10	N9	18.15	0.013	0
0	0				0
L5	N6	N4	31.59	0.013	0
0	0				0
L14	N15	N24	40.38	0.013	0
0	0				0
L32	N19	N37	59.45	0.013	0
0	0				0
L33	N37	N18	14.81	0.013	0
0	0				0
L34	N4	N3	30.08	0.013	0
0	0				0
L35	N3	N2	52.01	0.013	0
0	0				0
L36	N32	N13	15.42	0.013	0
0	0				0
L16	N2	N1	10.54	0.013	0
0	0				0
L4	N17	N6	26.41	0.013	0
0	0				0
L6	N28	N26	49.87	0.013	0
0	0				0
L3	N7	N25	31.56	0.013	0
0	0				0
L2	N25	N6	30.06	0.013	0
0	0				0
L11	N12	N11	33.42	0.013	0
0	0				0

[XSECTIONS]

;;Link	Shape	Geom1	Geom2	Geom3	Geom4	Barrels
Culvert						

```

;;-----
-----
L10      CIRCULAR      0.5      0      0      0      1
L12      CIRCULAR      0.4      0      0      0      1
L13      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L15      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L17      CIRCULAR      0.35     0      0      0      1
L19      CIRCULAR      0.35     0      0      0      1
L20      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L22      CIRCULAR      0.2      0      0      0      1
L23      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L25      CIRCULAR      0.250    0      0      0      1
L28      CIRCULAR      0.250    0      0      0      1
L29      CIRCULAR      0.250    0      0      0      1
L7       CIRCULAR      0.40     0      0      0      1
L8       CIRCULAR      0.4      0      0      0      1
L9       CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L5       CIRCULAR      0.55     0      0      0      1
L14      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L32      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L33      CIRCULAR      0.35     0      0      0      1
L34      CIRCULAR      0.55     0      0      0      1
L35      CIRCULAR      0.6      0      0      0      1
L36      CIRCULAR      0.3      0      0      0      1
L16      CIRCULAR      0.7      0      0      0      1
L4       CIRCULAR      0.4      0      0      0      1
L6       CIRCULAR      0.2      0      0      0      1
L3       CIRCULAR      0.4      0      0      0      1
L2       CIRCULAR      0.5      0      0      0      1
L11      CIRCULAR      0.4      0      0      0      1

```

```

[TIMESERIES]
;;Name      Date      Time      Value
;;-----
;T 25 KF1.0
TS1          00:00      10.98
TS1          00:02      10.98
TS1          00:04      10.98
TS1          00:06      13.788
TS1          00:08      22.212
TS1          00:10      22.212
TS1          00:12      22.212
TS1          00:14      24.696
TS1          00:16      27.18
TS1          00:18      27.18
TS1          00:20      41.112
TS1          00:22      49.212
TS1          00:24      57.132
TS1          00:26      71.1315
TS1          00:28      131.1525
TS1          00:30      131.1525
TS1          00:32      71.1315
TS1          00:34      57.132
TS1          00:36      49.212
TS1          00:38      41.112
TS1          00:40      27.18
TS1          00:42      27.18
TS1          00:44      24.696
TS1          00:46      22.212
TS1          00:48      22.212
TS1          00:50      22.212
TS1          00:52      13.788
TS1          00:54      10.98
TS1          00:56      10.98
TS1          00:58      10.98
TS1          01:00      0
;
;T 25 KF 1.4
TS2          00:00      15.372
TS2          00:02      15.372

```


TS2	00:04	15.372
TS2	00:06	19.3032
TS2	00:08	31.0968
TS2	00:10	31.0968
TS2	00:12	31.0968
TS2	00:14	34.5744
TS2	00:16	38.052
TS2	00:18	38.052
TS2	00:20	57.5568
TS2	00:22	68.8968
TS2	00:24	79.9848
TS2	00:26	99.5841
TS2	00:28	183.6135
TS2	00:30	183.6135
TS2	00:32	99.5841
TS2	00:34	79.9848
TS2	00:36	68.8968
TS2	00:38	57.5568
TS2	00:40	38.052
TS2	00:42	38.052
TS2	00:44	34.5744
TS2	00:46	31.0968
TS2	00:48	31.0968
TS2	00:50	31.0968
TS2	00:52	19.3032
TS2	00:54	15.372
TS2	00:56	15.372
TS2	00:58	15.372
TS2	01:00	0

;

;T = 10 KF = 1.4

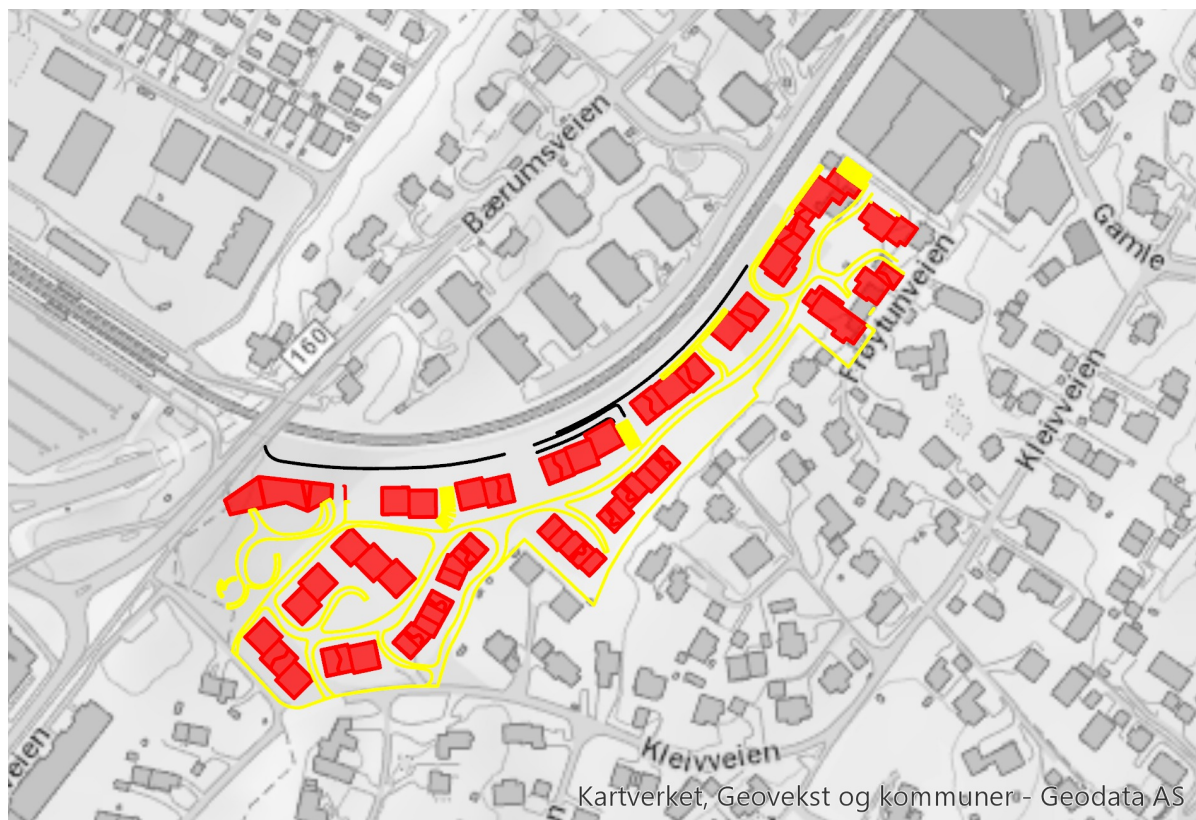
TS3	00:00	12.7512
TS3	00:02	12.7512
TS3	00:04	12.7512
TS3	00:06	15.8004
TS3	00:08	24.948
TS3	00:10	24.948
TS3	00:12	24.948
TS3	00:14	28.2492
TS3	00:16	31.5504
TS3	00:18	31.5504
TS3	00:20	46.8216
TS3	00:22	55.9692
TS3	00:24	66.3012
TS3	00:26	83.5191
TS3	00:28	156.1329
TS3	00:30	156.1329
TS3	00:32	83.5191
TS3	00:34	66.3012
TS3	00:36	55.9692
TS3	00:38	46.8216
TS3	00:40	31.5504
TS3	00:42	31.5504
TS3	00:44	28.2492
TS3	00:46	24.948
TS3	00:48	24.948
TS3	00:50	24.948
TS3	00:52	15.8004
TS3	00:54	12.7512
TS3	00:56	12.7512
TS3	00:58	12.7512
TS3	01:00	0

Vedlegg F. Parameterverdier og resultater fra sensitivitetsanalysen

Tabell F.1: Parameterverdier og resultater fra sensitivitetsanalysen.

Infiltrasjon		Standardverdi										
Maks infiltrasjon (mm/time)	2.34375	4.6875	9.375	18.75	37.5	75	150	300	600	1200	2400	5800
Min. infiltrasjon (mm/time)	0.625	1.25	2.5	5	10	20	40	80	160	320	640	1280
Q _{bas} (l/s)	1269.491	1269.097	1265.369	1203.101	1109.063	1004.109	965.776	919.165	919.165	919.165	919.165	919.165
Differanse Q _{bas} fra std.verdi	265.382	264.988	261.26	198.992	104.954	0	-38.333	-84.944	-84.944	-84.944	-84.944	-84.944
Differanse i andel fra std.verdi	0.264296	0.26390362	0.2601909	0.1981777	0.1045245	0	-0.0381761	-0.0845964	-0.0845964	-0.0845964	-0.0845964	-0.0845964
Differanse i %	26.43	26.39	26.02	19.82	10.45	0.00	-3.82	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46	-8.46
F.x.basisverdi	0.09125	0.0625	0.125	0.25	0.5	1	2	4	8	16	32	77.393333
Overflateruhet		Standardverdi										
Meningstall	0.009	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09	0.1	0.1
Q _{bas} (l/s)	1009.671	1004.109	962.057	936.115	918.987	896.077	866.001	846.462	825.493	806.563	789.116	789.116
Differanse i Q _{bas} fra std.verdi	5.562	0	-42.052	-67.994	-85.122	-108.032	-138.108	-157.647	-178.616	-197.546	-214.993	-214.993
Differanse i andel fra std.verdi	0.0055392	0	-0.0418799	-0.0677158	-0.0847737	-0.10758991	-0.1375428	-0.1570019	-0.1778851	-0.1967376	-0.2141132	-0.2141132
Differanse i %	0.55	0.00	-4.19	-6.77	-8.48	-10.76	-13.75	-15.70	-17.79	-19.67	-21.41	-21.41
F.x.basisverdi	0.9	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	10.0
Gropmagasinering		Standardverdi										
Gropmagasin (mm)	0.8	1.6	4.1	6.6	9.1	11.6	14.1	16.6	19.1	21.6	24.1	24.1
Q _{bas} (l/s)	1004.18	1004.109	1003.941	1003.552	1001.278	997.364	989.516	966.083	928.395	905.205	849.056	849.056
Differanse i Q _{bas} fra std.verdi	0.071	0	-0.168	-0.557	-2.831	-6.745	-14.593	-36.026	-75.714	-98.904	-155.053	-155.053
Differanse i andel fra std.verdi	7.071E-05	0	-0.0001673	-0.000547	-0.0038194	-0.0067724	-0.0145333	-0.0378704	-0.0754042	-0.0984993	-0.1544185	-0.1544185
Differanse i %	0.01	0.00	-0.02	-0.06	-0.38	-0.67	-1.45	-3.78	-7.54	-9.85	-15.44	-15.44
F.x.basisverdi	0.50	1.00	2.56	4.13	5.69	7.25	8.81	10.38	11.94	13.50	15.06	15.06
Parameterverdi lagt inn i SWMM												
Verdi som plottes												
Standardverdi brukt i Modell i												

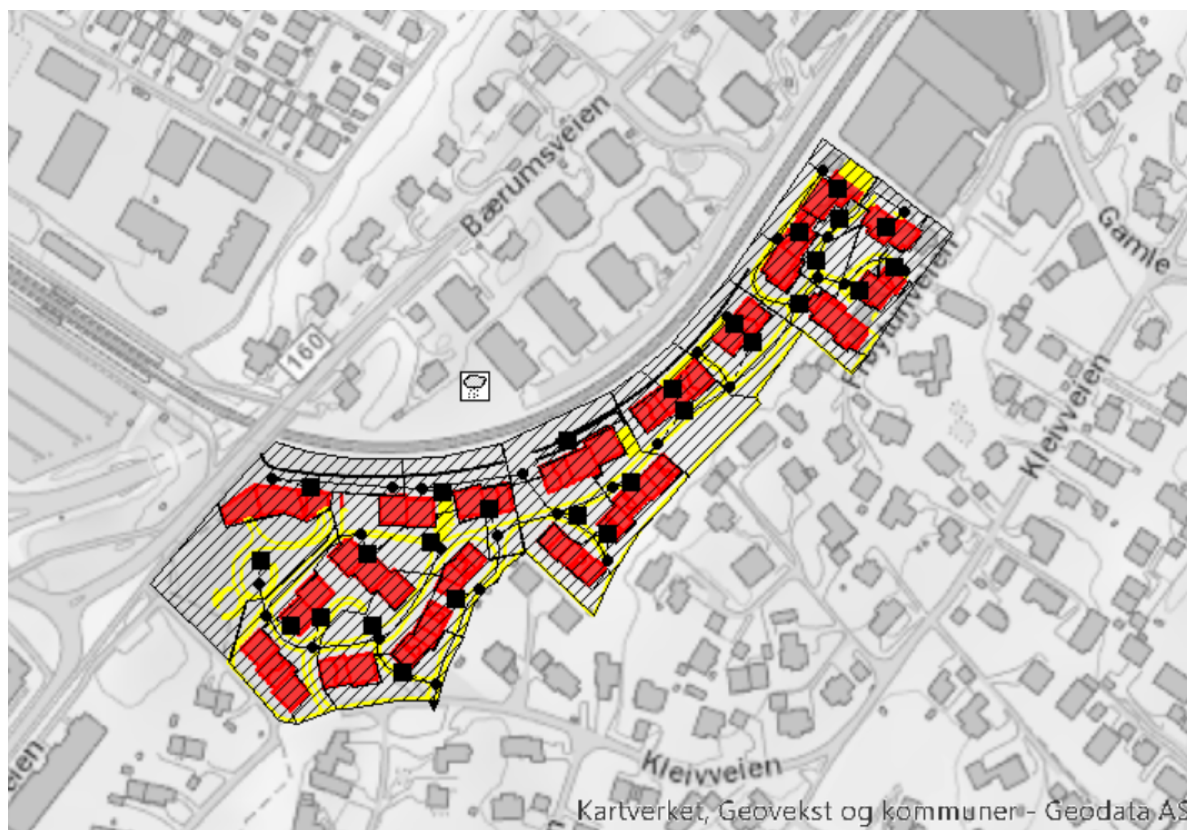
Vedlegg G. Kart



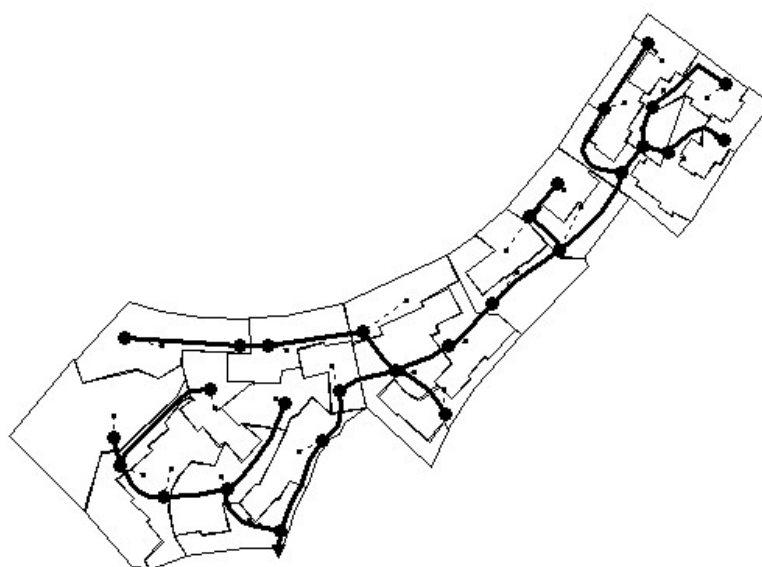
Figur G.1: Bakgrunnskart konstruert i ArcGIS PRO.



Figur G.2: Skisse fra landskapsarkitekt og arkitekt med forslag til prosjektering.
(Grindaker AS Landskapsarkitekter, 2019)



Figur G.3: Utklipp av endelig modell fra SWMM.



Figur G.4: Utklipp med delfelt, noder og ledninger fra SWMM.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway