



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Masteroppgave 2017 30 stp.
Fakultet for Realfag og Teknologi

Analyse av klimatilpasningstiltak

- **En casestudie av overvannsnett på Landås og Burumskogen i Ås kommune.**

Analysis of climate change adaptation measures

- A case study of the stormwater network in Landås and Burumskogen in municipality of Ås.

Dlnia Dara Ibrahim
Vann- og miljøteknikk

Forord

Denne oppgaven er skrevet som en avsluttende del av min mastergrad i vann- og miljøteknikk våren 2017 ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), Fakultet for Realfag og Teknologi. Oppgaven er skrevet i samarbeid med Ås kommune og tilsvarer et semesters arbeid på 30 studiepoeng. Oppgavens tema er analyse av overvannsnettets på Landås og Burumskogen i Ås kommune, også med hensyn til fremtidens klimaendringer.

Masteroppgaven har strekket seg litt i overkant av fire måneder. Det har for meg vært en tidskrevende og utfordrende periode, men samtidig også en veldig spennende og lærerik periode, der jeg har tilegnet meg mye kunnskap. Jeg har lært mye om modelleringsprogrammet SWMM, og fått et innblikk i hvordan det er å jobbe med planlegging og analyse av et nedbørsfelt.

Jeg vil takke amanuensis Jon Arne Engan som har vært min hovedveileder. Tusen takk til min biveileder professor Oddvar Lindholm, for god veiledning og tilstedeværelse gjennom hele perioden, selv på fridagene. Min kontaktperson i kommunen har vært avdelingsingeniør Lars Buhler, og han vil jeg takke for hans bidragsvilje og lett tilgjengelighet. Jeg vil også takke Kim Paus fra Asplan Viak AS for tips og forslag til oppgaven.

Takk til Eydis Dalen fra NVE for å gi meg nedbørsdata fra NVE's database, Hydra II. Også takk til Inger Marie Nordin fra det Meteorologiske Institutt, for å sende meg IVF- kurver og tabeller fra Rustadskogen målestasjon.

En stor takk går til familien min for god støtte og oppmuntrende ord gjennom hele studiet, og spesielt disse siste månedene med masteroppgaven.

Ås, 10. mai 2017

Dlnia Dara Ibrahim

Sammendrag

Som følge av klimaendringene blir jorda utsatt for mer intense nedbørs- og flomhendelser. Dette øker utfordringer knyttet til håndtering av overvann, som kan skape fare for skader på bygninger, infrastruktur og anlegg. I tillegg fører urbanisering til at andel tette flater øker, dermed minker infiltrasjonsflatene som igjen fører til økt avrenning på overflaten. All avrenning vil da renne til rørsystemene, som kommer til å trenge mye kapasitet. Ledningsnettene kan bli overbelastet og oversvømmelser kan lett oppstå. Mange norske overvannssystemer er ikke dimensjonert etter dagens norske standard. De er heller ikke dimensjonert med tanke på fremtidens klimaendringer. Faren for oversvømmelser og skade på omgivelsen kan reduseres ved hjelp av lokal overvannsdisponering (LOD). Slik reduseres avrenningen og belastningen på ledningsnettene. LOD handler om å håndtere overvannet gjennom infiltrering og/eller fordrøyning før det eventuelt blir ledet videre til ledningsnettene. Der det er fellessystemer, kan LOD- tiltak bidra til å redusere faren for forurensning av resipienter da sjansen for at avløpet går i overløp blir mindre.

I denne oppgaven er det laget en overvannsmodell i modelleringsprogrammet SWMM over Landås og Burumskogen. Områdene ligger et stykke utenfor Ås sentrum. Modellen ble i første omgang kalibrert, som vil si å sammenligne en målt- og en simulert avrenning for å få en mest mulig virkelighetsnær modell. For å kalibrere modellen ble det benyttet avrenning målt i en kum på Landås, og nedbørsdata fra Hydra II, som er NVE sin database. For verifisering av modellen ble det benyttet en nedbørshendelse, og til etterprøving av modellen ble det benyttet en annen uavhengig nedbørshendelse. En følsomhetsanalyse av modellen ble gjennomført og viste seg at parameterne «andel tette flater», «rør- ruhet» og «Grop- magasin for permeable flater» var de tre mest følsomme parameterne, da de ga størst utslag i maksimal avrenning.

Intensitet, varighet og frekvens- kurven (IVF- kurve) for Rustadskogen ble benyttet til å simulere nedbørshendelser fra ulike gjentaksintervaller. For å simulere med hensyn til fremtidens klimaendringer ble 50 % klimatillegg lagt til de ulike gjentaksintervallene fra IVF- kurven. Til sammen ble det kjørt simuleringer for 10-, 20-, 50- og 100- års gjentaksintervaller med og uten klimatillegg, og med og uten LOD- tiltak. I tillegg ble det også kjørt et monsterregn både med og uten LOD- tiltak. LOD- tiltakene var frakobling av takflater, regnbed og grønne veigrøfter.

Det viste seg at dagens ledningsnett ikke opprettholder kravene om å tåle et 20 – års regn. Problemet blir enda større når fremtidens klimaendringer blir tatt med i betraktning. Tiltakene bidro til høy reduksjon av avrenning fra delfeltene. Antall oversvømmelser, antall bygningsskader og belastningen på ledningsnettene ble betydelig redusert. Gjentaksintervaller med 50 % klimatillegg og tiltak, ble omtrent redusert til dagens IVF- kurve uten tiltak. Frakobling av takflater og regnbed hadde gode effekter selv ved 50- og 100- års gjentaksintervaller.

Abstract

Climate change will lead to an increase in intense precipitation and flood events which will lead to damage of buildings, infrastructure and facilities. This increases the challenges for storm water management. Urbanization is also leading to an increase of proportion impervious areas, and therefore infiltration areas are limited, which leads to an increase of the surface runoff. The runoff flows to the pipe systems, that will need a large capacity. The pipe network can be overloaded and floods may easily arise. Many of the Norwegian storm water systems were not designed by today's Norwegian standards. Nor are the systems designed for future climate changes. The risk of floods and damage of the surroundings can be reduced by using low impact development (LID). This will decrease the amount of surface runoff and the load on the pipe network. LID concerns infiltration and/or attenuation of the storm water, before it eventually flows to the pipe network. LID- systems contribute the risk of contamination of the recipients, where there is combined sewer systems, as the change of drain water going through overflow decreases.

In this thesis, one storm water model of the areas Landås and Burumskogen was made in the modeling program SWMM. These areas are a short distance from the center of Ås. The model was calibrated in the first stage, which means that a measured- and a simulated runoff were compared to get a model closest to reality. For the model calibration a measured runoff from a manhole near the outlet on Landås was used, and the precipitations data from Hydra II, which is NVE's database, was also used. For verification of the model, a precipitation event was used, and another independent precipitation event was used for validation of the model. A sensitivity analysis was completed and it was found that the parameters "proportion of impervious areas", "conduit roughness" and "depth of depression storage on pervious areas" were the three most sensitive parameters, as they gave the greatest impact of the maximum runoff.

The Intensity, duration and frequency - curve (IVF- curve) from Rustadskogen was used to simulate precipitation events from different recurrence intervals. To simulate with respect to the future climate changes, a 50 % climate addition was added to each of the recurrence intervals from the IVF- curve. Simulations for 10-, 20-, 50- and 100- year recurrence intervals was run, both with and without the 50 % climate addition, and with and without LID controls. A monsterrain was also run, both with and without LID controls. The LID controls that were used were roof disconnection, raingarden and vegetative swales.

The results showed that today's pipe network does not maintain the requirement to bear a 20-year's rainfall. This problem is bound to increase in the future, due to climate changes. The LID controls contribute to a greater reduction of the maximum runoff from the subcatchments. The number of floods, building damages and the load of the pipe network also reduces considerably, by using LID controls. The recurrence intervals with 50 % climate addition and LID control, was approximately reduced to today's IVF- curve without LID

controls. Roof disconnection and raingarden showed good results on the reduction of maximum runoff, even for 50- and 100- year recurrence intervals.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag	II
Abstract	III
Figurliste	VIII
Tabelliste	XI
Formelliste	XII
Liste over forkortelser	XII
1. Innledning	1
1.1 Mål for oppgaven.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Fremgangsmåte, metode og struktur	1
2. Bakgrunn	3
2.1 Flom	3
2.2 Ås kommune.....	3
2.3 Målestasjonen Rustadskogen.....	3
2.4 Storm Water Management Model (SWMM).....	4
3. Litteraturstudie.....	5
3.1. Det hydrologiske kretsløpet	5
3.1.1 Nedbør.....	6
3.2 Klima	6
3.2.1 Globaloppvarming	6
3.2.2 Nordisk klima	6
3.2.3 Endring og utvikling i Norges klima	7
3.2.4 Klimautvikling	7
3.3 Urbanhydrologi.....	9
3.4 Overvannshåndtering	10
3.4.1 Tradisjonelt overvannssystem	10
3.4.2 Lokal Overvannsdiskonering (LOD)	11
3.4.3 Beregningsmetode for overvann	13
3.4.4 Konsentrasjonstid	16
3.5 Nedbørsdata	16
3.5.1 Nedbørmåling	16
3.5.2 Usikkerheter i målinger	17
3.5.3 Hydra II	17
3.5.4 IVF- kurver	17
3.5.5 Monsterregnet.....	18
3.6 Matematiske modeller.....	18
3.6.1 SWMM modeloppbygging og beregningsmetode.....	19
3.7 Lover og retningslinjer	22
3.7.1 EUs vannrammedirektiv	22
3.7.2 Norsk Vann veileder	22
3.7.3 Ås kommune.....	22
4 Analyseområdet	23
5 Metode.....	25

5.1	Modelloppbygging	25
5.1.1	SWMM beregningsmetode.....	26
5.1.2	Parametere.....	26
5.2	Måledata benyttet til kalibrering av modell	26
5.2.1	Nedbør- og avrenningsdata	27
5.3	Kalibrering	28
5.3.1	Modell verifikasjon	29
5.3.2	Modell følsomhet	29
5.3.3	Modellvalidering/etterprøving	29
5.4	Modell simulering	30
5.4.1	Konstruksjon av regnhyetogram.....	30
5.5	Modellsimulering	31
5.5.1	Simulering av dagens situasjon.....	32
5.5.2	Beregning av avrenning med den rasjonelle metode	32
5.5.3	Simulering med Monsterregnet	32
5.6	Simulering av LOD- tiltak.....	34
5.6.1	Frakobling av taknedbør	34
5.6.2	Regnbed.....	34
5.6.3	Grønne veigrøft	35
6	Resultat	37
6.1	Kalibrering	37
6.1.1	Verifikasjon av modellen	37
6.1.2	Modellfølsomhet	37
6.1.3	Etterprøving.....	39
6.2	Simulering.....	40
6.2.1	Simulering av dagens situasjon.....	41
6.2.2	Den rasjonelle metode	43
6.3	Simulering av LOD- tiltak.....	43
6.3.1	Frakobling av takflater	43
6.3.2	Regnbed som LOD tiltak	44
6.3.3	Grønne veigrøfter	45
6.3.4	Simulering av LOD- tiltak på Burumskogen	47
7	Diskusjon	51
7.1	Modell kalibrering.....	51
7.1.1	Modellverifisering.....	51
7.1.2	Modellfølsomhet	51
7.1.3	Modell etterprøving	52
7.2	Andre SWMM parametere	53
7.3	Simulering av modellen.....	53
7.3.1	Konstruksjon av regnhyetogram.....	53
7.3.2	Simulering av dagens situasjon.....	53
7.3.3	Den rasjonelle metode	54
7.4	Simulering av LOD- tiltak på Landås	54
7.4.1	Frakobling av takflater	54
7.4.2	Regnbed.....	54
7.4.3	Grønne veigrøfter	55
7.5	Monsterregnet.....	55
7.6	Simulering av LOD- tiltak på Burumskogen.....	55
8	Konklusjon.....	57
9	Vedlegg.....	61

Vedlegg A Parameterverdier hentet fra SWMM manualen	61
Vedlegg B IVF- kurve og tabell for Rustadskogen målestasjon	63
Vedlegg C Regnhyetogrammer og gjentaksintervaller med og uten klimatillegg.	65
Vedlegg D Avrenningskurver med og uten LOD- tiltak	68
Vedlegg E Monsterregnet, tid og intensitet	73
Vedlegg F Avrenning i millimeter fra hvert enkelt delfelt på Burumskogen	74

Figurliste

FIGUR 3.1: VANNETS KRETSLØP (USGS 2016).	5
FIGUR 3.2: A). GLOBAL (1986-2005) OG FREMTIDIG (2081-2100) GJENNOMSNIITTSTEMPERATUR. B). GLOBAL (1986-2005) OG FREMTIDIG (2081-2100) NEDBØRSENDRING SOM FØLGE AV GLOBAL OPPVARMING. (STOCKER ET AL. 2013).	8
FIGUR 3.3: AVRENNINGSINTENSITET UNDER ULIKE TYPEOMRÅDER (NORSK HYDROLOGIRÅD 2011).	9
FIGUR 3.4: ILLUSTRASJON AV TRADISJONELT OVERVANNSSYSTEM (MILJØDIREKTORATET 2016). ALL OVERVANNET LEDES BORT I LUKKEDE SYSTEMER.	11
FIGUR 3.5: ILLUSTRASJON AV TRELEDDSTRATEGIEN. DE OPPGITTE TALLENE ER GITT SOM EKSEMPLER OG MÅ TILPASSES LOKALT (LINDHOLM ET AL. 2008).	11
FIGUR 3.6: ÅPEN OG LOKAL OVERVANNSDISPONERING (MILJØDIREKTORATET 2016). OVERVANNET FINNER SINE NATURLIGE VEIER NED TIL GRUNNEN GJENNOM INFILTRASJON, FORDRØYNING OG BORTLEDING I ÅPNE FLOMVEIER OG DAMMER.	13
FIGUR 3.7: GRAFISK ILLUSTRASJON AV HORTONS INFILTRASJONSMODELL (SÆLTHUN 2011)...	20
FIGUR 4.1: ANALYSEOMRÅDETS Plassering (RØD LINJE) I FORHOLD TIL ÅS SENTRUM (NORGES KART 2017).	23
FIGUR 4.2: JORDSMONNET PÅ LANDÅS ER KLASIFISERT AV NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE, OG VISER AT ANALYSEOMRÅDET STORT SETT BESTÅR AV TYNN MARIN AVSETNING (LYSE BLÅ), OG ET LITE OMRÅDE BESTÅ AV BART FJELL(ROSA) (NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE 2017).	23
FIGUR 4.3 KARTUTSNITT OVER ANALYSEOMRÅDET OG Plassering AV UTLØPENE. RØD TREKANT ILLUSTRERER Plassering AV UTLØP PÅ LANDÅS, OG BLÅ TREKANT ILLUSTRER Plassering AV UTLØPENE PÅ BURUMSKOGEN (NORGES KART 2017).	24
FIGUR 4.4: ANALYSEOMRÅDETS INFILTRASJONSEVNE (NORGES GEOLOGISKE UNDERSØKELSE 2017).	24
FIGUR 5.1: MODELL AV ANALYSEOMRÅDET I ÅS KOMMUNE TEGNET I SWMM.	25
FIGUR 5.2: NEDBØR REGISTRERT 11. SEPTEMBER 2016 I MM/MINUTT, BENYTTET TIL KALIBRERING AV MODELLEN.	27
FIGUR 5.3: NEDBØR REGISTRERT 19. JUNI 2016 I MM/MINUTT, BENYTTET TIL ETTERPRØVING AV MODELLEN.	27
FIGUR 5.4: AVRENNING MÅLT 11. SEPTEMBER 2016 I LITER/SEKUND, BENYTTET TIL KALIBRERING AV MODELLEN.	28
FIGUR 5.5: AVRENNING MÅLT 19. JUNI 2016 I LITER/SEKUND, BENYTTET TIL ETTERPRØVING AV MODELLEN.	28
FIGUR 5.6: SYMMETRISK REGNHETOGRAM BASERT PÅ 10- ÅRS RETURPERIODE.	31
FIGUR 5.7: 10- ÅRS GJENTAKSINTERVALL MED OG UTEN KLIMATILLEGG PÅ 50%.	31
FIGUR 5.8: 20- ÅRS GJENTAKSINTERVALL MED OG UTEN KLIMATILLEGG PÅ 50%.	32
FIGUR 5.9: INTENSITETEN FOR MONSTERREGNET I MM/TIME.	33
FIGUR 5.10: IVF- KURVE OVER KØBENHAVN KOMMUNE, MED INNPLOTTING AV FIRE PUNKTER FRA MONSTERREGNET (RØD LINJE) (LARS BUHLER 2013)	33
FIGUR 5.11: ILLUSTRASJON AV REGNBED I SWMM (ROSSMAN ET AL. 2015).	34
FIGUR 5.12: ILLUSTRASJON AV GRØNN VEIGRØFT I SWMM (ROSSMAN ET AL. 2015).	35
FIGUR 6.1: KONTINUITETSFEIL FORÅRSAKET AV FEIL KUMHØYDER. BILDENE VISER SAMME LEDNINGSSTREKK FØR(ØVERST) OG ETTER(NEDERST) AT FEILEN BLE RETTET OPP.	37
FIGUR 6.2: FØLSOMHETSANALYSE AV PARAMETERNE RØR-RUHET, BREDDE, HELNING, GROP- MAGASINERING AV IMPERMEABLE FLATER OG ANDEL TETTE FLATTER TOTALT, UTFØRT PÅ 20-ÅRS REGN I PRIMÆRMODELLEN.	38
FIGUR 6.3: MÅLT AVRENNING FRA 11. SEPT. 2016 FREMSTILT MOT SIMULERT AVRENNING FØR OG ETTER PARAMETERJUSTERING.	38

FIGUR 6.4: ETTERPRØVING AV MODELLEN MED NEDBØRSHENDELSE FRA 19. JUNI 2016.....	39
FIGUR 6.5: ENDRING AV ETTERPRØVD MODELL FRA 19.JUNI 2016 VED Å REDUSERE ANDEL TETTE FLATER MED 35%.....	40
FIGUR 6.6: SAMMENLIGNING AV NEDBØRINTENSITETER FRA IVF- KURVEN, MED OG UTEN KLIMATILLEGG PÅ 50%.....	41
FIGUR 6.7: OPPSTUVING I KUMMER PÅ GRUNN AV STOR VARIASJON I RØRDIMENSJONER.....	42
FIGUR 6.8: AVRENNING VED MONSTERREGNET, 10- OG 100- ÅRS REGN. AVRENNINGER ER FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	42
FIGUR 6.9: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER FOR ET 10- ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	44
FIGUR 6.10: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	45
FIGUR 6.11: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	46
FIGUR 6.12: MONSTERREGNET MED OG UTEN BRUK AV LOD- TILTAK.....	47
FIGUR 6.13: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN.....	48
FIGUR 6.14: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN.....	48
FIGUR 6.15: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNNE VEIGRØFT SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN.....	49
FIGUR 6.16: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN.....	49
FIGUR 6.17: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN.....	50
FIGUR 6.18: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNN VEIGRØFT SOM LOD- TILTAK VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. AVRENNINGSVERDIER ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN.....	50
FIGUR 9.1: IVF- KURVE FOR RUSTADSKOGEN MÅLESTASJON.....	63
FIGUR 9.2: TABELL FOR NEDBØRINTENSITET L/S HA, FOR RUSTADSKOGEN MÅLESTASJON.....	64
FIGUR 9.3: SYMMETRISK REGNHETOGRAM BASERT PÅ 10- ÅRS RETURPERIODE.....	65
FIGUR 9.4: SYMMETRISK REGNHETOGRAM BASERT PÅ 50- ÅRS RETURPERIODE.....	65
FIGUR 9.5: SYMMETRISK REGNHETOGRAM BASERT PÅ 100- ÅRS RETURPERIODE.....	66
FIGUR 9.6: 50- ÅRS GJENTAKSINTERVALL MED OG UTEN KLIMATILLEGG PÅ 50%.....	66
FIGUR 9.7: 100- ÅRS GJENTAKSINTERVALL MED OG UTEN KLIMATILLEGG PÅ 50%.....	67
FIGUR 9.8: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	68
FIGUR 9.9: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVED UTLØPET PÅ LANDÅS.....	68
FIGUR 9.10: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA HOVEDUTLØPET PÅ LANDÅS.....	69
FIGUR 9.11: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN.....	69

FIGUR 9.12: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN. ...	70
FIGUR 9.13: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 24463 PÅ BURUMSKOGEN.	70
FIGUR 9.14: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN. ...	71
FIGUR 9.15: AVRENNING FØR OG ETTER FRAKOBLING AV TAKFLATER VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN. ...	71
FIGUR 9.16: AVRENNING FØR OG ETTER BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER SOM LOD- TILTAK VED ET 20-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. RESULTATET ER HENTET FRA UTLØP 25740 PÅ BURUMSKOGEN.	72

Tabelliste

TABELL 3.1: KATEGORISERING AV TEKNISKE LØSNINGER FOR HÅNDTERING AV OVERVANN (NORSK VANN 2014).	12
TABELL 3.2: AVRENNINGSKOEFFISIENTER FOR ULIKE TYPER FLATER (SÆTERBØ ET AL. 1998).	15
TABELL 3.3: NORSK VANNS MINIMUMSDIMENSJONERENDE GJENTAKSINTERVALL (LINDHOLM ET AL. 2008).	22
TABELL 5.1: PARAMETERVERDIER VALGT TIL PRIMÆRMODELLEN.	26
TABELL 5.2: RESULTATER FRA ET 60 MINUTTERS REGNHYETOGRAM BASERT PÅ 20- ÅRS GJENTAKSINTERVALL.	30
TABELL 5.3: OVERSIKT OVER ULIKE PARAMETERVERDIER LAGT INN I SWMM VED BRUK AV REGNBED SOM LOD- TILTAK.	35
TABELL 5.4: OVERSIKT OVER ULIKE PARAMETERVERDIER LAGT INN VED BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER SOM LOD TILTAK.	36
TABELL 6.1: ALTERNATIV TIL PARAMETERJUSTERING FOR Å MINKE VARIASJONEN MELLOM MÅLT OG SIMULERT AVRENNING.	39
TABELL 6.2: ENDELIGE PARAMETERVERDIER BRUKT I MODELLEN.	40
TABELL 6.3: OVERSIKT OVER OVERSVØMMELSER OG SKADER PÅ BYGNINGER VED ULIKE GJENTAKSINTERVALLER, MED OG UTEN 50% KLIMATILLEGG.	41
TABELL 6.4: BEREGNINGSGRUNNLAG FOR BEREGNING MED DEN RASJONELLE METODE.	43
TABELL 6.5: OVERSIKT OVER ANTALL OVERSVØMMELSER OG SKADER PÅ BYGNINGER VED TAKFRAKOBLING.	44
TABELL 6.6: OVERSIKT OVER ANTALL OVERSVØMMELSER OG SKADER PÅ BYGNINGER VED BRUK AV REGNBED.	45
TABELL 6.7: OVERSIKT OVER ANTALL OVERSVØMMELSER OG SKADER PÅ BYGNINGER VED BRUK AV GRØNNE VEIGRØFTER.	46
TABELL 9.1: PARAMETERE FOR GROP- MAGASIN FOR PERMEABLE FLATER IMPERMEABLE FLATER (ROSSMAN ET AL. 2015).	61
TABELL 9.2: RUHET PERMEABLE FLATER (ROSSMAN ET AL. 2015).	61
TABELL 9.3: RUHET IMPERMEABLE FLATER (ROSSMAN ET AL. 2015).	61
TABELL 9.4: RØR- RUHET (ROSSMAN ET AL. 2015).	61
TABELL 9.5: MAKSIMUM INFILTRASJONSRATE FOR ULIKE JORDTEKSTURER (ROSSMAN ET AL. 2015).	62
TABELL 9.6: MIN INFILTRASJONSRATE FOR ULIKE JORDTEKSTURER (ROSSMAN ET AL. 2015).	62
TABELL 9.7: AVTAKINGSKONSTANT OG TØRKE TID FOR JORDEN (ROSSMAN ET AL. 2015).	62
TABELL 9.8: TID ETTER START OG INTENSITET AV MONSTERREGNET (LINDHOLM ET AL. 2013)	73
TABELL 9.9: AVRENNING I MILLIMETER FRA HVERT ENKELT DELFELT PÅ BURUMSKOGEN VED ET 10-ÅRS GJENTAKSINTERVALL. TOTAL AVRENNING FOR HELE BURUMSKOGEN, ER SUMMEN AV ALLE VERDIER FOR ALLE DELFELT.	74

Formelliste

FORMEL 3.1: VANNBALANSELIGNINGEN.....	5
FORMEL 3.2: VANNBALANSELIGNING VED KONSTANT MAGASINERING (KITTERØD 2016).....	6
FORMEL 3.3: DEN RASJONELLE FORMEL.....	14
FORMEL 3.4: KONSENTRASJONSTID.....	16
FORMEL 3.5: STRØMNINGSTID I RØR.....	16
FORMEL 3.6: HORTONS LIGNING (BØYUM ET AL. 1997).....	20
FORMEL 3.7: MANNINGS- FORMEL FOR STRØMHASTIGHET (ROSSMAN ET AL. 2015).....	20
FORMEL 3.8: SAINT VENANTS LIGNING- KONTINUITETSLIGNINGEN.....	21
FORMEL 3.9: SAINT VENANTS LIGNING- MOMENTLIGNINGEN.....	21
FORMEL 5.1: ABSOLUTT GJENNOMSNTTLIG FORSKJELL MELLOM MÅLT OG BEREGNET MAKSIMAL AVRENNING I PROSENT.....	28
FORMEL 5.2: F- VERDI.....	29

Liste over forkortelser

FN	Forente nasjoner
GIS	Geografiske informasjonssystemer
IVF	Intensitet, varighet, frekvens
LOD	Lokal overvannsdiskonering
NGU	Norges geologiske undersøkelse
NLH	Norges landbrukshøgskole
NMBU	Norges miljø og biovitenskapelige universitet
NOU	Norges offentlige utredninger
NVE	Norges vassdrag- og energidirektorat
RegClim	Regional Climate Development Under Global Warming
SWMM	Storm water management model
VA	Vann og avløp

1. Innledning

Med den stadig økende befolkningsveksten og fortetting av flater som følge av urbanisering, øker også utfordringene tilknyttet håndtering av overvannet. Tradisjonelt blir vannet ledet bort fra overflaten gjennom lukkede systemer og bort til enten nærmeste resipient eller renseanlegg. Det er imidlertid ikke kun én årsak til overvannsproblemene, men heller flere sammensatte faktorer som økende urbanisering, naturgitte forhold og klimaendringer som stadig gir mer intense og hyppigere nedbørshendelser. Dette overbelaster ledningssystemene, og kan skape oversvømmelsesproblemer som kan gi skade på helse, miljø og bebyggelser, dersom vannet ikke blir håndtert på en god og riktig måte.

For å kunne forstå utfordringene tilknyttet overvann, er det viktig å ha kunnskap om urbanhydrologi. Samtidig er det nødvendig med gode nedbør- og avrenningsmålinger for å kunne lage virkelighetsnære modeller. I dag drifter NVE 9 urbanstasjoner fordelt over hele landet, der det blir registrert informasjon om nedbør, avrenning og snøsmelting (Dalen et al. 2016).

Flere og flere kommuner, inkludert Ås kommune, retter fokus mot det økende problemet tilknyttet overvann. Ås kommune har i de siste årene fokusert på kartlegging av overvannshåndteringen i kommunen. Temaet fra denne oppgaven er basert på et forslag fra Ås kommune. Det skal kjøres simuleringer av nedbør ved ulike gjentakintervaller hentet fra IVF- kurven, og effekten av klimaendringene på ledningssystemet ved hjelp av programvaren SWMM.

1.1 Mål for oppgaven

Denne oppgaven har som mål å benytte nedbørdata fra Rustadskogen målestasjon for å analysere overvannsnett på Landås- og Burumskogen området, et lite stykke utenfor Ås sentrum. Til modellering og simulering av ledningsnett benyttes programvaren SWMM.

Det urbanhydrologiske nedbørfeltet vil bli analysert ved hjelp av modellen med tanke på:

- Ledningskapasiteten ved dagens og fremtidens nedbørshendelser.
- Virkning av fremtidens klimaendringer på ledningsnett og urbanområdet.
- Ulike LOD tiltak.

1.2 Problemstilling

Oppgavens problemstilling omfatter:

- Ledningssystemets hydrauliske kapasitet
- Effekten av ulike nedbørintensitet på modellen
- Tiltak mot fremtidens klimaendringer

1.3 Fremgangsmåte, metode og struktur

Oppgaven er inndelt i 9 hovedkapitler, og 29 delkapitler med underkapitler. Kapittel 2 beskriver kort bakgrunn for oppgaven. Kapittel 3 vil ta for seg en litteraturstudie som

presenterer noen aktuelle tema for å øke forståelsen rundt oppgaven. Kapittel 4 vil gi en kort beskrivelse av prosjektområdet og deretter vil metodene som blir brukt i oppgaven gjennomgås i kapittel 5. Resultatene vil bli presentert i et eget kapittel, kapittel 6, før de diskuteres i kapittel 7. Til slutt vil oppgaven konkluderes ut fra problemstillingen i kapittel 8. Alle vedlegg er lagt i kapittel 9.

2. Bakgrunn

2.1 Flom

Generelt brukes ordet flom om høye vannføringer og vannstand, som kan føre til oversvømmelser og skade på omgivelsen (Sælthun 1988). Det er forventet flere og større regnflommer fremover mot slutten av århundre (Klimatilpasning 2015).

Skadene flom fører med seg er i stadig økning på grunn av (Lindholm 2013b):

- Overbelastning av ledningsnett som følge av økt innflytting til byene.
- Gamle og dårlig vedlikeholdte ledningsnett.
- Mer verdifulle artikler legges i kjellere på grunn av full boligstandard i kjellere.
- Økonomiske årsaker som gjør at det bygges mer på utsatte tomter.
- Klimaendringene som har ført med seg mer intense og kraftige nedbørshendelser.

2.2 Ås kommune

Ås kommune ligger i Follo i Akershus og grenser til Vestby, Oppegård, Ski og Frogn i Akershus og Hobøl i Østfold. Kommunen ligger 95 meter over havet og har 18 992 innbyggere (31. Desember 2015) (Ås kommune 2016). Et stykke unna sentrum ligger Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU), som tidligere var kjent som Norges landbrukshøgskole (NLH).

Ås kommune har den høyeste befolkningsveksten av Follokommunene. I løpet av de siste tiårene har befolkningsveksten i kommunen økt med 20 %. Det er forventet en fortsatt kraftig befolkningsvekst i løpet av de kommende årene (Universitetsledelsen US64 2015). Dette må tas med i betraktning ved iverksetting av tiltak på vann- og avløpsnett.

De økende klimaendringene sammen med den økende befolkningsveksten i kommunen, vil belaste avløpsnettet betraktelig fremover og medføre overløp og kapasitetsproblemer.

For å redusere risikoen for flom i utsatte områder er en god overvannshåndtering i utsatte områder viktig. Lokalt håndtering av overvannet vil øke vannmengden der vannet opprinnelig kommer fra, dermed vil belastningen på ledningsnett videre nedstrøms bli mindre og flomtoppene reduseres (Ås kommune 2015a).

Kommunen benytter kartverker Gemini Vann og Avløp (Gemini VA), som er et system for forvaltning og dokumentasjon av VA nett. Systemet inkluderer GIS- funksjoner for synliggjøring og analyse. All informasjon om ledninger og kummer i kommunen registreres i systemet (Powel 2017).

2.3 Målestasjonen Rustadskogen

Stasjonen hører til Skuterudfeltet og ligger 125 meter over havet. Målestasjonen startet med målinger først i 1973 i forbindelse med prosjektet ”Urbaniseringens innvirkning på avrenningsforholdene i små nedbørfelt”, og registrerer per dags dato nedbør, vannstand, lufttemperatur, luftfuktighet og snøsmelting.

Fra 14. Desember 2004 er nedbør målt med vippepluviograf med oppvarming, for å forbedre vinterdata (Dalen et al. 2016).

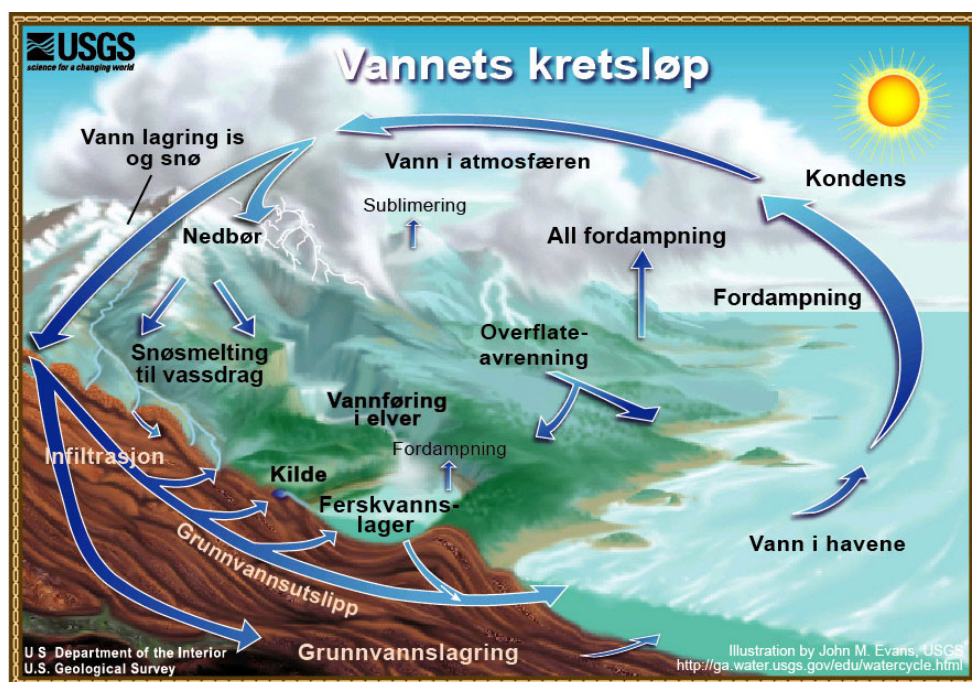
2.4 Storm Water Management Model (SWMM)

EPA Storm Water Management Model (SWMM) er en dynamisk nedbør- avrenning simuleringsmodell, for enkelt hendelser og/eller kontinuerlige simuleringer av avrenning med mengde og kvalitet. Programmet brukes primært for urbane områder. Det er et kjent modelleringsverktøy som blir brukt til planlegging, analyse og design av overvannsavrenning verden over. I Routing delen i simuleringen blir vannet ledet fra nedslagsfeltet ned i kummer, gjennom rørsystemer, kanaler, behandlingenheter, regulatorer og pumper. Nedslagsfeltene kan ha ulike avrenningsfaktorer, og modellen vil derfor bli mer virkelighetsnær. Mengden og kvaliteten på avrenningen som genereres fra nedslagsfelt, og strømningshastigheten, strømningsdybden og kvaliteten på vannet i hvert rør og kanal, vil under en simuleringsperiode bestå av flere tids- steg. SWMM kan modellere generert forurensning fra overflater. Resultatene blir fremstilt som fargekoder i modellens nedbørsfelt og transportsystemer, tidsserier i grafer og tabeller, profiler og statiske frekvensanalyser. SWMM har siden den først ble utviklet i 1971, gjennomgått flere oppgraderinger. Modelleringsprogrammet bruker Windows som plattform (Rossman et al. 2015).

3. Litteraturstudie

3.1. Det hydrologiske kretsløpet

”Hydrologi er læren om vannets forekomst, egenskaper, kretsløp og vekselvirkning med omgivelsene” (Norsk Vann 2014). Det hydrologiske kretsløpet beskriver vannets sirkulasjon gjennom de ulike prosessene på jorden. Dette kretsløpet blir i hovedsak drevet av solenergien, hvor jordoverflaten varmes og som følge av dette vil vandråpene gjennomgå en faseovergang fra væske til gass. Denne faseovergangen kalles fordampning (Hendriks 2010). Dampen blir så drevet opp og inn i atmosfæren ved hjelp av stigende luftstrømmer, og her vil den på grunn av lave temperaturer kondensere til skyer. Skyene blir drevert rundt av luftstrømmer, og skypartklene kolliderer sammen og danner større dråper som til slutt faller ned i form av nedbør (NSGU). Og slik fortsetter kretsløpet i det uendelige.



Figur 3.1: Vannets kretsløp (USGS 2016).

En ligning som uttrykker dette kretsløpet er vannbalanseligningen. Vann som faller i form av nedbør i et nedbørsfelt vil enten lagres i magasiner (dS) eller forlate nedbørsfeltet ($E + R$).

Vannbalanseligningen uttrykkes som (Hendriks 2010):

$$P = E + R + (- dS)$$

Formel 3.1: Vannbalanseligningen.

Der $P = \text{Nedbør}$

$E = \text{Evapotranspirasjon}$

$R = \text{Avrenning}$

$dS = \text{Endring i magasin (Grunnvann, hav, innsjø, markvann, is og snø)}$

Dersom tidsrommet er langt kan magasineringen settes lik null, da massebalansen inn og ut av magasinet blir tilnærmet konstant. Vannbalanseligningen blir da:

$$P = E + R$$

Formel 3.2: Vannbalanseligning ved konstant magasinering (Kitterød 2016).

3.1.1 Nedbør

Vanligvis skiller vi mellom tre ulike typer nedbør. Disse tre typene omtales kort nedenfor:

Orografisk nedbør: Oppstår når hindringer som for eksempel fjell tvinger luftmassene til å stige oppover. Det blir en adiabatisk avkjøling av lufta og det gir ofte lokalt mye nedbør. På lesiden vil det derimot falle lite nedbør. På Vestlandet oppstår det ofte orografisk nedbør, da fjellene står som hindring for den fuktige lufta fra havet. På Østlandet, som ligger på lesiden faller det da mindre nedbør (Hendriks 2010).

Konvektiv nedbør: Lufta stiger som følge av lokal oppvarming av lufta over bakken. Noe av lufta blir da lettere enn den omkringliggende lufta og stiger dermed oppover, og blir gradvis nedkjølt. Vanndampen kondenserer og dermed dannes det skyer og nedbør. Denne type regn har høy intensitet, men er kortvarig (Friborg 2013).

Frontnedbør: Varm og kald luft møtes. Da varm luft er lettere enn kald luft vil den varme lufta presses over den kalde lufta, og etterhvert avkjøles når den stiger oppover. Dette resulterer i nedbør, da kald luft ikke klarer å holde på like mye fuktighet som varm luft (Norsk Vann 2014).

3.2 Klima

Klima er *"en beskrivelse av gjennomsnittsværet på ett sted eller område, slik det framkommer når enkeltobservasjoner bearbeides statistisk etter internasjonale retningslinjer"* (FN-Sambandet 2016a).

3.2.1 Globaloppvarming

Drivhusgassene er gasser som holder på varmen i atmosfæren, og er nødvendige for å at jorda skal være levelig. Uten drivhusgassene ville jorda vært mye kaldere, og middeltemperaturen ville vært på -18 grader. I dag har jorda en middeltemperatur på +15 grader (Naturvernforbundet 2014).

Problemet oppstår når utslipp av klimagasser blir større enn det som er naturlig i atmosfæren, dermed øker oppvarmingseffekten og klimaet endrer seg (FN- Sambandet 2016a). Dette fenomenet kalles global oppvarming.

3.2.2 Nordisk klima

Nordens hydrologi preges i hovedsak av (Tollan 2013):

- Et kjølig klima
- Store nedbørsmengder
- Vår geologiske historie med kvartære istider

Det kjølige klimaet i Norden kommer av en negativ strålingsbalanse på Nordens breddegrader, og vi får et kjølig klima. Middelttemperaturen i januar er under 0 grader, mens i juni er den mellom 10 grader og 17 grader (Tollan 2013).

De store nedbørsmengdene skyldes Nordens beliggenhet i vestavindsbeltet langs polarfronten og arktikfronten. Som følge av dette transporteres mye fuktig luft mot Norden, både vinter og høst. Heving og avkjøling av luften ved høydeforskjeller i terrenget gir opphav til intensivnedbør, mens de lavtliggende områdene får normalt moderate nedbørsmengder (Tollan 2013).

På grunn av kvartære istider er topografien i Norden bestående av høye fjell, mange lange og dype innsjøer, korte vassdrag og høye fosser. De nordiske innsjøenes store hydrologiske rolle er at de virker som en utjevnende faktor i avløpet. Ofte er flomvannføringer lavere og lavvannføringer høyere i nedbørsfelt med mange eller store innsjøer (Tollan 2013).

3.2.3 Endring og utvikling i Norges klima

Norge har et svært variabelt klima, både geografisk og gjennom året. Sammenlignet med andre nordiske land på samme breddegrad har Norge et svært mildt klima. I tillegg til at varmen tilført med vestavindsbelte i atmosfæren får Norge også varme tilført fra Golfstrømmen i havet. Det er variasjonen i disse strømningsforholdene som gir så store utslag i vårt lokale klima her i landet. Norges topografi påvirker også klimavariasjonene regionalt, spesielt når det gjelder nedbør (NOU 2010:10).

Årsmiddelttemperaturen for Norge er om lag 1 grader, men varierer fra 6 grader på kysten av Vestlandet lavere enn -4 grader i høyfjellet. Gjennomsnittlig årsnedbør i Norge er beregnet til 1486 mm, der 346mm fordamper og 1140 går til avrenning.

I løpet av normalperioden (1961-1990) har avrenningen i Norge økt med 2,5 %, og årsnedbøren har økt i alle regioner med 5% på fastlandet, mens på Vestlandet har det vært en nedbørsøkning på 5-10% (NOU 2010:10).

3.2.4 Klimautvikling

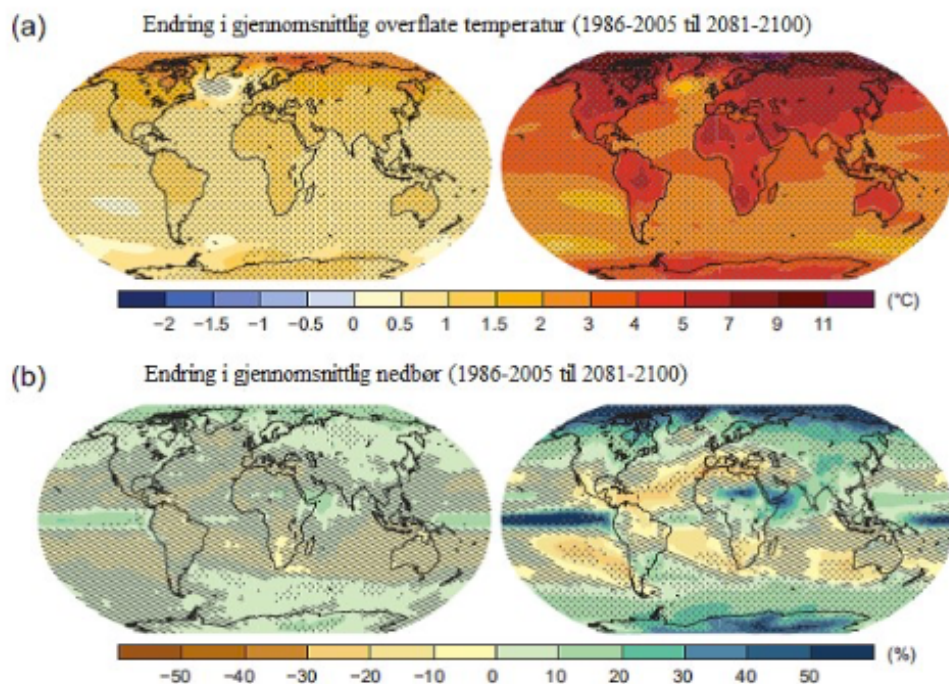
De tre siste tiårene har vært de varmeste årene siden 1850. FNs klimapanel mener at oppvarmingen vil skje raskere og kraftigere jo lenger nord man kommer. Klimaendringene fører også til endring i nedbørsmønstrene. Med det økende klimagassutslippet vil polarområdene bli mer utsatt for nedbør. Det vil også komme mer ekstremnedbør i store deler av både Norge og Nord-Europa generelt. Disse kommende årene vil bringe med seg flere orkaner og sykloner (FN- Sambandet 2016b).

Reglim som er et forskningsprosjekt der fokuset er rettet mot klimaendringene i Norden, hevder blant annet at i perioden 2030 – 2050 vil mange steder oppleve intensiv nedbør oftere (Lindholm et al. 2008).

Konsekvenser som følge av klimaendringene vil være (FN- Sambandet 2016b):

- Dårligere tilgang til mat og vann
- Helseproblemer
- Økonomiske problemer
- Konflikter og flyktninger
- Skader på natur, infrastruktur og bygninger
- Tap av naturmangfold

Figur 3.2 øverst til venstre illustrerer den globale gjennomsnittstemperatur i perioden (1986-2005), mens bildet øverst til høyre illustrerer den fremtidige gjennomsnittstemperaturen i perioden (2081-2100) dersom klimagassutslippet fortsetter å øke fremover. Nederst til venstre illustreres den globale nedbørsendringen i perioden (1986-2005), og bildet nederst til høyre viser den fremtidige nedbørsendringen fra 2081-2100 som følge av global oppvarming (Stocker et al. 2013).



Figur 3.2: a). Global (1986-2005) og fremtidig (2081-2100) gjennomsnittstemperatur. b). Global (1986-2005) og fremtidig (2081-2100) nedbørsendring som følge av global oppvarming. (Stocker et al. 2013).

Den økte gjennomsnittstemperaturen som følge av global oppvarming vil føre til mer intense og hyppige nedbørshendelser i de kommende årene. Dette er fordi varm luft er i stand til å holde på mer vanddamp enn kald luft (Stocker et al. 2013).

3.3 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi omhandler det hydrologiske kretsløpet der de naturlige vannforekomstene er preget av menneskelige påvirkninger. Urbaniseringen har ført til en betydelig økning av andel tette flater i byene og rundt omkring. Det bygges stadig flere bygninger og veier, noe som fører til at de permeable flatene (permeabel grunn, trær og vegetasjon) fortettes.

Dette gjør at regnvannet ved store nedbørmengder ikke finner sin naturlige vei ned til grunnen, og som følge av det kan det oppstå store skader på byggverk, helse og miljø. Skadevirkningenes størrelse avhenger av måten overvannet håndteres på, bebyggelsenes sårbarhet og infrastruktur.

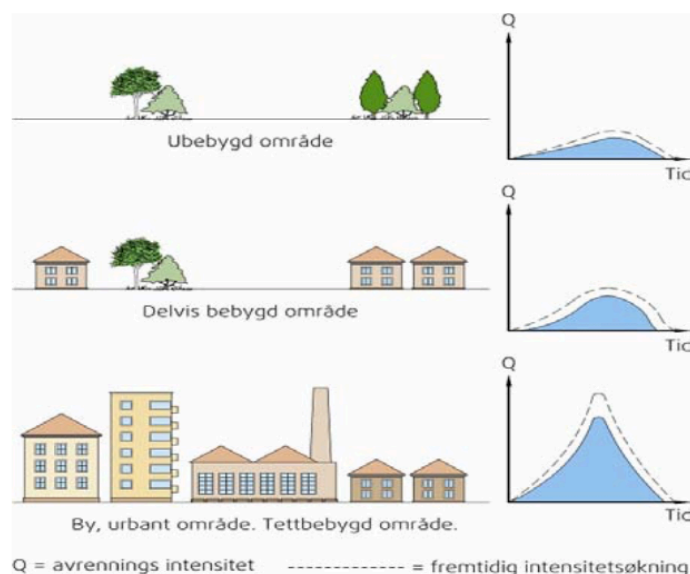
På grunn av økt urbanisering, aldring av infrastruktur og klimaendringer blir også de komplekse hydrologiske utfordringene i byene større og det gir økt avrenningsproblemer.

Avrennings problemene og vannets kretsløp kan påvirkes blant annet på følgende måte (COWI 2013):

- På grunn av høy andel tette flater vil overflateavrenningene skje raskere og det gir større vannmengder sammenlignet med avrenning fra naturlig terreng, og også betydelig større flomstørrelser.
- For å bli kvitt regnvannet på overflaten, ledes vannet bort i lukkede systemer under bakken. Dette fører til at den naturlige vannbalansen endres.
- Infiltrasjonsandelen reduseres, noe som fører til redusert magasinering av grunnvann.
- Redusert fordampning som følge av redusert vegetasjon.

Det kan føre til (NVE 2015):

- Større fare for oversvømmelse
- Setningsskader på hus og anlegg
- Vegetasjonsuttørring
- Økt påkjenning på resipient (volum og forurensing)



Figur 3.3: Avrenningsintensitet under ulike typeområder (Norsk Hydrologiråd 2011).

I naturlige forhold der det ikke er noen menneskelige inngrep vil kun 5 % nedbøren renne av på overflaten, de resterende 95 % vil infiltreres ned i grunnen. Mens i et tettbebygget område vil det være omvendt (Lindholm 2013a).

3.4 Overvannshåndtering

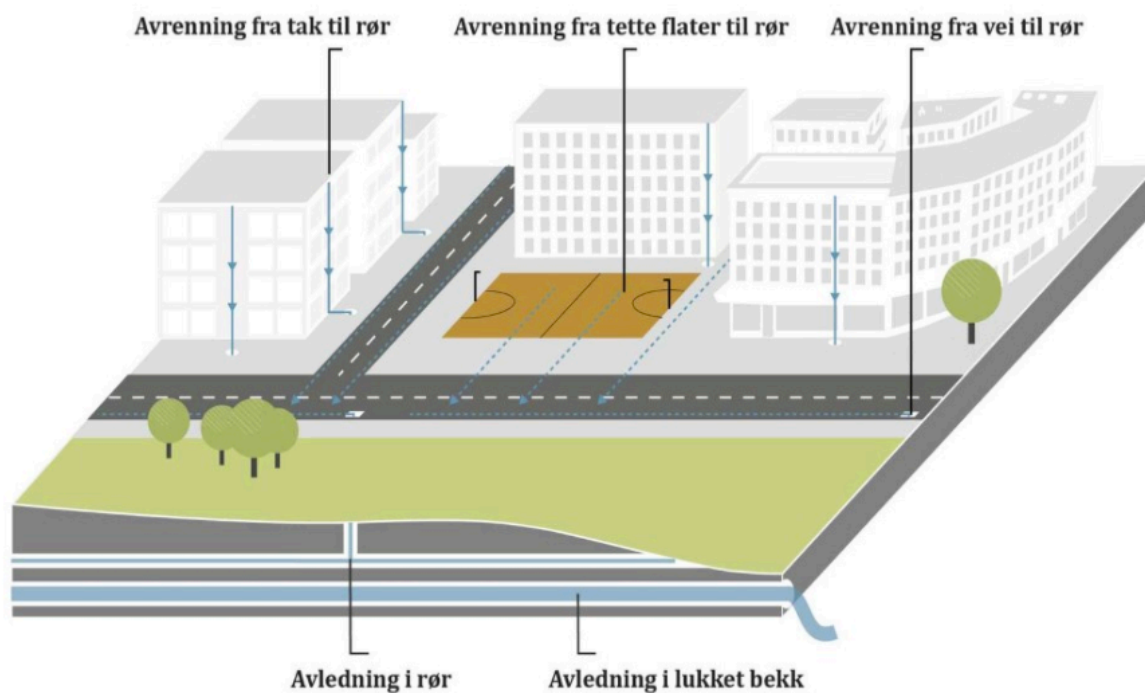
Overvann er det vannet som renner på overflaten. Det kan være vann fra nedbør eller fra snøsmelting. Store nedbørsmengder kan by på store utfordringer og problemer. Med fremtidens klimaendringer forventes det flere ekstreme nedbørsperioder med større intensitet enn før. I tillegg vil urbanisering og utbygging av flere tetteflater føre til at avrenningstoppene nås mye raskere enn ved naturlig avrenning. Dette vil øke belastningen på ledningssystemene, og kan forårsake omfattende skader på omgivelsen. For å unngå dette er det i dag et større fokus på å håndtere overvannet lokalt og på en åpen måte. Tiltakene som kan iverksettes er mange, og valget avhenger av lokale forhold, menneskelig inngrep og forventede klimaendringer (Miljødirektoratet 2016).

3.4.1 Tradisjonelt overvannssystem

Tradisjonelt sett blir overvannet ledet bort i lukkede ledningssystemer. Dette kan skje enten gjennom separatsystem eller fellessystem. Gjennom separatsystem blir spillvann og overvannet ledet bort i to ulike ledninger. Spillvannet blir ført til renseanlegget, mens overvannet vanligvis ledes bort til en vannforekomst. Det er viktig å legge overvannsledningen minst 90 cm under kjellernivået, for å minske risikoen for oppstuvning av vann utenfor kjellerveggen ved store nedbørsmengder (Rambøll 2015).

Gjennom fellessystem derimot, ledes både spillvann og overvann i en og samme ledning bort til renseanlegget. Dersom den totale mengden av spillvann og overvann i ledningen blir større enn det systemet er dimensjonert for, vil det gå i overløp og ledet ut i nærmeste vannforekomst. Ved intense nedbørshendelser kan ledningen blir overbelastet og hus uten tilbakeslagsventil kan få oversvømmelse i kjeller.

Sterkere nedbørintensiteter i fremtiden vil gi et høyere grunnvannstand, spesielt etter kraftige nedbørsepisoder. Som følge av dette vil infiltrasjonsvannmengden inn i rørene øke og belastningen på avløpssystemet blir større. Dermed vil overløpsutslippene og flomskadene øke. I tillegg vil disse utfordringene gi høyere utgifter med tanke på avløpsrensningssystemene som blir belastet med høyere vannføringer. I følge globale klimamodeller vil klimaendringene de kommende 50 årene bli betydelige større enn det som har vært hittil (Lindholm et al. 2008).

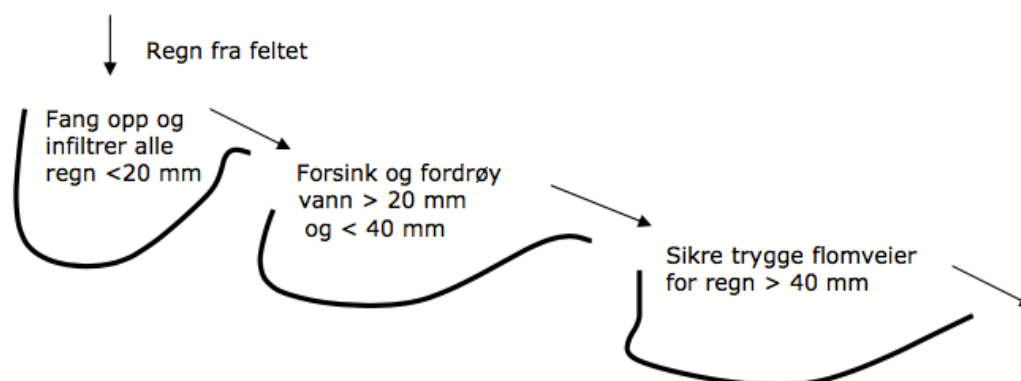


Figur 3.4: Illustrasjon av tradisjonelt overvannssystem (Miljødirektoratet 2016). All overvannet ledes bort i lukkede systemer.

3.4.2 Lokal Overvannsdiskonering (LOD)

Lokal overvannsdiskonering innebærer å la vannet finne sine naturlige veier til grunnen, for eksempel via infiltrasjon åpne vannveier og dammer. Denne metoden skal tilpasses lokale forhold og behov. Visjonen er å håndtere overvannet i mest mulig grad på overflaten på en bærekraftig måte, og som en synlig del av vassdraget og bybildet (Norsk Vann 2014).

Treleddsstrategien er en tiltakskombinasjon for håndtering av overvann ved å infiltrere, fordrøye og avlede vannet til en vannforekomst på en trygg måte. Formålet med denne strategien er å håndtere overvannet på en god måte slik at tilfredsstillende sikkerhet for liv, helse og miljø oppnås, samtidig som det kan vært et positivt landskapselement i byen.



Figur 3.5: Illustrasjon av treleddsstrategien. De oppgitte tallene er gitt som eksempler og må tilpasses lokalt (Lindholm et al. 2008).

Målet er å kunne infiltrere eller holde tilbake regn med mindre nedbørsmengde enn 20 mm, der det er mulig. Når mengden blir større enn dette skal det renne videre til åpne anlegg, der

det avrenningen forsinkes og fordrøyes. Ved veldig store vannmengder blir det vanskelig å håndtere vannet gjennom infiltrering, fordrøyning og forsinking. Derfor må man anlegge åpne flomveier som kan avlede disse store vannmengdene på en trygg måte (Norsk Vann 2014).

Lokal overvannsdiskonering innebærer at man ønsker å overføre mest mulig av overvannsavrenningen til magasinering på overflaten og infiltrasjon, slik blir også belastningen på overvanns- og avløpssystemet mindre (COWI 2013).

Fordeler ved lokal overvannsdiskonering (COWI 2013):

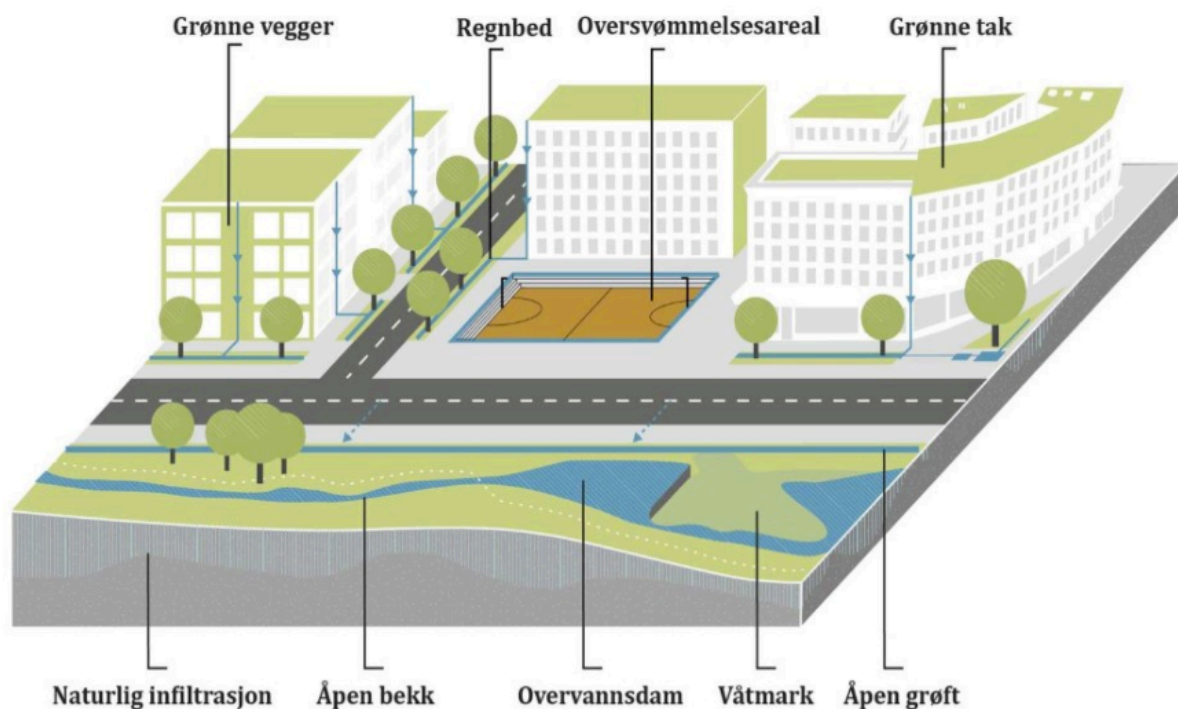
- Reduserer flombelastning til vassdrag
- Reduserer forurensningstilførselen til vassdrag
- Frigjøre kapasitet i eksisterende ledningsnett
- Reduserer tilrenningen til renseanlegg fra områder med fellessystem

Representative verdier ved lokale åpne løsninger (COWI 2013):

- Utnytte regnet som ressurs for planter og mennesker
- Økt biologisk mangfold og muligheter for liv og rekreasjon
- Vann i byområder gir liv, trivsel og rekreasjon
- Belastningen på vassdrag og risikoen for flomskader reduseres.

Tabell 3.1: Kategorisering av tekniske løsninger for håndtering av overvann (Norsk Vann 2014).

Kategori	Eksempel på teknisk utforming
Infiltrasjon og fordrøyning i nærheten av kilden	Infiltrasjon Porøse dekker Infiltrasjon i steinfylling Tilfeldig ansamling av overvann på spesielle overflater Små dammer Våtmarker Tak nedløp ut på bakken (ikke koplet på ledningsnettet) Grøfter erstatter kilden
Fordrøyd bortledning	Forsenkninger Kanaler Bekker/grøfter
Samlet fordrøyning	Større dammer Våtmarksområder Tjern/innsjøer



Figur 3.6: Åpen og lokal overvannsdistribusjon (Miljødirektoratet 2016). Overvannet finner sine naturlige veier ned til grunnen gjennom infiltrasjon, fordøyning og bortledning i åpne flomveier og dammer.

Det er viktig at valg av håndteringsmetode er godt gjennomtenkt med tanke på hva man ønsker å oppnå. Norsk Vann har en liste over ulike formål (Norsk Vann 2014):

- Unngå overbelastning av ledningsnett
- Unngå lokale oversvømmelser.
- Redusere faren for erosjon og ras i bekkedaler.
- Bedre vannkvaliteten i vannresipienten.
- Anlegge et miljøelement i lokalområdet.
- Legge forholdene til rette for dyre og fugleliv.

3.4.3 Beregningsmetode for overvann

Et nedbørsfelt er et landareal som bidrar med vann til en vannkilde. All nedbøren som faller innenfor dette arealet vil ende opp i denne vannkilden.

Nedbørsforholdene, nedbørsfeltets størrelse, form, jordart, andel myrer og vann, vegetasjon, evapotranspirasjon, bebyggelse og veier er faktorer som påvirker avrenninger til vannkilden. Nedbørsfeltet begrenses av et vannskille der vannet renner vinkelrett på høydekurvene (Friborg 2013).

For beregning av regnavrenningsvann er den rasjonelle metoden den mest benyttede. Det er en manuell beregningsmetode hvor et nedbørsfelt (mindre enn 50 hektar) med en nedbørsvarighet benyttes. Metoden er basert på feltets konsentrasjonstid og en gjennomsnittlig avrenningskoeffisient. I dag er det også vanlig å benytte ulike

beregningsprogrammer som SWMM, MOUSE eller NIVANETT til beregning av regnvannsavrenning (COWI 2015), spesielt for større områder (>50 ha).

Den rasjonelle formel for beregning av overvannsavrenning er:

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

Formel 3.3: Den rasjonelle formel.

- Q:* Avrenning [L³/T]
- C:* Avrenningskoeffisient gitt fra [0 – 1]
- A:* Avrenningsareal [L³]
- I:* Nedbørintensitet [L/T]
- K_f:* Klimafaktor [1 – 0]

Klimafaktoren er et nytt ledd i formelen og er knyttet til den globale oppvarmingen og økning av intense nedbørhendelser som følge av klimaendringene.

Avrenningskoeffisienten viser forholdet mellom avrenningen og nedbøren over et område. Størrelsen på denne er avhengig av terrenntype, helning, vegetasjon og sannsynligheten for overflateavrenning fra området. Tabell 3.2 viser en rekke erfaringsbaserte avrenningskoeffisienter for ulike typer flater. Verdien på koeffisienten varierer mellom 0 og 1 avhengig av flatens permeabilitet. Jo tettere flate, desto høyere blir koeffisientsverdien (Sæterbø et al. 1998).

Tabell 3.2: Avrenningskoeffisienter for ulike typer flater (Sæterbø et al. 1998).

Flate type	Avrenningskoeffisienter (C eller ϕ)
Hustak og gatedekke	0,85 – 0,90
Industriområde, tett	0,70 – 0,90
Bymessig, sentral bykjerne	0,70 – 0,85
Betong, asfalt, bart fjell o l	0,60 – 0,90
Bymessig, tett forretningsbebyggelse	0,60 – 0,80
Boligstrøk, rekkehus, blokk	0,50 – 0,70
Boligstrøk, tette kvartaler	0,60 – 0,80
Industriområder, åpent	0,50 – 0,70
Boligstrøk i by, eneboliger	0,40 – 0,60
Forstadsstrøk	0,30 – 0,50
Brakkmark	0,20 – 0,30
Lekeplasser	0,20 – 0,40
Jernbanetomter	0,20 – 0,40
Skogområder	0,20 – 0,50
Parker, kirkegårder	0,10 – 0,30
Dyrka mark	0,05 – 0,25

3.4.4 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstiden (t_k) er den tiden det tar for vannet fra den faller ned på de fjerneste delene av nedbørsfeltet til den når utløpet av feltet, hvor vannmengden skal beregnes. Konsentrasjonstiden er summen av avrenningstid på overflaten (t_t) + avrenningstid i rør (t_s).

$$\text{Konsentrasjonstid, } t_k = t_t + t_s$$

Formel 3.4: konsentrasjonstid.

t_k :	Konsentrasjonstid
t_t :	Avrenningstid på overflaten
t_s :	Strømningstid i rør

Avrenning på overflaten (t_t) er tiden en vanddråpe bruker fra feltets ytterste punkt til den når nærmeste sluk/kum. Den er proporsjonal med strømningsavstanden og minker med terrengfallet og regnintensiteten. Avrenningstiden kan beregnes nøyaktig ved bruk av nomogrammer, der avrenningstiden vises som funksjon av strømningslengde, midlere helning og overflatens beskaffenhet (Lindholm et al. 2012). Strømningstiden er forholdet mellom ledningslengden og strømningshastigheten i ledningen.

$$\text{Strømningstid, } t_s = \frac{L}{v}$$

Formel 3.5: Strømningstid i rør.

L:	Lednings lengde [L]
V:	Strømningshastigheten i ledningen [L/T]

Vanligvis settes strømningstiden i ledninger til 1,5 – 2 m/s. Svenskt vattens veiledning P90 oppgir følgende strømningshastigheter (Lindholm et al. 2012):

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

3.5 Nedbørsdata

3.5.1 Nedbørmåling

Meteorologisk Institutt styrer om lag 500 stasjoner for nedbørmåling rundt i Norge. Det finnes også en rekke private målestasjoner (Fergus et al. 2010). Det er viktig at det benyttes nedbørsstatistikker som er representative for det aktuelle området. Det er også viktig å være oppmerksom på hvilken målestasjon man benytter for å få mest mulig representative nedbørsstatistikk, da det kan være store stedlige variasjoner i nedbørsmengde både over korte og lange tidsrom (Norsk Vann 2014).

Nedbør måles som en vannmengde og blir oppgitt i lengdeenheter. Det er vanlig å montere nedbørmåleren rundt to meter over terrengnivå, og på steder der det faller mye snø om vinteren, monteres den gjerne høyere enn maksimal snødybde (Meteorologisk institutt 2010a).

Det finnes to hovedkategorier av nedbørmålere; manuelle og automatiske nedbørmålere. En manuell nedbørmåler samler nedbøren i et kar som leses av jevnlig. Karet blir tømt 1 – 4 ganger daglig i et måleglass som viser målt vannmengde i med mer (Store Norske leksikon 2017b).

Med en automatisk nedbørmåler måles nedbør ved hjelp av vektprinsippet der nedbøren blir samlet i en kar som blir kontinuerlig veid (ved hjelp av en vektcelle eller en vibrerende streng). Det kan da beregnes hvor mye nedbør som har falt i korte tidsintervaller. Om vinteren benyttes frostvæske i bøtta for å smelte snøen (Store Norske leksikon 2017a).

Pluviometre er en moderne måte å måle nedbør på. Den måler antall ganger en bestemt mengde nedbør faller ned i måleren per minutt, time eller døgn (Meteorologisk institutt 2010b).

3.5.2 Usikkerheter i målinger

Det kan fort oppstå usikkerheter ved målingene dersom nedbørmåleren plasseres i regnskyggen av bygninger og vekster, da kan det være fare for at nedbørmåleren underestimerer nedbøren.

Vinterkulden kan utsette apparatene for frysing, og det kan være nødvendig å varme opp nedbørmåleren for å få riktige målinger. Da is, snø og hagl har ulike tettheter enn vann, må man varme apparatet så mye at man kun har vann i væske form (Friborg 2013).

For å unngå fordamping av vannet om sommeren før nedbøren blir registrert er det vanlig å benytte et lite oljelag i måleren. Da olje er lettere enn vann og fordamper ved en høyere temperatur, kan denne usikkerheten unngås (Friborg 2013).

3.5.3 Hydra II

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) benytter Hydra II for å lagre, kontrollere, bearbeide, analyserer og presentere data knyttet til vannets kretsløp. Datasystemet mottar data fra ulike målestasjoner plassert rundt omkring i landet, inkludert Svalbard (NVE 2011). Stasjonsnummeret består av tre deler: vassdragsområde, hovednummer og punktnummer. Det utføres da analyser og beregninger ved hjelp av disse dataene (NVE 2016).

Det lagres også data som Hydrologisk avdeling mottar fra andre institusjoner. I Hydra II er dataene tilgjengelig for analyse, beregninger og presentasjon ved hjelp av Hydrologisk avdelings programbibliotek (NVE 2011).

3.5.4 IVF- kurver

Intensitet varighet frekvens (IVF) kurver er kurver som viser sammenhengen mellom maksimal nedbørintensitet for en viss nedbørsvarighet og et visst gjentakintervall (Lindholm et al. 2008). IVF kurven er logaritmisk og er ofte gitt for 2 – 100 års returperioder.

De opplysningene som en IVF- kurve inneholder kan omdannes til et symmetrisk regnhyetogram. Regn som er så sterke at de er dimensjonerende har ofte ikke en konstant

regnintensitet, men heller en høy toppintensitet en tid etter nedbøren har startet. Det vil derfor være en fordel å bruke regnhyetogram. Noen viktige fordeler ved bruk av en regnhyetogram er (Norsk Vann 2014):

- *Regnforløpet, og dermed avrenningsforløpet og maksimal avrenning, blir meget mer realistisk enn ved bruk av "kasseregn".*
- *I en region med ensartede meteorologiske forhold kan det samme regnhyetogrammet brukes til alle ledningsnettstørrelser uansett konsentrasjonstid.*
- *Mann får dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsledningsnettet i en og samme beregning. Grunnen til dette er at regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkningen av korte regn, som er dimensjonerende for de øvre delene av ledningsnettet som har korte konsentrasjonstider, mens hele hyetogrammet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider.*

3.5.5 Monsterregnet

Monsterregnet var en dramatisk nedbørshendelse som inntraff 2. juli 2011 i København i Danmark. Denne nedbørshendelsen var langt utenfor det som var forventet, og førte med seg store ødeleggelser på vei, bygninger og eiendom, stopp i strøm og telefonnett og store uroligheter. Monsterregnet hadde en uvanlig kraftig intensitet. I løpet av 10 minutter falt det 30 mm nedbør over København området, og deler av byen ble oversvømt i 135 mm nedbør på 2 timer. Hendelsen var over det avløpssystemene ikke var dimensjonert for. Det ble registrert 80 000 skadeanmeldelser, med et erstatningsbeløp på rundt 6 milliarder danske kroner. Regnskyellet hadde en varighet på 2 timer og 20 minutter og etterlot 155mm/m² (Lindholm et al. 2013).

3.6 Matematiske modeller

En modell vil aldri kunne beskrive virkeligheten slik den er, den gir kun en tilnærming av virkeligheten. Matematiske modeller gir en bedre innsikt i systemet som studeres, og gir i tillegg en ryddig oversikt over involverte variabler og resultater (Lindholm 2016).

Urbanhydrologiske avløpsmodeller er databaserte matematiske modeller som benyttes ved beregning av større og mer komplekse urbane avløpssystemer. De fleste slike modeller er dynamiske og deterministiske simuleringsmodeller. Sammenlignet med fullskala systemer er urbanhydrologiske avløpssystemer både enklere, raskere og billigere til eksperimentering, prøving og feiling. Slike modeller er effektive verktøy i planlegging, prosjektering og dimensjonering av urbane avløpssystemer, fordi beregning, analysering og simulering ved hjelp av slike modeller skjer flere ganger raskere enn ved bruk av manuelle metoder (Lindholm 2016). Bruken av urbanhydrologiske avløpsmodeller kan knyttes til tre formål (Silberstein 2006):

1. Modellene gir et rammeverk for forståelsen av det hydrologiske systemet og for hvordan systemet reagerer under ulike situasjoner
2. Modellene gir muligheter for uttesting av data og utforskning av målingenes betydning og detaljer i observasjon av systemet.
3. Modellene gir muligheter for simulering av ulike scenarioer og alternativer.

Det finnes to ytterpunkter av hydrologiske modeller. De systematiske modellene i den ene enden og de fysiske modellene i den andre enden. De systematiske modellene er i hovedsak basert sammenhenger mellom inn- og utgangsdata knyttet til det aktuelle hydrologiske systemet, uten å beskrive de ulike prosessene eller de fysiske lovene som inngår i systemet. På den andre enden bygger den fysiske delen på de fysiske lovene og de ulike prosessene som inngår i systemet. Disse beskrives gjerne i form av matematiske ligninger som løses ved hjelp av innebygde beregningsmotorer i modellen (Sælthun 2011).

3.6.1 SWMM modelloppbygging og beregningsmetode

Modellbyggingen av et overvannssystem i SWMM er avhengig av nedbørshendelser, nedslagsfelt, kummer, rør og utløp. SWMM gir muligheten til å velge mellom ulike enheter, infiltrasjonsmodeller, strømningsmodeller og tidssteg.

Regn

”Gages” er innlagte nedbørsdata i SWMM for ett eller flere nedslagsområder innenfor det modellerte området. Det gis mulighet til å koble ulike ”Gages” til ulike nedbørfelt, noe som gjør at modellen kan benytte ulike ”Gages” samtidig. Nedbøren kan enten komme fra en ekstern fil eller være brukerdefinerte tidsserier. De viktigste parameterne for regn ”Gages” er (Rossman et al. 2015):

- Nedbør datatype (Intensitet, volum eller akkumulert volum)
- Tidsintervallet til den samlede dataen (f.eks. 15 minutter osv.)
- Kilden til nedbørdataen (input tidsserier eller ekstern fil)
- Navnet på nedbøren, brukt datakilde

Nedslagsfelt

Nedslagsfeltet i SWMM kan deles inn i flere nedslagsfelt, der utløpspunktet i hvert område identifiseres. Utløpet kan enten være noder i et avløpssystem eller andre nedslagsfelt. Nedslagsfeltene kan bestå av tette og permeable flater. Tette flater er igjen delt inn i to delområder, der kun den ene har grop magasinering.

Infiltrasjonsevnen til de ulike arealene kan forklares med ulike infiltrasjonsmetoder (Rossman et al. 2015):

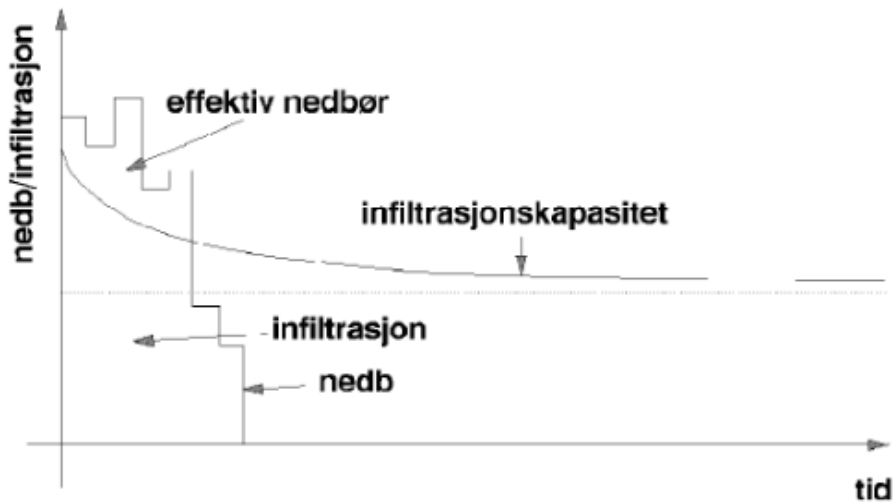
- Horton infiltrasjon
- Green- Ampt infiltrasjon
- SCS Curve Numberinfiltration

I denne oppgaven vil Horton infiltrasjon metoden benyttes, og denne metoden skal derfor beskrives noe nærmere.

Infiltrasjon

Infiltrasjon er den prosessen der nedbør faller på nedslagsfeltet og går ned i den permeable umettede jordsonen. Horton infiltrasjon er basert på empiriske observasjoner, der infiltrasjonsevnen synker eksponentielt fra en innledende maksimal infiltrasjonshastighet til en viss minimumshastighet på infiltrasjon over en lang nedbørshendelse.

Horton metoden tar kun hensyn til permeable flater og ikke tette flater og åpne vannflater. Det er derfor viktig å skille tette og permeable flater ved simulering i urbane områder for å for å tilnærme seg virkeligheten best mulig. Når regnvannet overskrider infiltrasjonskapasiteten vil det oppstå avrenning på overflaten.



Figur 3.7: Grafisk illustrasjon av Hortons infiltrasjonsmodell (Sælthun 2011).

Hortonsligning:

$$F(t) = f_c + (f_0 - f_c)e^{-kt}$$

Formel 3.6: Hortons ligning (Bøyum et al. 1997).

- $f(t)$: infiltrasjonshastigheten ved tid t
- f_0 : initialinfiltrasjonen
- f_c : avsluttende infiltrasjon
- k : reduksjonsekspONENT

Rør

Rør/”Conduits” kan være kanaler eller rør som transporterer vannet fra kum til kum eller utløp. Disse er altså bindeleddene mellom kummene. Det finnes flere utvalgte varianter av rørfasonger.

For å uttrykke forholdet mellom strømningshastighet Q , tverrsnittsareal A , hydraulisk radius R og helning S i åpne kanaler og delvis fulle lukkede rør i SWMM, benyttes Mannings ligning (Rossman et al. 2015):

$$Q = \frac{1,49}{n} AR^{2/3} S^{1/2}$$

Formel 3.7: Mannings- formel for strømhastighet (Rossman et al. 2015).

- Q : Strømningshastighet
- A : Tverrsnitts areal
- R : Hydraulisk radius

- S: Helning
 n: Mannings ruhetkoeffisient

Viktige inputparametere for rør er (Rossman et al. 2015):

- Navnet på inn- og utløps noder
- Høyde over havet ved inn- og utløps noder
- Lengde på rør
- Mannings ruhetstall
- Tverrsnitts geometri
- Friksjonstapp ved inn- og utløp

Rørstrømning i SWMM

Ligninger for massebevaring og momentligning for gradvis variert og ustø flyt (Saint Venant ligningen) brukes for simulering av rørstrømning i SWMM. I SWMM brukes tre ulike varianter av strømningsligninger (Rossman et al. 2015):

- **Stabil strømning:** Den ekleste formen der det antas at volumstrømmen er stabil og uniform for hvert beregningssteg.
- **Kinematisk strømning:** Kontinuitets ligningen, ligning 3.7, beregnes sammen med en forenklet form for momentligningen.
- **Dynamisk strømning:** Gir teoretisk best resultat, da den komplette endimensjonale Saint Venants strømningsligningen løses. Ved denne strømningstypen er det mulig å representere strømning under trykk når lukket ledning blir full, slik at strømningen kan overskride den normalt fulle verdien. I en dynamisk strømning tas det hensyn til lagring i rør, inn- og utløpsvann, tilbakeslagsvann, motsatt strømning og strømning under trykk.

I denne oppgaven vil den mest avanserte ligningen basert på Saint Venants endimensjonale strømningsligning benyttes, her brukes bevaring av masse, energi og moment til å løse Saint Venant ligningene numerisk. I rør brukes moment- og kontinuitetsligninger, mens i kummer benyttes ligning for volum- kontinuitet. Under dynamisk strømning vil vannivået i kummer og volumstrømmen i ledningene sammenlignes. Når volumstrømmen overgår kapasiteten til røret vil det ekstra vannet renne ut av systemet eller lagres i en dam på toppen og senere renne tilbake til når systemet har kapasitet til å transportere det videre (SWMM manual).

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

Formel 3.8: Saint Venants ligning- kontinuitetsligningen.

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

Formel 3.9: Saint Venants ligning- momentligningen.

3.7 Lover og retningslinjer

3.7.1 EUs vannrammedirektiv

EUs vannrammedirektiv setter krav om at innen 2021 skal alle vannforekomster enten ha god eller svært god kjemisk og økologisk tilstand. Klassegrensene er svært dårlig, dårlig, moderat, god, svært god (Naturvernforbundet 2015).

3.7.2 Norsk Vann veileder

Norsk vann har utledet anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall for separat- og fellesavløpssystem som gjør at ledningsnett bare fylles til topp rør ved dimensjonerende regnskyllhyppighet, Tabell 3.3. Disse anbefalingene blir brukt som en veiledning ved etablering av ledningsnett eller ved renovering av eksisterende ledningsnett. Dimensjonerende oversvømmeshyppighet i tabell 3.3, viser dimensjonerende regnskyllhyppighet ved oversvømmelse til kjellernivå (90 cm over topp rør) (Lindholm et al. 2008).

Tabell 3.3: Norsk Vanns minimumsdimensjonerende gjentakintervall (Lindholm et al. 2008).

Dimensjonerende regnskyllhyppighet	Plassering	Dimensjonerende oversvømmeshyppighet
1 i løpet av 5 år	Områder med lavt skadepotensiale	1 i løpet av 10 år
1 i løpet av 10 år	Boligområder	1 i løpet av 20 år
1 i løpet av 20 år	Bysenter/industriområder	1 i løpet av 30 år
1 i løpet av 30 år	Områder med meget høy skadepotensial	1 i løpet av 50 år

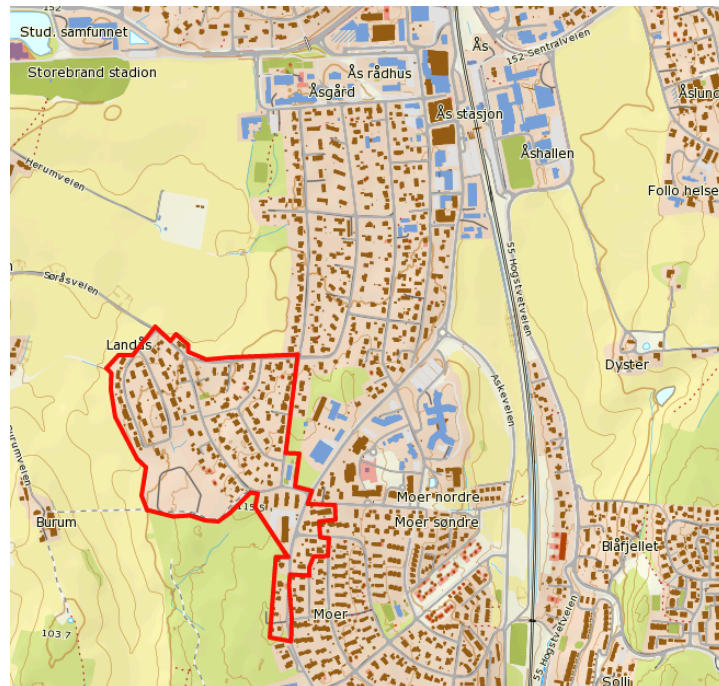
3.7.3 Ås kommune

Ås kommune setter krav til påslipp til resipientene i kommunen. Konsentrasjoner av organiske miljøgifter, tungmetaller, næringsstoffer og endringer i vannomsetninger avgjør følsomheten i resipienten. Vann med innhold av uønskede stoffer som tungmetaller og kjemikalier skal behandles før utslipp til overvannsystemet. Dette kan være vann fra tunnelspyling, rengjøring av tak, fasader kjøretøy på byggeplasser. Før forurenset overvann kan tilføres det offentlige overvannsnett og resipient må det foreligge et vedtak om påslippstillatelse med tilhørende krav fra Ås kommune. Og det er pålagt å innhente tillatelse fra kommunen før noen setter i verk påslipp til overvannsnett og/eller avløpsnett (Ås kommune 2015b).

I plan og bygningsloven 12 – 7 er det forankret krav for rensing av overvann. I reguleringsbestemmelsene bør følgende forhold inntas; ”grenseverdier for tillatt forurensning og andre krav til miljøkvalitet i planområdet, samt tiltak og krav til ny og pågående virksomhet i eller av hensyn til forhold utenfor planområdet for å forebygge eller begrense forurensning” (Ås kommune 2015b).

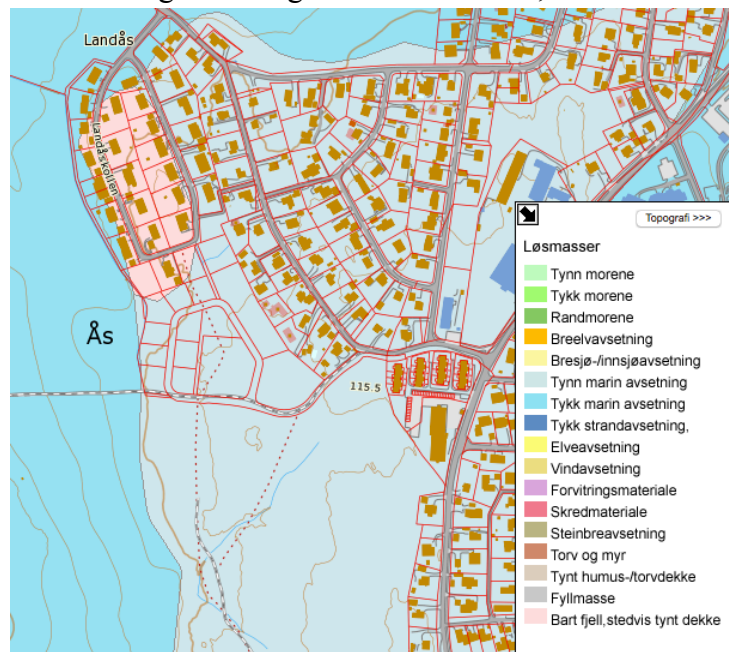
4 Analyseområdet

Nedbørsfeltet har et landskap hovedsakelig bestående av eneboliger, leiligheter, blokker, barnehage og lekeplass. Området ligger et stykke utenfor Ås sentrum, som vist i figur 4.1 med røde linjer.



Figur 4.1: Analyseområdets plassering (rød linje) i forhold til Ås sentrum (Norges kart 2017).

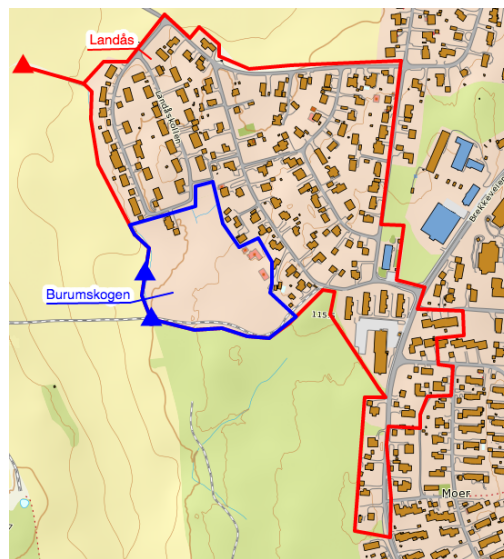
Jordsmonnet på Ås er i hovedsak marine avsetninger, der store deler av området domineres av dyrket mark og skog. Figur 4.2 viser et kartutsnitt av analyseområdets løsmasse sammensetting, hentet fra Norges Geologiske Undersøkelse, NGU.



Figur 4.2: Jordsmonnet på Landås er klassifisert av Norges Geologiske Undersøkelse, og viser at analyseområdet stort sett består av tynn marin avsetning (lyse blå), og et lite område består av bart fjell(rosa) (Norges geologiske undersøkelse 2017).

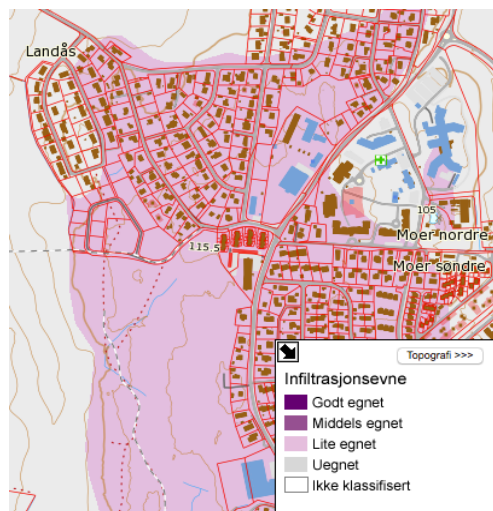
Analyseområdet er delt opp i to deler, Landås og Burumskogen. Landås området har et areal på 16 ha og Burumskogen er et stykke område med et areal på 3 ha, og som per dags dato er under utbygging. All avrenning fra Landås renner ut i en og samme utløp. Utløpets plassering er vist med rød trekant i figur 4.3. På Burumskogen er det to utløp som avrenning fra området renner til. Disse er markert med blå trekkanter. Maksimal avrenning i hver av utløpene på Burumskogen bør ikke overskride 1 l/s·da.

Utløpene fra Burumskogen er koblet til en bekk lenger nede i feltet. Bekken renner til målekummen. Utløpet på Landås går rett til målekummen. Alle utløpene har sirkulær utforming.



Figur 4.3 Kartutsnitt over analyseområdet og plassering av utløpene. Rød trekant illustrerer plassering av utløp på Landås, og blå trekant illustrerer plassering av utløpene på Burumskogen (Norges kart 2017).

Analyseområdet har stort sett lite egnet infiltrasjonsevne. Dette kommer av jordsmonnstypen som er av tynn marin avsetning. Et kartutsnitt over hvor det er lite egnet infiltrasjonsevne er vist i figur 4.4.



Figur 4.4: Analyseområdets infiltrasjonsevne (Norges geologiske undersøkelse 2017).

5 Metode

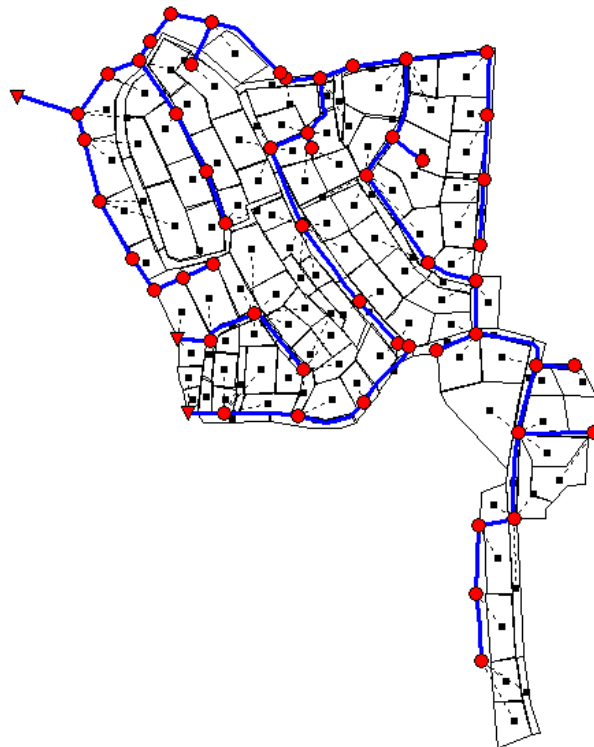
5.1 Modelloppbygging

Informasjon om overvannsnettet ble importert fra kommunenes kartverk Gemini VA til programvaren SWMM. Deretter ble delfeltene tegnet inn manuelt og eventuelle feil i kumhøyder ble rettet opp. Flere av kummene hadde ikke noe kumhøyde registrert, det ble derfor gjort en interpolering mellom noen av kummene og noen justeringer basert på terrengets helning og høyder med GIS verktøy. Samtidig var noen ledninger ikke koblet på hovedledningen, mens andre ledninger ikke var koblet til noen kum. Etter å ha sammenlignet ledningsnettets importert i SWMM med kommunens kartverk, ble disse feilene rettet opp.

I første omgang ble kun deler av analyseområdet (Landås) lagt inn i SWMM for å kalibrere modellen, da avrenningsdataene ble målt på en tid da deler av området (Burumskogen) enda ikke var bygget.

Ledningsnettets på hele området består av 52 overvannsledninger og 53 kummer. Totalt ble det tegnet inn 135 nedbørsfelt, der 41 av feltene er veifelt og de resterende feltene er boligfelt. Rørdimensjonene i systemet varierer fra 110 mm – 400 mm.

Andel tette flater på området ble bestemt ved å se på hvert enkelt nedbørsfelt for seg selv og beregne hvor stort del av feltet hustakene utgjorde. De fleste boligfeltene hadde mellom 15-19% tette flater, en gjennomsnittsverdi på 18% ble derfor valg for alle boligfelt. For veifeltene ble det satt 50% tette flater etter samtale med Lars Buhler. Disse verdiene ble brukt i primærmodellen.



Figur 5.1: Modell av analyseområdet i Ås kommune tegnet i SWMM.

5.1.1 SWMM beregningsmetode

For å kunne se på oppstuvning i kummer, ble dynamisk bølgerouting valgt som hovedinnstilling i modellen. Strømningsenheten ble satt til liter per sekund og Hortons infiltrasjonsmodell ble valgt.

5.1.2 Parametere

Tabell 5.1 viser parameterverdiene brukt i primærmodellen. Flere av parameterne ble valgt ved hjelp av verdier oppgitt i SWMM manualen (vedlegg A). Bredde og andel tette flater ble bestemt ved hjelp av GIS verktøy. Helning på delfelt ble i første omgang satt til 56 %, som er en urealistisk høy verdi, men ble rettet opp i sekundærmodellen.

Tabell 5.1: Parameterverdier valgt til primærmodellen.

Primærmodellen			
Parametere valgt ut fra SWMM manual		Beregnete parametere	
Ruhet rør [n]	0,01	Helning delfelt [%]	56
Grop magasin permeable flater [med mer]	4	Bredde [m]	Varierende
Grop magasin impermeable flater [med mer]	1,5	Andel tette flater, boligfelt [%]	18
Ruhet impermeable flater [n]	0,015	Andel tette flater, veifelt [%]	50
Ruhet permeable flater [n]	0,2		
Horton infiltrasjon maks [mm]	70		
Horton infiltrasjon min [mm]	15		

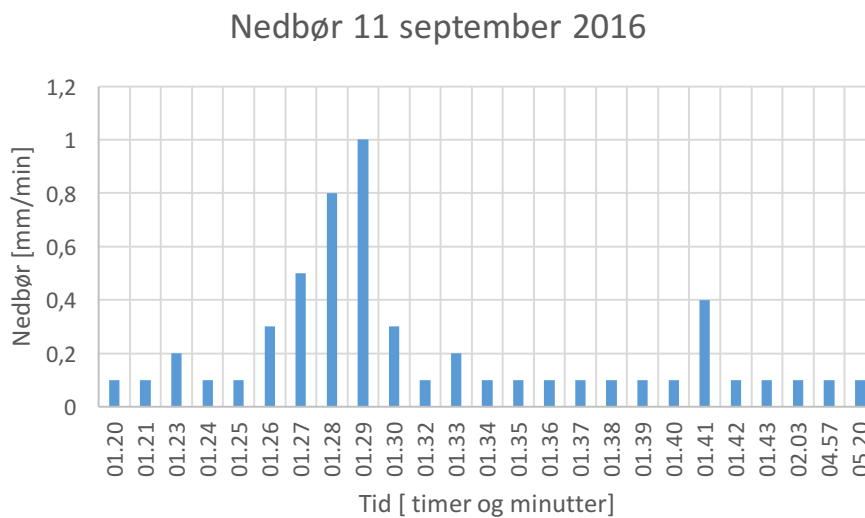
5.2 Måledata benyttet til kalibrering av modell

Til modellkalibreringen ble det benyttet nedbørsdata hentet fra Rustadskogen målestasjon og avrenning målt i kum nær utløpet. Målingene ble tatt på sommertid, fordi det er viktig med plussgrader i den perioden nedbørshendelsene blir registrert og målt, da minusgrader og frost i bakken vil ha en påvirkning på avrenningsmønsteret. Det bør benyttes måleserier der startverdien for avrenning er veldig lav eller lik null, da det vil oppstå feil i avrenningsverdiene dersom det er vannføring i overvannssystemet før nedbørshendelsen. Det var ønskelig å benytte flere nedbørshendelser der både nedbør- og avrenningsdata var registrert, slik at den kalibrerte modellen var mest mulig virkelighetsnær. På grunn av få nedbørshendelser, manglende data og lite samsvar mellom målt nedbør og avrenning var dette ikke mulig. Til kalibrering av modellen ble det derfor benyttet en nedbørs- og en

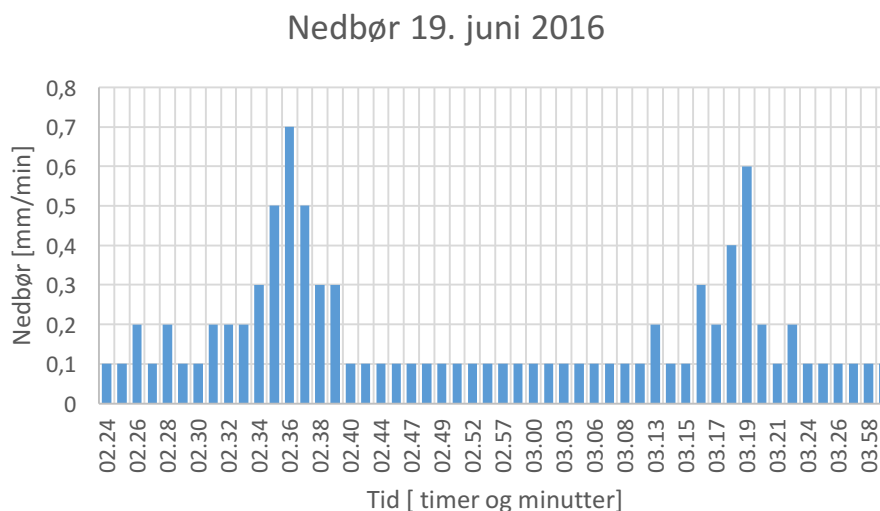
avrenningsdata fra 11 september 2016, og en nedbørs- og avrenningsdata fra 19. juni 2016 til etterprøving av modellen.

5.2.1 Nedbør- og avrenningsdata

Nedbørsdata ble hentet fra Hydra II, som er NVEs database. Dataene ble sendt av Eydis Dalen. Nedbørsinformasjonen var oppgitt i mm, men ble omgjort til mm/time slik at det kunne leses inn i programvaren SWMM. Grafene 5.2, 5.3, 5.4 og 5.5 viser noe varierende tidsforløp, dette kommer av at det på noen tidspunkter ikke var registrert noen verdier for nedbør og avrenning.



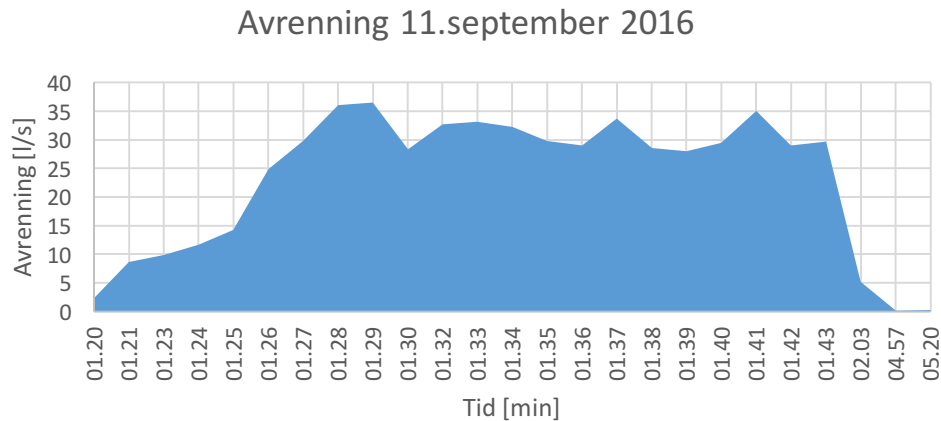
Figur 5.2: Nedbør registrert 11. september 2016 i mm/minutt, benyttet til kalibrering av modellen.



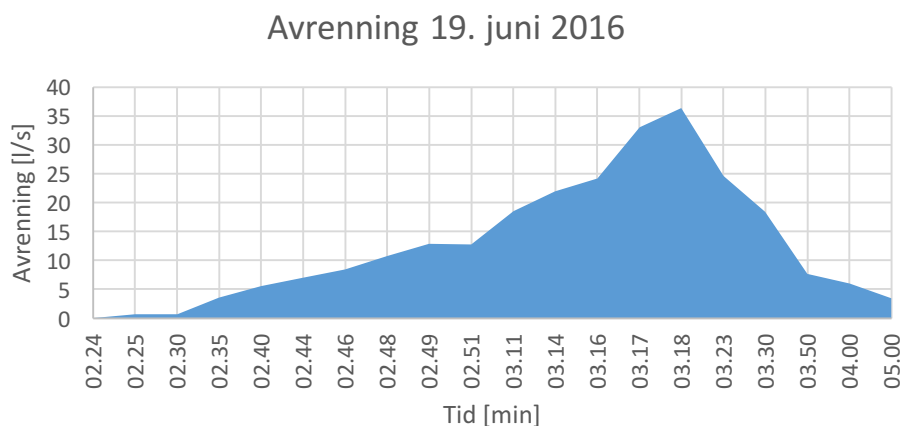
Figur 5.3: Nedbør registrert 19. juni 2016 i mm/minutt, benyttet til etterprøving av modellen.

Avrenningsdata var i forkant av oppgaven målt av kommunen sommeren 2016. Avrenningen var registrert i m^3/s , men ble omgjort til l/s da SWMM leser av data i denne enheten.

På grunn av en tidsforskyvning forårsaket av måleinstrumentene, var ikke tidene på måling av avrenning og nedbør godt nok synkronisert. Målt avrenning ble derfor forskjøvet en time tilbake før plotting av diagrammene i figur 6.3, 6.4 og 6.5 i kapittel 6.



Figur 5.4: Avrenning målt 11. september 2016 i liter/sekund, benyttet til kalibrering av modellen.



Figur 5.5: Avrenning målt 19. juni 2016 i liter/sekund, benyttet til etterprøving av modellen.

5.3 Kalibrering

Kalibrering er å sammenligne en målt avrenning mot en simulert avrenning. I denne modelloppbygningen er maksimal avrenning (Q_{maks}) den viktigste beregningsgrunnlaget, da det kan skape oversvømmelser i overvannsnett. På grunn av manglende nedbørshendelser ble kun én nedbørshendelse benyttet til justering av parametere, og én til etterprøving av modellen.

Etter parameterjustering ble absolutt gjennomsnittlig forskjell mellom målt og beregnet maksimal avrenning beregnet med formel 5.1:

$$\text{Delta } Q_{maks} = \frac{(Q_m - Q_b)}{Q_m} \cdot 100 \%$$

Formel 5.1: Absolutt gjennomsnittlig forskjell mellom målt og beregnet maksimal avrenning i prosent.

Delta Q_{maks} :	Forskjell i maksimal avrenning
Q_m :	Målt maksimal avrenning
Q_b :	Beregnet maksimal avrenning

Negativt fortegn vil si at målt avrenning er lavere enn beregnet avrenning, og positivt fortegn vil si at målt avrenning er høyere enn beregnet avrenning.

For å styrke modellens kvalitet ble det gjennomført en modell verifikasjon, følsomhetsanalyse og modellvalidering/etterprøving av modellen.

5.3.1 Modell verifikasjon

Modellen ble kjørt med konstruerte regnhyetogrammer. Programvaren SWMM har innebygd en funksjon som analyserer kontinuitetsfeil ved gjennomkjøring av modellen. Her vises eventuelle oppstuvninger i kummer. Kummer og rør blir oppgitt med en gitt prosentfeil som kan systematisk rettes opp. Etter at feilene var rettet opp, var modellen verifisert.

5.3.2 Modell følsomhet

For å kartlegge parameterens verdier ble det gjennomført en følsomhetsanalyse. Analysen viser modellens respons på endringer i enkeltparametere. For å kartlegge hvilket utfall parameterendringene hadde på totalavrenningen fra feltet, ble parameterne justert prosentvis opp og ned. Resultatet ble så illustrert i et såkalt stjernediagram (figur 6.2).

5.3.3 Modellvalidering/etterprøving

For validering og etterprøving av modellen ble det benyttet uavhengige nedbørshendelser som ikke var brukt til kalibrering av modellen. Graden av god kalibrering kan beregnes ved hjelp av en F- verdi, formel 5.2. Denne formelen er basert på Q_{maks} , volum og tidspunktet for Q_{maks} . Dersom den beregnede Q_{maks} er lik den målte Q_{maks} vil F-verdien bli null. En lav F-verdi indikerer dermed at modellen er virkelighetsbasert. Dersom etterprøvingen gir en høy F-verdi, vil det si at modellen ikke er virkelighetsnær og det må derfor tas en ny vurdering av parametere og systemet. Kalibreringsgraden regnes med følgende formel:

$$F = V_1 \sum (Q_m - Q_b)^2 + V_2 \sum ((V_m - V_b)^2) + V_3 \sum (T_m - T_b)^2$$

Formel 5.2: F- verdi.

V_1, V_2 og V_3 :	Vekttall, tilsammen = 1,0
m:	Målt verdi
b:	Beregnet verdi
Q:	Maks vannføring [l/s]
V:	Volum [m ³]
T:	Tidspunkt for Q_{maks}

I denne oppgaven ble ikke F- verdien beregnet, da det kun var én nedbørshendelse til etterprøving av modellen.

5.4 Modell simulering

Modellen ble simulert for ulike gjentaksintervaller hentet fra IVF- kurvene til Rustadskogen målestasjon. Ut fra IVF- kurvene ble det konstruert ulike regnhyetogrammer for 10-, 20-, 50- og 100- års gjentaksintervaller med og uten klimatillegg. Varigheten ble satt til 60 minutter, og klimafaktoren ble satt til 1,5, etter samtale med professor Oddvar Lindholm. IVF- kurven og tabell for Rustadskogen målestasjon er lagt i vedlegg B.

5.4.1 Konstruksjon av regnhyetogram

For å fremstille en konstruert regnhyetogram benyttes IVF- kurven til den lokale målestasjonen, som i denne oppgaven er Rustadskogen. IVF- kurven fra Rustadskogen er basert på 39 sesonger og har en 200- års gjentaksintervall. Denne ble hentet fra det meteorologiske instituttet.

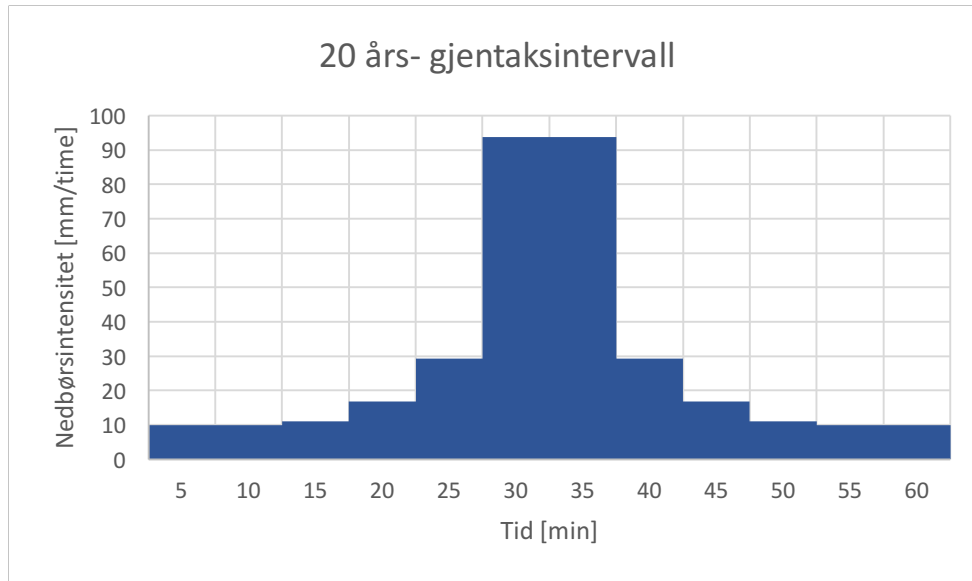
$$I_{10} = 253,6 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 0,37 = 93,836 \frac{mm}{t}$$
$$I_{20} - I_{10} = (166,3 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 20 - 253,6 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 10) / 10 \cdot 0,37 = 79,0 \frac{mm}{t}$$
$$I_{30} - I_{20} = (126,1 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 30 - 166,3 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 20) / 10 \cdot 0,37 = 29,23 \frac{mm}{t}$$
$$I_{40} - I_{30} = (102,0 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 40 - 126,1 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 30) / 10 \cdot 0,37 = 10,99 \frac{mm}{t}$$
$$I_{50} - I_{40} = (87,0 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 50 - 102,0 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 40) / 10 \cdot 0,37 = 9,99 \frac{mm}{t}$$
$$I_{60} - I_{50} = (77,0 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 60 - 87,0 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 50) / 10 \cdot 0,37 = 9,99 \frac{mm}{t}$$

Det forutsettes at regnhyetogrammet er symmetrisk om sin midtakse, og blir fordelt slik som vist i Tabell 5.2

Tabell 5.2: Resultater fra et 60 minutters regnhyetogram basert på 20- års gjentaksintervall.

Tidsforløp (minutter)	Intensitet (mm/time)
5	9,99
10	9,99
15	10,99
20	16,90
25	29,23
30	93,83
35	93,83
40	29,23
45	16,90
50	10,99
55	9,99
60	9,99

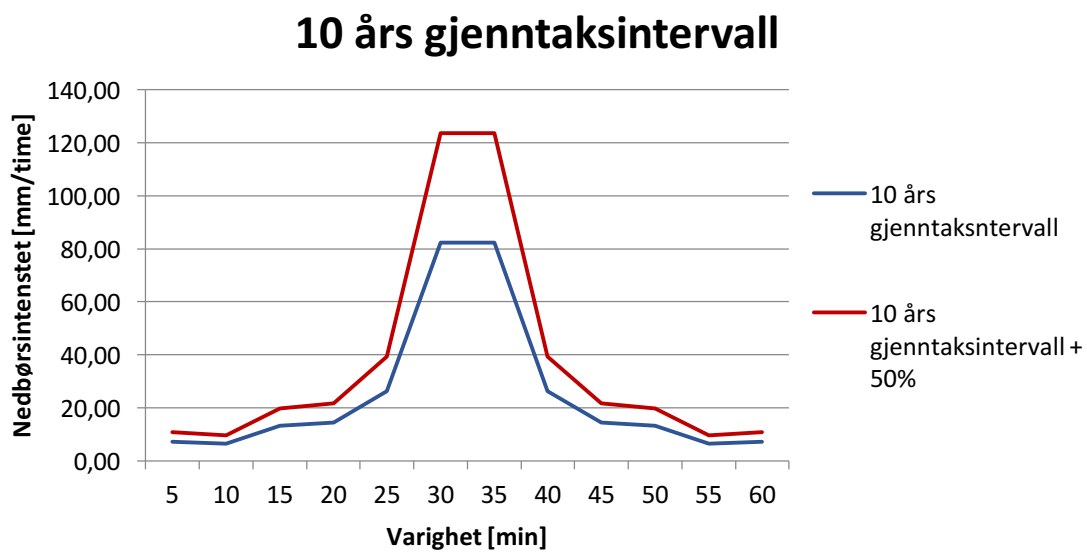
Verdiene fra tabell 5.2 kan fremstilles i en symmetrisk regnhyetogram, slik det er vist i figur 5.6



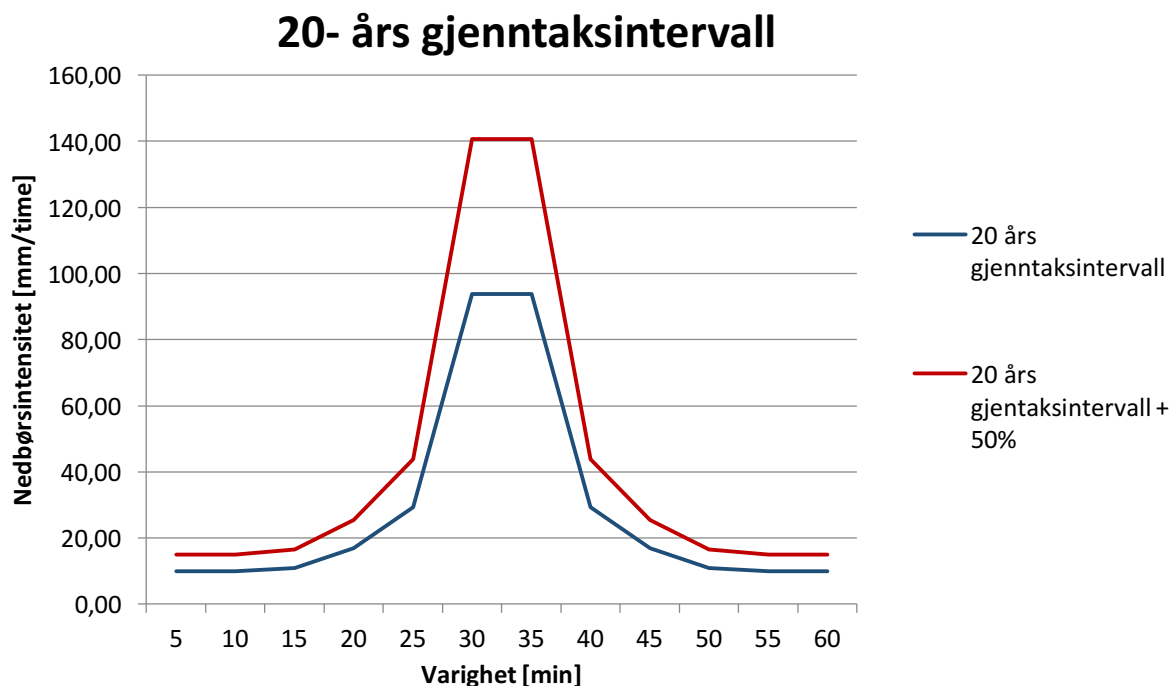
Figur 5.6: Symmetrisk regnhyetogram basert på 10- års returperiode

5.5 Modellsimulering

En klimafaktor på 1,5 ble lagt til for å simulere med tanke på fremtidens klimaendringer. Figur 5.7 og 5.8 viser gjentaksintervall for et 10- og 20- års regn med og uten klimafaktor.



Figur 5.7: 10- års gjentaksintervall med og uten klimatillegg på 50%.



Figur 5.8: 20- års gjentaksintervall med og uten klimatillegg på 50%.

Resterende gjentaksintervaller med og uten klimatillegg er lagt i vedlegg C.

5.5.1 Simulering av dagens situasjon

Det ble gjennomført simuleringer av dagens situasjon med 10-, 20-, 50- og 100- års gjentaksintervaller fra IVF- kurven. Disse ble kjørt i modellen og antall oversvømmelser og skader på bygninger ble registrert. I SWMM vil oversvømmelser regnes fra vannet går over topp kum, altså når det begynner å renne ut. I denne oppgaven antas det at et flomvolum større enn 6 m^3 vil gi skader på bebyggelser. Denne verdien ble bestemt etter samtale med professor Oddvar Lindholm.

5.5.2 Beregning av avrenning med den rasjonelle metode

For å beregne avrenning med den rasjonelle metode, var det nødvendig å finne konsentrasjonstiden på feltet, samt feltets areal, avrenningskoeffisient, og nedbørintensitet. Til dette ble formel 3.3, 3.4 og 3.5 benyttet. Avrenningen for et 10- års gjentaksintervall med og uten klimatillegg ble beregnet.

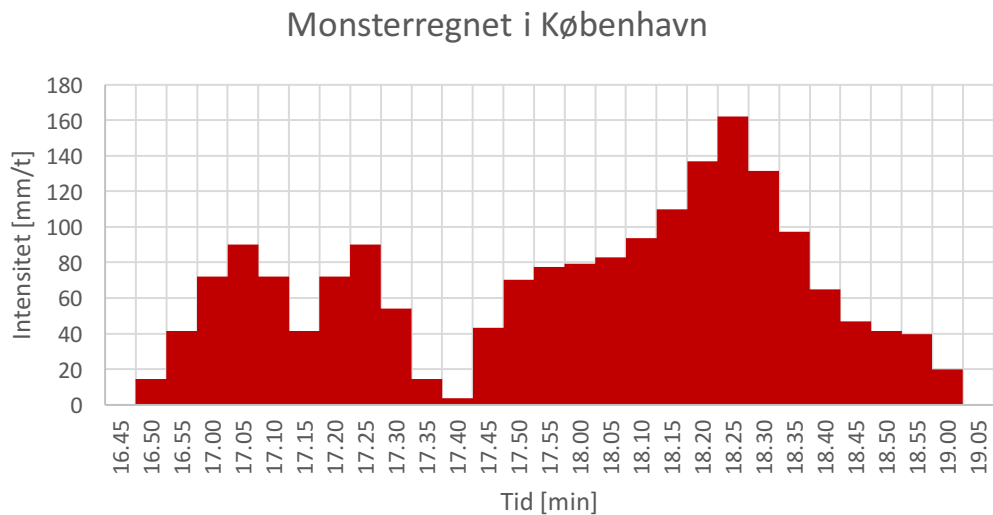
Det lengste rørstrekket, L , fra feltes ytterste punkt frem til hovedutløpet på Landås ble målt til å være 1306,75 meter lang. Gjennomsnittshastigheten, v , i ledningene ble lik 1,5 m/s. Kun avrenning fra hovedutløpet på Landås ble beregnet med den rasjonelle metode. Arealet på Landås er 16 ha. Andel tette flater ble lik 9,945 % ≈ 10 %, og avrenningskoeffisienten ble derfor satt lik 0,1.

5.5.3 Simulering med Monsterregnet

Nedbørsmålingene for monsterregnet ble regnet om til mm/time, deretter ble det kjørt simuleringer og antall oversvømmelser og skader på bygninger ble registrert. Det ble kjørt

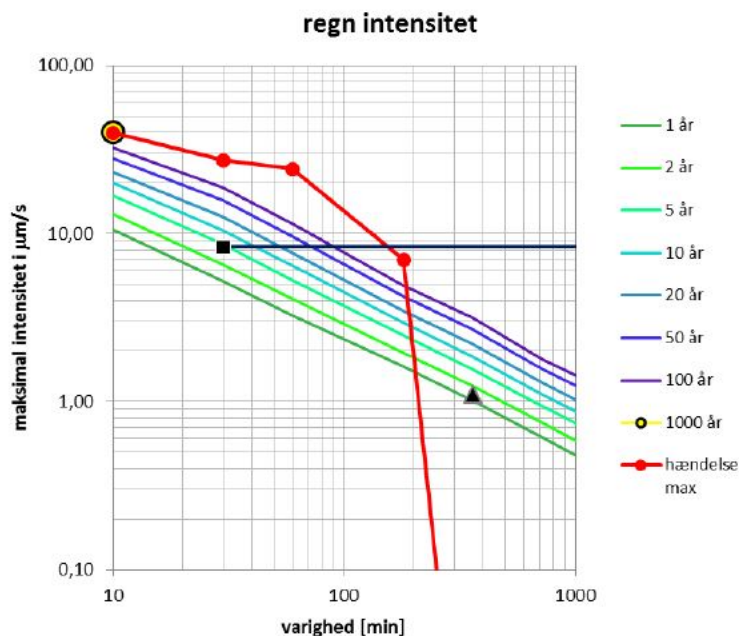
simuleringer både uten noen tiltak, og med tre ulike tiltak. Tiltakene var regnbed, takfrakobling og grønne veigrøfter.

Figur 5.9 viser et plott av regnskyllet mm/time, ut fra registreringer og innsamlede data fra 11. juli 2011. Tabell over registrering av nedbørintensiteten ved ulike tidspunkt er lagt i vedlegg E.



Figur 5.9: Intensiteten for Monsterregnet i mm/time.

Figur 5.10 viser København kommunes IVF- kurve der monsterregnet er plottet inn med fire punkter (rød linje)



Figur 5.10: IVF- kurve over København kommune, med innplottning av fire punkter fra Monsterregnet (rød linje) (Lars Buhler 2013)

5.6 Simulering av LOD- tiltak

Tre ulike LOD- tiltak ble simulert i oppgaven. Tiltakene var frakobling av takflater, regnbed og grønne veigrøfter.

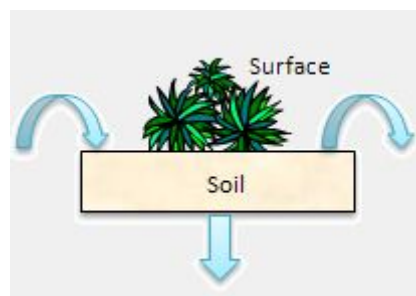
5.6.1 Frakobling av taknedbør

Ved frakobling av takflater vil avrenning fra takflatene infiltreres på stedet gjennom for eksempel regnbed, infiltrasjonsgrøft eller annet permeabelt flate i terrenget. Slik vil ikke takavrenningen renne direkte til avløpsnett. For å finne en gjennomsnittsverdi for andel tette flater, ble det benyttet GIS verktøy. I oppgaven beskriver andel tette flater hvor stor del av hvert delareal som består av tette takflater. På Landås er taknedbøren direktekoblet på systemet, noe som belaster ledningsnettets betydelig. Frakobling av taknedbør er et krav for Burumskogen som per dags dato er under utbygging.

Ved innsetting av dette tiltaket antas det i SWMM at avrenning fra takflatene behandles umiddelbart, uten at det først går gjennom et annet tiltak, som for eksempel regnbed, slik det er i virkeligheten.

5.6.2 Regnbed

Som et annet tiltak ble regnbed lagt inn i systemet. Figur 5.11 illustrerer hvordan et regnbed er lagt opp i SWMM.



Figur 5.11: Illustrasjon av regnbød i SWMM (Rossman et al. 2015).

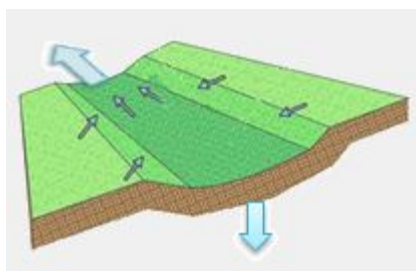
Parameterne som ble valgt var basert på antagelser om hva som kunne være realistiske verdier. I hvert delfelt med boliger ble det lagt inn et eller flere regnbød, der mellom 10 – 20 % av arealet i hvert delfelt ble okkupert av dette tiltaket. Tabell 5.3 viser en oversikt over ulike parametere lagt inn som grunnlag i LOD funksjonen. Bredden på regnbødet varierte fra 2 – 8 meter avhengig av delfeltets areal og bredde. Det ble antatt at 100% av avrenning fra takflatene ble behandlet gjennom dette tiltaket.

Tabell 5.3: Oversikt over ulike parameterverdier lagt inn i SWMM ved bruk av regnbed som LOD-tiltak.

Parametere til Regnbed							
Overflate		Jord		For delfelt bolig		Lagring	
Jord		Lagringsdybde	300	Andel av området i %	10 - 20	Ledningsevne i mm/t	20
Tykkelse	850	Andel som er vegetasjon	0,15	Bredde i meter	2 - 8		
Porøsitet	0,5	Overflate ruhet	0,4	Andel impermeabelt areal behandlet %	100		
felt kapasitet	0,2	Helning overflate	0				
Andel volum som visner	0,1						
konduktivitet i mm/t	150						
Helning konduktivitet	20						
Kapillær sugehøyde i med mer	3,50						

5.6.3 Grønne veigrøft

Grønne veigrøfter ble lagt langs alle veier i området. Det ble lagt to slike tiltak i hvert av delfeltene for vei, og til sammen ble mellom 45-50% av alle delfeltene for vei brukt til dette tiltaket. Hensikten var at avrenning fra veiarealene skulle renne til veigrøftene der det skulle infiltreres ned til grunnen, og ikke direkte til overvannssystemet. Figur 5.12 viser en fremstilling av dette tiltaket.



Figur 5.12: Illustrasjon av grønn veigrøft i SWMM (Rossman et al. 2015).

Parameterne valgt til dette LOD-tiltaket er vist i tabell 5.3. Da delfeltenes bredde for vei var satt til 4 meter, ble bredden på hver veigrøft satt til 1 meter. Det ble antatt at 70% av avrenning fra veien ble håndtert gjennom dette tiltaket, og de resterende 30% ville renne videre til overvannssystemet.

Tabell 5.4: Oversikt over ulike parameterverdier lagt inn ved bruk av grønne veigrøfter som LOD tiltak.

Parametere til grønne veigrøfter			
Overflate		For delfelt vei	
Lagringsdybde	300	Andel av området i %	45 - 50
Avdel som er vegetasjon	0.15	Bredde i meter	1
Overflate ruhet	0.3	Andel impermeabelt areal behandlet %	70
Helning overflate	1		
Sidehelning grøft	4		

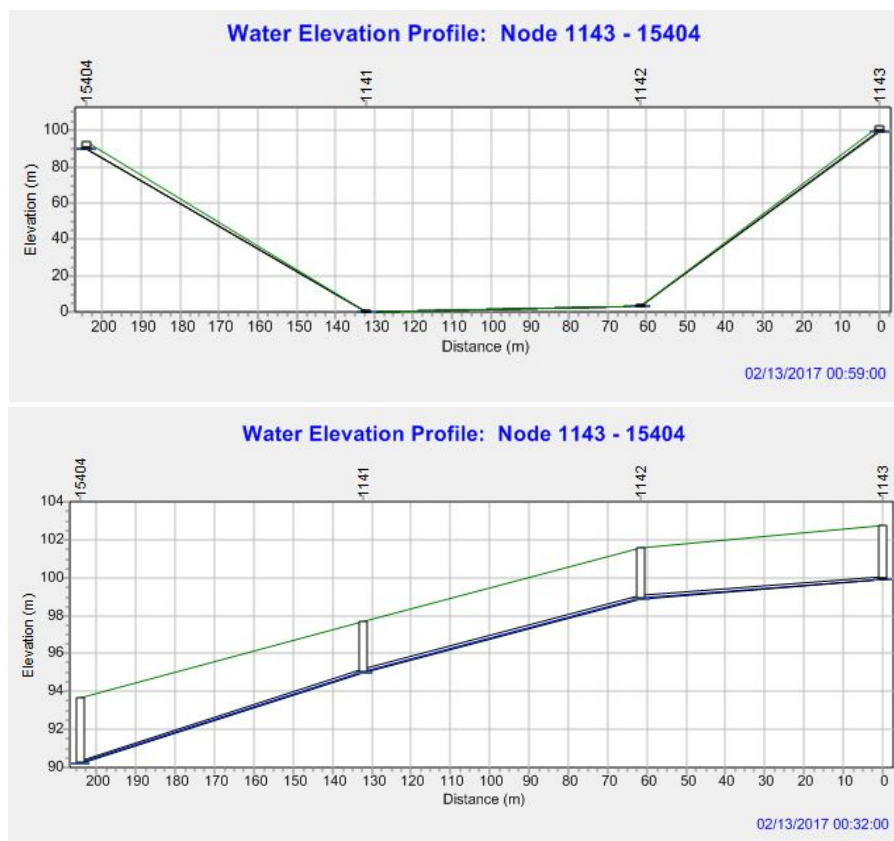
6 Resultat

6.1 Kalibrering

Resultater fra modellkalibreringer gjennomgås i dette delkapittelet.

6.1.1 Verifikasjon av modellen

Modellen ble gjennomgått for å finne eventuelle kontinuitetsfeil som kunne føre til oppstuvning i ledningsnett. Flere kummer hadde en kumhøyde lik null, og et par av ledningene var feilkoblet mellom kummene. Øverst på figur 6.1 vises et eksempel på et ledningsstrek der det ikke var registrert riktige kumhøyder, og dermed ga kontinuitetsfeil. Nederst vises samme ledningsstrek der kumhøydene ble rettet på.

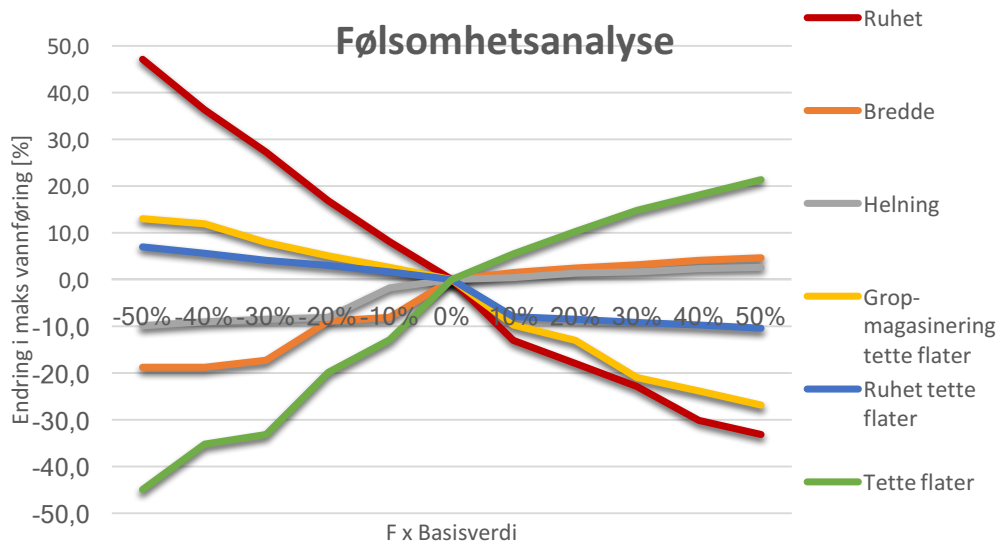


Figur 6.1: Kontinuitetsfeil forårsaket av feil kumhøyder. Bildene viser samme ledningsstrek før(øverst) og etter(nederst) at feilen ble rettet opp.

6.1.2 Modellfølsomhet

Simuleringen av modellfølsomheten var basert på 20- års gjentaksintervall.

Figur 6.2 viser følsomhetsanalysen illustrert i et stjernetdiagram. Den prosentvise endringen i maksimal vannføring vises på y-aksen og den prosentvise endringen av parameterne vises på x-aksen.



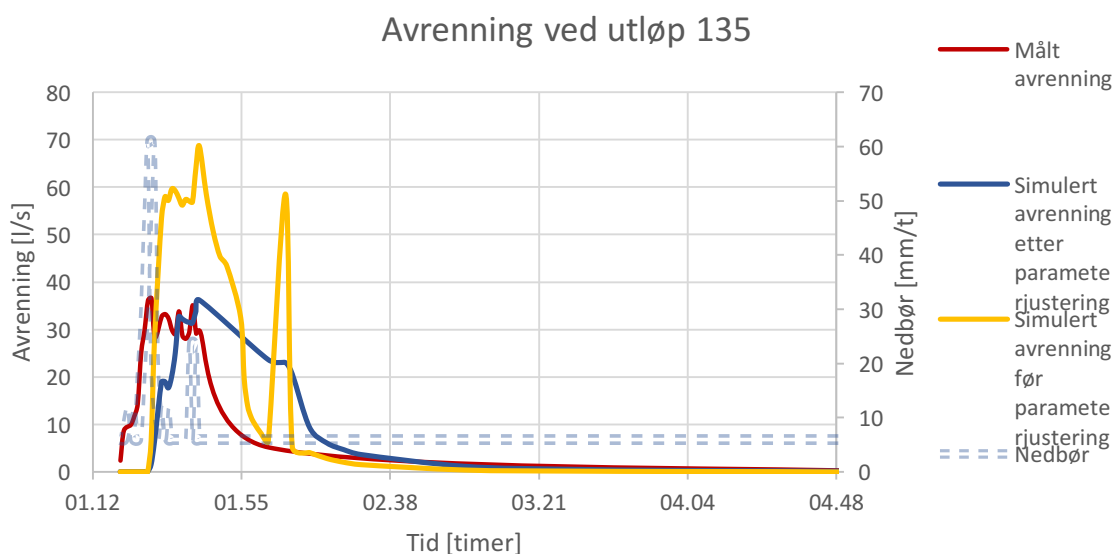
Figur 6.2: Følsomhetsanalyse av parameterne rør-ruhet, bredde, helning, grop- magasinering av impermeable flater og andel tette flatter totalt, utført på 20-års regn i primærmodellen.

Parameterne tette flate, grop-magasinerings og rør-ruheten ga størst utslag på maksimal avrenning.

For rør-ruheten førte en reduksjon av parameteren med 50 %, til at den maksimale avrenningen økte med 47,1%.

De tre overnevnte parameterne kan kategoriseres som følsomme parametere. De resterende parameterne; bredde, ruhet på tette flater og helning kan kategoriseres som mindre følsomme parametere da de ikke ga en stor variasjonsforskjell av maksimal avrenning.

Figur 6.3 viser simulert avrenning før (gul) og etter (blå) parameterjustering etter følsomhetsanalysen. Modellen ble gjennomgått og en del parametere endret, slik at den simulerte avrenningen ble mest mulig lik den målte avrenningen (rød).



Figur 6.3: Målt avrenning fra 11. sept. 2016 fremstilt mot simulert avrenning før og etter parameterjustering.

Maksimal beregnet avrenning før parameterjustering var 68,67 l/s. Avviket med målt avrenning lå på 88.14 %. Ved å justere på parameterne slik som vist i tabell 6.1, ble maksimal simulert avrenning redusert til 36,25 l/s. Avviket fra den målte maksimale avrenningen som lå på 36,5 l/s var nå kun 0,68 %.

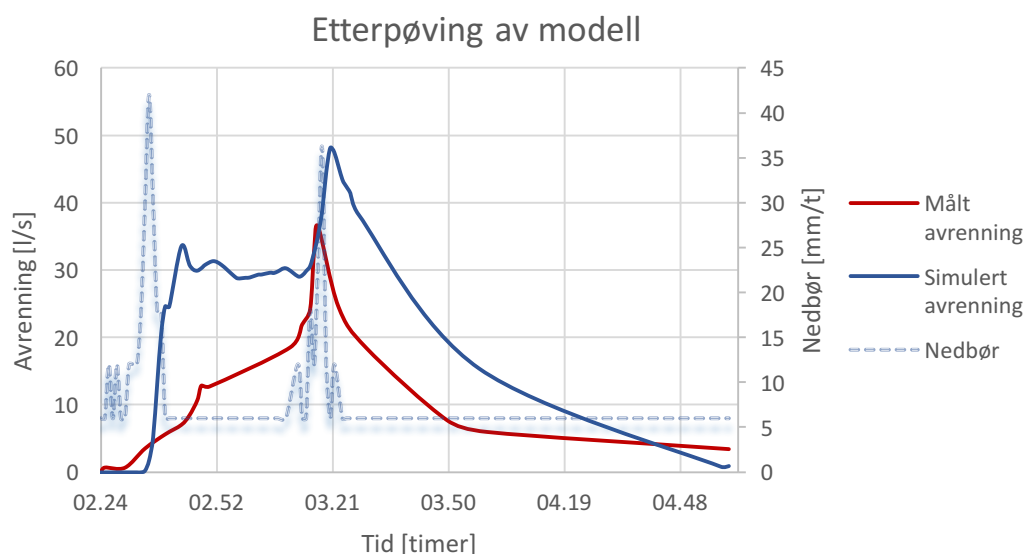
Tabell 6.1: Alternativ til parameterjustering for å minke variasjonen mellom målt og simulert avrenning.

Parametere	Parametere for primærmodellen	Parametere for sekundærmodellen
Bredde på største delfelt [m] *	Variierende (>47m)	40
Helning på delfelt [%, gjennomsnitt]	56	4
Ruhet rør [n]	0,01	0,02
Grop magasin permeable flater [mm]	4	8
Grop magasin impermeable flater [mm]	1,5	1,6
Horton infiltrasjon maks [mm]	70	75
Horton infiltrasjon min [mm]	15	20
Ruhet impermeable flater [n]	0,015	0,02
Ruhet permeable flater [n]	0,2	0,25
Tette flater veiarealer [%, gjennomsnitt]	50	50 x 0,85 = 42,5
Tette flater boligfelt arealer [% gjennomsnitt]	18	18 x 0,85 = 15,3

* Bredden på de tolv største delfeltene (> 47m) ble redusert til 40m.

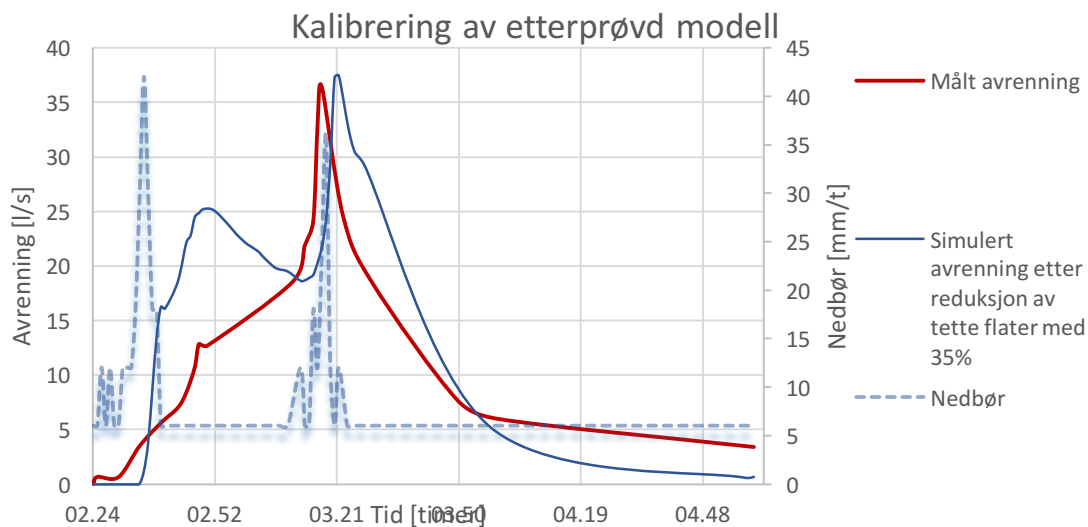
6.1.3 Etterprøving

Figur 6.4 viser at simulert avrenning har en maksimal verdi på 48,18 l/s, og den målte avrenningen har en maksimal verdi på 36,4 l/s. Avvik mellom målt og simulert maksimal avrenning var 32,4 %. Denne forskjellen var veldig stor, og bør ligge under 10%. For å redusere simulert avrenning måtte en eller flere av parameterne som ga størst utslag ut fra følsomhetsanalysen endres.



Figur 6.4: Etterprøving av modellen med nedbørshendelse fra 19. juni 2016.

Ved å redusere på parameteren for andel tette flater med 35% i alle delfelt, ble simulert maksimal avrenning redusert fra 48,18 l/s til 37,49 l/s, figur 6.5. Avvik mellom målt og simulert maksimal avrenning ble da kun 2,9 %, som er en akseptabel verdi.



Figur 6.5: Endring av etterprøvd modell fra 19.juni 2016 ved å redusere andel tette flater med 35%.

De endelige parameterne i modellen er vist i tabell 6.2.

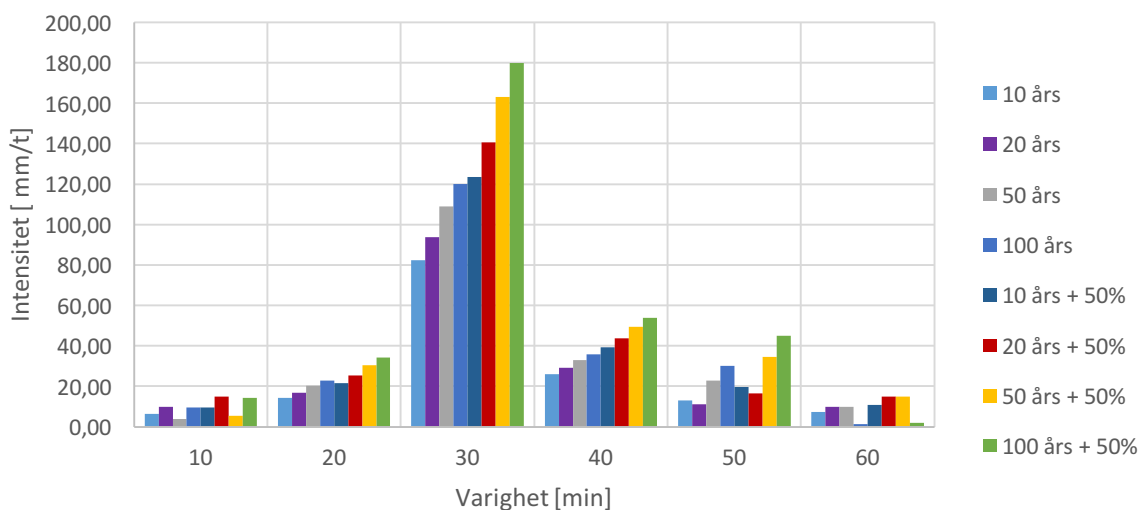
Tabell 6.2: Endelige parameterverdier brukt i modellen

Parametere	Endelige parameterverdier for modellen
Bredde på største delfelt [m] *	40
Helning på delfelt [%, gjennomsnitt]	4
Ruhet rør [n]	0,02
Grop magasin permeable flater [mm]	8
Grop magasin impermeable flater [mm]	1,6
Horton infiltrasjon maks [mm]	75
Horton infiltrasjon min [mm]	20
Ruhet impermeable flater [n]	0,02
Ruhet permeable flater [n]	0,25
Tette flater veiarealer [%, gjennomsnitt]	$42,5 \times 0,65 = 27,625$
Tette flater boligfelt arealer [% gjennomsnitt]	$15,3 \times 0,65 = 9,945$

6.2 Simulering

En sammenligning av intensiteter ved ulike gjentakintervaller med og uten klimatillegg er vist i figur 6.6. Nedbørintensiteten for en 10 års gjentakintervall med klimatillegg er omtrent lik nedbørintensiteten for en 100 års gjentakintervall uten klimatillegg.

Sammenligning av intensiteter



Figur 6.6: Sammenligning av nedbørintensiteter fra IVF- kurven, med og uten klimatillegg på 50%.

6.2.1 Simulering av dagens situasjon

Simulering av dagens modell ble gjennomført for 10-, 20-, 50- og 100- års gjentaksintervall med og uten klimatillegg på 50%. Kummer med volum høyere enn 6 m^3 vil gi skade på bygninger. Resultatet fra simuleringen er vist i tabell 6.2.

Tabell 6.3: Oversikt over oversvømmelser og skader på bygninger ved ulike gjentaksintervaller, med og uten 50% klimatillegg.

Oversvømmelser og skade på bygninger uten tiltak				
Gjentaksintervall	Oversvømmelser med dagens IVF- kurve	Oversvømmelser med 50 % klimatillegg	Skader på bygninger ved dagens IVF- kurve ($> 6 \text{ m}^3$)	Skader på bygninger ved 50 % klimatillegg ($> 6 \text{ m}^3$)
10	16	21	5	12
20	16	30	6	17
50	18	33	8	25
100	19	37	11	30
Monster regn	44		41	

Simuleringen viser blant annet at for en 10 års gjentaksintervall uten klimatillegg vil det oppstå oversvømmelser i 16 av kummene, og 5 av kummene vil ha et volum på mer enn 6 m^3 , og vil dermed forårsake skade på bygninger. For samme gjentaksintervall med klimatillegg på 50% vil det oppstå oversvømmelser i 21 kummer, der 12 av kummene vil gi skade på bygninger. Altså øker antall oversvømmelser med 23,8 %, og skader på bygninger øker med 58,3 % for et 10- års gjentaksintervall med klimatillegg. Monsterregnet vil føre til oversvømmelser i 44 av 53 kummer, der 41 av disse kummene vil gi skade på bygninger. Lars Buhler fikk i sin masteroppgave at 87 av 107 kummer på Rustadskogen i Ås ble oversvømt under monsterregnet (Lars Buhler 2013).

Figur 6.7 viser et rørstrekk der rørdimensjonene er veldig varierende. Her er det flaskehalsar som gir en høyere vannhastighet i ledningen.

Dimensjonen varierer på følgende måte:

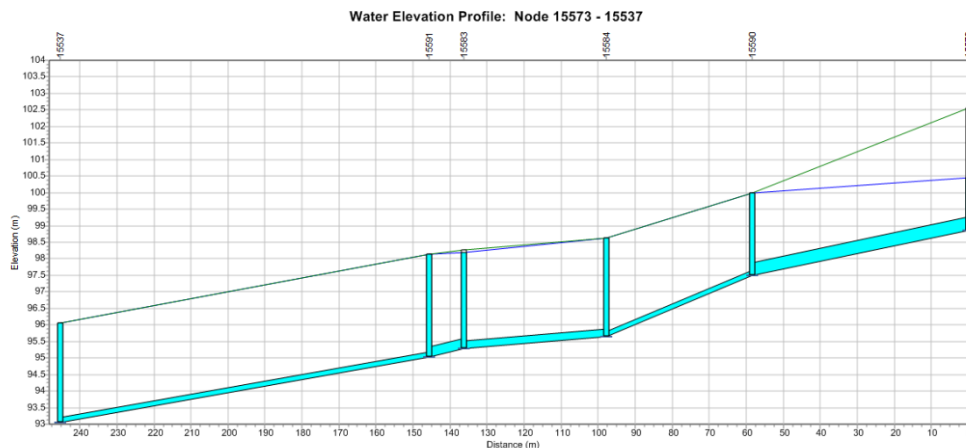
Fra kum 15573 til kum 15590 er dimensjonen 400 mm.

Fra kum 15590 til kum 15584 er dimensjonen 160 mm.

Fra kum 15584 til kum 15583 er dimensjonen 250 mm.

Fra kum 15583 til kum 15591 er dimensjonen 315 mm.

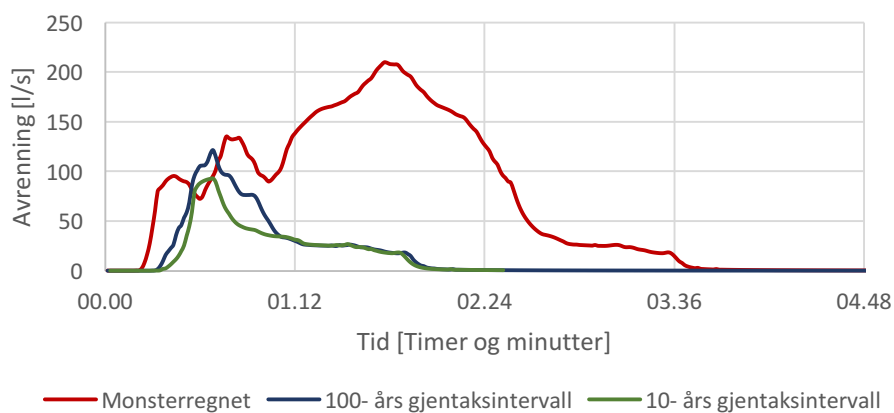
Fra kum 15591 til kum 15537 er dimensjonen 160 mm.



Figur 6.7: Oppstuvning i kummer på grunn av stor variasjon i rørdimensjoner.

Figur 6.8 viser en sammenligning av avrenningsmønsteret mellom monsterregnet, 10- og 100-års gjentakintervaller. Maksimal avrenning for monster regnet er 210,37 l/s, for et 100-års gjentakintervall ligger den maksimale avrenningen på 121,68 l/s og for et 10-års gjentakintervall er den 92,68 l/s. Total volum for monsterregnet var 1261 m³, 272 m³ for 100-års regnet og for 10-års regnet kun 203 m³. Total volumforskjellen mellom monsterregnet og et 10-års regn er 83,9 %.

Sammenligning av avrenningskurver



Figur 6.8: Avrenning ved monsterregnet, 10- og 100-års regn. Avrenninger er fra hoved utløpet på Landås.

6.2.2 Den rasjonelle metode

Tabell 6.4 viser verdier som ble benyttet til beregning av avrenning med den rasjonelle metode, formel 3.3:

Tabell 6.4: Beregningsgrunnlag for beregning med den rasjonelle metode.

Grunnlag for beregning av avrenning	Verdier
Lengste rørlengde fra feltets ytre punkt til utløp, L [m]	1036,75 m
Gjennomsnittlig rørhastighet [m/s]	1,5
Tilrenningstid, t_t [min]	7
Strømningstid, t_s [min]	14,52
Konsentrasjonstid, t_k [min]	21,52
Avrenningskoeffisient, ϕ	0,1
Intensitet [l/s·ha]	140
Klimafaktor, k_f	1,5

Med en rørlengde på 1306,75 meter og en gjennomsnittshastighet på 1.5 m/s, ble strømningstiden beregnet med formel 3.5:

$$t_s = \frac{L}{v} = \frac{1306,75 \text{ m}}{1,5 \text{ m/s}} = 871,16 \text{ sekunder} = 14,52 \text{ minutter}.$$

Med en tilrenningstid, t_t på 7 minutter, ble konsentrasjonstiden, t_k beregnet med formel 3.4:

$t_k = t_t + t_s = 7 \text{ min} + 14,52 \text{ min} = 21,52 \text{ minutter}$. Dermed ble intensiteten funnet fra IVF-kurven lik 140 l/s · ha.

Avrenningen uten klimatillegg fra utløpet på Landås ble:

$$Q = 16 \text{ ha} \cdot 0,1 \cdot 140 \text{ l/s} \cdot \text{ha} = 224 \text{ l/s}.$$

Dette avviker med 58,6 % fra den simulerte avrenning på 92,68 l/s.

Avrenning med klimatillegg fra utløpet på Landås ble:

$$Q = 16 \text{ ha} \cdot 0,1 \cdot 140 \text{ l/s} \cdot \text{ha} \cdot 1,5 = 336 \text{ l/s}.$$

Den simulerte avrenningen for et 10- års gjentakintervall med klimafaktor var 129,2 l/s.

Altså et avvik på 61,5 %.

6.3 Simulering av LOD- tiltak

I dette delkapittelet blir resultater fra simulering av LOD- tiltak presentert.

6.3.1 Frakobling av takflater

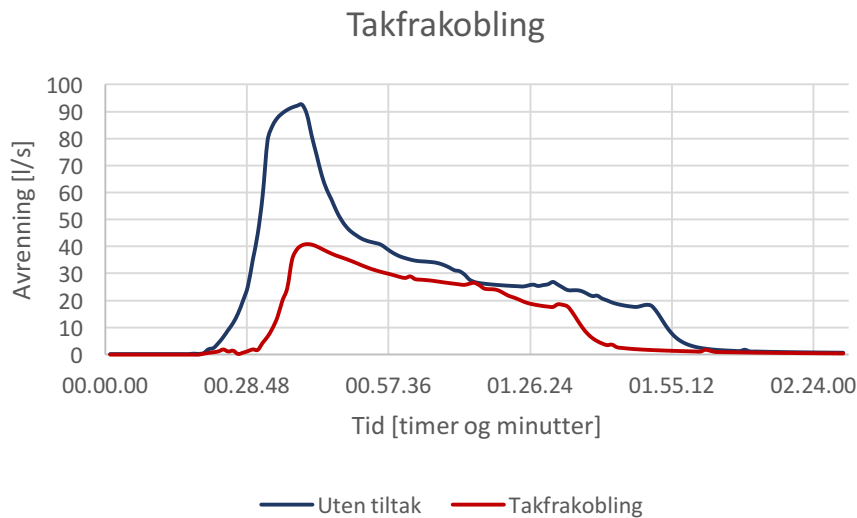
Alle takflater i hvert felt ble koblet fra overvannssystemet. Resultatene vist i tabell 6.5 viser at som følge av tiltaket ble antall oversvømmelser i kum redusert fra 16 til 1, ved et 10- og 20 års gjentakintervall. De første oversvømmelsene som førte til bygningsskader inntraff først ved et 50- års gjentakintervall. Ved et 100- års gjentakintervall ble antall oversvømmelser redusert fra 19 til 15 og antall bygningsskader for samme gjentakintervall ble redusert fra 11

til 5. For monsterregnet ble antall oversvømmelser og bygningskader kun redusert med 1 kum.

Tabell 6.5: Oversikt over antall oversvømmelser og skader på bygninger ved takfrakobling.

Oversvømmelser og skade på bygninger takfrakobling				
Gjentaksintervall	Oversvømmelser med dagens IVF- kurve	Oversvømmelser med 50 % klimatillegg	Skader på bygninger ved dagens IVF- kurve (> 6m ³)	Skader på bygninger ved 50 % klimatillegg (> 6m ³)
10	1	16	0	6
20	1	19	0	11
50	7	31	3	20
100	15	33	5	25
Monsterregnet	43		40	

Som vist i figur 6.9 førte tiltaket til en reduksjon i maksimal avrenning fra 92,68 l/s til 43,52l/s ved et 10- års gjentaksintervall. Avrenningen startet senere og tok slutt tidligere, sammenlignet med situasjonen uten tiltak. Tiltaket ga 4 minutters tidsforskyvning for maksimal avrenning. Total volum ble redusert fra 203 m³ til 109 m³, altså med 46,3 %.



Figur 6.9: Avrenning før og etter frakobling av takflater for et 10- års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hoved utløpet på Landås.

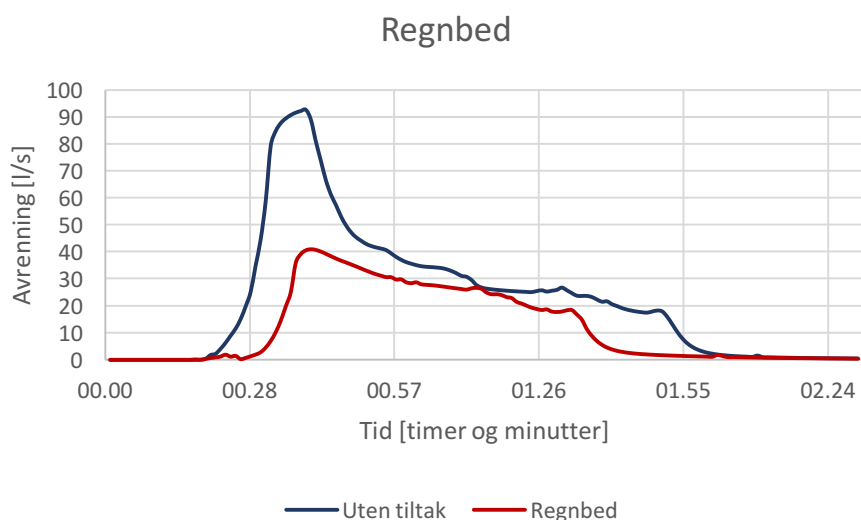
6.3.2 Regnbed som LOD tiltak

Tabell 6.6 viser at det ved et 10- og 20 års gjentaksintervaller oppstod oversvømmelse i kun en kum. Antall skader på bygninger skjedde ikke før ved et 50- års gjentaksintervall. Med dette tiltaket, ble antall oversvømmelser ved et 50-års gjentaksintervall uten klimatillegg redusert med 70 %, altså fra 18 til 6. Som følge av monsterregnet ble 41 kum oversvømt og 38 av disse hadde stort nok volum til å kunne gi skade på bygninger.

Tabell 6.6: Oversikt over antall oversvømmelser og skader på bygninger ved bruk av regnbed

Oversvømmelser og skade på bygninger med regnbed				
Gjentaksintervall	Oversvømmelser med dagens IVF- kurve	Oversvømmelser med 50 % klimatillegg	Skader på bygninger ved dagens IVF- kurve (> 6m ³)	Skader på bygninger ved 50 % klimatillegg (> 6m ³)
10	1	16	0	6
20	1	19	0	10
50	6	31	3	19
100	15	33	4	26
Monsterregnet	41		38	

Figur 6.10 viser en sammenligning av avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak i alle delfelt for boliger. Maksimal avrenning ble redusert fra 92,68 l/s til 40,81. Tidsforskyvningen mellom maksimal vannføring var 1 minutt. Total volumforskjell var på 46,3%, med reduksjon fra 203 m³ til 109 m³.



Figur 6.10: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hoved utløpet på Landås.

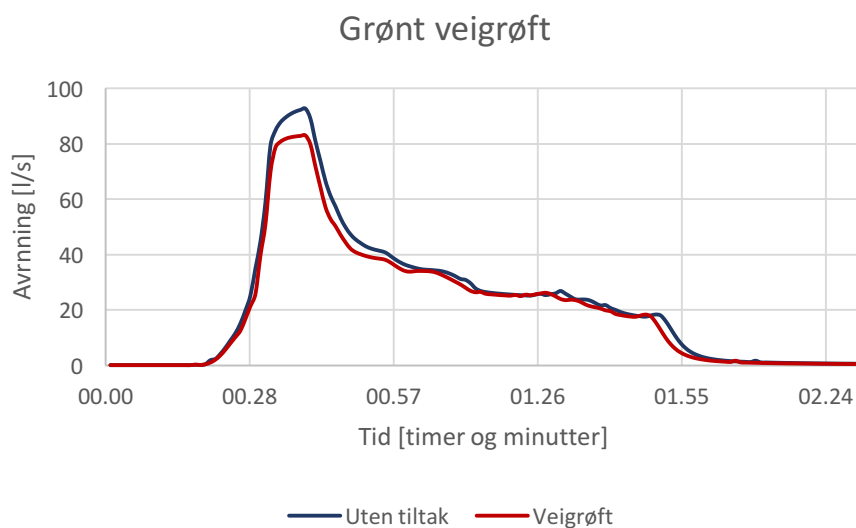
6.3.3 Grønne veigrøfter

Tabell 6.7 viser at det vil oppstå oversvømmelser av 12 kummer, hvorav 5 av disse vil gi bygningsskader. Totalt vil det oppstå oversvømmelser i 39 kummer ved et 100- års gjentaksintervall med klimatillegg. Ved bruk av dette tiltaket ble total antall bygningsskader redusert med en kum, ved 100- års gjentaksintervall med klimatillegg. Antall oversvømmelser og bygningsskader ved monsterregnet ble redusert med en kum.

Tabell 6.7: Oversikt over antall oversvømmelser og skader på bygninger ved bruk av grønne veigrøfter.

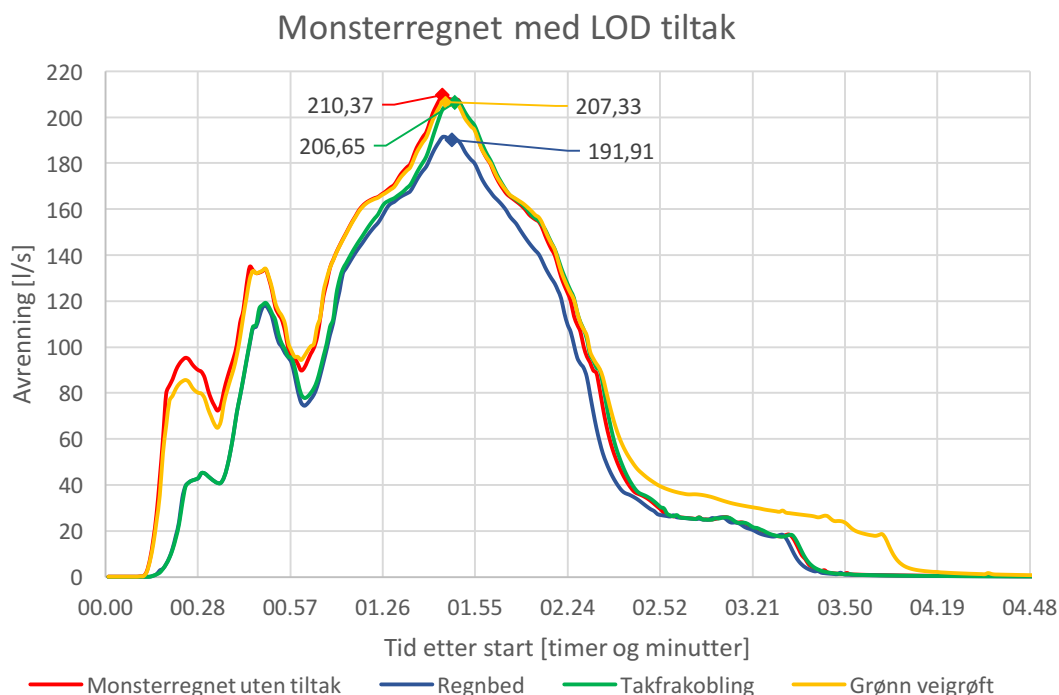
Oversvømmelser og skade på bygninger med grønne veigrøfter				
Gjentaksintervall	Oversvømmelser med dagens IVF- kurve	Oversvømmelser med 50 % klimatillegg	Skader på bygninger ved dagens IVF- kurve (> 6m ³)	Skader på bygninger ved 50 % klimatillegg (> 6m ³)
10	12	19	5	10
20	12	28	6	16
50	18	33	7	26
100	19	39	10	29
Monsterregnet	43		40	

Figur 6.11 viser hvor stor effekt bruk av grønne veigrøfter langs alle veiene ga på maksimal avrenning. Maksimal avrenning var redusert fra 92,68 l/s til 83,09 l/s, altså ga det en reduksjon på 10,3 %. Total volumforskjell ble redusert fra 203 m³ til 186 m³, altså med 8,4 %.



Figur 6.11: Avrenning før og etter bruk av grønne veigrøfter som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hoved utløpet på Landås.

Figur 6.12 viser avrenningsmønsteret til monsterregnet med og uten ulike LOD- tiltak. Uten noe tiltak var maksimal avrenning 210,37 l/s, med regnbed som tiltak lå maksimal avrenning på 191,91, for frakobling av takflater lå den på 206,65 l/s og ved bruk av grønne veigrøfter ble maksimal avrenning 207,33 l/s.



Figur 6.12: Monsterregnet med og uten bruk av LOD- tiltak.

Grafer for 20- års gjentaksintervall med og uten LOD- tiltak er lagt i vedlegg D.

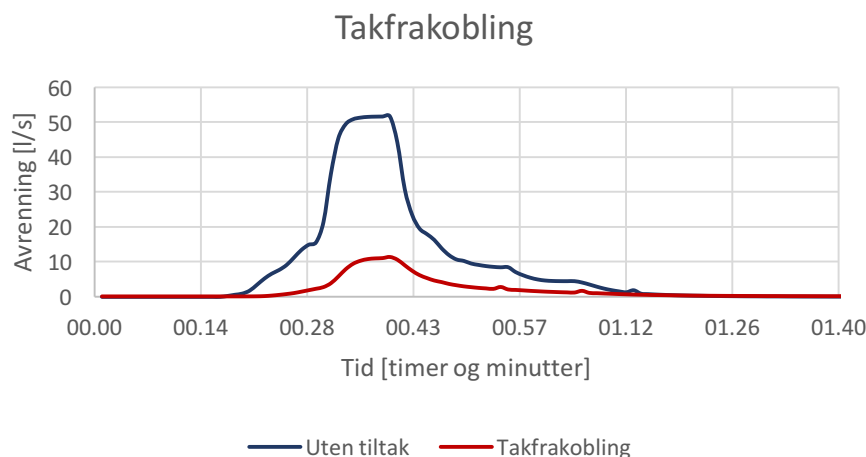
6.3.4 Simulering av LOD- tiltak på Burumskogen

Kravene på Burumskogen er noe annerledes enn resten av området. Ved et 10 års regn skal det ikke renne mer enn 1 l/s-da ut av hver av utløpene. Området er per dags dato fremdeles under bygging, men totalt skal det bygges rundt 60 bygninger. Avrenning fra 28 av bygningene renner til utløp nummer 25740, og 32 av bygningene er tilknyttet utløp nummer 24463. Altså skal det ved et 10 års regn ikke renne mer enn 28 l/s ut av utløp 25740 og ikke mer enn 32 l/s ut av utløp 24463.

Tiltak ved hvert delfelt skal kunne holde tilbake minst $26,5 \text{ l/m}^2$, dette er et krav som også konsulenter må forholde seg til.

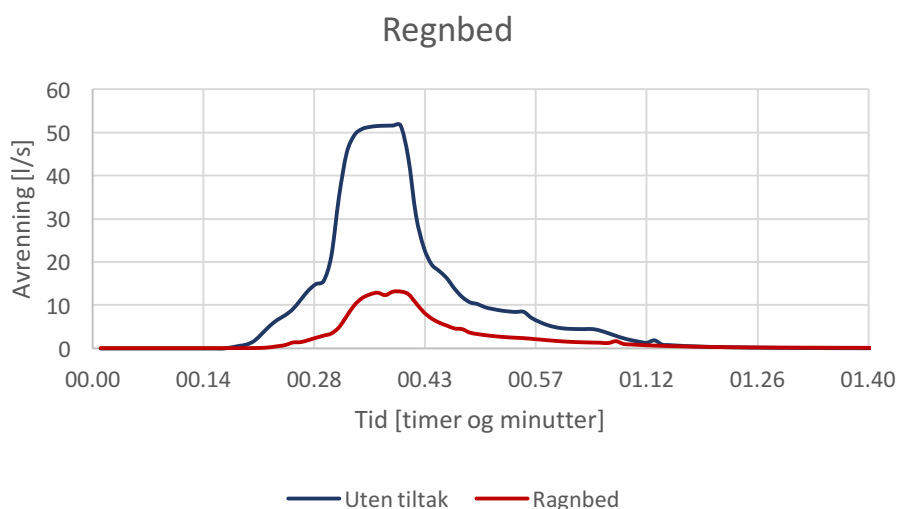
Følgende kurver viser avrenning fra utløp 25740 med og uten tiltak:

Figur 6.13 viser en reduksjon i avrenning med 78,1 % ved frakobling av takflater, altså en reduksjon fra 51,65 l/s til 11,3 l/s. Den totale volumdifferansen var 77,4%, med reduksjon fra 53 m^3 til 12 m^3 .



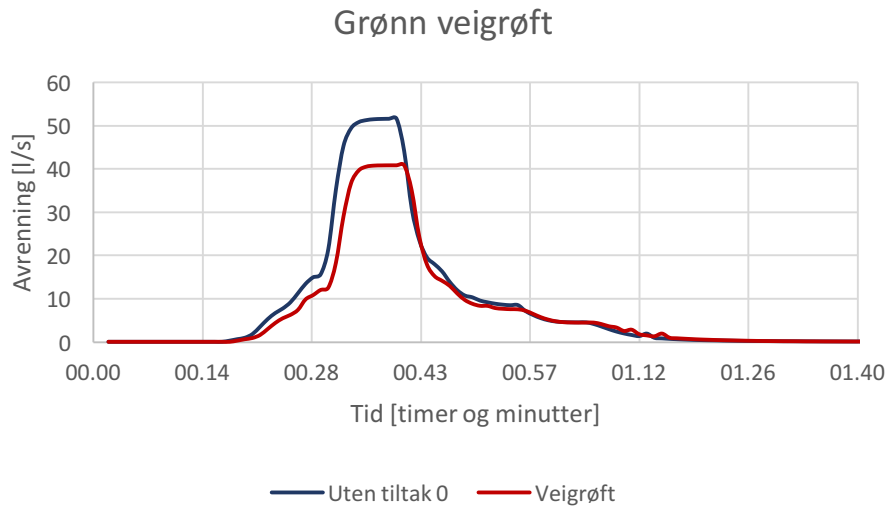
Figur 6.13: Avrenning før og etter frakobling av takflater ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.

Figur 6.14 viser avrenning til utløp 25740 med og uten bruk av regnbed som LOD- tiltak. Uten bruk av tiltaket var maksimal avrenning ved et 10- års gjentaksintervall 51,65 l/s, mens ved bruk av tiltaket ble den maksimale avrenningen redusert til 13,13 l/s med en tidsforskyvning på 2 minutter. Det totale volumet fikk en reduksjon fra 53 m³ til 13 m³, altså 75,5%.



Figur 6.14: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.

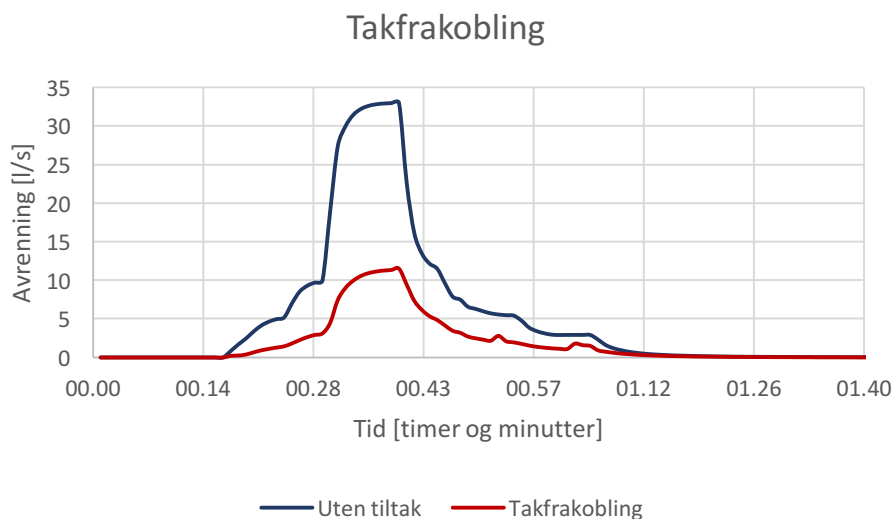
Effekten av bruk av grønne veigrøfter er vist i figur 6.15. Maksimal avrenning ble redusert fra 51,65 l/s til 40,79 l/s, med 3 minutters tidsforskyvning. Total volumforskjell var 18,9% med reduksjon fra 53 m³ til 43 m³.



Figur 6.15: Avrenning før og etter bruk av grønne veigrøft som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.

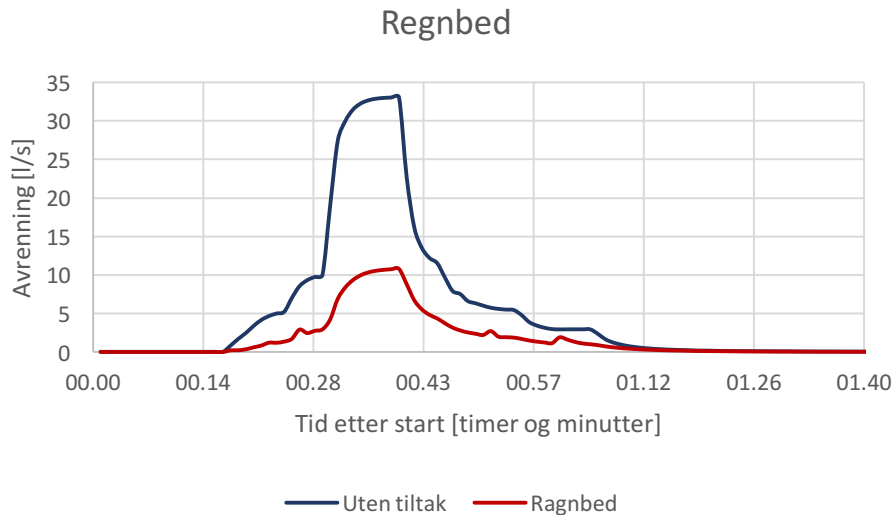
Følgende kurver viser avrenning fra utløp 24463 med og uten tiltak:

Takfrakobling ga en reduksjon i maksimal avrenning på 65,2 %, med reduksjon fra 33,03 l/s til 11,48 l/s, figur 6.18. Total volumdifferanse var 67,6 %, med reduksjon fra 34 m³ til 11 m³.



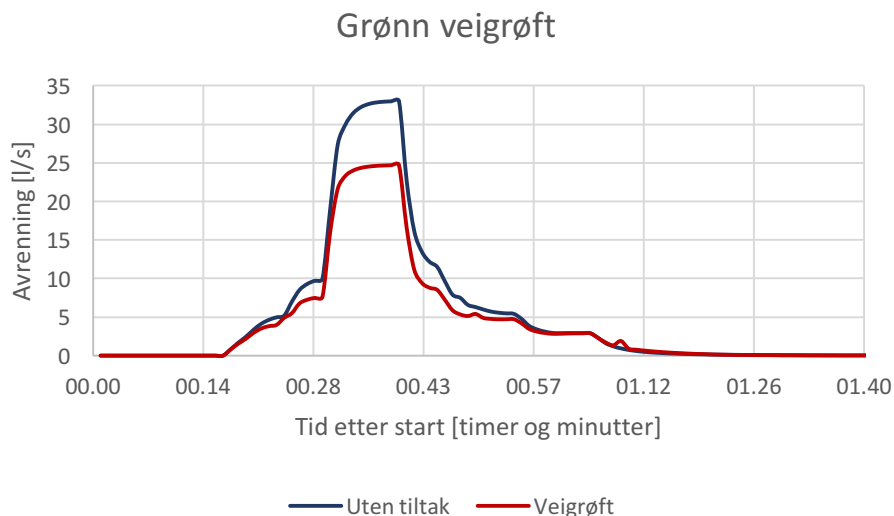
Figur 6.16: Avrenning før og etter frakobling av takflater ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

Figur 6.17 viser effekten av bruk av regnbed som LOD- tiltak. Maksimal avrenning var redusert fra 33,03 l/s til 10,76 l/s. Total volumforskjell var 67,6 %, med reduksjon fra 34 m³ til 11 m³.



Figur 6.17: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

Ved bruk av grønn veigrøft som LOD- tiltak ble maksimal avrenning redusert fra 33,03 l/s til 24,68 l/s, altså med 25,3 %, figur 6.18. Total volumforskjellen lå på 23,5 %, med reduksjon fra 34 m³ til 26 m³.



Figur 6.18: Avrenning før og etter bruk av grønn veigrøft som LOD- tiltak ved et 10-års gjentaksintervall. Avrenningsverdier er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

Ved bruk av regnbed og takfrakobling som LOD- tiltak ble all nedbør ved et 10- års nedbør holdt tilbake på alle delfelt for bolig. Dette ble registrert i programvaren under «report, summary». Ved bruk av grønne veigrøfter ble mye av avrenning fra veifeltene holdt tilbake. Total avrenning fra veiarealene ved bruk av dette tiltaket lå på 1,86 mm for hver veifelt, for et 10- års gjentaksintervall. Liste over alle delfelt med total avrenning fra hver delfelt i millimeter er lagt i vedlegg F.

7 Diskusjon

I dette kapittelet blir resultatene funnet i oppgaven diskutert og drøftet.

7.1 Modell kalibrering

Kalibrering av modellen ble kun gjennomført for Landås området, da Burumskogen enda ikke var utbygget ved måling av avrenningsdataene sommeren 2016.

For å få en mest mulig virkelighetsnær modell, var det ønskelig å benytte flere nedbør- og avrenningsdata til kalibrering og etterprøving av modellen. Men på grunn av manglende nedbørshendelser, mangel på gode nok nedbør og avrenningsdata og lite samsvar mellom målt nedbør og avrenning kunne ikke modellkalibreringen gjennomføres som ønsket. Det ble kun benyttet én nedbørshendelse fra 11.september 2016 og avrenningen målt samme dato til modellkalibreringen. Til etterprøving av modellen ble det benyttet én uavhengig nedbørshendelse fra 19.juni 2016 og avrenningsdata fra den samme datoen. På grunn av dette hadde ikke modellen et godt nok datagrunnlag, og det lå derfor en del usikkerheter rundt hvor godt modellen var kalibrert.

Nedbørsdataene lå inne på NVEs database, Hydra II. De ble tilsendt av Eydis Dalen som blant annet er ansvarlig for Rustadskogen målestasjon i Ås kommune. Avrenningsmålingene var i forkant av oppgaven målt av kommunen sommeren 2016. Tiden for måling av nedbør og avrenning var ikke godt nok synkronisert, forårsaket av feil i måleinstrumentene. For å få en bedre overensstemmelse mellom målt nedbør og avrenning, ble målt avrenning forskjøvet en time tilbake. Nøyaktigheten rundt dette var også en annen usikkerhet knyttet til modellkalibreringen.

7.1.1 Modellverifisering

Da ikke alle kummer hadde allerede registrerte høydeverdier, ble det gjennomført en interpolering mellom kummene og en del justeringer basert GIS verktøy og terrengets helning. Høydeverdiene som ble satt var kun en tilnærming, og kan være noe ulikt i virkeligheten. For å få en mest mulig nøyaktig modell burde disse ha vært målt i felt, da dette kan ha betydning for vurdering av oppstuvningstilstanden på overvannsnettet. Det er også verdt å nevne at modellen kun er en tilnærming av virkeligheten, og gir derfor et forenklet virkelighetsbilde. Dette kan gi usikkerheter i modellen, og kan bidra til usikkerheter rundt resultatene. Feilkoblinger mellom ledninger og kum gjorde at det ble oppsamling av vann i enkelte ledninger, og slik ble ledningene overbelastet. Etter å ha rettet opp i disse ved å sammenligne modellen med kommunens kartverk, Gemini VA, strømte vannet videre mot utløpet slik det gjør i realiteten.

7.1.2 Modelfølsomhet

Rør- ruhet, andel tette flater og grop- magasin for permeable flater ga størst utslag på den maksimale avrenningen. Disse parameterne kan kategoriseres som følsomme parametere. Av følsomhetsanalysen ble det vist at 50 % reduksjon av andel tette flater ville gi en reduksjon av maksimal avrenning på 44,9 %, og en økning av den samme parameteren med 50% ville føre til en økning av maksimal avrenning på 21,4 %. Andel tette flater i boligfeltene var satt lik

takflatene i feltet. Ut fra analysen ville maksimal avrenning ha vært redusert betydelig dersom for eksempel alle takflater ble koblet fra systemet. Andel tette flater ble redusert med 15 % i sekundærmodellen.

Økt rør- ruhet ga en reduksjon i maksimal avrenning. 50 % økning i rør- ruheten ville føre til 33,2 % reduksjon i maksimal avrenning. Rørmaterialene i området består stort sett er av betongrør, med unntak av de nyeste ledningene som noen steder er av plastmateriale. Rør-ruheten for hele nedbørsfeltet ble økt fra 0,01 til 0,02, som kan være en litt for høy verdi, spesielt med tanke på plastrørene.

50 % økning av parameteren grop- magasin for permeable flater, ville føre til en reduksjon av maksimal avrenning med 26,8 %. Parameteren ble oppjustert fra 4 til 8 mm i sekundærmodellen. Ut fra SWMM manualen (Rossman et al. 2015) er dette en verdi for skogsområder. Den verdien ble satt for å få et bedre samsvar mellom målt og simulert maksimal avrenning ved kalibrering av modellen.

Helningen i primærmodellen var satt lik 56 %, dette var en altfor høy verdi og samsvarte ikke med virkeligheten. I tabell 6.1 som viser parameterne for sekundærmodellen, var denne verdien redusert til 4 %, som er lik gjennomsnittsverdien for hele nedbørsfeltet. I realiteten varierer høydekurvene, og helningen kan dermed også variere fra et sted til et annet.

Bredde på delfelt, ruhet på tette flater og helning kan kategoriseres som mindre følsomme parametere da de ikke ga en stor variasjonsforskjell i maksimal avrenning.

Etter endring i de overnevnte parameterne ble differansen mellom målt og simulert maksimal avrenning redusert fra 88,14 % til 0,68 %. En differanse på under 10 % er akseptabelt for å anse modellen som kalibrert.

7.1.3 Modell etterprøving

Til etterprøving av modellen ble simulert avrenning fra 19.juni 2016 benyttet. Differansen mellom maksimal simulert avrenningen og den målte maksimal avrenningen var 32,4 %. En årsak til denne store differansen er at det i virkeligheten finnes hus som ikke er koblet 100 % på overvannssystemet, og at en større andel avrenning fra veifeltene blir tatt opp av veigrøftene. Andel tette flater ble derfor igjen redusert med 35%. De endelige parameterne for andel tette flater for boligfelt ble redusert til omtrent 10 %, og for veifeltene ble det redusert til omtrent 28 %. 28 % tette flater kan virke som en lav verdi for veiarealer. Fordi det forutsettes at avrenning fra impermeable flater først renner til permeable flater (for eksempel veigrøfter), der det forsinkes og infiltreres før det eventuelt ledes til sluk, kan dette likevel være en akseptabel verdi. Som følge av denne endringen gikk maksimal simulert avrenning ned med 22,2 %. Differansen mellom målt og simulert avrenning lå nå kun på 2,9 %. F-verdien ble på grunn av få nedbør- og avrenningsdata ikke beregnet.

7.2 Andre SWMM parametere

Maksimum infiltrasjonsrate ble satt til 75 mm/t. Denne verdien er en verdi for tørr jord og mellomleire. Minimum infiltrasjonsrate ble satt til 20 mm/t som er en verdi for en blanding av siltig sand og sandig lettleie. Infiltrasjonsparameterne ble ikke vurdert i følsomhetsanalysen, og ble heller ikke tatt i videre betraktning i resten av oppgaven.

I følge SWMM manualen (Rossman et al. 2015) bør fasongen på delarealene være rektangulære. Fordi delarealene i oppgaven er delt opp etter avgrensninger vist i GIS verktøy, var fasongen varierende fra delfelt til delfelt. På grunn av dette kan avrenningsforløpet til ledningsnettets være noe ukorrekt, og dette kan ansees som en mulig feilkilde.

7.3 Simulering av modellen

7.3.1 Konstruksjon av regnhyetogram

For konstruksjon av regnhyetogrammer ble IVF- kurven fra Rustadskogen benyttet. Kurven var basert på 39 sesonger og hadde et gjentaksintervall opp til 200 års regn. Flere av regnhyetogrammene fikk ikke den såkalte «trappeformen» fra midtaksen og ned. Dette kan skyldes unøyaktigheter i avlesninger, kurvenes form eller data fra regnstatistikken. Selv om verdiene stort sett ble lest av tabeller og skulle i prinsippet gi stor nøyaktighet, kan dette forekomme i enkelte tilfeller.

7.3.2 Simulering av dagens situasjon

For å kunne simulere med hensyn på fremtidens klimaendringer ble det bestemt et klimatillegg på 50 %. Det kunne også være hensiktsmessig å vurdere andre klimatillegg, da 50 % klimatillegg anses som verst tenkelige situasjon.

Intensiteten ved et 10- års regn med 50% klimatillegg var nesten lik intensiteten ved et 100- års regn uten klimatillegg. Det betyr at fremtidens klimaendringer vil skape store utfordringer i dagens urbane områder. Iverksetting av tiltak i allerede eksisterende urbane områder og fremtidige utbygninger vil være en god start for demping av de høye intensitetene.

Et boligfelt skal kunne tåle et 20- års regn (Lindholm et al. 2008). Altså skal det ikke oppstå noen oversvømmelser mer enn 1 gang per 20-ende år. I dette tilfelle oppstår det ved et 20- års gjentaksintervall oversvømmelser i 16 av 53 kummer. Dette tilsvarer 30,2 % av alle kummer. Altså holder ikke rørnettets kravet om å tåle et 20- års regn, spesielt ikke med et klimatillegg på 50 % da det vil oppstå oversvømmelser i 56,6 % av kummene. Dersom det eksisterende nettet får en økt belastning som følge av ny bebyggelse, vil oversvømmelser og bygningsskadene øke enda mer. I så fall vil det være viktig å iverksette LOD- tiltak flere steder i feltet, for å redusere belastningen på overvannssystemet.

Ved en intensitet lik intensiteten til monsterregnet vil det oppstå oversvømmelser i 83% av alle kummer. Lars Buhler testet monsterregnet på Rustadskogen i Ås, i sin masteroppgave våren 2013. Resultatet han fikk var at 76,6 % av kummene på Rustadskogen ble oversvømt (Lars Buhler 2013).

Ledningsstrekk fra kum 15573 til 15537 er noe uheldig utformet. Slik som vist i figur 6.7 er rørdimensjonen svært varierende. Det går blant annet fra en rørdimensjon på 400 mm til rørdimensjon på 160 mm. Dette fører til overbelastning av ledningsnett og oppstiving av kummer selv ved små vannføringer. Kommunen bør se nærmere på dette, da det fort kan føre til skader og ødeleggelser.

7.3.3 Den rasjonelle metode

Tilrenningstiden ble antatt 7 minutter, og kan være en mulig feilkilde i beregningen av maksimal avrenning. Maksimal simulert avrenning ved et 10- års gjentakintervall uten klimatillegg fra hovedutløpet på Landås ble 92,68 l/s, mens ved beregning med den rasjonelle metoden ble maksimal avrenning lik 224 l/s. Den rasjonelle metode gir en høyere verdi som følge av at denne metoden kun er en forenkling av realiteten og tar ikke hensyn til flere faktorer. Ved utregning av nedbørintensiteten fra IVF- kurven antas det uniform fordelt nedbør over hele feltet, og ikke varierende intensitet slik det er ved simulering i SWMM eller i virkeligheten. Rørene er normalt tomme eller har svært lite vannføring i starten av nedbøren, etterhvert som nedbøren øker vil rørene fylles med vann. I virkeligheten kan rørnettet derfor fungere som en fordrøyningsvolum som demper de høye toppene. Dette tas ikke hensyn til i den rasjonelle metode. Grop- magasin og forsinkelseeffekter tas heller ikke med i betraktning ved beregning med den rasjonelle metode.

7.4 Simulering av LOD- tiltak på Landås

7.4.1 Frakobling av takflater

100 % av takflatene ble koblet fra systemet. Det førte til en reduksjon på 53 % i maksimal avrenning ved en 10- års gjentakintervall. Tiltaket ga stor nedgang i både antall oversvømmelser i kum og antall bygningsskader, og ga 4 minutters tidsforskyvning. Ved et 20- års gjentakintervall uten klimatillegg oppstod det oversvømmelse i kun 1 av 53 kummer, det er en reduksjon i antall oversvømmelser på 93 % sammenlignet med situasjonen uten tiltak.

På de mest intense regnene, som for eksempel ved et 100- års gjentakintervall med klimatillegg, ble antall bygningsskader redusert med 16 %. Dersom ledningsnettenes kapasitet i fremtiden svekkes grunnet mer befolkningsvekst og klimaendringer, vil frakobling av takflater for både eksisterende og nye bygninger være en løsning for å redusere belastningen på ledningsnett. Ås kommune har som mål å koble fra alle takflater for ny utbyggelse i fremtiden.

7.4.2 Regnbed

Simulering av regnbed som LOD- tiltak ga en reduksjon av maksimal avrenning med 55,9 %. Antall oversvømmelser og bygningsskader ble betydelig redusert. Dette tiltaket ga 6,2 % lavere maksimal avrenning ved et 10- års gjentakintervall, sammenlignet med tiltaket for takfrakobling. I likhet med tiltaket for frakobling av takflater, ga også dette tiltaket en reduksjon i antall oversvømmelser på 93 % ved et 20- års gjentakintervall uten klimatillegg. Tiltaket okkuperte mellom 10 – 20 % av hver delfelt for boliger, og bredde på regnbedene varierte mellom 2 – 8 meter avhengig av delfeltets areal. Andelen tette flater som ble

behandlet var satt til 100 %. Det kan være noe urealistisk å ha så store regnbed på privat eiendom, men det er interessant å se hvor stor reduksjon i maksimal avrenning et slikt tiltak kan gi.

7.4.3 Grønne veigrøfter

Grønne veigrøfter ble benyttet langs alle veier på analyseområdet. Avrenning fra 70 % av de tette flatene i hvert delfelt for vei ble behandlet gjennom grønne veigrøfter. 45 – 50 % av hver veifelt var okkupert av dette tiltaket. Ved både et 10- og 20- års gjentaksintervall ga tiltaket en reduksjon i antall oversvømmelser fra 16 til 12 kummer, men ingen reduksjon i antall bygningsskader ved verken et 10- års eller 20- års gjentaksintervall. Maksimal avrenning ved et 10- års gjentaksintervall ble kun redusert med 10,3 %, og totalvolum forskjell ble redusert med 8,4 %.

Tiltaket alene vil ikke bidra til stor reduksjon i verken avrenning eller volum når hele nedbørsfeltet tas med i betraktning. Et forslag er å kombinere dette tiltaket med andre tiltak som kan redusere avrenningen fra boligfeltene, som for eksempel frakobling av takflater eller bruk av regnbed/infiltrasjonsgrøfter. Slik kan antall oversvømmelser og bygningsskader reduseres betydelig.

7.5 Monsterregnet

Ved sterkere nedbørintensiteter som ved monsterregnet ga tiltakene ikke lenger en stor reduksjon i maksimal avrenning og volum. En årsak til dette kan være at nedbørintensiteten og nedbørsmengden er høyere enn det tiltakene er i stand til å ta imot, dermed blir det høy avrenning. Infiltrasjonshastigheten minkes også etterhvert over en lang nedbørshendelse. En annen årsak kan være at modelleringsprogrammet ikke fungerer så bra for så høye nedbørintensiteter og langvarige nedbørshendelser som den for monsterregnet, og derfor blir ikke simuleringen fullt så bra.

Takfrakobling ga en reduksjon i maksimal avrenning på kun 1,4 %, og antall oversvømmelser og bygningsskader ved monsterregnet ble kun redusert med en kum. Grønne veigrøfter førte til en reduksjon i maksimal avrenning på 1,7 % og antall oversvømmelser og bygningsskader ble redusert med en kum. Bruk av regnbed som LOD-tiltak ga en reduksjon på 8,8 %, og antall oversvømmelser og bygningsskader ved monsterregnet ble redusert med 3.

Systemet vil ikke tåle en slik nedbørhendelse, tiltakene er ikke tilstrekkelige for å dempe avrenningen og det vil medføre store skader.

Et forslag er å sette ulike fordrøyningsbassenger spredt rundt i området. Det kan redusere avrenningen noe mer enn det de overnevnte tiltakene er i stand til å gjøre alene.

7.6 Simulering av LOD- tiltak på Burumskogen

Mye av det som er diskutert overfor gjelder også for Burumskogen.

Resultatene fra Burumskogen viser at ved iverksetting av tiltak på området, vil avrenningsverdiene fra utløpene være innenfor kravet på 1 l/s·da ved et 10- års

gjentaksintervall. Dette gjelder ikke ved bruk av grønne veigrøfter på veifelt der avrenningen renner til utløp 25740. Her var maksimal avrenning fra utløpet 40,79 l/s og var høyere enn kravet for på 28 l/s. Med en kombinasjon av dette tiltaket og et tiltak på boligfeltene som for eksempel frakobling av takflater, vil avrenningen reduseres til under kravet.

Hvert delfelt skal kunne holde tilbake 26,5 l/m², altså 26,5 mm. Dette kravet overholdes ved bruk av alle tre tiltakene. Takfrakobling og regnbed holder tilbake all avrenning ved et 10- års gjentaksintervall, mens for veifeltene der grønne veigrøfter benyttes, holdes 71,2 % av all avrenning som treffer veifeltene tilbake (vedlegg F). Resultatene er godt innenfor kravet.

8 Konklusjon

Den hydrauliske kapasiteten til ledningssystemet på analyseområdet er ikke tilfredsstillende dimensjonert med hensyn på oppstuvning. Ledningsnettets er ikke like godt dimensjonert over hele feltet, og oversvømmelser og skader på omgivelsen kan lett oppstå. Allerede ved et 10-års gjentaksintervall vil det oppstå oversvømmelser i 16 av 53 kummer, der flere av kummene vil kunne medføre bygningsskader. Ledningssystemet oppholder ikke kravet om å tåle et 20-års regn. Iverksetting av LOD- tiltak vil være nødvendig for å redusere avrenningen og belastningen på systemet, og for å redusere antall oversvømmelser og bygningsskader.

Ved 50 % økning i nedbørintensitet med tanke på fremtidens klimautviklinger, vil utfordringene bli enda større. Ved et 20-års gjentaksintervall med klimatillegg på 50 % øker antall oversvømmelser med 46 %. Ledningssystemet vil bli overbelastet, og LOD- tiltakene viser seg å ikke være tilstrekkelige for å nå kravet om ett oversvømmelse per 20-ende år.

Frakobling av takflater og regnbed førte til en betydelig reduksjon av den maksimale avrenningen ved dagens IVF- kurve. Tiltaket grønne veigrøfter ga noe forskjell i maksimal avrenning og antall oversvømmelser i kum. Dette tiltaket bør benyttes sammen med andre tiltak som kan redusere avrenning fra boligfeltene, da det er her mye av avrenningene kommer fra. Alle tiltakene ble mindre effektive ved økende nedbørintensitet. Dette kommer blant annet av at infiltrasjonskapasiteten er begrenset og fordi infiltrasjonshastigheten etter en lengre nedbørshendelse (som for monsterregnet) etterhvert minker.

Referanser

- Bøyum, Å., Eidsmo, T., Lindholm, O., Noreide, T., Semb, T., Sjretteberg, R. & Markhus, E. (1997). *Anvendt urbanhydrologi: Norges vassdrags og energiverk*.
- COWI. (2013). *På lag med regnet. Veileder for lokal overvannshåndtering*. Oslo. 60 s.
- COWI. (2015). *Gjennomgang av avrenningsfaktorer*. Oslo. 18 s.
- Dalen, E., Ree, B. L., Vatne, A. & Wenger, F. (2016). *NVE sitt urbanstasjonsnettverk, 50 - 2016*. Oslo: Norges vassdrags- og energidirektoratet. 45 s.
- Fergus, T., Hoseth, K. A. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka*. 2 utg.: Fagbokforlaget Vigmostad & Bjørke AS.
- FN- Sambandet. (2016a). *Hva er klima, drivhuseffekt og CO2- utslipp*: FN- sambandet. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Hva-er-klima> (lest 26.01.2017).
- FN- Sambandet. (2016b). *Klimaendringer*: FN- sambandet. Tilgjengelig fra: <http://www.fn.no/Tema/Klima/Klimaendringer> (lest 27.01.2017).
- Friberg, T. (2013). *Repitijonshefte VANN200*. Ås, Norge: Norges miljø og biovitenskapelige universitet.
- Hendriks, M. R. (2010). *Introduction to Physical Hydrology*. Oxford.
- Kitterød, N. O. (2016). *Vannets kretsløp*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (Forelesningsnotater VANN200).
- Klimatilpasning. (2015). *Flom*: Klimatilpasning. Tilgjengelig fra: <http://www.klimatilpasning.no/klimautfordringer/flom/> (lest 01.05.2017).
- Lars Buhler. (2013). *Analyse av klimaendringens påvirkning på Rustadfeltet med kalibrert modell*. Ås, Norge: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* 79 s.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T. & Thorolfsson, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA- transportsystem*. Hamar: Norsk Vann Rapport. 126 s.
- Lindholm, O. (2013a). *Oversvømmelse i by*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Lindholm, O. (2013b). *Oversvømmelse i by*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: Institutt for matematiske realfag og teknologi (Forelesning).
- Lindholm, O., Buhler, L. & Bjerkholt, J. (2013). *Hva hvis monsterregnet fra københavn 2.juli 2011 hadde falt i Norge?* . Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Lindholm, O. (2016). *Om matematiske modeller for beregning av urbane avløpssystemer*. Norges miljø- og biovitenskapelige universitet: Institutt for matematiske realfag og teknologi.
- Meteorologisk institutt. (2010a). *Nedbørmålere*. Tilgjengelig fra: <https://metlex.met.no/wiki/Nedb%C3%B8rm%C3%A5lere> (lest 01.02.2017).
- Meteorologisk institutt. (2010b). *Pluviometre*: Meteorologisk institutt. Tilgjengelig fra: <https://metlex.met.no/wiki/Pluviometre> (lest 01.02.2017).
- Miljødirektoratet. (2016). *Håndtering av overvann*. Tilgjengelig fra: <http://www.klimatilpasning.no/sektorer/vann-og-avlop/oppgaver/handtering-av-overvann/> (lest 29.01.2017).

- Naturvernforbundet. (2014). *Global oppvarming og klimaendringer* Naturvernforbundet. Tilgjengelig fra: https://naturvernforbundet.no/klima/fakta_om_klimaproblemet/global-oppvarming-og-klimaendringer-article81-751.html (lest 26.01.2017).
- Naturvernforbundet. (2015). *Vannforskriften (Vannrammedirektivet i EU)*. Tilgjengelig fra: <http://miljojuss.no/lovverket/vanndirektivet/> (lest 08.02.2017).
- Norges geologiske undersøkelse. (2017). Norges geologiske undersøkelse.
- Norges kart. (2017). Kartverket.
- Norsk Hydrologiråd. (2011). *Urbanhydrologi*: Norsk Hydrologiråd.
- Norsk Vann. (2014). *Vann- og avløpsteknikk*.
- NOU 2010:10. *Tilpassing til eit klima i endring*. Informasjonsforvaltning, S. f. d. Oslo: Norges offentlige utredninger. 240 s.
- NVE. (2011). *Indroduksjon til Hydra II*: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: https://www.nve.no/media/2525/hydra_2_struktur_og_begreper.pdf (lest 02.02.2017).
- NVE. (2015). *Urbanhydrologi*: Norges vassdrag- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/vannstand-og-vannfoering/urbanhydrologi/> (lest 21.01.2017).
- NVE. (2016). *Data i Hydra II databasen*: Norges vassdrags- og energidirektorat. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/hydrologi/hydrologiske-data/historiske-data/data-i-hydra-ii-databasen/> (lest 02.02.2017).
- Powel. (2017). *VA (vann og avløp)*. Tilgjengelig fra: <https://www.powel.com/no/bransjer/kommunalteknikk/va-vann-og-avlop/> (lest 01.05.2017).
- Rambøll. (2015). *Risikoakseptkriterier for overvannsflom og dimensjonerende nedbør*; utredning. Oslo. 83 s.
- Rossman, L. A., Environmental Scientist, E. & Agnecy, U. S. E. P. (2015). *Storm Water Management Model User's Manual Version 5.1*: United States Environmental Protection Agency.
- Silberstein, R. P. (2006). *Hydrological models are good, do we still need data?*: Science direct.
- Stocker, T. F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S. K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. & Midgley, P. M. (2013). *Summary for policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contributing of Working group 1 to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC. 28 s.
- Store Norske leksikon. (2017a). *Automatisk nedbørmåler*: Store Norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/automatisk_nedb%C3%B8rm%C3%A5ler (lest 01.02.2017).
- Store Norske leksikon. (2017b). *Manuell nedbørmåler*: Store Norske leksikon. Tilgjengelig fra: https://snl.no/manuell_nedb%C3%B8rm%C3%A5ler_-_M%C3%A5lemetode (lest 01.02.2017).
- Sælthun, N. R. (1988). Hva er flom. *VANN*, Vannforeningen (23): 4.
- Sælthun, N. R. (2011). *Hydrological modelling* Norges miljø og biovitenskapelige universitet: Institull for matematiske realfag og teknologi (Forelesning).
- Sæterbø, E., Syvertsen, L. & Tesaker, E. (1998). *Vassgragshåndboka*. Håndbok i forbyggingsteknikk og vassdragsmiljø.

- Tollan, A. (2013). Nordens hydrology. *Kompendium: Norges miljø og biovitenskapelige universitet.*
- Universitetsledelsen US64. (2015). *Kommuneplan 2015 - 2027 for Ås kommune.* Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet. 6 s.
- USGS. (2016). *Amerikas geologiske undersøkelse: Vannets kretsløp [jpg]*, 21.01.2017: Amerikas geologiske undersøkelse.
- Ås kommune. (2015a). *Hovedplan vann, avløp og vannmiljø 2015 -2027.* Ås: Ås kommune. 18 s.
- Ås kommune. (2015b). Norm for overvannshåndtering. Ås.
- Ås kommune. (2016). *Fakta om Ås kommune:* Ås kommune. Tilgjengelig fra: <https://www.as.kommune.no/fakta-om-aas.352154.no.html> (lest 22.02.2017).

9 Vedlegg

Vedlegg A

Parameterverdier hentet fra SWMM manualen

Tabell 9.1: Parametere for grop- magasin for permeable flater impermeable flater (Rossman et al. 2015).

Grop magasin permeable flater [mm]	
Tette flater	1,27 – 2,54
Plen	2,54 – 5,08
Beitemark	5,08
Skog	7,62

Tabell 9.2: Ruhet permeable flater (Rossman et al. 2015).

Ruhet permeable flater [n]	
Kort gress	0,15
Tett gress	0,24
Bermuda gress	0,41

Tabell 9.3: Ruhet impermeable flater (Rossman et al. 2015).

Ruhet impermeable flater	
Glatt asfalt	0,011
Glatt betong	0,012
Vanlig betong	0,013
Leire	0,015

Tabell 9.4: Rør- ruhet (Rossman et al. 2015).

Ruhet for betongrør [n]	
Glatt monolittisk betong	0,012 – 0,014
Ru monolittisk betong	0,015 – 0,017
Betong rør	0,011 – 0,015

Tabell 9.5: Maksimum infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossman et al. 2015).

Jord tekstur	Maks infiltrasjonsrate [mm/t]		
	Sandjord	Mellomleire	Leire
Tørr jord	127	76,2	25,4
Tørr jord med tett vegetasjon	254	152,4	50,8
Fuktig jord der jorden har drenert ut, men ikke tørket	Tørr jord/3	Tørr jord/3	Tørr jord/3
Fuktig jord opp mot metning	Min infiltrasjon	Min infiltrasjon	Min infiltrasjon
Fuktig jord som nesten er uttørket	Tørr jord/ [1,5 – 2,5]	Tørr jord/ [1,5 – 2,5]	Tørr jord/ [1,5 – 2,5]

Tabell 9.6: Min infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossman et al. 2015).

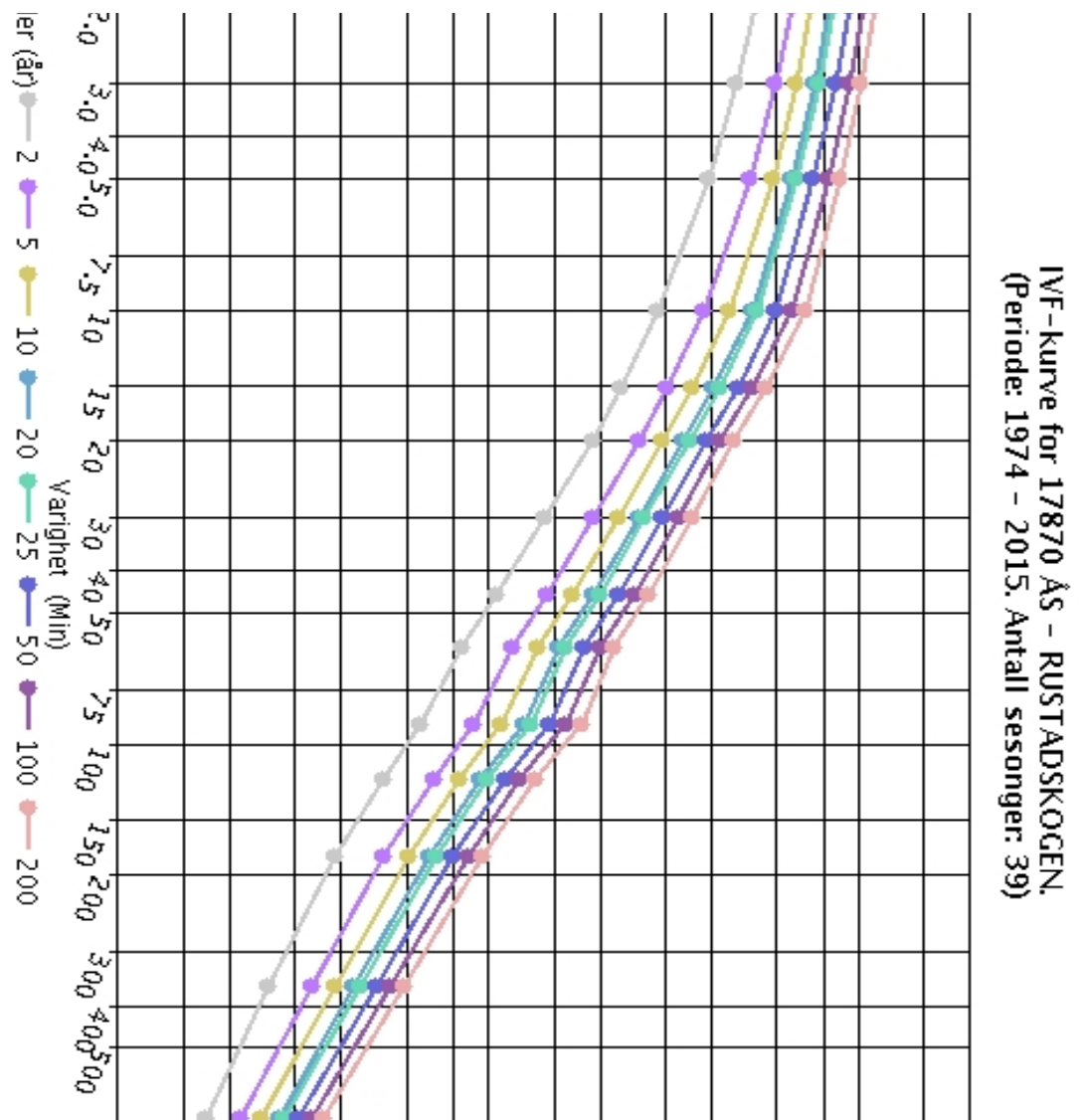
Jord tekstur	Minimum infiltrasjonsrate [med mer/t] = Mettet hydraulisk ledningsevne
Sand	120,4
Siltig sand	30,0
Sandig lettleire	10,9
Lett leire	3,3
Sandig mellomleire	6,6
Mellomleire	1,5

Tabell 9.7: Avtakingskonstant og tørke tid for jorden (Rossman et al. 2015).

Avtakings konstant, c [1/t]	Tørketid [dager]	Maks infiltrasjonsvolum [mm]
[2 – 7]	[2 – 14]	0 hvis ikke brukt

Vedlegg B

IVF- kurve og tabell for Rustadskogen målestasjon



Figur 9.1: IVF- kurve for Rustadskogen målestasjon.

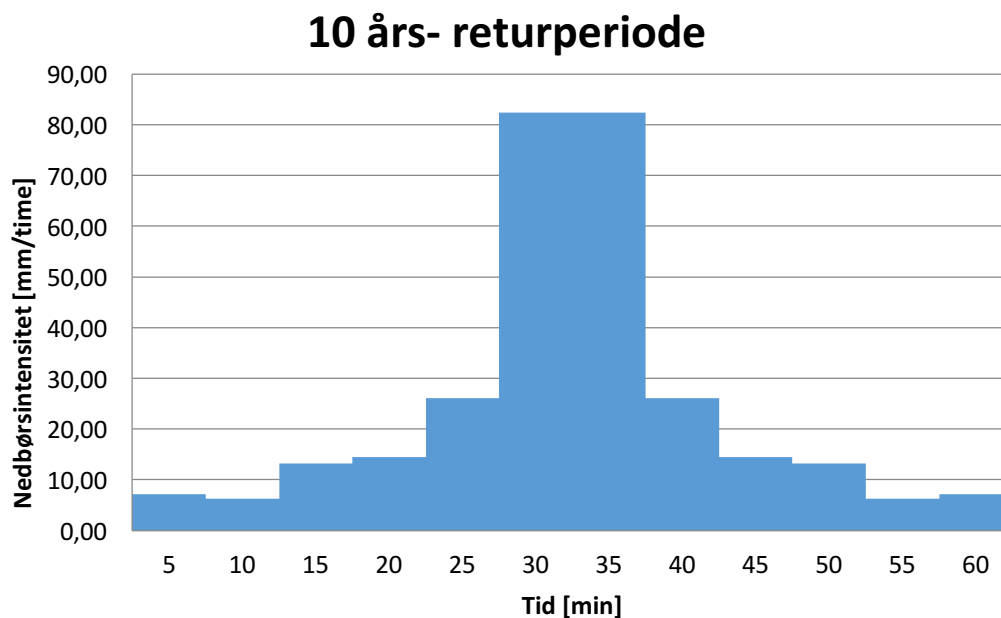
Returperioder(år); Nedbørintensitet i liter pr. sekund pr. hektar(10 000m²) (l/s*ha)
17870 AS - RUSTADSKOGEN
 Periode: 1974 - 2015
 Antall sesonger: 39

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.	90 min.	120 min.	180 min.	360 min.	720 min.	1440 min.
2	296,3	257,6	231,8	194,3	141,4	112,9	95,4	70,6	52,5	42,2	32,7	25,9	19,1	12,7	8,6	5,3
5	361,0	324,2	294,5	251,5	190,4	151,4	126,3	94,8	71,2	57,3	45,5	35,2	25,8	16,5	10,7	6,5
10	403,8	368,3	336,0	289,3	222,8	176,9	146,7	110,8	83,7	67,4	54,0	41,3	30,1	19,1	12,1	7,3
20	444,8	410,6	375,9	325,6	253,9	201,3	166,3	126,1	95,6	77,0	62,1	47,2	34,4	21,6	13,5	8,1
25	457,9	424,0	388,5	337,1	263,7	209,1	172,5	131,0	99,3	80,1	64,7	49,1	35,7	22,3	13,9	8,4
50	498,0	465,4	427,4	372,6	294,1	233,0	191,6	146,0	111,0	89,5	72,6	54,9	39,8	24,7	15,2	9,1
100	537,8	506,4	466,1	407,8	324,3	256,7	210,6	160,9	122,5	98,9	80,5	60,6	43,9	27,1	16,6	9,9
200	577,6	547,3	504,6	442,9	354,4	280,4	229,6	175,7	134,0	108,2	88,4	66,3	47,9	29,5	17,9	10,6

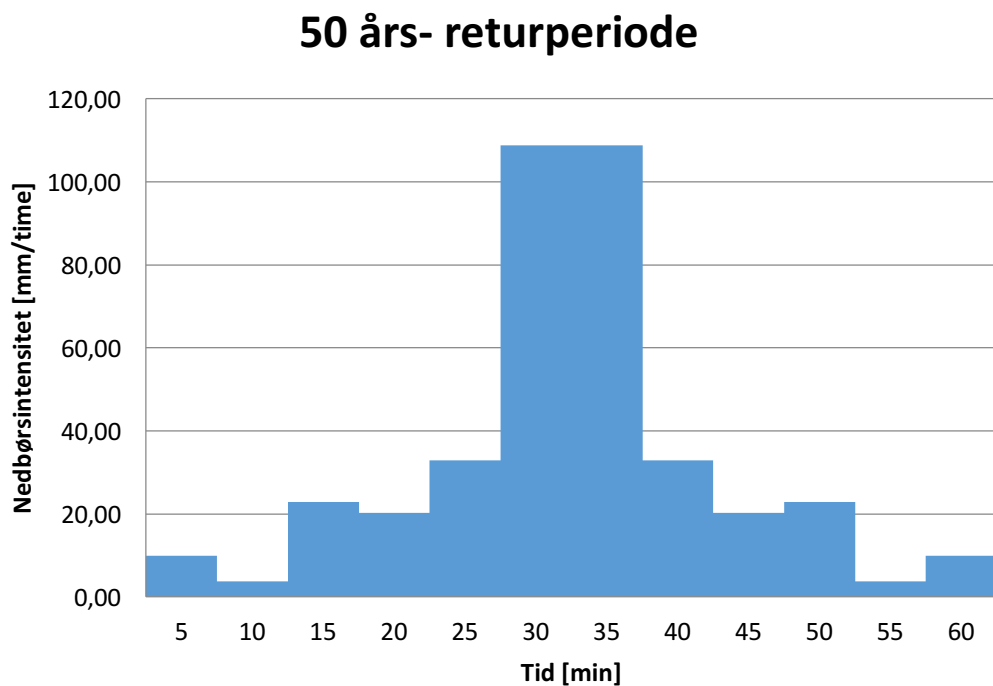
Figur 9.2: Tabell for nedbørintensitet l/s ha, for Rustadskogen målestasjon.

Vedlegg C

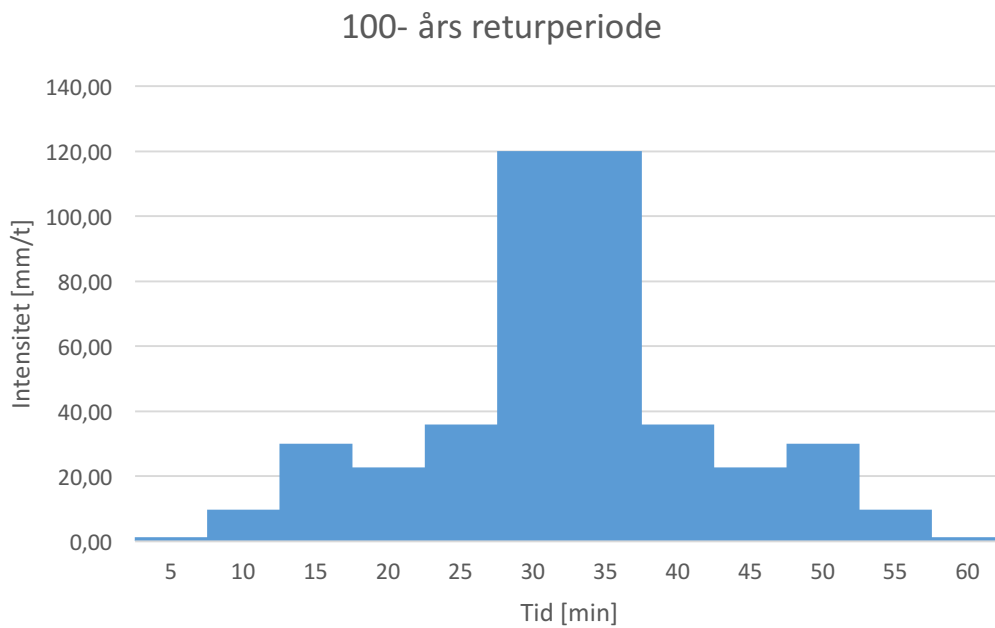
Regnhyetogrammer og gjentaksintervaller med og uten klimatillegg.



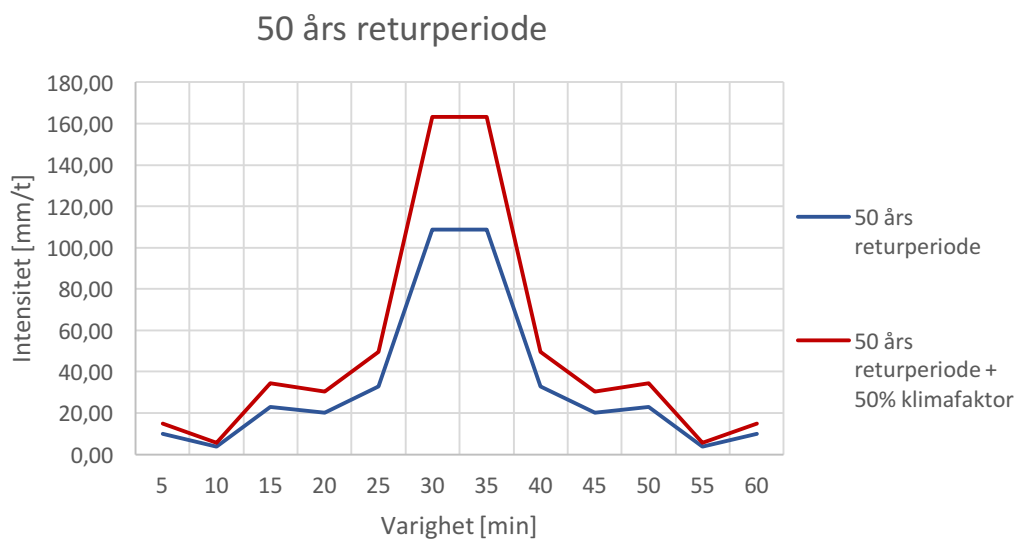
Figur 9.3: Symmetrisk regnhyetogram basert på 10- års returperiode.



Figur 9.4: Symmetrisk regnhyetogram basert på 50- års returperiode.



Figur 9.5: Symmetrisk regnhyetogram basert på 100- års returperiode.



Figur 9.6: 50- års gjentakintervall med og uten klimatillegg på 50%.

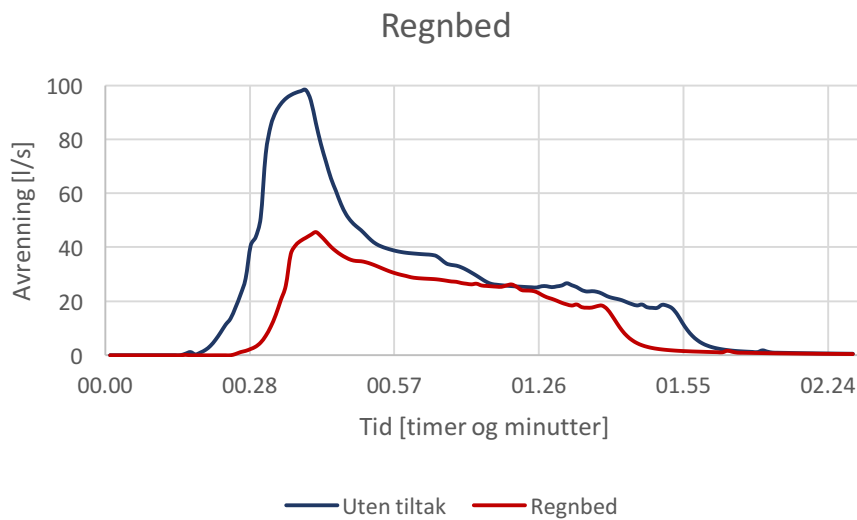


Figur 9.7: 100- års gjentaksintervall med og uten klimatillegg på 50%.

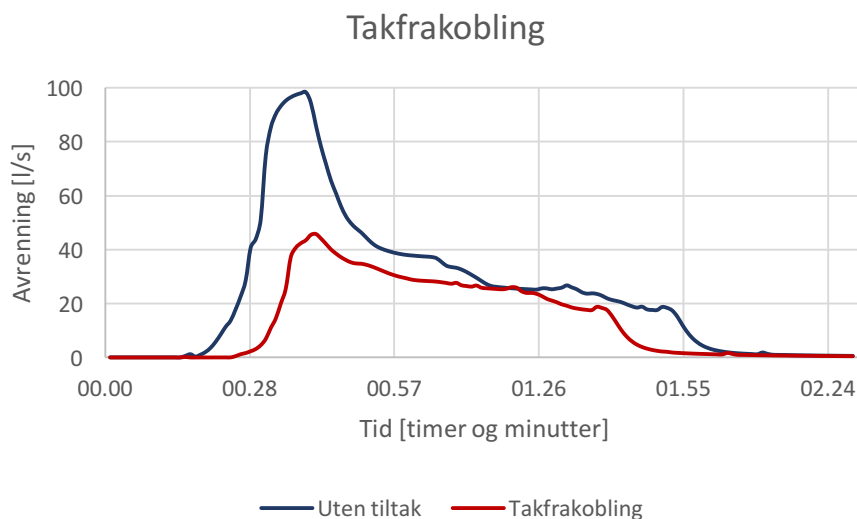
Vedlegg D

Avrenningskurver med og uten LOD- tiltak

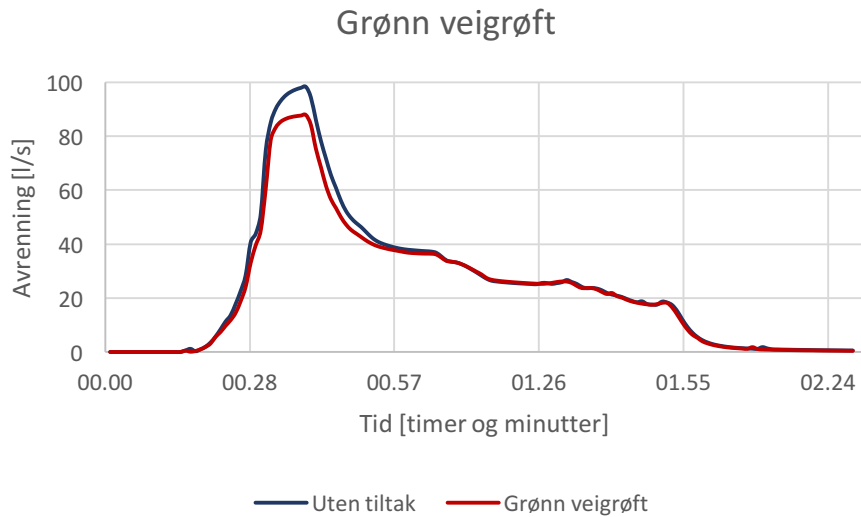
Avrenningskurver med og uten LOD- tiltak ved et 20- års gjentaksintervall ved hovedutløpet på Landås. Utløp 135.



Figur 9.8: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hoved utløpet på Landås.

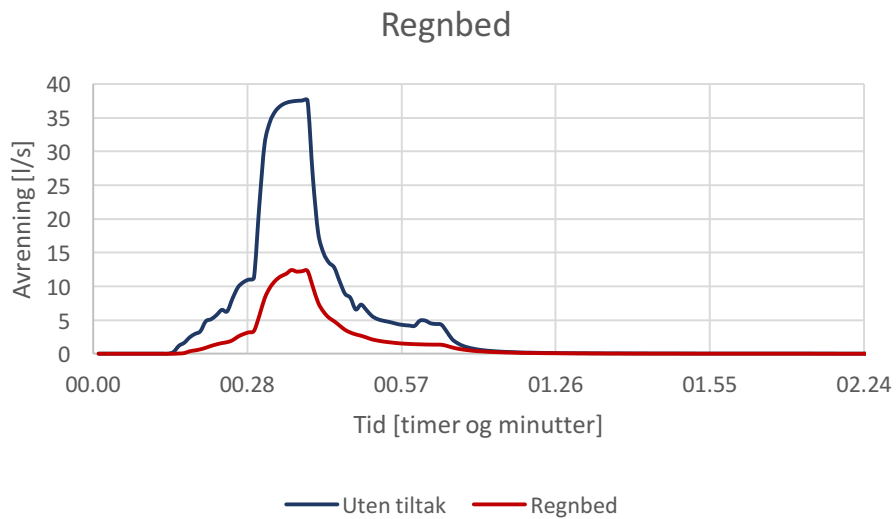


Figur 9.9: Avrenning før og etter frakobling av takflater ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hoved utløpet på Landås.

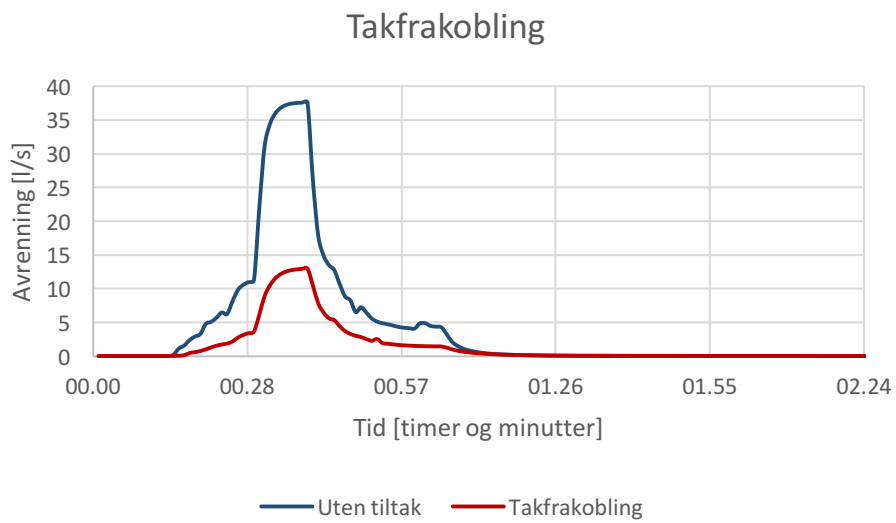


Figur 9.10: Avrenning før og etter bruk av grønne veigrøfter som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra hovedutløpet på Landås.

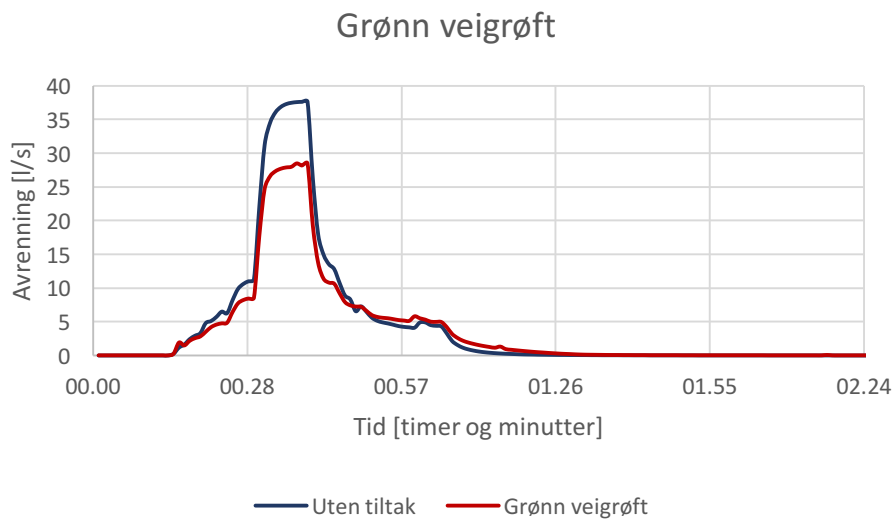
Avrenningskurver med og uten LOD- tiltak ved et 20- års gjentaksintervall ved utløp 24463 på Burumskogen:



Figur 9.11: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

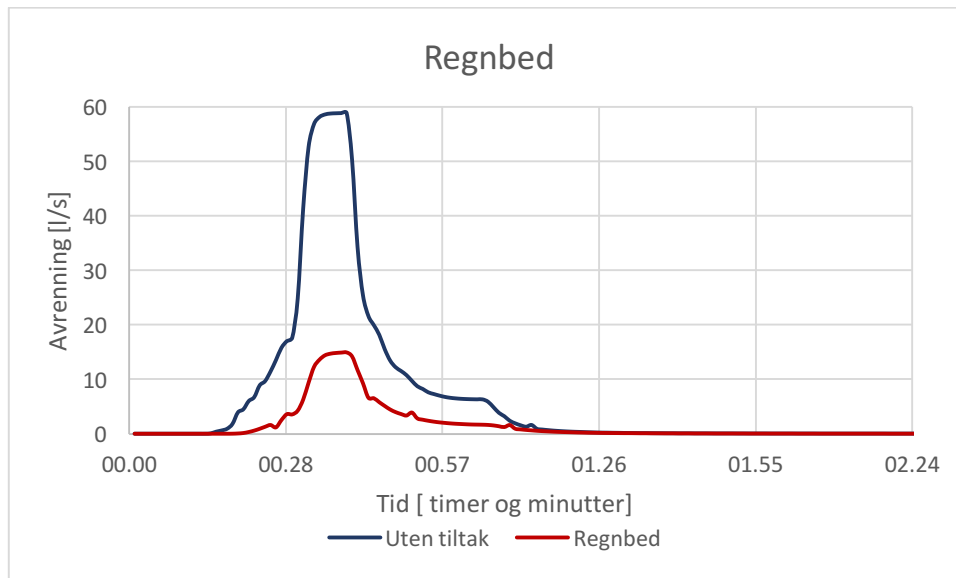


Figur 9.12: Avrenning før og etter frakobling av takflater ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

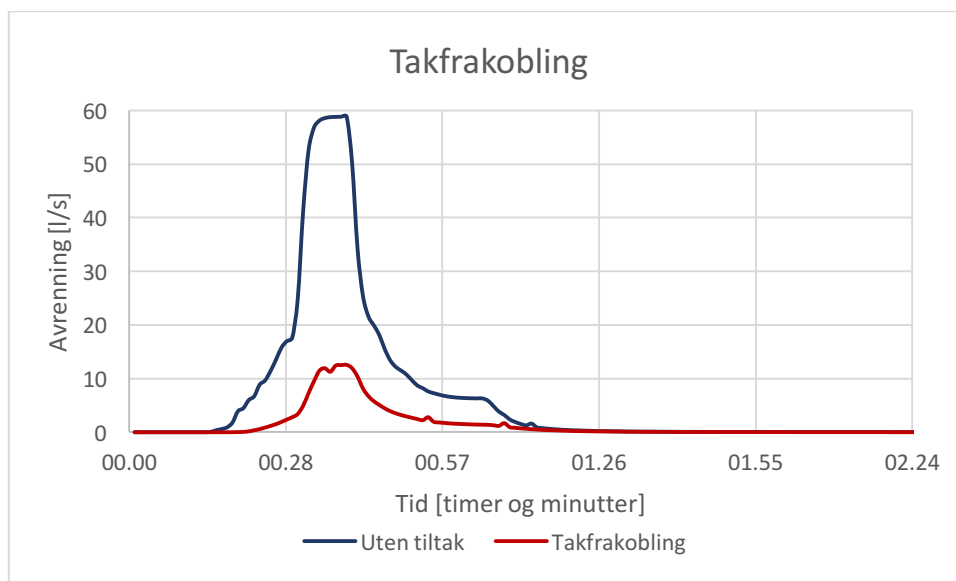


Figur 9.13: Avrenning før og etter bruk av grønne veigrøfter som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 24463 på Burumskogen.

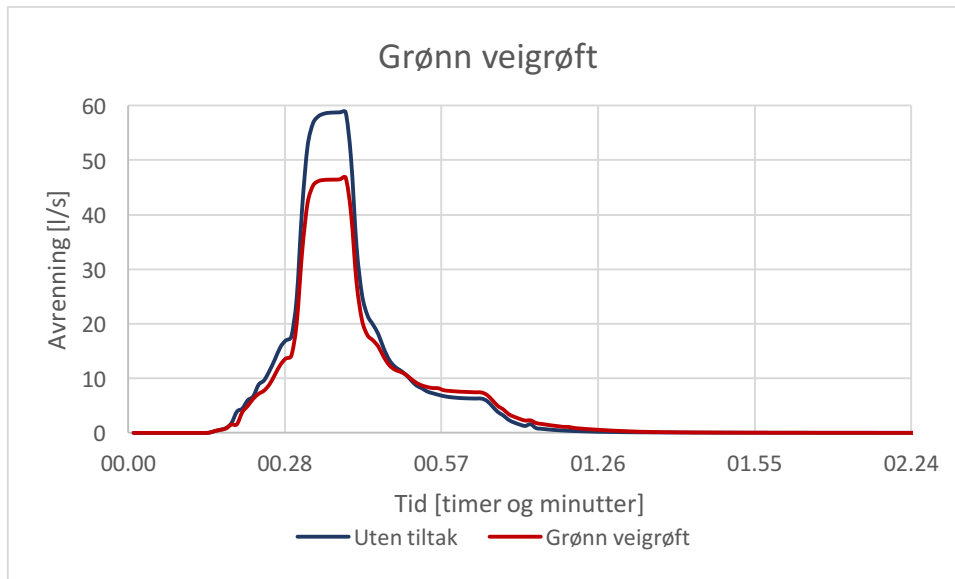
Avrenningskurver med og uten LOD- tiltak ved et 20- års gjentaksintervall ved utløp 25740 på Burumskogen:



Figur 9.14: Avrenning før og etter bruk av regnbed som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.



Figur 9.15: Avrenning før og etter frakobling av takflater ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.



Figur 9.16: Avrenning før og etter bruk av grønne veigrøfter som LOD- tiltak ved et 20-års gjentaksintervall. Resultatet er hentet fra utløp 25740 på Burumskogen.

Vedlegg E

Monsterregnet, tid og intensitet

Tabell 9.8: Tid etter start og intensitet av monsterregnet (Lindholt et al. 2013)

Minutter etter regnstart	Regnintensitet [l/s]	Minutter etter regnstart	Regnintensitet [l/s]	Minutter etter regnstart	Regnintensitet [l/s]
0	0	50	40	100	450
5	40	55	10	105	365
10	115	60	120	110	270
15	200	65	195	115	180
20	250	70	215	120	130
25	200	75	220	125	115
30	115	80	230	130	110
35	200	85	260	135	55
40	250	90	305	140	0
45	150	95	380		

Vedlegg F

Avrenning i millimeter fra hvert enkelt delfelt på Burumskogen

Tabell 9.9: Avrenning i millimeter fra hvert enkelt delfelt på Burumskogen ved et 10-års gjentakintervall. Total avrenning for hele Burumskogen, er summen av alle verdier for alle delfelt.

Burumskogen	Avrenning [mm]			
	Uten tiltak	Grønn veigrøft	Regnbed	Takfrakobling
65	2,33	2,33	0	0
105	2,33	2,33	0	0
106	3,4	3,4	0	0
107	3,5	3,5	0	0
108	2,33	2,33	0	0
109	2,33	2,33	0	0
110	2,33	2,33	0	0
111	2,33	2,33	1,79	2,33
112	2,33	2,33	0	0
113	2,33	2,33	0	0
114	2,33	2,33	0	0
115	2,33	2,33	0	0
116	2,33	2,33	0	0
117	2,33	2,33	0	0
118	2,33	2,33	0	0
119	2,33	2,33	0	0
120	2,33	2,33	0	0
121	2,33	2,33	0	0
122	2,33	2,33	0	0
123	2,33	2,33	0	0
124	2,33	2,33	0	0
125	3,8	3,8	0	0
126	2,33	2,33	0	0
127	2,33	2,33	1,91	0
128	6,45	1,86	6,46	6,46
129	6,45	1,86	6,46	6,46
130	6,45	1,86	6,46	6,46
131	6,45	1,86	6,46	6,46
132	6,45	1,86	6,46	6,46
133	6,45	1,86	6,46	6,46
134	6,45	1,86	6,46	6,46
136	6,45	1,86	6,46	6,46
137	6,45	1,86	6,46	6,46

Delfelt 65, 105 -110, 112 - 127 er boligfelt.

Delfelt 128 - 137 er veifelt.

Delfelt 111 er en gågate.



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

Postboks 5003
NO-1432 Ås
Norway