

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Institutt for Matematiske Realfag og Teknologi

Masteroppgave 2014
30 stp.

Målt og modellert avrenning. Analyse av ledningsnett og urbanstasjon på Vestli i Oslo.

Measured and modeled runoff.

Analysis of the pipe network and urban station at
Vestli in Oslo.

Birgitte Brennhovd



**Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet**

Postboks 5003
NO-1432 Ås
67 23 00 00
www.nmbu.no

Forord

Denne masteroppgaven er gjennomført i samarbeid med Vann- og Avløpsetaten (VAV) i Oslo kommune og Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). Den er sluttprosjektet på min mastergrad i Vann og Miljøteknikk ved Institutt for Matematiske Real FAG og Teknologi (IMT) ved Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Oppgaven tilsvarer et semesters arbeid på 30 studiepoeng.

Oppgaven benytter måledata fra NVE sin urbanstasjon på Vestli til å kalibrere en overvannsmodell over avrenningen i nedbørsfeltet. Gjennom arbeidet har jeg lært mye om modellering og hvor omfattende måletakingsprosesser er.

Jeg ønsker å takke hovedveileder professor Oddvar Lindholm ved NMBU. Han har mye kunnskap om overvann og har gitt gode tilbakemeldinger gjennom arbeidsperioden.

Videre ønsker jeg å takke biveileder forsker/researcher (PhD) Bent Braskerud ved hydrologisk avdeling i NVE som tok initiativet til oppgaven, og for bra støtte underveis.

Fra VAV rettes en stor takk til Bjørn Christoffersen som har lært meg mye om modellering og bidratt med egen modell over nedbørsfeltet på Vestli. Takk til Tharan Fergus som har tilrettelagt kontor plass og ordnet tilgang til Gemini, Aleksander Pham og Thomas Martinsen som ble med på befaring, Torbjørn Dalløkken som beregnet andel tette flater i GIS og Erik Øyen som har bistått med litteratur om vannføringsmåling og urbanstasjonen på Vestli.

Takk til Eydis Dalen og Knut Møen som har svart på alle spørsmål om urbanstasjonen, og takk til Svein Taksdal som ga meg tilgang til HYDRA II databasen.

Takk til pappa, Marie Sagen, Cecilie Arvidsen og Håvard Olsen for korrekturlesing.

Ås, 14. mai 2014

Birgitte Brennhovd

Sammendrag

Fortetting i byene og et endret nedbørsmønster skaper en overvannsavrenning som kan ligge over kapasiteten i ledningsnett. Dette kan føre til oversvømmelse og setningsskader på hus og vei og forurenset utslipp til resipienter. Virkningen av flomdempende tiltak kan i midlertidig testes med virkelighetstilnærmede hydrologiske modeller kalibrert mot målinger i nedbørsfeltet.

I denne oppgaven har avrenningen og nedbørdata fra det urbanhydrologiske forskningsfeltet på Vestli blitt benyttet til å lage en modell over overvannsnett som drenerer til målestasjonen. Urbanstasjonen måler avrenning og nedbør fra et nedbørsfelt på 30 hektar som består av blokkbebyggelse og grønt område med 28 % tette flater.

To programmer, Storm Water Management Model (SWMM) og ROSIE ble brukt til å lage fire modeller som beregnet avrenning i feltet. Hovedvekten i arbeidet ble lagt på SWMM programmet. Modellene i SWMM ble kalibrert mot ti nedbørshendelser, der fem ble brukt til justering og fem til etterprøving for å vurdere kvaliteten på modellen. ROSIE modellen ble kalibrert mot måleserier over to år og brukt som støttemodell.

Den første modellen i SWMM, primærmodellen, ble basert på følsomhetsanalyse, beregninger og utvelgelse av parametere. Primærmodellen ble kalibrert mot fem intense nedbørshendelser og parametere ble endret til en ny modell, sekundærmodellen. Etterprøvingen av fem nedbørshendelser viste liten sammenheng mellom målt og simulert avrenning for moderate nedbørshendelser, da den beregnede avrenningen ble halvparten av den målte.

En ny kalibrering ble gjort med utvelgelse av moderate nedbørshendelser. Primærmodellen ble igjen kalibrert og parametere endret til den tredje modellen, tertiærmodellen. Etterprøving viste god korrelasjon med målt avrenning for moderate og små nedbørshendelser. Tertiærmodellen ble sammenlignet med en modell i ROSIE og maksimal avrenning samsvarte for de to uavhengige modellene.

Det viste seg at enkelthendelser med en høy nedbørintensitet har en stor usikkerhet i målingene for avrenning. Simulering med tertiærmodellen og ROSIE viste 50 % mer maksimal avrenning enn målt avrenning under intense nedbørshendelser. Det kan skyldes at: (1) vannet renner forbi slukene under intense nedbørshendelser dersom det ikke er tilstrekkelig mange sluk, (2) oppstuvning i og utenfor V-overløpet på urbanstasjonen som kan forstyrre målingene, (3) målefeil i nedbørmåler og flottør, (4) nedbørshendelser kan opptre lokalt slik at nedbøren brukt i modellkalibreringen ikke var representativ over hele nedbørsfeltet.

Tertiærmodellen ble brukt til å simulere kapasiteten til ledningsnett med konstruerte regn med og uten 50 % klimatillegg. Overvannsnett som drenerer til stasjonen har god hydraulisk kapasitet opp til 100 års regn, da blir det oppstuvning i 16 kummer. I årene som kommer vil en økning av intense nedbørshendelser redusere den hydrauliske kapasiteten i ledningsnett og oppstuvning vil skje ved 10 års regn. Befolkningsveksten i bydel Stovner er på 3 %. For nedbørsfeltet på Vestli vil det antagelig føre til en fortetting. Simulering med modellen viste en økning i maksimal avrenningen på 50 % for et 10 års regn i 2030. Ved å installere lokal overvann disponering (LOD) tiltak i hvert delareal med vegetasjon over en ingeniør konstruert jordmiks (regnbed og grønne tak) vil det redusere avrenningen fra et 10 års regn med 54 %. Avkobling av takrenner reduserer avrenningen med 45 %.

En fremtidig økning i avrenning kan motvirkes med å fordrøye og infiltrere vannet lokalt. Målestasjoner er nødvendig for å utvikle modeller til flomvarsling og tiltaksplanlegging.

Abstract

Densification within cities and altered precipitation patterns create a storm water runoff that may exceed the capacity of the pipe network. This can lead to flooding and damage to homes and roads, and the recipients can receive polluted discharge. The effect of flood measures can be tested with hydrological models calibrated using measurements from the catchment.

In this thesis, runoff and precipitation data from the urban hydrological research field Vestli were used to create a model of the pipe network that drains to the station. The urban station measures runoff and precipitation from a catchment area of 30 hectares consisting of 28 % impervious surfaces.

Two applications, Storm Water Management Model (SWMM) and ROSIE were used to make four models to estimate runoff in the catchment, with emphasis on the SWMM application. The SWMM models were calibrated using ten rainfall events, of which five were used for adjustment and five for evaluation to assess the quality of the model. The model in ROSIE was calibrated using measurements registered over two years. It was utilized to support the SWMM model.

The first model in SWMM, the primary model, was based on sensitivity analysis, calculation and selection of parameters. The primary model was calibrated using five intense precipitation events and the parameters were changed for a new model, the secondary model. The verification of five rainfall events indicated little correlation between measured and simulated runoff for moderate rainfall events, because the modelled runoff was half of what was measured.

A new calibration was made with the selection of moderate rainfall events. The primary model was calibrated again and parameters changed to the third model, the tertiary model. Evaluation indicated good correlation with measured runoff for moderate and small rainfall events. The tertiary model was compared with the ROSIE model and maximum storm water runoff harmonized for the two independent models.

Events with high rainfall intensity have a large uncertainty related to measuring runoff. Simulations with the tertiary model and the ROSIE model indicated 50 % more runoff during intense rainfall events. This may be because: (1) water flows past the drains during intense rainfall events if there is not a sufficient number of drains, (2) backwater outside the V-notch or sediments inside the V-notch in the urban station interfering with the measurements, (3) measurement errors in the precipitation gauge and the optical encoder, (4) precipitation events may occur locally so the precipitation used in the calibration may not be representative of the whole catchment.

The tertiary model was used to simulate the capacity of the pipe network with engineered rain with and without 50 % increased precipitation intensity. The storm water network that drains to the station has good hydraulic capacity up to a 100 year rainfall event; it will be backwatered into 16 manholes. In the future years, an increase in intense precipitation events will reduce the hydraulic capacity of the pipe network and backwater will occur at a 10 year rainfall event. Population growth in the suburb of Stovner is 3 %. The catchment area of Vestli will probably have a densification. Simulation with the model projected an increase in peak runoff with 50 % for a 10 year rainfall event in 2030. Installing Low Impact development (LID) practices in each sub-area with vegetation over an engineered soil mix (rainbed and green roofs) will reduce runoff from a 10 year rainfall event by 54 %. Decoupling the gutters from the pipe network reduced the runoff by 45 %.

The future increase of runoff may be offset by retaining and infiltrating water locally. Observation stations are required to develop models for flood forecasting and implementation measures.

Innholdsfortegnelse

FORORD.....	III
SAMMENDRAG.....	IV
ABSTRACT.....	V
INNHALDSFORTEGNELSE.....	VII
FIGURLISTE.....	XI
TABELLISTE.....	XIV
FORMELLISTE.....	XVI
LISTE OVER FORKORTELSER.....	XVI
1 INNLEDNING.....	1
1.1 Mål for oppgaven.....	1
1.2 Problemstilling.....	1
1.3 Fremgangsmåte, metode og struktur.....	2
1.4 Tidligere studier.....	2
2 BAKGRUNN.....	3
2.1 Flom.....	3
2.2 Norges vassdrag og energidirektorat.....	3
2.3 Vann og avløpsetaten i Oslo.....	3
2.4 Overvannsmodeller.....	4
2.4.1 Storm water management model (SWMM).....	4
2.4.2 ROSIE Mouse.....	4
2.5 Målestasjon 6.12 Vestli.....	4
3 LITTERATURSTUDIE OM OVERVANN.....	5
3.1 Hydrologi – vannets kretsløp.....	5
3.1.1 Urbanhydrologi.....	6
3.1.2 Nedbør.....	7
3.2 Klima.....	7
3.2.1 Nordisk klima.....	7
3.2.2 Klimautvikling.....	8
3.3 Håndtering av overvann.....	9
3.3.1 Fellessystem og separatsystem.....	9
3.3.2 Lokal overvannsdisponering (LOD) - flomdempende tiltak.....	10
3.4 Lover og retningslinjer for behandling av overvann.....	11
3.4.1 Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune.....	11
3.4.2 EUs vannrammedirektiv og vannforvaltningsforskriften.....	12
3.4.3 Norsk Vann veileder.....	12
3.5 Hydrologiske urbanstasjoner.....	13
3.5.1 Målemetode.....	13
3.5.2 Usikkerheter tilknyttet målemetode.....	13
3.5.3 Flottør og trykksensor.....	15
3.5.4 Nedbørmåler.....	15
3.5.5 V-overløp med skarp kant.....	16

3.6	Beregning av overvannsmengder	17
3.6.1	Den rasjonale formel	17
3.6.2	Avrenningskoeffisient	18
3.6.3	Konsentrasjonstid	18
3.7	Regndata Nedbør (IVF kurve).....	20
3.8	Beregningsmetode i SWMM.....	21
3.8.1	Parametere i SWMM.....	25
4	ANALYSEOMRÅDET – VESTLI	27
4.1	Nedbørsfeltet	27
4.1.1	Utbygging	27
4.2	Urbanstasjonen på Vestli.....	28
4.2.1	Nedbørmåler	28
4.2.2	V-overløpet.....	29
4.2.3	Flottør og trykksensor.....	30
5	METODE 1.....	31
5.1	Beregning av overvannsmengder	31
5.1.1	Nedbør og avrenning fra Hydra II	33
5.2	Oppbygging av modell	34
5.3	Beregningsmetode med SWMM modell.....	35
5.3.1	Parametere	36
5.4	Kalibrering.....	36
5.4.1	Modell verifikasjon.....	37
5.4.2	Modellfølsomhet.....	37
5.4.3	Modellvalidering/etterprøving.....	37
6	RESULTAT 1	38
6.1	Kalibrering 1.....	38
6.1.1	Modell verifikasjon.....	39
6.1.2	Modellfølsomhet.....	39
6.1.3	Modellvalidering/etterprøving.....	40
7	DISKUSJON 1.....	43
7.1	Beregning av overvannsmengder	43
7.2	Oppbygging av modell	43
7.3	Beregnings metode med SWMM modell.....	44
7.3.1	Parametere	45
7.4	Kalibrering 1.....	45
7.4.1	Modell verifikasjon.....	45
7.4.2	Modellfølsomhet.....	45
7.4.3	Modellvalidering/etterprøving.....	45
8	METODE 2.....	47
8.1	Kalibrering 2.....	47
8.1.1	Kalibrering i SWMM.....	47
8.1.2	Kalibrering i Rosie-Mouse	47
8.1.3	Sammenligne SWMM og ROSIE modell	48
9	RESULTATER 2	49

9.1	Kalibrering 2.....	49
9.1.1	Kalibrering i SWMM.....	49
9.1.2	Kalibrering i ROSIE	51
9.1.3	Sammenlignede SWMM og ROSIE modell	52
10	DISKUSJON 2.....	54
10.1	Kalibrering 2.....	54
10.1.1	Kalibrering i SWMM.....	54
10.1.2	Kalibrering i ROSIE	55
10.1.3	Sammenlignede kalibrering i SWMM og ROSIE modell.....	56
10.2	Simuleringer med tertiærmodellen for ulike scenarier	57
10.2.1	Utbygging	57
10.2.2	Oppstuvning i kum	58
10.2.3	Lokal overvannsdiskonponering - Bioretention cell	62
10.2.4	Lokal overvannsdiskonponering – Avkobling av takrennene ..	64
11	DISKUSJON - KALIBRERING 1 OG 2	66
11.1	Sammenligning av sekundærmodellen og tertiærmodellen	66
11.2	Kilder som kan skape målefeil	67
11.2.1	Vannet renner forbi slukene. Vann ut av kritisk punkt 2....	67
11.2.2	Oppstuvning, vann ut av kum.....	68
11.2.3	Oppstuvning utenfor V-overløp.....	68
11.2.4	Oppstuvning i V-overløp	71
11.2.5	Ikke representativ nedbør	73
12	KONKLUSJON.....	77
	REFERANSER	78
13	VEDLEGG.....	82
	VEDLEGG A LOVER OG STYRINGSdokumenter for overvann	82
	VEDLEGG B PARAMETERER FOR BEREGNINGSMETODE I SWMM	83
	VEDLEGG C NEDBØRSHENDELSENE KALIBRERING 1.....	85
	VEDLEGG D NEDBØRSHENDELSENE KALIBRERING 2	93
	VEDLEGG E KONTROLL AV NEDBØR OG AVRENNINGSdata	103
	VEDLEGG F SERIENUMMERERING I HYDRA II	113

Figurliste

Figur 3.1: Vannbalansen på jorda (USGS 2014).	5
Figur 3.2: a) Bildet øverst til venstre illustrerer avrenning under naturlige forhold, 95 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. b) Bildet øverst til høyre illustrerer avrenning i jordbruksområder, 70 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. c) Bildet nederst til venstre illustrerer forstads område, 30 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. d) Bildet nederst til høyre illustrerer storby, 5 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen(Lindholm 2013b).	6
Figur 3.3: a) Bildet øverst (venstre) illustrerer den globale gjennomsnittstemperatur gitt i perioden (1986-2005), bildet øverst (høyre) viser fremtidig gjennomsnittstemperatur år 2081-2100. b) Bilde nederst (venstre) illustrerer den globale nedbørstrenden fra 1986-2005, bildet nederst (høyre) viser en fremtidig nedbørstrend fra 2081-2100 som et resultat av global oppvarming (Stocker et al. 2013).	9
Figur 3.4: a) Bilde til venstre illustrerer kjelleroversvømmelse i et fellessystem. b) Bilde til høyre illustrerer opphoping av vann utenfor kjellervegg i et separatsystem (Lindholm 2013a).	10
Figur 3.5: a) Bildet til venstre illustrerer kapasiteten til ledningsnett under kraftige nedbørshendelser. (Lindholm 2013b). b) Bildet til høyre viser at avrenning fra jordbruks og naturområder har en lavere intensitet, men varer lengre enn avrenningen fra urbane områder (Lindholm 2013b).	10
Figur 3.6: Måling av vannføring med et V-overløp og nivåmåler (Mosevoll et al. 1991).	13
Figur 3.7: En ideell føler har lineær sammenheng mellom målestørrelsen (vannstanden), y_m og det primære utgangssignalet, y_{up} (Mosevoll et al. 1991).	14
Figur 3.8: Usikkerhet ved en føler; ulinearitet, hysteres, dødgang, repeterbarhet og stabilitet (Mosevoll et al. 1991).	14
Figur 3.9: Handar optisk encoder (Vaisala Inc 1998).	15
Figur 3.10: Tredimensjonalt bilde av et V-overløp (Mosevoll et al. 1991).	16
Figur 3.11: Et nedbørsfelt har mange forgreninger som alle sammen leder til et felles punkt A (Kitterød 2013).	17
Figur 3.12: Nomogrammet er vist for beregning av avrenning på overflaten, (t_r) (Bergen kommune 2005)....	19
Figur 3.13: IVF kurve Vestli (Metrologisk Institutt 2010).....	20
Figur 3.14: Prinsipp for konstruksjon av et regnhyetogram fra IVF – kurve (Lindholm 2013c).	21
Figur 3.15: Overflateavrenning oppstår når gropmagasinet d_p overstiges (Rossman et al. 2010).	22
Figur 3.16: Hortons infiltrasjonsmodell, grafen illustrerer eksponentiell avtakende infiltrasjonskapasitet (Sælthun 2013).....	23
Figur 3.17: Trekantet kornfordelingsdiagram over mineraljord er silt, sand og leire i hvert sitt hjørne (Yara 2014).....	24
Figur 3.18: Bredde på overvannet (Rossman et al. 2010).....	25
Figur 4.1: Jordsmonnet på Vestli består av fyllmasser (grå farge), bart fjell (rosa farge) og tykk havavsetning langs Tokerubekken (blå farge) (Norges Geologiske Undersøkelser 2011).	27
Figur 4.2: Alnavassdraget (Vann- og avløpsetaten 2012).	27
Figur 4.3: a) Bildet til venstre viser urbanstasjonen på Vestli(Møen 2014). b) Bildet til høyre er kart over Vestli, overvannet dreneres til urbanstasjonen i et separat ledningsnett.....	28
Figur 4.4: a) Bildet til venstre viser V-overløpet på Vestli(Møen 2014). b) Bildet til høyre illustrerer skissetegning av V-overløpet (Øyen 1987).	29
Figur 5.1: Regnhyetogram for et 10 års regn på Vestli.	32
Figur 5.2: Middelverdi nedbør, tidsoppløsning på 5 minutter. Rødt plott v:1. Svart plott v:2. Grønt plott v:3.	33
Figur 5.3: Middelverdi vannføring, tidsoppløsning på 5 minutter. Svart plott v:2. Rødt plott er korrelert vannføring.....	33
Figur 5.4: Nedbørsfeltet på Vestli (Gemini VA 2014).	34
Figur 5.5: a) Øverste bildet viser SWMM modellen. b) Bildet nederst til venstre viser kritisk punkt 1. c) Bildet nederst til høyre viser kritisk punkt 2 (Gemini VA 2014).	35
Figur 6.1: Feil kumhøyde ga kontinuitetsfeil, bildet til venstre viser før og bildet til høyre viser etter at feilen har blitt rettet opp.	39
Figur 6.2: Følsomhetsanalyse av parameterne valgt i primærmodellen henholdsvis; bredde, tette flater, gropmagasin permeable flater, ruhet rør, helning på del felt og ruhet permeable flater.	39
Figur 8.1: Vannføringen deles inn i CK – overland flow, CK-Interflow og CK-Baseflow.	47
Figur 9.1: Avrenning for hele 2011 fra nedbørsfeltet på Vestli. Rødt plott er modellert avrenning i ROSIE, grønt plott er målt avrenning.	51

Figur 9.2: Avrenning for hele 2010 fra nedbørsfeltet på Vestli. Rødt plott er modellert avrenning i ROSIE, grønt plott er målt avrenning.....	52
Figur 10.1: Nedbørshendelse 12.07.2010, sammenlignet avrenning fra ROSIE og målt avrenning.....	55
Figur 10.2: Nedbørshendelse 29.07.2010, sammenlignet avrenning fra ROSIE og målt avrenning.....	56
Figur 10.3: Sammenligning av sekundærmodellen og tertiærmodellen for et 10 års regn. Avrenningen fra tertiærmodellen er 500 l/s høyere enn det som er simulert i sekundærmodellen.....	57
Figur 10.4: Befolkningsvekst fram mot 2030 fører meg seg en økning i tette flater.....	58
Figur 10.5: Oppstuvning i kum for tertiærmodellen under et 100 års regn (SWMM 2010).	59
Figur 10.6: Regnhyetogram for 10 års regn med og uten klimatillegg.	59
Figur 10.7: Avrenningskurver for 10, 20, 50 og 100 års regn med og uten klimatillegg på 50 % fra tertiærmodellen.....	60
Figur 10.8: Oppstuvning oppstår ved 100 års regn og 10, 20, 50 og 100 årsregn med 50 % klimatillegg.....	60
Figur 10.9: Kritiske punkter på ledningsnettet ved et 100 års regn er vist i rødt. Da er vann i kum 2 meter eller høyere og det er fare for oppstuvning (SWMM 2010).	61
Figur 10.10: Uten LOD tiltak vil overvannet renne direkte fra de tette flatene til de permeable flatene. Ved LOD tiltak vil overvannet renne fra de tette flatene både til de permeable flatene og LOD utformingen (Rossman et al. 2010).	62
Figur 10.11: LOD tiltak i hvert delareal reduserer avrenningen for et 10 års regn sammenlignet med tertiærmodellen.....	64
Figur 10.12: Avkobling av takrenner ga lavere avrenning.	65
Figur 11.1: Fremstilling av gjentaksintervall for maksimal avrenning målt hvert år på urbanstasjonen på Vestli (unntatt 1978, 1982 og 1983).	66
Figur 11.2: Avrenning og nedbørintensitet 12.07.2010, målt verdi og tertiærmodellen.	67
Figur 11.3: Sluk i nedbørsfeltet illustrert med rosa firkanter rundt kritisk punkt 2 (Gemini VA 2014).....	68
Figur 11.4: a) Bilde til venstre viser stikkrennen 39 meter nedenfor V-overløpet. b) Bildet til høyre er tatt mens det er oppstuvning i Tokerudbekken utenfor V-overløpet.	69
Figur 11.5: Avrenning målt på urbanstasjonen og simulert med tertiærmodellen.....	69
Figur 11.6: Det grønne arealet illustrerer det totale nedbørsfeltet som drenerer til Tokerudbekken som er den blå streken. Den gule figuren er nedbørsfeltet på (Gemini VA 2014).....	71
Figur 11.7: Nedbørshendelse med avskjærende topp, tertiærmodellen beregner vannføring 1200 l/s høyere enn den målte vannføringen.	72
Figur 11.8: Avstand Haugenstua-Vestli = 1,8 km. Avstand Blindern-Haugenstua = 10,4 km. Avstand Blindern-Vestli = 11,5 km (Google Earth 2014).....	74
Figur 13.1: Nedbørshendelse 19.08.2004 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.....	85
Figur 13.2: Nedbørshendelse 07.06.2010 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.....	86
Figur 13.3: Nedbørshendelse 12.07.2010 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.....	87
Figur 13.4: Nedbørshendelse 21.06.2013 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.....	88
Figur 13.5: Nedbørshendelse 01.05.2000 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.....	89
Figur 13.6: Nedbørshendelse 12.08.2002 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.	90
Figur 13.7: Nedbørshendelse 01.07.2004 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.	90
Figur 13.8: Nedbørshendelse 23.08.2005 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.	91
Figur 13.9: Nedbørshendelse 15.07.2001 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.	91
Figur 13.10: Nedbørshendelse 11.08.2009 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.	92
Figur 13.11: Nedbørshendelse 10.08.2006 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.	93
Figur 13.12: Nedbørshendelse 11.08.2009 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.	94
Figur 13.13: Nedbørshendelse 20.08.2002 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.	95
Figur 13.14: Nedbørshendelse 29.06.2012 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.	96
Figur 13.15: Nedbørshendelse 09.05.2013 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.	97
Figur 13.16: Nedbørshendelse 29.07.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiærmodellen.	98
Figur 13.17: Nedbørshendelse 29.07.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.	98
Figur 13.18: Nedbørshendelse 13.08.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiærmodellen.	99
Figur 13.19: Nedbørshendelse 13.08.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.	99
Figur 13.20: Nedbørshendelse 05.08.2011 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiærmodellen.	100
Figur 13.21: Nedbørshendelse 05.08.2011 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.	100
Figur 13.22: Nedbørshendelse 20.09.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiærmodellen.	101
Figur 13.23: Nedbørshendelse 20.09.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.	101
Figur 13.24: Nedbørshendelse 08.07.2011 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiærmodellen.	102

Figur 13.25: Nedbørshendelse 08.07.2011 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.	102
Figur 13.26: Nedbør og avrenning 19.08.2004 fra Hydra II.....	103
Figur 13.27: Nedbør og avrenning 07.06.2011 fra Hydra II.....	104
Figur 13.28: Nedbør og avrenning 12.07.2010 fra Hydra II (svært intens).	104
Figur 13.29: Nedbør og avrenning 21.06.2013 fra Hydra II.....	105
Figur 13.30: Nedbør og avrenning 01.05.2000 fra Hydra II.....	105
Figur 13.31: Nedbør og avrenning 12.08.2002 fra Hydra II (svært intens nedbør).....	106
Figur 13.32: Nedbør og avrenning 01.07.2004 fra Hydra II.....	106
Figur 13.33: Nedbør og avrenning 23.08.2005 fra Hydra II.....	107
Figur 13.34: Nedbør og avrenning 15.07.2001 fra Hydra II.....	107
Figur 13.35: Nedbør og avrenning 11.08.2009 fra Hydra II (brukt i kalibrering 1 & 2..	108
Figur 13.36: Nedbør og avrenning 10.08.2006 fra Hydra II.....	108
Figur 13.37: Nedbør og avrenning 20.08.2002 fra Hydra II.....	109
Figur 13.38: Nedbør og avrenning 29.06.2012 fra Hydra II.....	109
Figur 13.39: Nedbør og avrenning 09.05.2013 fra Hydra II.....	110
Figur 13.40: Nedbør og avrenning 29-30.07.2010 fra Hydra II.....	110
Figur 13.41: Nedbør og avrenning 13.08.2010 fra Hydra II.....	111
Figur 13.42: Nedbør og avrenning 5-6.08.2011 fra Hydra II.	111
Figur 13.43: Nedbør og avrenning 20-21.09.2010 fra Hydra II.....	112
Figur 13.44: Nedbør og avrenning 08.07.2011 fra Hydra II.....	112

Tabelliste

Tabell 3.1: Kategorisering av tekniske løsninger for overvannshåndtering er infiltrasjon og fordrøyning, fordrøyd bortledning og samlet fordrøyning (Lindholm et al. 2008).	11
Tabell 3.2: Overvannshåndtering retningslinjer på VAV (Vann- og avløpsetaten 2014b).	12
Tabell 3.3: Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall (Lindholm O. 2008).	12
Tabell 3.4: Retningslinjer for avrenningskoeffisient, φ (Bergen kommune 2005).	18
Tabell 3.5: Avrenningskoeffisient for ufrosset overflate (Statens Vegvesen 2011).	18
Tabell 3.6: Dersom det er gatesluk i veier og gater kan avrenning på overflaten, t_t gis disse verdier:.....	19
Tabell 4.1: Befolkningsprognose bydel Stovner, fra 2013 til 2014 har befolkningen økt med 3,07 %	28
Tabell 4.2: Nedbørmålere benyttet på urbanstasjonen på Vestli er Plumatic, Geonor og Lambrecht.	28
Tabell 4.3: Flottørtyper brukt på Vestli er Handar, Sutron og Leine&Linde.....	30
Tabell 5.1: Beregningsgrunnlag for konsentrasjonstiden i nedbørfeltet.	31
Tabell 5.2: Gjennomsnittlig konsentrasjonstid på Vestli.	32
Tabell 5.3: IVF kurve for nedbør [mm] på Vestli.	34
Tabell 5.4: De fysiske prosessene som danner beregningsgrunnlaget i SWMM.	36
Tabell 5.5: Primærmodellen ble basert på parametervalg fra SWMM manualen (Rossman et al. 2010) (vist i Vedlegg B).	36
Tabell 6.1: De fem nedbørshendelsene som ble brukt i justering av modellen. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].	38
Tabell 6.2: De fem nedbørshendelsene som ble brukt til etterprøving av modellen. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet[mm/t].	38
Tabell 6.3: Sammenligning med målt maks avrenning (Q_{maks}) for to typer primærmodell der bredde, helning tette flater og økning i gropmagasin permeable flater redusert med 50 % og 60 %. En reduksjon på 60 % ga best gjennomsnittlig forskjell sammenlignet med målte verdier for avrenning.	40
Tabell 6.4: Primærmodellen blir sekundærmodellen ved å endre bredde, tetteflater, helning på del felt og gropmagasin permeable flater til 7 mm.	41
Tabell 6.5: Sammenligning av målte verdier med sekundærmodellen for fem testregn for å beregne F-verdien for kalibreringen	41
Tabell 8.1: Parametere som ble brukt i kalibreringen av Rosie programmet; overflatemagasin, rotsonemagasin, overflatekoeffisient, overvannsavrenning, interflow, baseflow og grunnvannskoeffisient(DHI 2000).....	48
Tabell 9.1: De fem nedbørshendelsene som ble brukt i justering av modellen for kalibrering 2. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].	49
Tabell 9.2: Sammenligning av Q_{maks} for målt verdi og endringer gjort på primærmodellen for å justere til målte avrenningen.	49
Tabell 9.3: De fem nedbørshendelsene som ble brukt til etterprøving av modellen for kalibrering 2. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet[mm/t].	50
Tabell 9.4: Sammenligning av målte verdier og tertiærmodellen for Q_{maks} , total volum og tiden Q_{maks} intreffer.	50
Tabell 9.5: Parameterne brukt til kalibrering av ROSIE modellen;	51
Tabell 9.6: Sammenligning av maksimal avrenning for NVE og SWMM, SWMM og ROSIE og NVE og ROSIE. .	52
Tabell 10.1: De tre modellene er primærmodellen, sekundærmodellen og tertiærmodellen, de sistnevnte er utledet fra primærmodellen.....	54
Tabell 10.2: Eksempel for hvordan en «Bioretention cell» kan bli representert med faktorer for jord, overflate og lagringskapasitet der underdrenering er 0 (James 2012).	63
Tabell 11.1: Utrekning av vannføringskapasiteten til stikkrennen når det er full våt omkrets for ulike fall, 10 og 20 ‰ og Mannings ruhetskoeffisient, 0,0133 og 0,0125.	70
Tabell 11.2: Informasjon om stasjonsoppdydding fra 2006.	72
Tabell 11.3:Alle nedbørshendelsene brukt i oppgaven for kalibrering 1.	74
Tabell 11.4: Alle nedbørshendelsene brukt i oppgaven for kalibrering 2	75
Tabell 13.1: Parametere for gropmagasin for permeable og impermeable flater (Rossman et al. 2010).	83
Tabell 13.2: Maksimum infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossman et al. 2010).	83
Tabell 13.3: Minimum infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossman et al. 2010).	83
Tabell 13.4: Avtakingskontant og tørke tid for jorden (Rossman et al. 2010).	83
Tabell 13.5: Ruhet impermeable flater (Rossman et al. 2010).	84

Tabell 13.6: Ruhet permeable flater (Rossman et al. 2010).	84
Tabell 13.7: Ruhet rør (Rossman et al. 2010).	84

Formelliste

Formel 3.1: Vannbalanseligningen.	5
Formel 3.2: Vannbalanseligningen når magasin-komponenten er konstant.	5
Formel 3.3: Lineær sammenheng mellom flottørens utgangssignal og målestørrelse.	14
Formel 3.4: Målefeil.	15
Formel 3.5: Den rasjonale formel.	17
Formel 3.6: Strømningstid, t_s	19
Formel 3.7: Konsentrasjonstid for naturlige felt.	20
Formel 3.8: Konsentrasjonstid for urbane felt.	20
Formel 3.9: Benevninger for nedbørintensitet.	20
Formel 3.10: Mannings formel.	22
Formel 3.11: Hortons ligning for infiltrasjon.	23
Formel 3.12: St. Venants ligning- Kontinuitetsligningen.	24
Formel 3.13: St. Venants ligning - Momentligningen.	24
Formel 3.14: Helning på delfelt.	26
Formel 4.1: V-overløp.	29
Formel 4.2: V-overløp Vestli Segment 1.	29
Formel 4.3: V-overløp Vestli Segment 2:	29
Formel 5.1: Absolutt gjennomsnittlig forskjell mellom målt og beregnet maksimal avrenning.	37
Formel 5.2: F-verdi.	37
Formel 7.1: Hazen Williams formel-vannføringskapasitet i rør.	44

Liste over forkortelser

VAV	Vann og avløpsetaten i Oslo
NVE	Norges vassdrag- og energidirektorat
NGU	Norges geologiske undersøkelse
SWMM	Storm water management model
LOD	Lokal overvannsdiskonering
LID	Low impact development
VA	Vann og avløp
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
IVF	Intensitet – Varighet - Frekvens
DHI	Dansk Hydrologisk Institutt
RDII	Rainfall dependent infiltration/inflow
CHI	Computational Hydraulics International

1 INNLEDNING

Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune (VAV) og Norges vassdrag- og energidirektorat (NVE) er henholdsvis et kommunalt og statlig organ som arbeider med å forvalte bymiljø og vassdragene og forhindre flom. Økt befolkningsvekst og mer ekstreme nedbørshendelser skaper store utfordringer når overvannet ikke finner naturlige steder å infiltrere i grunnen og kapasiteten til ledningsnettets er oversteget.

Overvann er en utfordring i urbane områder. Med lokal behandling av overvannet utvikles løsninger slik at vannet finner naturlige veier via infiltrasjon til grunnen og/eller ledes i åpne vannveier og fordroyes i dammer (Lindholm et al. 2008). Dette er flomdempende tiltak og kan være et positivt element i bybildet.

Kunnskap om urbanhydrologi gir bakgrunn for å forstå overvann i bybildet. Hydrologiske urbanstasjoner samler inn kontinuerlige målinger av nedbør og avrenning over flere år. Dette gir grunnlag til å lage virkelighetstilnærmede modeller ved og kalibre opp mot målt data. For at analysene skal være korrekte er det viktig at urbanstasjonen er utformet slik at måledataene har liten grad av målefeil.

I 1974 ble det urbanhydrologisk forskningsfelt på Vestli utviklet. Siden den gang har nedbør og avrenning fra overvannsnettets som drenerer til urbanstasjonen blitt målt. Hele nedbørsfeltet er på 30,3 hektar som består av boligblokker og grøntområder.

Som et ledd i å utvikle metoder for flomvarsling og tiltaksplanlegging i urbane områder vil måledataene fra Vestli bli brukt til å kalibrere en overvannsmodell over området. Etterprøving av modellen vil gi indikasjoner på om det er en virkelighetsrettet modell og om dataene inneholder målefeil.

1.1 Mål for oppgaven

Målet med oppgaven er å benytte nedbør og avrenning målt på urbanstasjonen på Vestli til å kalibrere en overvannsmodell i SWMM.

Ved hjelp av modellen prøve å analysere det urbanhydrologiske forskningsfeltet for:

- Kapasiteten på ledning ved nåværende nedbørregime og for antatte fremtidige nedbørshendelser.
- Virkning av tiltak basert på LOD teknikker.
- Eventuelle målefeil tilknyttet urbanstasjonen.

1.2 Problemstilling

Problemstillingene valgt for oppgaven er:

- Hvordan er den hydrauliske *kapasiteten* på ledningsnettets?
- Hvilke kilder kan skape *målefeil* på urbanstasjonen?

1.3 Fremgangsmåte, metode og struktur

Oppgaven består av et innledende kapittel som beskriver bakgrunnen for oppgaven. Deretter er det en teoretisk del basert på litteraturstudium om relevante temaer om overvann. Analyseområdet presenteres så i et eget kapittel. I Metode 1 blir avrenning beregnet med den rasjonale formel og med overvannsprogrammet SWMM. I Metode 2 blir en ny overvannsmodell laget i SWMM og en i ROSIE. For hver metodedel følger resultat og diskusjon. Helt til slutt er konklusjonen knyttet til resultatene og problemstillingen for hele oppgaven.

1.4 Tidligere studier

Tidligere studier der urbanstasjoner har blitt brukt i kalibreringen i en overvannsmodell (SWMM) ble gjort våren 2013 av Lars Buhler på urbanstasjonen i Ås. Masteroppgaven heter «Analyse av klimaendringenes påvirkning på Rustadfeltet med kalibrert modell».

2 BAKGRUNN

Bakgrunnen for oppgaven er tiltaksplanlegging av overvann basert på modeller for å forhindre flom i by der interessegruppene er NVE og VAV.

2.1 Flom

Definisjonen på flom er «oversvømmelse av land som normalt er tørt». Varianter av flom i Europa (Braskerud 2010a):

- Oversvømmelse fra elv og innsjø
- Havstigning og stormflo
- Urbant overvann etter styrt regn
- Flodbølge (tsunami) etter fjellskred

I den senere tid har flere land i Europa opplevd flom som resultat av styrt regn. Eksempler er monsterragnet i København 2011, uværet «Frida» og den tilhørende storflommen i Søndre Buskerud august 2012, og vinterflommen i Storbritannia i 2014 som ga store vannskader på hus og vei.

Årsaker til det økende skadeomfanget ved flom er at: (1) ledningsnettene blir overbelastet som følge av økt innflytting til byene, (2) mange steder er deler av ledningsnettene gammelt og dårlig vedlikeholdt, (3) økonomiske årsaker gjør at det bygges mer på utsatte tomter, (4) kjellere har fått full boligstandard som gjør at de inneholder mer verdifulle artikler, (5) klimaendringene har skapt et endret nedbørsmønster med mer intense og kraftige hendelser (Lindholm 2013b).

2.2 Norges vassdrag og energidirektorat

Menneskelig bruk og urbanisering har ført til at mange av vassdragene i stor eller liten grad har blitt berørt av tekniske inngrep (Fergus et al. 2010). For å vurdere tilstanden til områder har NVE målestasjoner som kontinuerlig måler nedbør og avrenning. Dataene blir lagret, kontrollert, bearbeidet, analysert og presentert i databasesystemet Hydra II. Målinger tatt over en lang tid er et viktig verktøy for å utvikle flomtiltak.

2.3 Vann og avløpsetaten i Oslo

Befolkningsvekst og en økning av tette flater fra hus og vegutbygging fører til en kapasitetsøkning av ledningsnettene. Oslo er blant de byene i Europa som vokser raskest (Lilleås 2012). Per 1. januar 2014 hadde byen 634 463 innbyggere og det forventes at antallet vil øke til omkring 800 000 innbyggere i 2030 (Akershus fylkeskommune & Oslo kommune 2010). I 2012 ble det igangsatt 3777 boligprosjekter i Oslo, hovedsak i indre by (Oslo kommune 2014) og Vegvesenet har 27 pågående prosjekter i 2014 (Statens Vegvesen 2014).

Oslo har 360 mil med vann og avløpsledninger som må driftes og vedlikeholdes (Gemini VA 2014). Dataprogrammet Gemini Vann og Avløp har blitt utviklet som et system for forvaltning og dokumentasjon av VA-nettet. Det inkluderer GIS¹-funksjoner for synliggjøring, analyse og informasjon om alle ledninger og kummer i Oslo (Gemini VA 2010). Modeller for spillvann, vann og overvann er verktøy for vedlikehold og fornying av ledninger.

¹ GIS er et geografisk informasjonssystem som brukes til arbeid med kartdata og geografisk informasjon

2.4 Overvannsmodeller

Det er laget ulike hydrologiske modeller med forskjellig beregningsgrunnlag. De to ytterpunktene er «fysikalsk» og «systemanalytiske modeller». Fysikalskanalytiske modeller baserer seg på kunnskap om prosessene som inngår i systemet vi ønsker å beskrive. Modellene består av partielle differensialligninger som beskriver masse og energitransport. Systemanalytiske modeller baserer seg på å utlede sammenhenger mellom målte data som entrer og forlater det hydrologiske systemet vi ønsker å beskrive (Sælthun 2013).

2.4.1 Storm water management model (SWMM)

SWMM er en fysikalsk dynamisk nedbør – avrennings modell. Den kan simulere avrennings kvalitet og kvantitet for enkelthendelser eller for langtidshendelser i urbane områder (Rossman et al. 2010).

Utviklingen av programmet SWMM ble gjort under et forskningssamarbeid og utviklingsavtale mellom «Vannforsyning» og «Vannressurs» divisjonen i det amerikanske Miljøverndepartementet (U.S. Environmental Protection Agency (US EPA)) og konsulent selskapet «Camp Dresser & McKee Inc» i 1971. Programmet er brukt i hele verden for å planlegge, analysere og bygge opp overvannsløsninger, fellessystem, sanitære kloakksystem og andre dreneringssystemer (Rossman et al. 2010).

2.4.2 ROSIE Mouse

ROSIE er et modelleringsprogram for overvann og avløp med brukergrensesnitt i MOUSE². Det ble utviklet av det norske firmaet ROSIM AS i 2009. Programmet er tilpasset det norske VA miljøet med direkte tilgang til Gemini VA og andre input data som er tilpasset norske forhold. Det blir benyttet i VAV. ROSIE arbeider i GIS med tilleggsfunksjoner som forenkler prosessen med modelloppbygging, beregninger og resultatpresentasjon (Rosim 2009).

2.5 Målestasjon 6.12 Vestli

En målestasjon for nedbør og avrenning fra overvannsnett ble installert på Vestli i 1974. Det var et samarbeid mellom NVE og VAV. VAV stod for drift og vedlikehold av stasjonen og NVE bearbeidet nedbør og avrenningsdata til Hydra II. I 1997 opphørte samarbeidet. NVE tok over ansvar for drift og vedlikehold av målestasjonen.

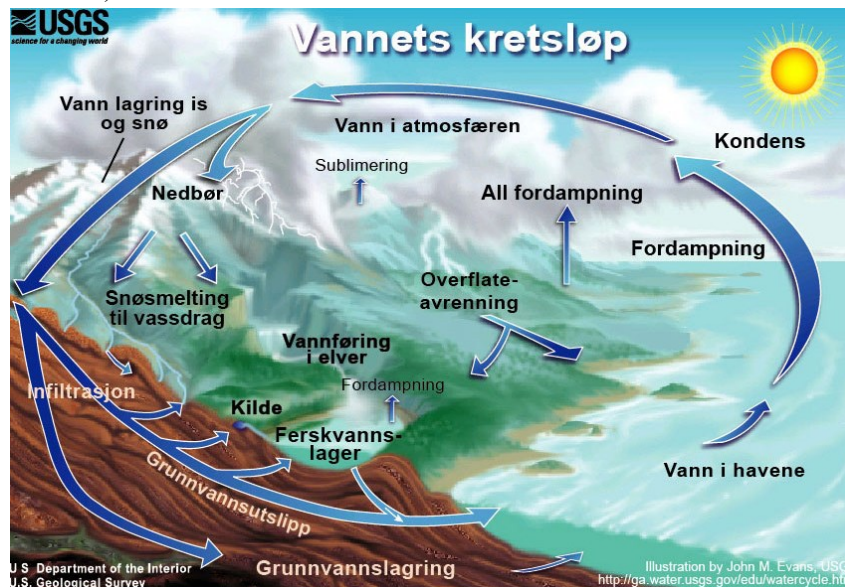
² MOUSE (modeling of urban sewer system) er et dataverktøy for simulering av vannføring i avløps og overvannssystemer og avrenning fra overflater (Rosim 2009).

3 LITTERATURSTUDIE OM OVERVANN

Kapittel 3 beskriver hvordan overvann oppstår, utfordringer i urbane områder, klima, lover og retningslinjer for behandling av overvann. Avslutningsvis er en beskrivelse av målemetoder og beregning av overvann presentert.

3.1 Hydrologi – vannets kretsløp

Hydrologi er «det geofysiske faget som omhandler vannet på jorda, forekomsten, sirkulasjonen og fordelingen av dette, de kjemiske prosessene og fysiske egenskapene og reaksjonene med omgivelsene, inkludert relasjonen til levende organismer» (Norges vassdrags- og energidirektorat 2008).



Figur 3.1: Vannbalansen på jorda (USGS 2014).

I likhet med alle prosessene på jorda blir vannets kretsløp drevet av solen, Figur 3.1. Hav, innsjø, grunnvann, markvann, snø og is er magasiner som har massebevaring av nedbør og snø som entrer og evaporasjon og avrenning som forlater magasinene. Dette kan beskrives med vannbalanseligningen:

$$\Delta M = N - E - Q$$

Formel 3.1: Vannbalanseligningen.

ΔM : Magasin (innsjø, hav, grunnvann, markvann, snø, is)

N : Nedbør

E : Evapotranspirasjon

(summen av fordampning fra fri vannflate og fordampning fra levende organismer)

Q : Avrenning

Dersom magasinet er gitt for et langt tidsrom blir massebalansen inn og ut av magasinet tilnærmet konstant slik at magasinkomponenten kan bli satt til null, $\Delta M \rightarrow 0$

Ligningen for avrenning blir:

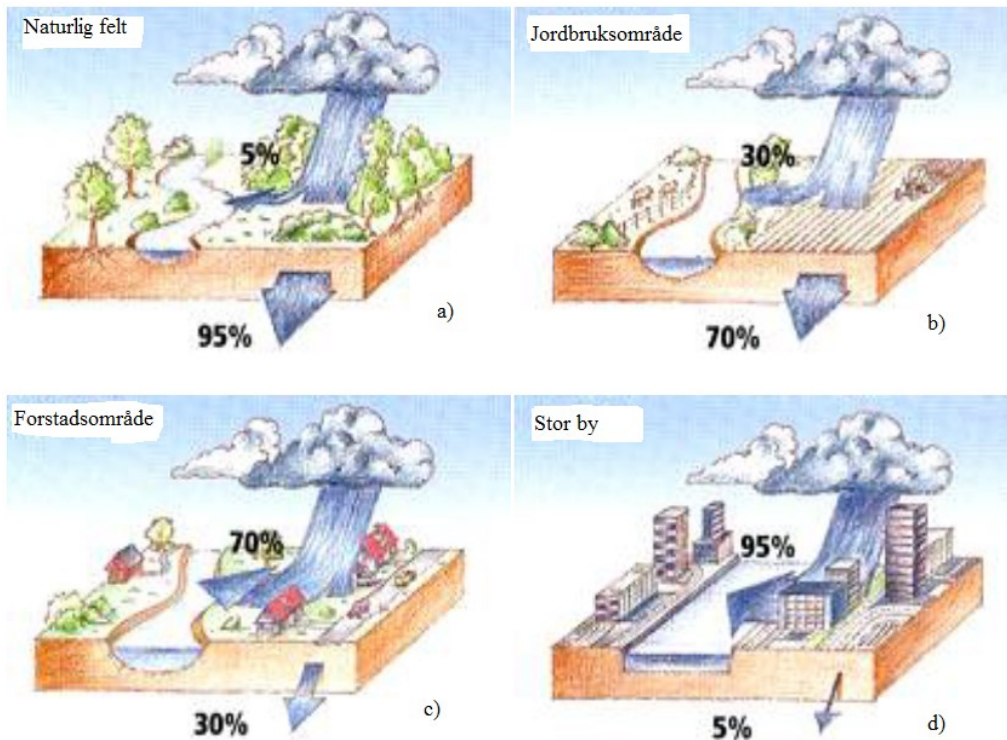
$$Q = N - E$$

Formel 3.2: Vannbalanseligningen når magasinkomponenten er konstant.

Gjennomsnittlig avrenningen i Norge er 1200 mm som følge av 1400 mm nedbør hvor 200 mm fordamper (Norges vassdrags- og energidirektorat 2008). Avrenning på overflaten kalles overvann. Det er en viktig parameter for å dimensjonere avløp, dreneringsanlegg og installasjoner i elver og for å forstå flomforløpet i elva slik at tiltak kan gjennomføres for å unngå skade på liv og eiendom. Avrenningen blir målt direkte i vassdrag og ledningsnett eller bestemt ved hjelp av beregninger (Bjerkholt 2012).

3.1.1 Urbanhydrologi

Urbanhydrologi er menneskelig påvirkning på naturlige vannforekomster. Utbygging av byer og tettsteder (urbanisering) fører til at vegetasjon blir fjernet til fordel for hus, veier og andre impermeable flater. Dette fører til at den naturlige vannbalansen blir endret (Norsk Vann 2012). I naturlige forhold (ingen menneskelige inngrep) vil omtrent 95 % av nedbøren infiltrere ned i grunnen og 5 % renne av på overflaten, Figur 3.2a. I en storby kan situasjonen være snudd slik at bare 5 % vil infiltrere ned i grunnen og 95 % av nedbøren vil renne av på overflaten, Figur 3.2d (Lindholm 2013b).



Figur 3.2: a) Bildet øverst til venstre illustrerer avrenning under naturlige forhold, 95 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. b) Bildet øverst til høyre illustrerer avrenning i jordbruksområder, 70 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. c) Bildet nederst til venstre illustrerer forstads område, 30 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen. d) Bildet nederst til høyre illustrerer storby, 5 % av nedbøren vil infiltrere i grunnen (Lindholm 2013b).

De viktigste effektene av urbanisering som følge av økt overflateavrenning er (Norges vassdrags- og energidirektorat 2009):

- Redusert infiltrasjon til grunn
- Redusert fordampning
- Senkning av grunnvannstanden

Det kan føre til (Norges vassdrags- og energidirektorat 2009):

- Oversvømmelse av hus, veier og anlegg
- Setningsskader på hus og veier
- Vegetasjonsuttørking
- Økt påkjenning på resipient (volum og forurensning)

3.1.2 Nedbør

Varmestrålingen fra solen får luft med og uten vanndråper til å stige. Dette vil foregå helt til den stigende luften har blitt nedkjølt til den omkringliggende temperaturen i atmosfæren (Hendriks 2010). Avhengig av om luften var tørr eller mettet med vanndamp dannes skyer eller nedbør i form av regn eller snø. Dette foregår i den nedre delen av atmosfæren (troposfæren).

Karakteristiske nedbørstyper (Norsk Vann 2012):

- Konvektiv nedbør: Oppvarming av vann og landoverflaten gjør at varm fuktig luft stiger. Etter hvert vil den fuktige luften avkjøles. Da genereres nedbør med stor intensitet og kort varighet. Nedbørshendelsen opptrer over et lite areal.
- Orografisk nedbør: Oppstår når fuktig luft tvinges over høye hindringer, for eksempel fjell. Denne regntypen har ofte lav intensitet. Opptrer over lang tid over et stort areal.
- Frontnedbør: Oppstår når varm luft stiger over kald luft. Denne nedbørstypen har lav intensitet. Opptrer over lang tid og over et stort areal.

Ved modellering av overvann er det de konvekktive nedbørshendelser som er av størst interesse siden de kan generere flom som følge av styrtregn.

3.2 Klima

Klima er en beskrivelse av gjennomsnittsværet over en gitt tid. Det vil si gjennomsnittlig temperatur, nedbør, og vind (Metrologisk Institutt 2010).

Jordens atmosfære, luftlaget som omslutter jorden kan deles inn i fire lag fra bakkenivå; troposfæren, stratosfæren, mesosfære og termosfæren. Lufttemperaturen reduseres i troposfæren og det er i dette laget det meste av værhendelsene skjer. Atmosfæren har ingen definert øvre grense men går gradvis over i det tomme rom (Store norske leksikon).

Atmosfæren består av ulike gasser som til sammen gjør det mulig å leve på jorden. Gassene begrenser energiutstrålingen slik at gjennomsnittstemperaturen på jorden er 15 °C (og ikke minus 18 °C) (Hendriks 2010). Effekten blir kalt drivhuseffekten og de største bidragsyterne er vanndamp, karbondioksid, ozon og metan, såkalte drivhusgasser. Jorda har et energioverskudd ved ekvator og et energiunderskudd ved polene. Dette skaper de store vindsystemene på jorda.

3.2.1 Nordisk klima

Nordens hydrologi preges av (Tollan 2013):

- Et kjølig klima
- Store nedbørsmengder
- En geologisk historie med kvartære istider

Det kjølige klimaet skyldes den negative strålingsbalanse på nordlige breddegrader. Dette gir kalde vintre med en middeltemperatur i januar på under 0 °C. Middeltemperaturen i juli ligger på 10 – 17 °C (Tollan 2013).

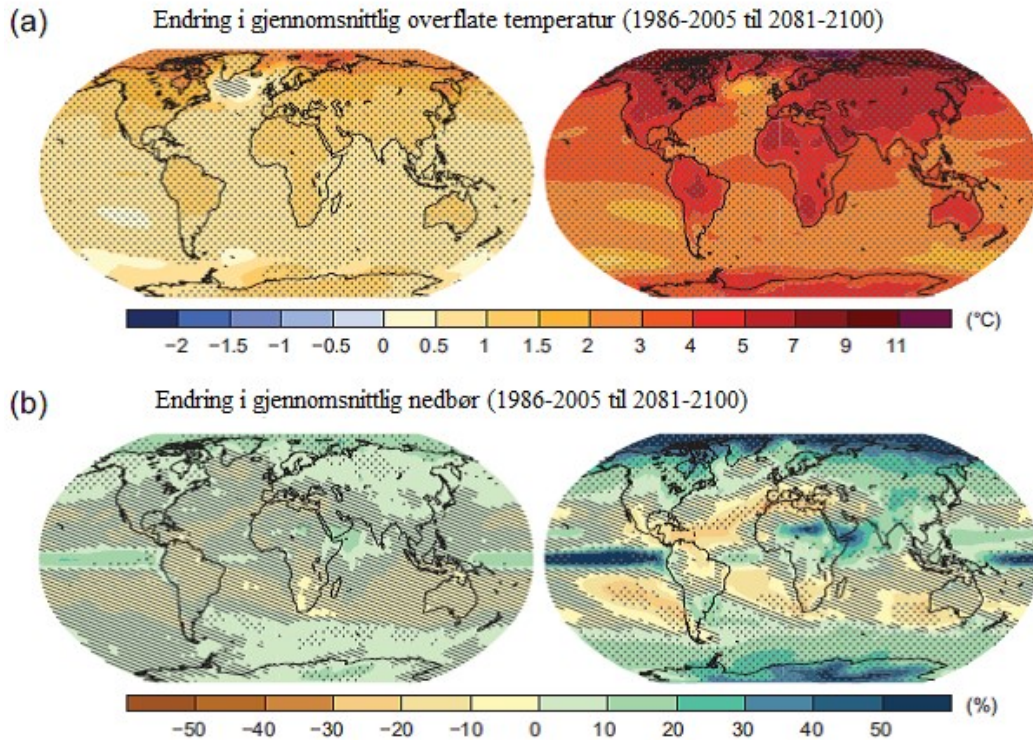
De store nedbørsmengdene henger sammen med beliggenhet i vestavindsbeltet som fører stor transport av fuktig luft mot Norge både vinter og høst. Lavtliggende områder får moderate nedbørsmengder slik som Østlandet. Små høydeforskjeller gir betydelig intensivering av nedbøren på grunn av heving og avkjøling av luften (Tollan 2013).

Kvartære istider har gitt en topografi med høye fjell og mange lange dype innsjøer. Innsjøenes rolle i hydrologisk sammenheng er at de utjevner flomforløpene (Tollan 2013).

3.2.2 Klimautvikling

Observasjoner av klimaet er basert på fysiske og biokjemiske målinger, satellittbilder og paleoklimatiske rekonstruksjoner (indirekte målinger av tidligere tiders værpåvirket materiale for eksempel is, treringer, sedimenter, koraller og stein). Til sammen gir det et oversiktsbilde over variasjoner og langtidsendringer i atmosfæren, havet, kryosfæren og landoverflaten (Stocker et al. 2013).

FNs klimapanel (IPCC) består av forskere fra hele verden. Hovedfunn fra første delrapport i 2013 er at det er 95 - 100 % sannsynlig at menneskelige utslipp av drivhusgasser har en sammenheng med en global temperatur økning fra 1750 - 2010. Dette fenomenet blir kalt global oppvarming og konsekvensene er blant annet at: polene begynner å smelte, en oppvarming av havet, varmere og få kaldere dager og netter, oftere hetebølger, mer intense nedbørsepisoder, økende intensitet av tørke, økende syklon aktivitet og stigende havnivå (Stocker et al. 2013).



Figur 3.3: a) Bildet øverst (venstre) illustrerer den globale gjennomsnittstemperatur gitt i perioden (1986-2005), bildet øverst (høyre) viser fremtidig gjennomsnittstemperatur år 2081-2100. b) Bilde nederst (venstre) illustrerer den globale nedbørstrenden fra 1986-2005, bildet nederst (høyre) viser en fremtidig nedbørstrend fra 2081-2100 som et resultat av global oppvarming (Stocker et al. 2013).

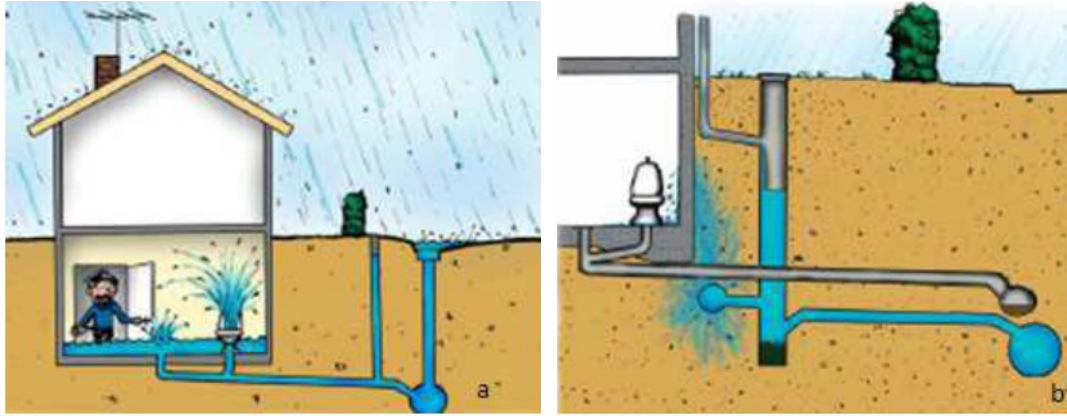
Økt gjennomsnittstemperatur på jorda vil føre til mer intense og hyppige nedbørshendelser i årene fremover fordi varm luft kan holde på mer vanddamp enn kald luft. Bildene øverst på Figur 3.3 viser at jordas gjennomsnittstemperatur kan øke med 2 °C frem mot 2100, sammenlignet md gjennomsnittstemperaturen på jorda i perioden 1986 - 2005. Bildene nederst på Figur 3.3 viser at nedbørshendelser kan øke opptil 40 - 50 % i tropiske områder og på nordlige breddegrader og ved sydpolen, mens det vil bli mindre nedbør på det Afrikanske kontinent og Mellom Amerika og Sør Amerika i perioden frem mot 2100 (Stocker et al. 2013).

3.3 Håndtering av overvann

Store nedbørsmengder kan oppleves som et problem. Tradisjonelt har overvannet blitt ledet i rørsystemer og fraktet vekk. Nå prøves det i større grad å gi regnet en plass i byen. Slik at overvannet kan bidra som et positivt element i bybildet og dermed gjøre mindre skade (Oslo kommune 2013).

3.3.1 Fellessystem og separatsystem

I et fellessystem blir spillvannet og overvannet ledet i samme rør til renseanlegget. Dersom den totale mengden av spillvann og overvann blir større enn renseanlegget kan behandle vil dette gå i et overløp og bli ledet ut i nærmeste resipient. Under intense nedbørsperioder kan ledningen bli overbelastet slik at hus uten tilbakeslagsventil kan oppleve å få oversvømmelse i kjeller, Figur 3.4a.

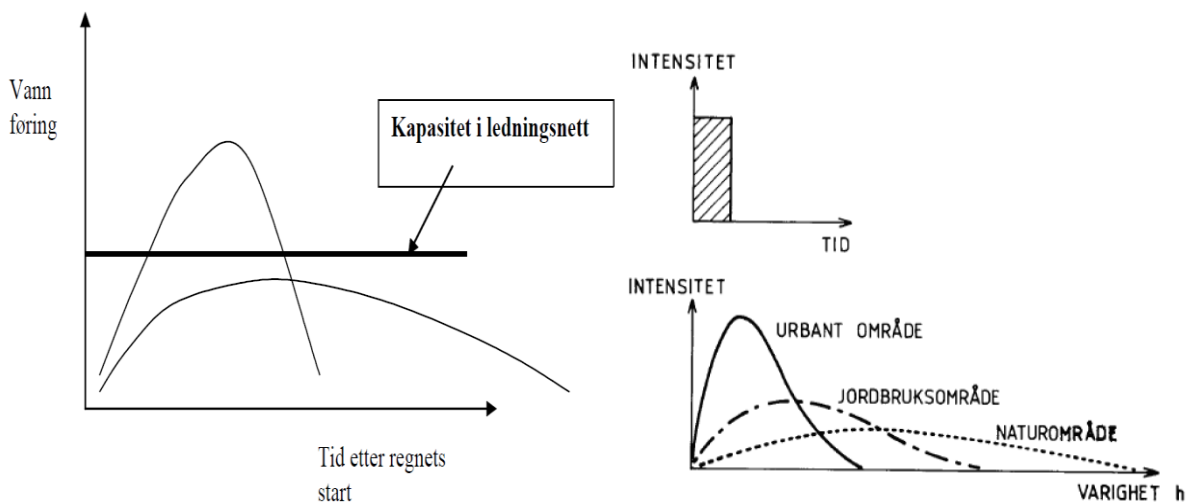


Figur 3.4: a) Bilde til venstre illustrerer kjelleroversvømmelse i et fellessystem. b) Bilde til høyre illustrerer opphoping av vann utenfor kjellervegg i et separatsystem (Lindholm 2013a).

I et separatsystem blir spillvannet og overvannet ledet i to separate rør. Spillvannet blir fraktet til rensanlegget og overvannet blir sluppet ut i en resipient. Mye vann i overvannsledningen kan føre til oppstuvning av vann utenfor husveggen, Figur 3.4b. Derfor er det viktig å ha overvannsledningen minst 90 cm vertikalt ned fra kjellergulvet (Lindholm et al. 2008). I områder der oppstuvning i kjellere er et problem kan kommunen separere overvann og spillvannet som et flomdempende tiltak.

3.3.2 Lokal overvannsdiskonering (LOD) - flomdempende tiltak

Utbygging av nye områder og fortetting i eksisterende bebygde områder øker overflateavrenningen og kan føre til en overbelastning av ledningsnett ved kraftig nedbørshendelser, illustrert med den spisse parabelen i Figur 3.5a. «Treleddsstrategien» for håndtering av overvann går ut på å fange og infiltrere regn i størrelsesorden mindre enn 20 mm, forsinke og fordrøye regn i størrelsesorden 20 - 40 mm og å sikre trygge flomveier for større regn enn 40 mm (Lindholm et al. 2008). Ved god håndtering av overvannet vil vannføringen komme mer jevnt slik at kapasiteten til ledningsnett opprettholdes, vist med den flate parabelen i Figur 3.5a.



Figur 3.5: a) Bildet til venstre illustrerer kapasiteten til ledningsnett under kraftige nedbørshendelser. (Lindholm 2013b). b) Bildet til høyre viser at avrenning fra jordbruks og naturområder har en lavere intensitet, men varer lengre enn avrenningen fra urbane områder (Lindholm 2013b).

Avrenningen i jordbruksområder og naturområder har en sakte avrenning for en gitt nedbørintensitet sammenlignet med urbane områder, Figur 3.5b. Ved lokal

overvannsdiskonering (LOD) finner vannet naturlige veier via infiltrasjon til grunnen, fordrøyd bortledning og/eller fordrøyes i dammer for å forsinke avrenningen, Tabell 3.1.

Tabell 3.1: Kategorisering av tekniske løsninger for overvannshåndtering er infiltrasjon og fordrøyning, fordrøyd bortledning og samlet fordrøyning (Lindholm et al. 2008).

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/innsjø

LOD tiltak gir forskjellige resultater og må velges ut i fra ønsket effekt (Norsk Vann 2012):

- Unngå oversvømmelse i ledningsnettet
- Hindre flom
- Redusere faren for erosjon og ras i bekkedaler
- Forbedre vannkvaliteten i resipienten
- Utvide miljøelementene i bybildet
- Øke det biologiske mangfold ved å legge til rette for dyre og fugleliv

3.4 Lover og retningslinjer for behandling av overvann

De senere årene har det blitt utarbeidet lover og retningslinjer for overvannsbehandling.

3.4.1 Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune

Oversikt over lover og styringsdokumenter brukt i Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune (nærmere beskrevet i Vedlegg A), Tabell 3.2:

Tabell 3.2: Overvannshåndtering retningslinjer på VAV (Vann- og avløpsetaten 2014b).

Overvannshåndtering, Vann- og avløpsetaten i Oslo kommune	
Lover	Styringsdokumenter
Plan og bygningsloven § 27-2	Byøkologisk program
Byggeteknisk forskrift (TEK 10) Kap 15 del III	Veileder om overvannshåndtering for utbyggere
Forurensningsloven	Handlingsplan for miljø og klima 2013-2016
Forurensningsforskriften Kap 15A	Hovedplan avløp og vannmiljø 2000-2015
Vannressursloven § 7	
Abonnementsbetingelser for Oslo	

3.4.2 EUs vannrammedirektiv og vannforvaltningsforskriften

EUs vannrammedirektiv setter krav til utslipp av spillvann og urensset overvann til resipienten. Vannforvaltningsforskriften krever at: «Alle vannforekomster skal ha god eller svært god økologisk og kjemisk tilstand innen 2021». Vannforekomster har klassegrensene svært dårlig, dårlig, moderat, god, svært god (Miljødirektoratet 2000).

3.4.3 Norsk Vann veileder

Bebygde områder består som oftest av både fellessystem og separatsystem. Norsk Vann har utledet anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall for regnskyllhyppighet som gjør at ledningsnett fylles til topp rør eller oversvømmes, Tabell 3.3. Dette blir brukt som veiledning ved etablering av nytt ledningsnett eller renovering av eksisterende ledningsnett (Lindholm et al. 2008), Tabell 3.3.

Tabell 3.3: Norsk Vanns anbefalte minimums dimensjonerende gjentakintervall (Lindholm O. 2008).

<i>Dimensjonerende regnskyllhyppighet:</i>	<i>Plassering</i>	<i>Dimensjonerende oversvømmelseshyppighet:</i>
1 i løpet av 5 år	Områder med lavt skade potensial (utkantområder, landområder...)	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 høyt skadepotensiale (underganger...)	1 i løpet av 50 år

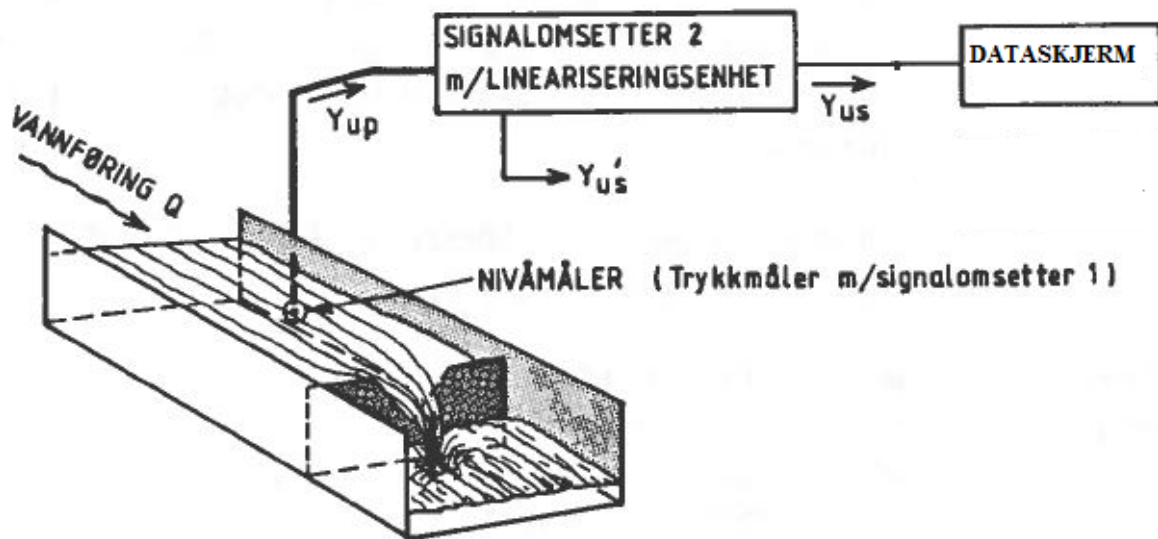
Venstre kolonne i Tabell 3.3 gir dimensjonerende regnskyllhyppighet dersom ledningsnett fylles til topp av rør. Høyre kolonne viser dimensjonerende regnskyllhyppighet ved oversvømmelse til kjellernivået, det vil si 90 cm over topp rør. For boligområder er dimensjonerende oversvømmelseshyppighet 1 gang i løpet av 20 år.

3.5 Hydrologiske urbanstasjoner

Målestasjoner som er plassert i urbane områder kalles urbanstasjoner. Det er ni urbanstasjoner i Norge som kontinuerlig logger informasjon om vannføring, regn og snøsmelting (Braskerud 2010b). Disse blir driftet av NVE sammen med kommuner og universiteter. Et ledd i å videreutvikle metodikker for flomberegning i små nedbørsfelt er å kvalitetskontrollere avrenningsdata (Stenhus 2012).

3.5.1 Målemetode

Ved måling av vannføring, Q trengs det et målesystem. Det består av en tilstandstørrelse Y_t , en føler/trykksensor og en signalomsetter.



Figur 3.6: Måling av vannføring med et V-overløp og nivåmåler (Mosevoll et al. 1991).

Figur 3.6 viser et målesystem for måling av vannføring ved hjelp av et V-overløp med skarp kant. Vannføringen er tilstandstørrelsen, y_t , den måles indirekte ved hjelp av en føler (trykksensor eller flottør) gjennom vannstanden, y_m . Føleren omsetter målestørrelsen (vannstanden) til et primært utgangssignal, y_{up} , til elektrisk spenning. Dersom det primære utgangssignalet er for svakt til direkte videre behandling og overføring løses dette ved hjelp av Signalomsetter 2, Figur 3.6. Signalet tilføres energi og omsettes til det sekundære utgangssignalet, y_{us} , som blir sendt til en dataskjerm (Mosevoll et al. 1991).

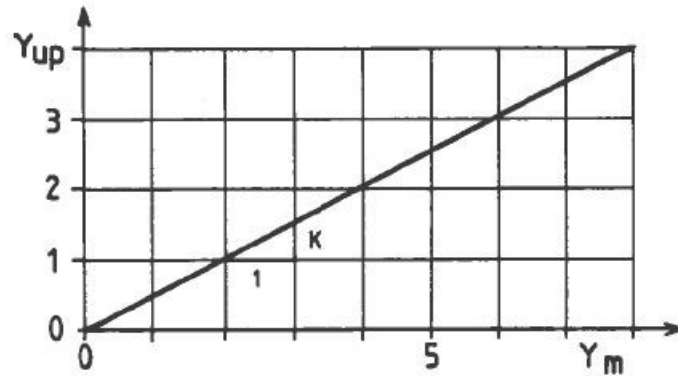
3.5.2 Usikkerheter tilknyttet målemetode

Føleren er det elementet i målesystemet som reagerer direkte på den størrelsen som skal måles. Dette er den vanskeligste oppgaven i et målesystem, rett valg av måler er en grunnleggende forutsetning for et godt målesystem. En følers karakteristikk fastlegges ved forsøk (Mosevoll et al. 1991).

Sammenhengen mellom målestørrelsen (vannstanden), y_m , og det primære utgangssignalet, y_{up} , kalles følerens karakteristikk. For en ideell føler er det lineær sammenheng mellom y_m og y_{up} , Formel 3.3 og Figur 3.7 (Mosevoll et al. 1991):

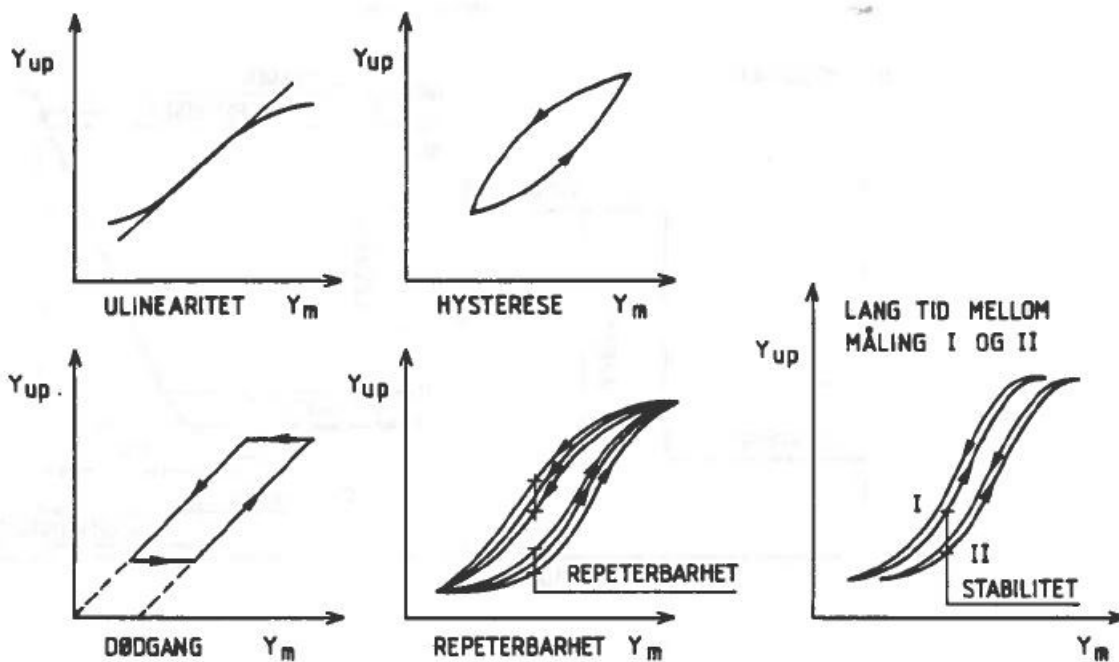
$$Y_{up} = a + KY_m$$

Formel 3.3: Lineær sammenheng mellom flottørens utgangssignal og målestørrelse.
 a og K er konstanter



Figur 3.7: En ideell føler har lineær sammenheng mellom målestørrelsen (vannstanden), y_m og det primære utgangssignalet, y_{up} (Mosevoll et al. 1991).

Dersom det ikke er lineær sammenheng kan det skyldes usikkerheter ved føleren, Figur 3.8 (Mosevoll et al. 1991):



Figur 3.8: Usikkerhet ved en føler; ulinearitet, hysteresese, dødgang, repeterbarhet og stabilitet (Mosevoll et al. 1991).

- Ulinearitet: Målestørrelsen, y_m , og utgangssignalet, y_{up} , er forskjellig.
- Hysteresese: Størrelsen på utgangssignalet, y_{up} , avhenger av om målestørrelsen, y_m , øker eller minsker.
- Dødgang: Målestørrelsen, y_m , endres selv om utgangssignalet, y_{up} , er konstant.
- Repeterbarhet: Avviket ved å repetere en serie målinger av samme størrelse.
- Stabilitet: Avvik som oppstår over lang tid når målingene utføres under like ytre forhold.

- Drift: Når utgangssignalet fra et måleinstrument varierer over tid for ett og samme inngangssignal. Skyldes ofte temperaturendringer i måleinstrumentet.
- Statisk nøyaktighet: Følerens nøyaktighet ovenfor en fast eller langsomt varierende tilstandsstørrelse.
- Dynamisk nøyaktighet: Beskriver målefeil som oppstår fordi målesystemets utgangssignal ikke klarer å følge med inngangssignalet tilstrekkelig raskt.
- Stigetid, responstid: Knyttet til en øyeblikkelig endring av inngangssignalet.

Målenøyaktighet: Alle målinger er forbundet med målefeil. Sammenhengen mellom målt verdi og målefeil er gitt med Formel 3.4:

$$X = x + v$$

Formel 3.4: Målefeil.

X : Målt verdi

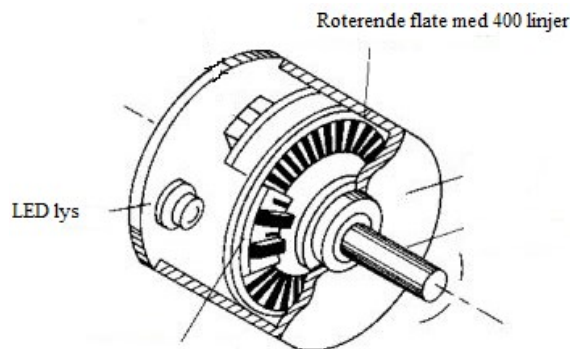
x : Sann verdi (alltid ukjent)

v : Målefeil (kan være positiv og negativ, alltid ukjent)

3.5.3 Flottør og trykksensor

Flottørmålere er benyttet ved kontinuerlig måling av vannstanden i måleoverløp. Flottørmålere er best egnet for rent vann, hvis ikke må den stå i egen målebrønn for å unngå begroing. Flottøren følger bevegelsene i vannflaten og vannstandsendringer registreres enten som bevegelse av trinsen eller flottørbåndet (mekanisk signal) (Mosevoll et al. 1991).

Handar optisk encoder: Registrerer bevegelse med en elektrisk optisk enhet, Figur 3.9.



Figur 3.9: Handar optisk encoder (Vaisala Inc 1998).

Ved hevelse og synkning av vannet begynner en flate å rotere. Den roterende flaten er utformet med 400 linjer. Disse blir talt under rotasjonen av et LED lys som er plassert vinkelrett på flaten. For hver rotasjon får enkoderen ut 400 teller. Den relative fasen til de to pulsene indikerer retningen til rotasjonen (Vaisala Inc 1998).

En trykksensor er installert på bunn av måleprofilet. Vannet over sensoren skaper et trykk, som gjøres om til «cm vannstand» og registreres (Vestersager). Et eksempel på trykksensor er «Aquistar».

3.5.4 Nedbørmåler

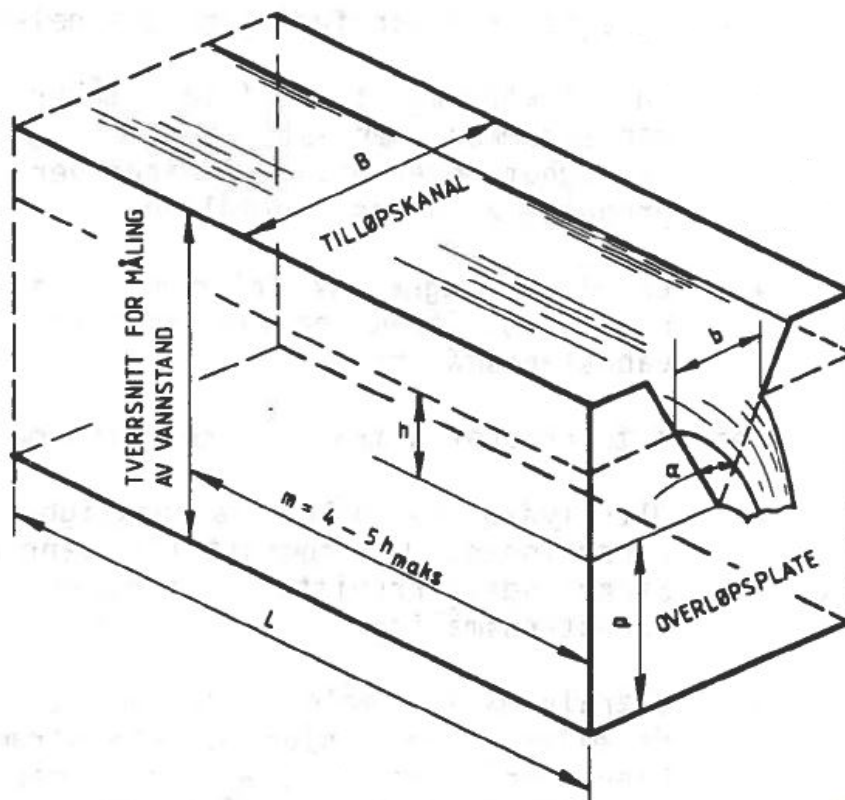
Målinger av korttidsnedbør begynte på 60- og 70 tallet. Det er omtrent 45 nedbørstasjoner i Norge. Det meste av registreringen har pågått utenom vinteren (november-april) ettersom frost og snø skaper problemer for måleren. Noen målere har en oppvarmingsmekanisme slik at snø og is smelter slik at målinger kan bli gjort om vinteren (Norsk Vann 2012).

Nedbørsmåling skjer manuelt eller automatisk. For manuell måling benyttes en beholder med gitt diameter som samler langtidsnedbør (kasseregn). Fordampingstapet motvirkes ved å bruke oljesjikt i beholderen (Norsk Vann 2012). Med snø i beholderen blir vannmengden målt etter tining. Optimal tømmeffrekvens er 1-2 ganger i døgnet (Metrologisk Institutt 2014). Dette er ikke nødvendig for automatiske nedbørmålere som benytter vektprinsippet til å omregne til mm nedbør elektronisk. Dette kan bli gjort med å måle vekten av vannet direkte, eller ved å telle antall ganger en fast mengde nedbør faller ned i måleren per minutt ved hjelp av et vippekar (Metrologisk Institutt 2014).

3.5.5 V-overløp med skarp kant

Falltapet i et V-overløp med skarp kant er forholdsvis stort og denne overløpstypen er derfor mest brukt for relativt små vannføringer (mindre enn 200 - 300 l/s). Målenøyaktigheten kan være god over et stort måleområde. Under riktige forhold er de mest nøyaktige opp til 1000 – 2000 l/s, men det er ingen teoretisk øvre grense (Mosevoll et al. 1991).

V-overløp med skarp kant er mindre godt egnet for vann som fører tyngre stoffer (sand, silt etc). De tyngre stoffene bunnfeller like oppstrøms overløpskanten. Det reduserer målenøyaktigheten (Mosevoll et al. 1991).



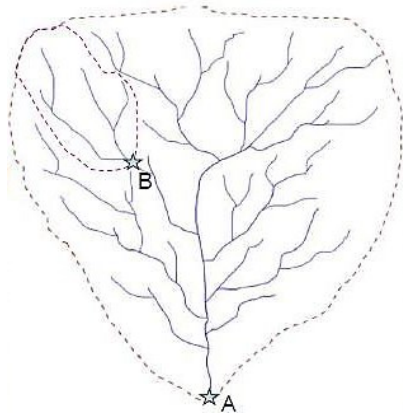
Figur 3.10: Tredimensjonalt bilde av et V-overløp (Mosevoll et al. 1991).

Figur 3.10 viser et tredimensjonalt bilde av et V overløp. Forklaring til bokstavene:

- h: Høyden fra bunn av V opp til overløpskanten
- b: Bredde over topp av V
- B: Bredde til tilløpskanal
- p: Høyde fra bunn opp til V
- L: Lengde på overløpsterskelen
- α : Vinkelen til V-overløpet

3.6 Beregning av overvannsmengder

Nedbørsfelt er et begrenset areal der total avrenningen fra ulike forgreninger renner til et bestemt punkt, Figur 3.11.



Figur 3.11: Et nedbørsfelt har mange forgreninger som alle sammen leder til et felles punkt A (Kitterød 2013).

Forhold som påvirker avrenningen til dette punktet er nedbørsforholdene, evapotranspirasjon, nedbørsfeltets størrelse, form, jordart, andel myrer og vann, vegetasjon, bebyggelse og veier. Retningen til avrenningen er bestemt av topografien. Vannet renner vinkelrett på høydekurvene (Bjerkholt 2012).

Karakteristiske egenskaper til små nedbørsfelt (Bjerkholt 2012):

- Rask reaksjon på kortvarig intense regnskyll
- Regnskurer kan treffe hele feltet samtidig
- Liten eller ingen demping (sjøer, myrer)
- Flommene er over i løpet av noen timer
- Tørrværsavrenning kan gå mot null

3.6.1 Den rasjonale formel

For nedbørsfelt med areal mindre enn 50 hektar, der feltet har en jevn karakter kan overvannsmengden beregnes med den rasjonale formelen (Bergen kommune 2005). Dersom feltet har uregelmessig utforming må alternative metoder vurderes (tid-areal metoden, summasjonsmetoden).

En systemanalytisk metode for å beregne avrenning kan gjøres ved hjelp av den rasjonale formelen (Norsk Vann 2012). Avrenning Q er gitt:

$$Q = \varphi \cdot A \cdot i \cdot Kf$$

Formel 3.5: Den rasjonale formel.

Q : Avrenning, [m^3/s], [l/s]

φ : Avrenningskoeffisient gitt fra [0 – 1]

A : Avrenningsarealet til nedbørsfeltet, [m^2], [ha]

i : Nedbørsintensiteten, [m/s], [$\frac{l}{s \cdot ha}$]

Kf : Klimafaktor [0 – 1]

Klimafaktoren er knyttet til den globale oppvarmingen jorda står ovenfor som skaper mer intense nedbørshendelser. Analyser av regnintensiteter på ulike norske nedbørstasjoner i årene 1968 – 2000 har vist en økning på opptil 40 – 50 % (Lindholm et al. 2008). Nevnt tidligere

har IPCC også simulert en økning i nedbørintensitet opp mot 40 - 50 % i Norden (Stocker et al. 2013).

Ved beregning av den rasjonale formelen forutsettes det at (Bjerkholt 2012):

- Nedbøren er fordelt over hele feltet og er konstant med hensyn på tid
- Feltet har tilnærmet rektangulær form
- At avrenningskoeffisienten ikke endres under regnskylllet og at vann ikke lagres i rørsystem/vassdrag

3.6.2 Avrenningskoeffisient

Avrenningskoeffisienten er avhengig av overflatens permeabilitet og beskaffenhet, fallforhold, nedbørintensitet og nedbørsvarighet (Bergen kommune 2005). Tabell 3.4 og Tabell 3.5 gir en veiledning for avrenningskoeffisienter for ulike overflatetyper, men deltakende tette flater, arealstørrelse, arealets fallforhold og grunnforhold må bli tatt i betraktning. For flate og permeable overflater med stor avstand ned til grunnvannsnivå benyttes de lavere verdiene, de høyeste verdiene benyttes for bratte og tette overflater med høyt grunnvannsspeil, Tabell 3.4 og Tabell 3.5 (Bergen kommune 2005) (Statens Vegvesen 2011).

Tabell 3.4: Retningslinjer for avrenningskoeffisient, ϕ (Bergen kommune 2005).

Overflatetype	Avrenningskoeffisient, ϕ
Tette flater (tak, asfalterte plasser..)	0,85 – 0,95
Bykjerne	0,70 – 0,90
Rekkehus/leilighetsområder	0,60 – 0,80
Eneboligområder	0,50 – 0,70
Grusveier/plasser	0,50 – 0,80
Industriområder	0,50 – 0,90
Plen, park, eng, skog, dyrket mark	0,30 – 0,50
Fjellområde uten lyng og skog	0,50 – 0,80

Tabell 3.5: Avrenningskoeffisient for ufrosset overflate (Statens Vegvesen 2011).

Overflatetype	Avrenningskoeffisient, ϕ
Betong, asfalt, bart fjell og lignende	0,6 – 0,9
Grusvei	0,3 – 0,7
Dyrket mark og parkområder	0,2 – 0,4
Skogsområder	0,2 – 0,5

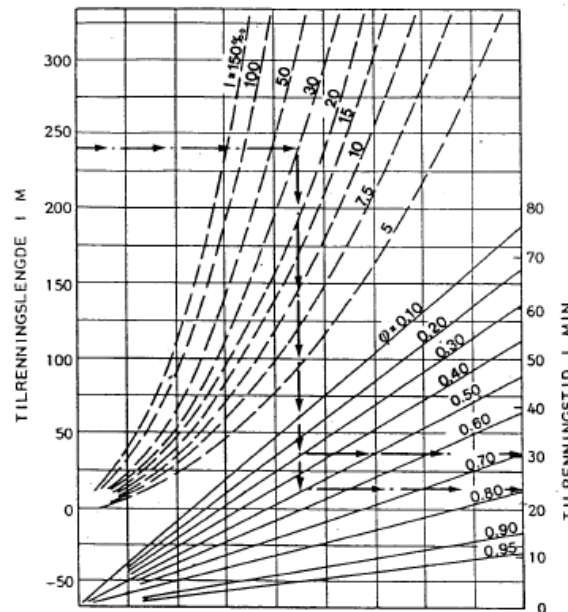
3.6.3 Konsentrasjonstid

Konsentrasjonstid (t_k) er den lengste tiden det tar for vann som faller på bakken i nedbørfeltets fjerneste punkt å nå fram til det punkt hvor vannmengden skal beregnes. Dette blir summen av avrenningstid på markoverflaten (t_t) og strømmingstid i ledninger (t_s). Avrenning på markoverflaten (t_t) er tiden en vannpartikkel bruker fra feltets ytterpunkt til den når nærmeste

sluk/kum. Dette kan vurderes enten ved hjelp av nomogrammer eller formler. Strømningstid (t_s) i ledninger er forholdet mellom ledningens lengde og vannhastighet.

Forklaring av tre ulike beregningsmetoder for konsentrasjonstid:

- Fra Bergens overvannsveiledning (Bergen kommune 2005):



Figur 3.12: Nomogrammet er vist for beregning av avrenning på overflaten, (t_t) (Bergen kommune 2005).

Avrenning på markoverflaten, t_t finnes ved avlesning av nomogrammet, Figur 3.12.

Formel for strømningstid i rør:

$$\text{Strømningstid, } t_s = \frac{l}{v} \text{ [s]}$$

Formel 3.6: Strømningstid, t_s .

l : Ledningens lengde

v : Hastigheten i røret

$$\text{Konsentrasjonstid, } t_k = t_t \text{ (Figur 3.12) } + t_s \text{ (Formel 3.6)}$$

- Etter J. Otnes og E. Ræstad «Hydrologi i praksis» (Otnes & Ræstad 1973):

Tabell 3.6: Dersom det er gatesluk i veier og gater kan avrenning på overflaten, t_t gis disse verdier:

Område med gatesluk og vei	(t_t) [minutter]
Meget tett bebyggelse:	5
Tett sentrumsbebyggelse:	6
Rekkehusbebyggelse med hager:	7
Åpen bebyggelse:	8
Villabebyggelse med store hager:	9

$$\text{Konsentrasjonstid, } t_k = t_t \text{ (Tabell 3.6) } + t_s \text{ (Formel 3.6)}$$

- Vegvesenet Håndbok018 (Statens Vegvesen 2011):

Konsentrasjonstid for naturlige felt (skogsområder, ikke utbygde felt):

$$t_k = 0,6 L H^{-0,5} + 3000 Ase$$

Formel 3.7: Konsentrasjonstid for naturlige felt

Konsentrasjonstid for urbane felt (utbygde felt):

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

Formel 3.8: Konsentrasjonstid for urbane felt

t_k : Konsentrasjonstid [min]

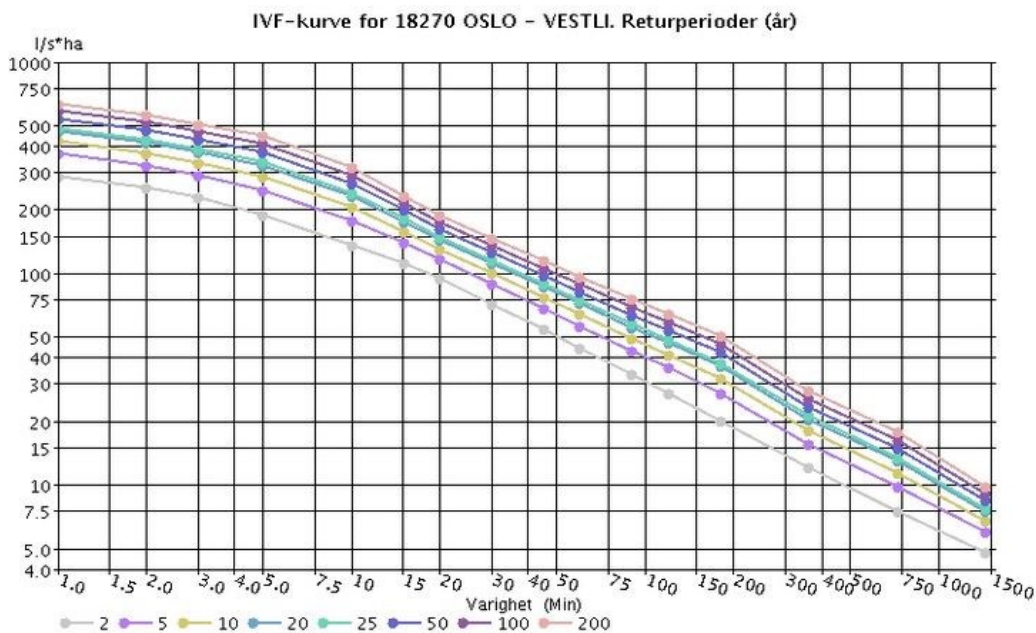
L : Lengden av feltet [m]

H : Høydeforskjellen i feltet [m]

Ase : Andel innsjø i feltet, forholdstall

3.7 Regndata Nedbør (IVF kurve)

Intensitet varighet frekvens (IVF) kurver er maksimal nedbørintensitet for valgte returperioder. Det er uavhengige nedbørsepisoder som ikke trenger å være sammenhengende. IVF kurven er logaritmisk. Kurven er gitt for ulike returperioder, 2 - 200 år (Metrologisk Institutt 2010).



Figur 3.13: IVF kurve Vestli (Metrologisk Institutt 2010).

Figur 3.13 viser IVF kurven for Vestli. Horizontal akse er nedbørvarighet [min] og vertikal akse viser nedbørintensiteten $[\frac{l}{s \cdot ha}]$.

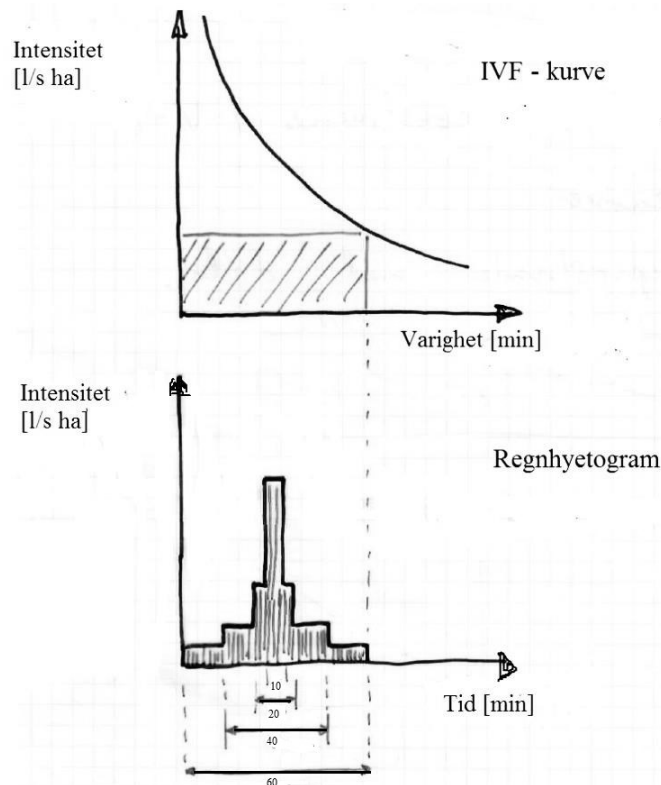
Nedbørintensitet oppgis som $\frac{mm}{min}$ eller $\frac{l}{s \cdot ha}$:

$$\frac{l}{s \cdot ha} = 60 \cdot 10^{-4} \frac{mm}{min}$$

Formel 3.9: Benevninger for nedbørintensitet.

Nedbør har sjelden konstant intensitet. For å få en mer realistisk fremstilling av nedbørsforløpet der både forregnet og etter regnet blir tatt med i betraktningen konstrueres et

regnhyetogram, Figur 3.14. Et «kasseregn» med regnvarighet lik avløpsfeltets konsentrasjonstid velges fra IVF kurven.



Figur 3.14: Prinsipp for konstruksjon av et regnhyetogram fra IVF – kurve (Lindholm 2013c).

Ved konstruksjonen av et regnhyetogram antar man at hyetogrammet er symmetrisk om midtaksen og at regnvolumet som ligger innenfor de mest intensive minuttene i hyetogrammet nøyaktig skal tilsvare et «kasseregn» av varighet x minutter (Lindholm 2013c).

3.8 Beregningsmetode i SWMM

Forutsetninger for beregning:

- (1) Avrenningsverdiene bør starte på tilnærmet lik null (tørrværsavrenning)
- (2) Plussgrader under tidsseriene
- (3) At det ikke er snø eller frost i bakken

De fysiske prosessene i SWMM omhandler:

- Overflateavrenning
- Infiltrasjon
- Strømningsberegning
- Oversvømmelse ut av kum

De fysiske prosessene som er utelatt på grunn av forutsetningene 1, 2, 3 og målsetting for oppgaven:

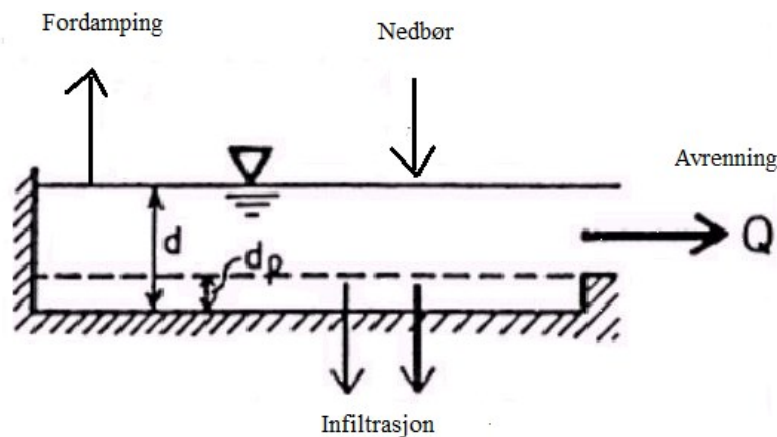
- Grunnvann: Ved å velge avrenningsverdier som starter på tilnærmet null neglisjeres grunnvannstilslaget.
- Snøsmelting: Ved å anta plussgrader og ikke noe snø eller frost blir snøsmelting utelatt fra beregningsmetoden.

- Vannkvalitet: Ettersom det ikke var en del av problemstillingen i oppgaven er det utelatt, men det kan være fremtidig arbeid dersom Tokerudbekken skal minimere tilførselen av forurensning fra overvannsnettet.

Forklaring av de fysiske prosessene:

- Overflate avrenning:

Hvert delareal blir antatt som et ikke-lineært reservoar. Input parameter i modellen er nedbør. Dette genererer infiltrasjon, evaporasjon og overflateavrenning. Overflaten har reservoar på permeable og impermeable flater som er valgfrie parametere gitt i SWMM som maksimal gropmagasinering (Tabell 13.1, Vedlegg B). Overflateavrenning opptrer når maksimal gropmagasin, d_p overstiges, Figur 3.15.



Figur 3.15: Overflateavrenning oppstår når gropmagasinet d_p overstiges (Rossman et al. 2010).

Avrenningen blir beregnet med Mannings formel, der dybden av vann over delarealet kontinuerlig blir oppdatert i programmet.

Mannings formel:

$$Q = \frac{1000 \cdot A \cdot R^{2/3} \cdot S^{1/2}}{n}$$

Formel 3.10: Mannings formel

Q : Vannmengde [l/s]

A : Areal av våt mengde

$W.P$: Våt omkrets (bue) av røret

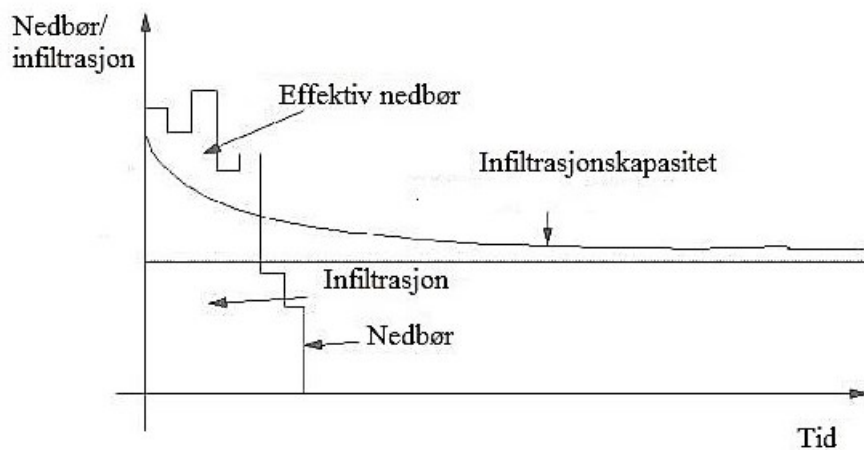
R : Hydraulisk radius [$A/W.P$]

S : Fall på ledning [%]

n : Mannings ruhetskoeffisient

- Infiltrasjon:

Infiltrasjon er prosessen når nedbør går ned til umettet sone av de permeable områdene. Enhetshydrogrammetoden antar lineær sammenheng mellom effektiv nedbør og flomavrenning, Figur 3.16.



Figur 3.16: Hortons infiltrasjonsmodell, grafen illustrerer eksponentiell avtakende infiltrasjonskapasitet (Sælthun 2013).

Effektiv nedbør er differansen mellom nedbør og infiltrasjon til grunnen. Flomavrenning er totalavrenning minus grunnvannsforløp (Sælthun 2013). Ved å anta at flomavrenningen kommer fra et nedbøroverskudd er volumet av den effektive nedbøren gitt, men ikke infiltrasjonsforløpet. Hortons ligning er basert på empiriske observasjoner som indikerer at infiltrasjonskapasiteten er konstant over hele området og varierer med tiden etter en eksponentielt avtakende kurve mot en konstant verdi f_c , Figur 3.16 og Formel 3.11.

Hortons ligning:

$$f(t) = (f(0) - f_c)e^{-\frac{t}{c}} + f_c$$

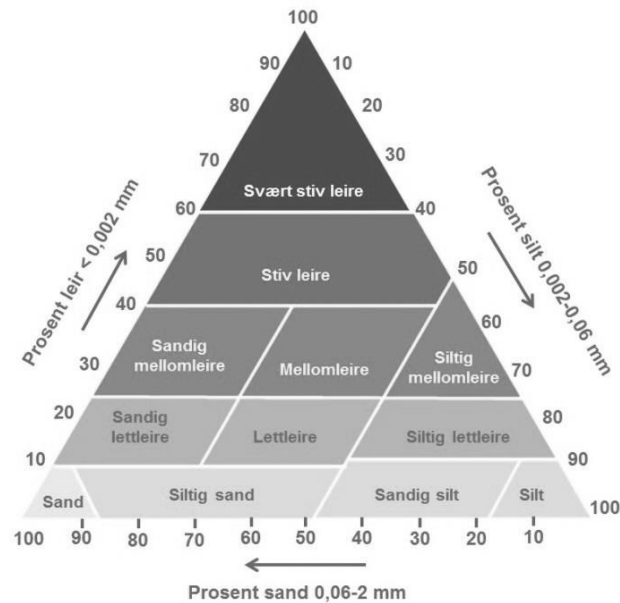
Formel 3.11: Hortons ligning for infiltrasjon.

$f(t)$: Infiltrasjonskapasiteten

c : Tidskonstant

f_c : Konstant for infiltrasjonskapasitet gjennom mettede forhold

Grunnvannet er det vannet som fyller porene og sprekkene i grunnen under oss. Mengden av porer og sprekker bestemmer løsmassenes porøsitet. Jordlag har ulik porøsitet og dermed ulik infiltrasjonskapasitet. Sand har størst infiltrasjonskapasitet fordi kornenes størrelse danner store hulrom. Silt har mindre kornstørrelse enn sand og dermed mindre infiltrasjonskapasitet. Leire har en tettpakket struktur som gir en lav infiltrasjonskapasitet. Innenfor disse hovedgruppene er det underkategorier som følge av at jordlagene blandes sammen vist med kornfordelingsdiagram i Figur 3.17.



Figur 3.17: Trekantet kornfordelingsdiagram over mineraljord er silt, sand og leire i hvert sitt hjørne (Yara 2014).

I SWMM er infiltrasjonsparametere som kreves; maksimum og minimum infiltrasjons rate, tidskonstanten c (Formel 3.10) og tiden det tar for jorden å bli tørr, gitt i

Tabell 13.2,

Tabell 13.3 og

Tabell 13.4 i Vedlegg B.

- Strømningsberegning:

SWMM er en fysikalsk basert diskret tidssimuleringsmodell. Den benytter bevaring av masse, energi og moment til å løse St. Venants ligningene numerisk (Rossman et al. 2010):

$$\frac{\partial y}{\partial t} + D_h \frac{\partial V}{\partial x} + V \frac{\partial y}{\partial x} = 0$$

Formel 3.12: St. Venants ligning- Kontinuitetsligningen.

$$\frac{\partial V}{\partial t} + V \frac{\partial y}{\partial x} + \frac{\partial y}{\partial x} = g(S_0 + S_f)$$

Formel 3.13: St. Venants ligning – Momentligningen.

V : Vannhastighet

y : Vanndybde

D_h : Hydraulisk dybde, A/B

A : Strømningsareal

B : Bredden på vannoverflaten

S_0 : Bunnen av rør

S_f : Helning til energilinjen

x : Lengden til røret

t : Tiden

g : Gravitasjonskonstanten

Strømningsberegning kan deles opp i tre kategorier ut i fra hvor mye St. Venants ligning blir forenklet:

Stabil strømning: Representerer den enkleste formen, antar at for hvert beregningssteg så er volumstrømmen stabil og uniform.

Kinematisk strømning: Beregner kontinuitetsligningen, Formel 3.12, sammen med en forenklet form av moment ligningen, Formel 3.13, for hver ledning.

Dynamisk strømning: Løser hele St. Venants strømningsligning i en dimensjon og gir dermed teoretisk best resultat. I motsetning til de to enklere utgavene kan dynamisk strømning beregne; kanal lagring, bakevje, tap ved innløp og utløp, strømningsendring og strømning under trykk (Rossman et al. 2010).

- Oversvømmelse ut av kum:

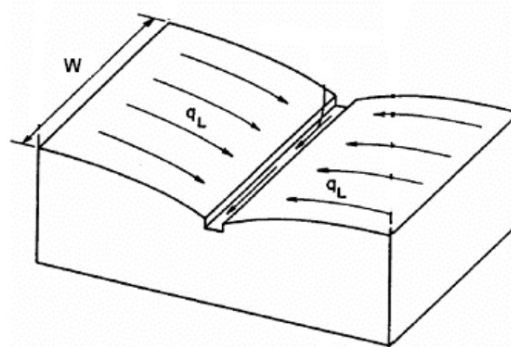
Under dynamisk strømning sammenlignes vannivået i kummer og volumstrømmen i ledninger. Når volumstrømmen overgår kapasiteten til ledningen vil det ekstra volumet enten forsvinne fra systemet eller bli lagret helt til systemet har kapasitet til å transportere det videre.

3.8.1 Parametere i SWMM

Alle parameterne i SWMM som ikke omhandler ledningsnettets må bli lagt inn manuelt. Alternativene er presentert fra SWMM brukermanual i Vedlegg B (omregnet fra tommer til meter).

Parametere som blir beregnet:

- Delareal: Tegnes inn ved hjelp av kotehøydene på kart i Gemini og påkobling av takrennene til overvannsnettets. Disse har ulik sammensetning avhengig av andelen tette flater som tilfører ledningsnettets avrenning i ulik grad.
- Bredden på delareal: Bredden til overvannsavrenningen tilsvarer konsentrasjonstiden for hvert delareal, illustrert med Figur 3.18 (w er bredde, q_L er overvannsavrenningen). Blir beregnet ved å dividere delarealet på den gjennomsnittlige avstanden fra ytterste punkt i delarealet til avrenningen går i kum eller sluk.



Figur 3.18: Bredden på overvannet (Rossman et al. 2010).

- Tette flater: Blir utregnet ved å måle opp arealet på vei, hustak og andre flater der vann ikke kan infiltrere ned i grunnen ved hjelp av kartdata, norgeskart, Gemini og/eller GIS (Dalløkken - GIS 2014) og beregne andelen i prosent for hvert delareal.
- Andel tette flater uten grop magasinerings: Blir oppgitt med en prosentandel [0 - 100 %].
- Helning på delfelt [%]: Ved hjelp av kartverk (Gemini eller Norgeskart) blir helningen regnet ut:

$$a = \frac{Kotehøyde2 - Kotehøyde1}{Lengde} \cdot 100 \%$$

Formel 3.14: Helning på delfelt.

Parametere som blir valgt ut i fra SWMM manualen (Rossman et al. 2010) (Vedlegg B):

- Ruhet impermeable flater, Tabell 13.5.
- Ruhet permeable flater, Tabell 13.6.
- Ruhet rør, Tabell 13.7.

4 ANALYSEOMRÅDET – VESTLI

Kapittel 4 beskriver nedbørsfeltet, jordsmonn og bebyggelse, og måleinstrumentene benyttet på urbanstasjonen på Vestli.

4.1 Nedbørsfeltet

Vestli er et boligstrøk som ligger nordøst i Oslo med Gjelleråsmarka som nærmeste nabo. Landskapet består av boligblokker, T-bane, skoler, barnehager og kjøpesentre. Jordsmonnet er klassifisert av NGU til å bestå av et tykt dekke med fyllmasse (Norges Geologiske Undersøkelser 2011), Figur 4.2a.



Figur 4.1: Jordsmonnet på Vestli består av fyllmasser (grå farge), bart fjell (rosa farge) og tykk havavsetning langs Tokerudbekken (blå farge) (Norges Geologiske Undersøkelser 2011).

Fra Tokerudtjern renner Tokerudbekken gjennom Vestli og videre ut i Alnaelven, Figur 4.2. Alna er byens lengste vassdrag i byggesonen. Det starter i Lillomarka og har fall ned til utløpet i Bjørnvika. Vassdraget mottar store mengder avrenning fra trafikkerte veier og kloakk som skyldes feil på avløpsnettet. Utbedringer de senere årene har ført til bra vannkvalitet i de øvre delene av Alna og Tokerudbekken (Vann- og avløpsetaten 2012).



Figur 4.2: Alnavassdraget (Vann- og avløpsetaten 2012).

4.1.1 Utbygging

Bydel Stovner har pr 1. januar 2014 en befolkningsprognose på 31 044 innbyggere (Akershus fylkeskommune & Oslo kommune 2010). Bydelen ligger nord i Groruddalen og avgrenses av Trondheimsveien og bygrensen mot Skedsmo og Nittedal. Bydel Stovner består av distriktene

Høybråten, Haugenstua, Stovner og Vestli. Bydelen har mange grønne områder, bo områder med bilfri indre sone og nærhet til marka (Bydelsdirektør 2010). I 2012 ble det igangsatt 7 boliger i bydel Grorud (Oslo kommune 2014). Befolkningsvekst fra 2013 til 2014 er 3,07 %, Tabell 4.1.

Tabell 4.1: Befolkningsprognose bydel Stovner, fra 2013 til 2014 har befolkningen økt med 3,07 %

År	Befolkningsprognose bydel Stovner
2012	30 570
2013	30 765
2014	31 709

4.2 Urbanstasjonen på Vestli

Urbanstasjonen ble opprettet i 1974 og er i fortsatt i drift. Overvannet dreneres til kummer i vei og ved direkte påkobling av takrenner til overvannsnett der totalvolumet blir målt i urbanstasjonen før det renner ut i Tokerudbekken, Figur 4.3a og b. Arealet til nedbørsfeltet er 30,2 hektar. Nettet har separate overvann og spillvannskummer. Rørtypen består av betong og ble lagt i perioden 1969-1972 (Gemini VA 2014).



Figur 4.3: a) Bildet til venstre viser urbanstasjonen på Vestli(Møen 2014). b) Bildet til høyre er kart over Vestli, overvannet dreneres til urbanstasjonen i et separat ledningsnett.

Urbanstasjonen måler nedbør og avrenning ved hjelp av nedbørmåler, V-overløp og flottør:

4.2.1 Nedbørmåler

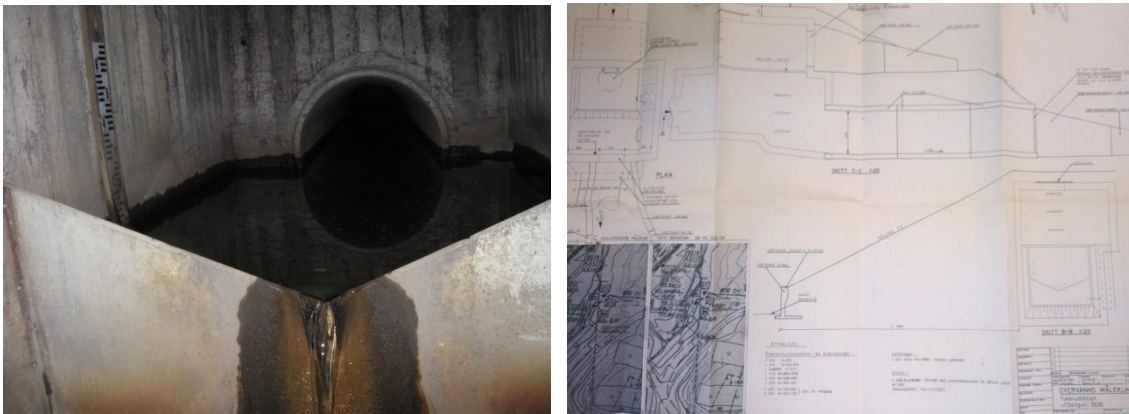
Nedbørmålere benyttet på Vestli har vært vippekar og kasseregner. Den nyeste nedbørmåleren er et vippekar med oppvarmet glødetråd, såkalt Lambrecht, Tabell 4.2.

Tabell 4.2: Nedbørmålere benyttet på urbanstasjonen på Vestli er Plumatic, Geonor og Lambrecht.

År	Navn	Funksjonalitet
1974	Plumatic	Vippekar
1998-2001	Geonor	Kasseregner, måler vekten av nedbør
Fra 2013	Lambrecht	Vippekar med oppvarmet glødetråd

4.2.2 V-overløpet

På Vestli er det et V-overløp, Figur 3.14a, på VAV befant skissetegningen over V-overløpet fra stasjonen ble bygget, Figur 3.14b.



Figur 4.4: a) Bildet til venstre viser V-overløpet på Vestli (Møen 2014). b) Bildet til høyre illustrerer skissetegning av V-overløpet (Øyen 1987).

Målinger er basert på punkter fra teoretisk sammensatt V-profil under rektangulært-profil. Formelen for V-overløp:

$$Q = C(h - h_0)^b$$

Formel 4.1: V-overløp.

h_0 : Bunnvannstand [m]

h : Effektiv vannstand over spissen av den V formede overløpsterskelen [m], målt med flottør

C : En kombinasjon av geometrien av profilet, helning og elvesidas ruhet

b : Angir formen på elveprofilen

($b=1,5$ for rektangulært overløp, $b=2,5$ for V-profil)

V-overløp Vestli Segment 1 & 2. Når vannstanden kommer over første segment, brukes samme formel for utrekning, men med andre forkunnskaper (Dalen 2014):

$$\text{Segment 1: } Q = 3,1595 h^{2,402}$$

Formel 4.2: V-overløp Vestli Segment 1.

Definisjonsområde h [0 – 0,2979]

$h_0 = 0$ (bunn av V – profil)

$$\text{Segment 2: } Q = 2,725(h - 0,112)^{1,6968}$$

Formel 4.3: V-overløp Vestli Segment 2:

Definisjonsområde h [0,2979 – 1,18]

Målekontroll av V-overløpet på Vestli og skissetegning av V-overløpet (Figur 4.4b) viste at høyden opp til kanten av Ven var 0,33 meter og ikke 0,2979. Befaring utført av NVE 15.04.2014 på stasjonen fikk samme høyde opp til Ven. Dette fører til et endret definisjonsområde for segment 1 og segment 2.

4.2.3 Flottør og trykksensor

Ulike flottørtyper har blitt brukt på Vestli, Tabell 4.3.

Tabell 4.3: Flottørtyper brukt på Vestli er Handar, Sutron og Leine&Linde.

<i>År</i>	<i>Navn</i>	<i>Funksjonalitet</i>
1998-2014	Handar	Optisk encoder, [1 mm/1 min]
1998-2006	Sutron	Encoder og trykceller, [4 mm/5 min]
1995-2004	Leine&Linde	Optisk encoder, [1 mm/1 min]

Flottørtypen som er i bruk 2014 er Handar Optisk encoder.

Det har blitt installert en trykksensor i 2013, «Aquistar». Optimalt registrerer den for hver mm heving av vann der trykket gjøres om til cm vannstand. Den har ikke fungert optimalt og for det meste av tiden har målingene vært basert på flottøren Handar encoder (Møen 2014).

5 METODE 1

I Metode 1 ble overvannavrenning beregnet fra nedbørsfeltet på Vestli, en primær SWMM modell ble konstruert og kalibrering av denne til en sekundær SWMM modell.

5.1 Beregning av overvannsmengder

For beregning av overvannsmengder med den rasjonale formel, trengtes informasjon om nedbørsfeltets areal, avrenningskoeffisient, konsentrasjonstid, nedbørintensitet og klimafaktor, Formel 3.5.

Arealet på nedbørsfeltet ble 30,3 hektar. Totalt andel tette flater var 8,4 hektar. Av de tette flatene var det 5 hektar som var tak og 3,4 hektar var vei (Dalløkken - GIS 2014). Den prosentvise andelen tette flater ble dermed 27,7 %. Bernt V. Matheussen gjorde et post doc prosjekt i 2006 der han fant andelen tette flater til å være 30 % i nedbørsfeltet på Vestli (HYDRA II 2006). Det er uvisst hvor stor andel av de tette flatene som bidrar med avrenning til ledningsnettet.

Konsentrasjonstiden i nedbørsfeltet ble beregnet slik at nedbørintensiteter fra IVF kurven på Vestli kunne bli benyttet. Parameterne tilrenningslengde (gjennomsnittlig avstand fra de tre ytterste punktene i nedbørsfeltet til nærmeste sluk/kum), lengde av feltet (gjennomsnittlig avstand fra de tre ytterste punktene i nedbørsfeltet til utløpet), gjennomsnittlig helning for delfeltene, gjennomsnittlig tette flater, ledningens lengde fra utløp til feltets ytterste punkt, hastighet i rør og høydeforskjell i feltet utgjorde beregningsgrunnlaget for konsentrasjonstiden for feltet, gitt i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Beregningsgrunnlag for konsentrasjonstiden i nedbørsfeltet.

Grunnlag for beregning av konsentrasjonstid	Beregningsgrunnlag, konsentrasjonsti, t_k
Tilrenningslengde, [m]:	67,3
Lengde av feltet, L [m]:	764,0
Gjennomsnittlig helning for delfeltene [%]:	80
Gjennomsnittlig tette flater, ϕ [%]:	27,7
Ledningens lengde fra utløp til feltets ytterste punkt, [m]:	997,1
Hastighet i røret, v [m/s]:	2
Høydeforskjell i feltet fra årsrapport[m]:	90

Feltet har en stor høydeforskjell (90 meter) som generer avrenning ned mot Tokerudbekken som er det laveste punktet i nedbørsfeltet.

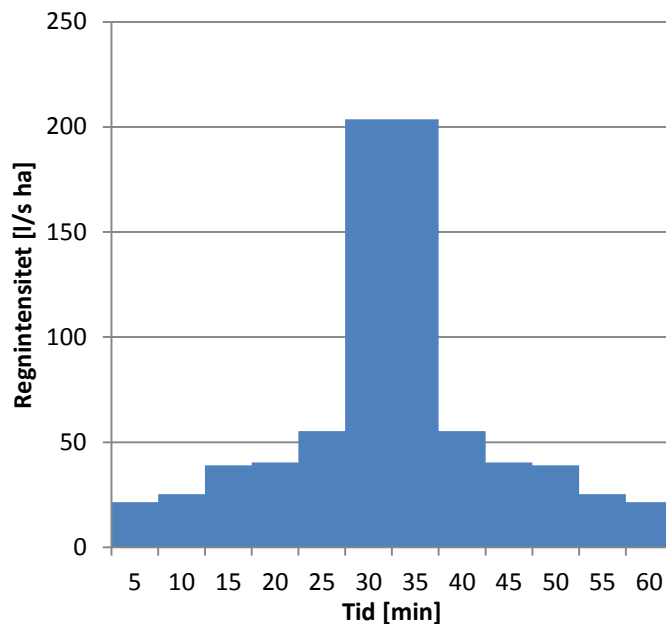
I Rapport 24 fra 1995, «Urban avrenning» av Steinar Myrabø ble konsentrasjonstiden på Vestli beregnet ved hjelp av Formel 3.8 til å være 11 minutter (Myrabø 91). Konsentrasjonstiden for feltet ble beregnet på tre ulike måter og sammenlignet med Steinar Myrabøs beregning av konsentrasjonstid på Vestli, Tabell 5.2.

Tabell 5.2: Gjennomsnittlig konsentrasjonstid på Vestli.

Beregningsgrunnlag	Konsentrasjonstid, t_k
Bergens overvannsveiledning	14,3
Etter J. Otnes og E. Ræstad «Hydrologi i praksis»	15,3
Håndbok 018	7,2
Steinar Myrabø	11
Gjennomsnitt (tk)	12

Gjennomsnittlig konsentrasjonstid, t_k på Vestli ble 12 minutter, tilnærmet 10 minutter for utvelgelse av nedbørintensiteter.

Fra IVF kurvene for Vestli, Figur 3.13 ble nedbørintensiteten for et 10 års regn med konsentrasjonstid på 10 minutter valgt til beregning av et symmetrisk regnhyetogram, Figur 5.1.



Figur 5.1: Regnhyetogram for et 10 års regn på Vestli.

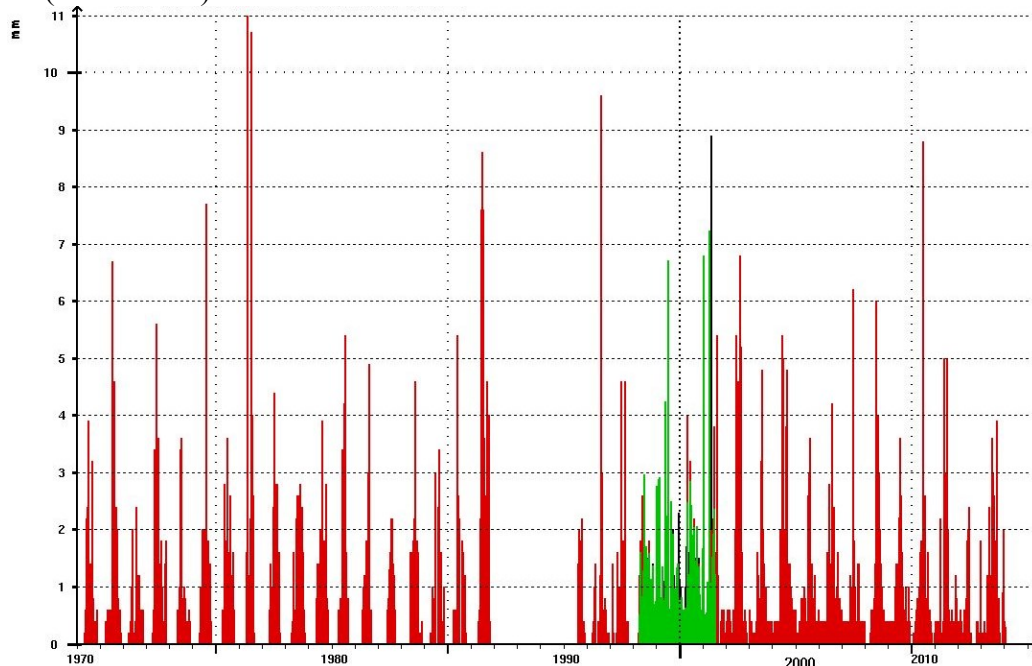
Beregning med den rasjonale formel (Formel 3.5) for avrenningen fra nedbørsfeltet uten og med 50 % klimatillegg for et 10 års regn:

$$Q = \varphi \cdot A \cdot i = 0,277 \cdot 30,3 \cdot 203,7 \frac{l}{s \cdot ha} = 1709 \text{ l/s}$$

$$Q = \varphi \cdot A \cdot i \cdot Kf = 0,277 \cdot 30,3 \cdot 203,7 \frac{l}{s \cdot ha} \cdot 1,5 = 2564 \text{ l/s}$$

5.1.1 Nedbør og avrenning fra Hydra II

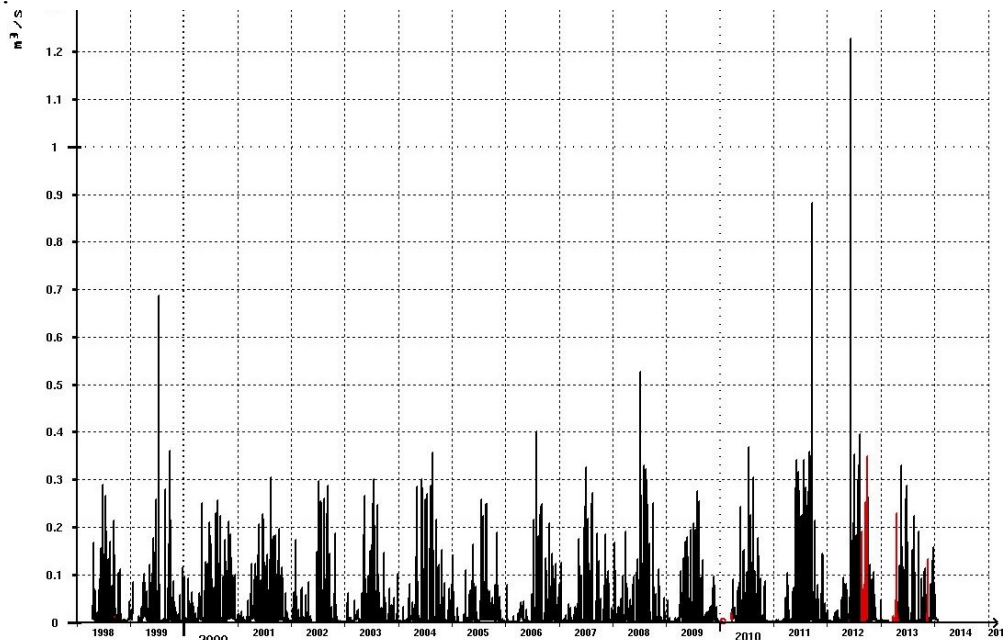
Representativ nedbør og avrenningsdata med lavest mulig tidssteg på 5 minutter ble hentet fra Hydra II. Den lengste perioden for middelverdi nedbør med lavest tidssteg er vist i rødt på Figur 5.2 (nedbør v:1).



Figur 5.2: Middelverdi nedbør, tidsoppløsning på 5 minutter. Rødt plott v:1. Svart plott v:2. Grønt plott v:3.

Nedbørintensitet er vist på y-aksen, benevning er mm. På x-aksen er tiden plottet med 5 minutters intervall fra 1970 til 2014.

Vannføring med lavest tidssteg var plottet fra 1998 vist i Figur 5.3 (vannføring v:2). På grunnlag av dette ble innhenting av nedbør og avrenningsdata gjort i perioden fra 1998 fram til 2014.



Figur 5.3: Middelverdi vannføring, tidsoppløsning på 5 minutter. Svart plott v:2. Rødt plott er korrelert vannføring.

Avrenning er vist på y-aksen, benevning er m^3/s . På x-aksen er tiden plottet med 5 minutters intervall fra 1998 til 2014.

For urbanstasjonen på Vestli ble serienummereringen (forklart nærmere i Vedlegg F):

1. Stasjonsnummer: 6
2. Hoved nummer: 12
3. Punktnummer: 0
4. Parameter: Vannføring: 1001, Nedbør: 1000 0
3. Versjonsnummer: Vannføring: v:2, Nedbør:v:1

IVF - kurven i Figur 3.13 er fremstilt i Tabell 5.3 med benevnning [mm].

Tabell 5.3: IVF kurve for nedbør [mm] på Vestli.

År	1 min.	2 min.	3 min.	5 min.	10 min.	15 min.	20 min.	30 min.	45 min.	60 min.
2	1.7	3	4.1	5.6	8.1	10	11.3	12.8	14.7	15.9
5	2.2	3.9	5.2	7.4	10.6	12.5	13.8	15.9	18.4	20.3
10	2.5	4.4	6	8.5	12.2	14.2	15.5	18	20.8	23.1
20	2.8	4.9	6.7	9.6	13.8	15.7	17.2	19.9	23.1	25.8
25	2.9	5.1	6.9	10	14.3	16.2	17.7	20.6	23.9	26.7
50	3.2	5.6	7.6	11.1	15.8	17.8	19.3	22.5	26.2	29.4
100	3.5	6.2	8.3	12.2	17.3	19.3	20.9	24.4	28.5	32
200	3.8	6.7	9	13.3	18.8	20.8	22.5	26.3	30.8	34.7

Tabell 5.3 kan brukes til å vurdere returperioden for nedbørintensiteter vart i 10 minutter som er konsentrasjonstiden i nedbørsfeltet på Vestli.

5.2 Oppbygging av modell

Det første som ble gjort med oppbygging av overvannsmodellen i SWMM var å avgrense nedbørsfeltet rundt overvannsnett (vist i turkis i Figur 5.4) ved hjelp av polygoner (gult skraverte området i Figur 5.4). Delarealene ble tegnet inn på bakgrunn av høydekurvene i kartet og påkobling av takrenner til overvannsnett.



Figur 5.4: Nedbørsfeltet på Vestli (Gemini VA 2014).

Det andre som ble gjort var importering av ledningsnett fra Gemini til SWMM programmet. Manuell oppstreking av nedbørsfeltet ble tegnet i SWMM. Kum dybde var ikke registrert i

Gemini, derfor ble det antatt kum dybde på 2 meter ned fra høydekurvene i kartet. På den måten fulgte ledningene fallet i terrenget.

Det tredje som ble gjort var befaring sammen med Alexander Pham og Thomas Martinsen fra VAV for å avdekke kritiske punkter, Figur 5.5.



Figur 5.5: a) Øverste bildet viser SWMM modellen. b) Bildet nederst til venstre viser kritisk punkt 1. c) Bildet nederst til høyre viser kritisk punkt 2 (Gemini VA 2014).

Det var to kritiske punkter med fordelingskummer i overvannsnettet. Punkt 1 var ved utløpet til urbanstasjonen, Figur 5.5b. Kummen ble åpnet og det viste seg at røret som ledet vekk fra urbanstasjonen var murt igjen slik at det ikke forsvant noe vann fra overvannsnettet der. Punkt 2 var en fordelingskum i utkanten av nettet, Figur 5.5c. Kum (SID 274131) ble åpnet og det viste seg at overvannsledningen ut av feltet hadde en 39 cm høy terskel.

5.3 Beregningsmetode med SWMM modell

Bestemmelse av beregningsmetode for SWMM blir gjort ut i fra de fysiske prosessene, overflateavrenning, infiltrasjon, strømningsberegning og oversvømmelse ut av kum, Tabell 5.4. Ved oppbygging av den første modellen, primærmodellen ble parameterverdiene til de fysiske prosessene antatt ut i fra gyldighetsintervallet oppgitt i SWMM manualen (Rossman et al. 2010) (Vedlegg B).

Tabell 5.4: De fysiske prosessene som danner beregningsgrunnlaget i SWMM.

<i>Fysisk prosess</i>	<i>Parameter</i>
Overflateavrenning (Tabell 13.1)	Grop magasin permeable flater = 5 mm Grop magasin impermeable flater=1,6 mm
Infiltrasjon (Tabell 13.2, Tabell 13.3, Tabell 13.4)	Maksimum infiltrasjonsrate = 75 mm/t Minimum infiltrasjonsrate = 20 mm/t Tidskonstant, $c = 4 \cdot 1/t$ Tørketid til jorda = 7 dager
Strømningsberegning	Dynamisk
Oversvømmelse ut av kum:	Vann entrer systemet når kapasiteten er tilstrekkelig i ledningsnett

5.3.1 Parametere

Til primærmodellen ble parameterne beregnet ved hjelp av Gemini (delareal, bredde delareal, helning delareal) og GIS (tette flater) og valgt ut i fra SWMM manualen (ruhet impermeable og permeable flater, ruhet rør og andel tette flater uten gropmagasin) (Rossman et al. 2010) (Vedlegg B), Tabell 5.5.

Tabell 5.5: Primærmodellen ble basert på parametervalg fra SWMM manualen (Rossman et al. 2010) (vist i Vedlegg B).

<i>Primærmodellen</i>			
Beregnete parametere		Parametere valgt ut fra SWMM manual	
Delareal [antall]	41	Ruhet impermeable flater [n], (Tabell 13.5)	0,013
Bredde delareal,[m, gjennomsnitt]	71,5	Ruhet permeable flater [n], (Tabell 13.6)	0,24
Tette flater [%]	27,7	Ruhet rør, (Tabell 13.7)	0,013
Helning delareal [%, gjennomsnitt]	8	Andel tette flater uten grop magasin	0

5.4 Kalibrering

Kalibrering er å sammenligne et instrument mot et referansemateriale for å kunne gjenspeile virkeligheten. I modell oppbygging for Vestli er maksimal avrenningen (Q_{maks}) det viktigste beregningsgrunnlaget fordi det kan skape flom i overvannsnett. Til kalibreringen ble fem tilfeldige nedbørshendelser brukt til justering av parameterne og fem ble brukt til etterprøving av modellen.

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

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

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

Q_{maks}: Maksimal avrenning

Q_m: Målt maksimal avrenning

Q_b: Beregnet maksimal avrenning

Negativt fortegn: Målt avrenning er lavere enn beregnet avrenning.

Positivt fortegn: Målt avrenning er høyere enn beregnet avrenning.

Modellen med parameter justering som ga lavest absolutt gjennomsnittlig forskjell mellom målt og beregnet maksimal avrenning ble valgt til etterprøving av fem tilfeldige nedbørshendelser.

For å styrke kvaliteten på modellen var det tre steg som ble gjort: Modell verifikasjon, modellfølsomhet og modellvalidering/etterprøving (Buhler 2013b):

5.4.1 Modell verifikasjon

Modellen ble kjørt med konstruerte regnhyetogrammer. På «report» knappen i SWMM er det en «status» funksjon som analyserer kontinuitetsfeil der kum eller rør blir oppgitt med en prosentfeil, som systematisk kan bli rettet opp. Utregninger for hånd blir gjort for å være sikker på at modellen simulerer riktig (Buhler 2013b):

- Bruke den rasjonale formelen til å sammenligne total avrenningen fra nedbørsfeltet.
- Beregne hastigheten i rørstrekken.
- Undersøke om vannet kommer tilbake i kummen etter oversvømmelse.

5.4.2 Modelfølsomhet

Følsomhetsanalyse er et verktøy som kartlegger verdiene til parameterne for primærmodellen. Parameterne ble justert prosentvis opp og ned for å kartlegge hvilket utfall det hadde på totalavrenningen fra feltet. Dette ble illustrert i et stjernediagram, Resultat 1 (6.1.2).

5.4.3 Modellvalidering/etterprøving

Modellen ble sammenlignet med 5 tilfeldige nedbørshendelser for etterprøving og validering. Graden av god kalibrering ble gitt i form av F-verdi, basert på maksimal avrenning, totalvolumet for avrenningen og tidspunktet for maksimal avrenning, Formel 5.2. Dersom beregnet verdi tilsvarer den målte, vil F-verdien bli null. En lav F-verdi tilsier at modellen er virkelighetsbasert. Dersom etterprøvingen ga en høy F-verdi må det bli tatt en vurdering på parameterne og på systemet (Buhler 2013b). Etterprøving av modell for maksimal avrenning, total volum og tidspunkt for maksimal avrenning:

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

Formel 5.2: F-verdi.

V₁, V₂, V₃ er vektall til sammen 1,0

m: Målt verdi

b: Beregnet verdi

Q: Maks vannføring [l/s]

V: Volum [m³]

T: Tidspunkt for Q maks

6 RESULTAT 1

I kapittel 6 blir resultatene fra kalibreringen av primærmodellen til sekundærmodellen fremstilt.

6.1 Kalibrering 1

Ti nedbørshendelser ble valgt, fem ble brukt til justering (Tabell 6.1) og fem ble brukt til etterprøving av modellen (Tabell 6.2), vist i Vedlegg C.

Tabell 6.1: De fem nedbørshendelsene som ble brukt i justering av modellen. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].

<i>Nedbørshendelser brukt til justering</i>	<i>Avrenning Q_{maks} [l/s]</i>	<i>Maks nedbør [mm/5 min]</i>
19.08.2004	360	4,8
07.06.2011	340	5
12.07.2010	370	8,8
21.06.2013	260	3,6
01.05.2000	250	4

Nedbøren brukt til justering hadde maksimal nedbørintensitet fra $3,6 - 8,8 \frac{\text{mm}}{5 \text{ min}}$. Maksimal nedbørintensitet på $8,8 \text{ mm}$ varte i fem minutter, nedbørintensiteten før og etter var $0,5 \frac{\text{mm}}{5 \text{ min}}$. Gjennomsnittlig nedbørintensitet på ti minutter ble $\frac{8,8+0,5 \text{ mm}}{10 \text{ min}} = 9,3 \frac{\text{mm}}{10 \text{ min}}$. Det tilsvarte 2 – 5 års regn fra IVF kurven over Vestli, Tabell 5.3

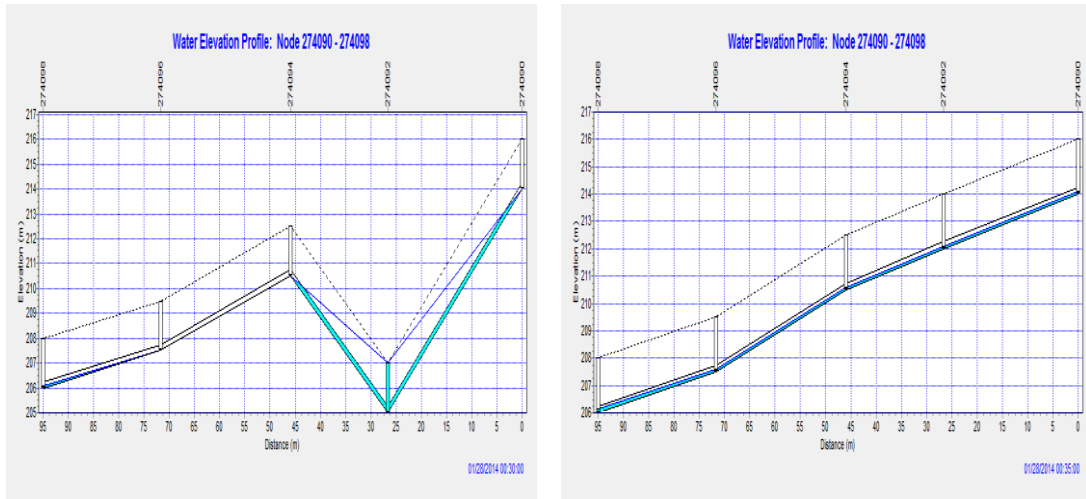
Tabell 6.2: De fem nedbørshendelsene som ble brukt til etterprøving av modellen. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].

<i>Nedbørshendelser brukt til etterprøving</i>	<i>Avrenning Q_{maks} [l/s]</i>	<i>Maks nedbør [mm/5 min]</i>
12.08.2002	260	6,8
01.07.2004	260	5
23.08.2005	250	3,6
15.07.2001	70	0,8
11.08.2009	250	1,6

For nedbørshendelsene brukt til etterprøving var det to med lave nedbørintensiteter på $0,8$ og $1,6 \frac{\text{mm}}{5 \text{ min}}$. Maksimal nedbørhendelse var $\frac{6,8+2 \text{ mm}}{10 \text{ min}} = 8,8 \frac{\text{mm}}{10 \text{ min}}$ som tilsvarte et 2-5 års regn (Tabell 5.3).

6.1.1 Modell verifikasjon

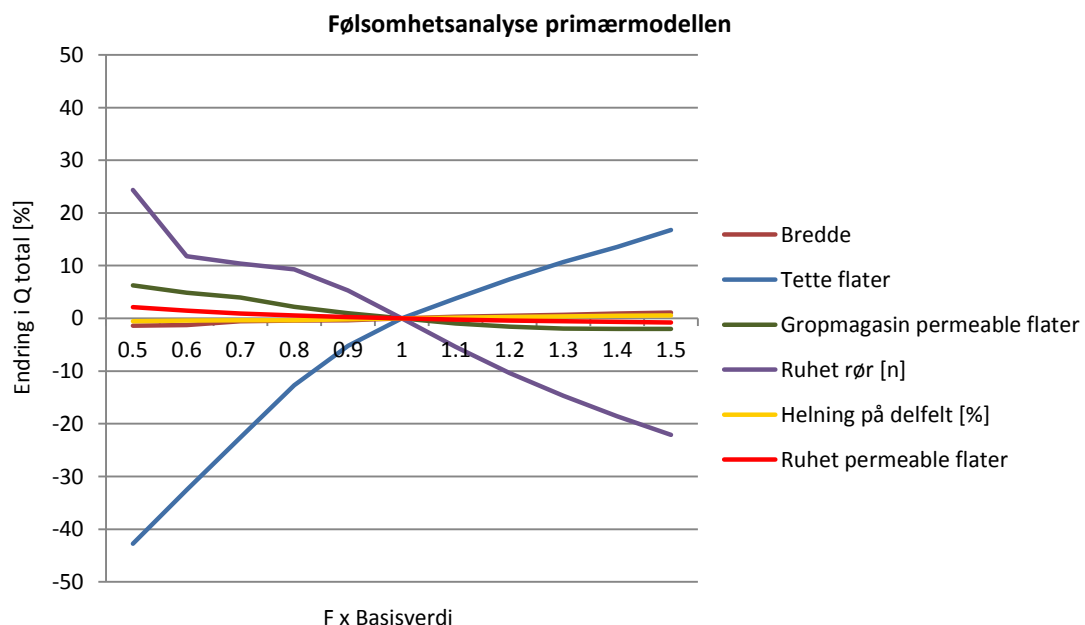
Kontinuitets feil som måtte rettes opp var kum høyder som ga oppstuvning i ledningsnett, vist til venstre i Figur 6.1. Hele nettet ble endret slik at ledningsfallet fra en kum til en annen ikke ga oppstuvning av vann, vist med bildet til høyre i Figur 6.1.



Figur 6.1: Feil kumhøyde ga kontinuitetsfeil, bildet til venstre viser før og bildet til høyre viser etter at feilen har blitt rettet opp.

6.1.2 Modelfølsomhet

Simulering av avrenning fra et 20 års regn i primærmodellen ga utslag på parameterne: «bredde delfelt», «tette flater», «gropmagasin permeable flater», «ruhet rør», «helning på delfelt» og «ruhet permeable flater» for total avrenningen fra nedbørsfeltet.



Figur 6.2: Følsomhetsanalyse av parameterne valgt i primærmodellen henholdsvis; bredde, tette flater, gropmagasin permeable flater, ruhet rør, helning på del felt og ruhet permeable flater.

Den prosentvise endringen i Q_{maks} er gitt på y-aksen og den prosentvise endringen av parameterne på x-aksen, Figur 6.2.

«Ruhet på rør» og «tette flater» ga størst utslag på total avrenningen. Ved å redusere «ruhet på rør» med 50 % økte total avrenningen med 25 %. En økning på 50 % førte til at total avrenningen ble redusert med 21 %. Ved å redusere «tette flater» med 50 % ble total avrenningen redusert med 42 %. En økning av tette flater med 50 % førte til 18 % økt total avrenningen. Parametere som ikke ga utslag på følsomheten var: «grop magasin tette flater», «ruhet tette flater», «gropmagasin tette flater» og «andel tette flater» og ble dermed utelatt fra Figur 6.2 og ikke vurdert videre i oppgaven. Horton maksimum og minimum infiltrasjonsrate ble ikke vurdert i følsomhetsanalysen.

6.1.3 Modellvalidering/etterprøving

Primærmodellen var utgangspunkt for kalibreringen og parameterne som ga utslag på følsomhetsanalysen ble justert slik at vannføringskurven til modellen ble lik som den målte vannføringskurven, vist i Vedlegg C. En reduksjon av «bredde delareal», «helning delareal», «tette flater» med 50 % og 60 % og en økning av «gropmagasin permeable flater» til 7 mm ga best gjennomsnittlig forskjell for beregnet maksimal avrenning sammenlignet med den målte avrenningen, utregnet med Formel 5.1. En reduksjon på 60 % ga 18,2 % gjennomsnittlig forskjell og en reduksjon på 50 % ga en gjennomsnittlig forskjell på 32,08 %, Tabell 6.3. For en parameter reduksjon på 60 % målte modellen en høyere maksimal vannføring for to av fem nedbørshendelser (19.08.2004 og 07.06.2011) vist med negative fortegn.

Tabell 6.3: Sammenligning med målt maks avrenning (Q_{maks}) for to typer primærmodell der bredde, helning tette flater og økning i gropmagasin permeable flater redusert med 50 % og 60 %. En reduksjon på 60 % ga best gjennomsnittlig forskjell sammenlignet med målte verdier for avrenning.

<i>Nedbørshendelse</i>	Q_{maks} <i>NVE</i> <i>[l/s]</i>	Q_{maks} <i>SWMM red</i> <i>50 %</i>	Q_{maks} <i>SWMM red</i> <i>60 %</i>	ΔNVE og <i>SWMM50 [%]</i>	ΔNVE og <i>SWMM60 [%]</i>
19.08.2004	360	488,6	405,8	35,7	-12,7
07.06.2011	340	600	449,7	76,5	-32,3
12.07.2010	370	516,9	334,2	-39,7	9,7
21.06.2013	260	254,4	197,7	2,2	23,9
01.05.2000	250	265,7	219,1	-6,3	12,4
Absolutt gjennomsnittlig forskjell [%]:				32,08	18,2

En reduksjon av parametere med 60 % fra primærmodellen ga best absolutt gjennomsnittlig forskjell mellom målt og beregnet maksimal avrenning. Den nye modellen, sekundærmodellen vist i Tabell 6.4 ble brukt til etterprøving.

Tabell 6.4: Primærmodellen blir sekundærmodellen ved å endre bredde, tetteflater, helning på del felt og gropmagasin permeable flater til 7 mm.

<i>Parametere</i>	<i>Sekundærmodellen</i>
Bredde delareal [m, gjennomsnitt]	$71,5 \cdot 0,4 = 28,6$
Tette flater [%, gjennomsnitt]	$27,7 \cdot 0,4 = 11,1$
Grop magasin permeable flater [mm]	7
Grop magasin tette flater [mm]	1,6
Helning på del felt [%, gjennomsnitt]	$8 \cdot 0,4 = 3,2$
Ruhet impermeable flater [n]	0,013
Ruhet permeable flater [n]	0,24
Ruhet rør [n]	0,013
Andel tette flater uten grop magasinerings	0
Horton infiltrasjon maks [mm/time]	75
Horton infiltrasjon minimum [mm/time]	20

Sekundærmodellen ble simulert for fem tilfeldige testregn for etterprøving og beregning av F-verdi, Tabell 6.5.

Tabell 6.5: Sammenligning av målte verdier med sekundærmodellen for fem testregn for å beregne F-verdien for kalibreringen

	12.08.02	01.07.04	23.08.05	15.07.01	11.08.09
Q_{maks} målt [l/s]	260	260	250	70	250
Q_{maks} beregnet [l/s]	442	280	273	30	80
Volum målt [m ³]	1011	1635	2007	534	270
Volum beregnet [m ³]	610	718	204	221	75
Tid Q_{maks} målt [hh:mm]	15:55	12:30	08:50	08:40	20:30
Tid Q_{maks} beregnet [hh:mm]	15:55	12:35	08:55	08:45	20:35

Resultatet av etterprøving viste at avrenningen fra sekundærmodellen ble 70 % høyere for nedbørshendelse 12.08.02 sammenlignet med den målte avrenningen. Avrenningen ble 57 % 68 % lavere for nedbørshendelse 15.07.01 og 11.08.09. Det var to nedbørshendelser (01.07.04 og 23.08.05) der avrenningen ble henholdsvis 7 % og 9 % høyere enn den målte avrenningen. Total volumet for avrenningen ble lavere for alle modellerte hendelsene. Tidspunktet for maksimal avrenning ble likt 12.08.02, men var fem minutter forskjellig for de fire andre hendelsene.

Formel 5.2 ble brukt for å finne F-verdi:

Vekttallene: $V_1 = 0,1$, $V_2 = 0,1$, $V_3 = 0,8$

$$\sum(Q_m - Q_b)^2 = 64\,553$$

$$\sum(V_m - V_b)^2 = 4\,421\,829$$

$$\sum(T_m - T_b)^2 = 125$$

$$F - verdi = 0,1 \cdot 64\,553 + 0,1 \cdot 4\,421\,829 + 0,8 \cdot 125 = 448\,738$$

7 DISKUSJON 1

Kapittel 7 omhandler beregning av overvannsmengder, oppbygging av SWMM modellen og Kalibrering 1.

7.1 Beregning av overvannsmengder

Beregning av overvannsmengder ble gjort ved hjelp av den rasjonale formel og modelleringsprogrammet SWMM. Beregning av avrenning gitt for et 10 års regn uten klimatillegg:

- Den rasjonale formelen: 1709 l/s.
- Primærmodellen: 1491 l/s.
- Sekundærmodellen: 596 l/s.

Det er omtrent 1000 l/s forskjell mellom sekundærmodellen og den rasjonale formel og primærmodellen.

Det er usikkerheter knyttet til den rasjonale formelen. Det er ikke alltid en direkte sammenheng mellom nedbør og avrenning slik som formelen impliserer, men et lite felt reduserer denne usikkerheten (Statens Vegvesen 2011). Forutsetningene for beregning holder ikke helt mål for nedbørfeltet ettersom det ikke har tilnærmet rektangulær form (mer stjerneformet), og det er usikkert hvordan avrenningskoeffisienten oppfører seg under regnskyll (om den er konstant). Ved utregning av nedbørintensitet fra IVF kurven antas det uniform fordelt nedbør over hele feltet. Det er usikkerheter knyttet til frekvenskurven for nedbør fordi korte dataserier gir usikkerhet for lange returperioder (Statens Vegvesen 2011). Likevel hadde primærmodellen og den rasjonale formelen god overenstemmelse for totalavrenningen fra nedbørfeltet. Det indikerer at sekundærmodellen simulerer en gjennomsnittlig lav avrenning.

Bergens overvannveileder har 0,3 og Statens Vegvesen oppgir 0,2 - 0,5 som minste avrenningskoeffisient. Det tilsvarer «plen, park, eng, skog og dyrket mark» som er mer naturlig enn urbant område. Etter kalibreringen var det 40 % av de tette flatene som bidro med avrenning til sluk/kum. Dette gir avrenningskoeffisienten, $\varphi = 0,4 \cdot 0,27 = 0,11$. Det er en lavere avrenningskoeffisient enn det som er oppgitt i Tabell 3.4 og Tabell 3.5. Til å være et urbant område har sekundærmodellen en udokumentert lav avrenningskoeffisient.

7.2 Oppbygging av modell

Gemini VA hadde ikke blitt oppdatert på kum høydene. I en helt nøyaktig modell burde alle kummene i nettet blitt målt ettersom det har betydning for å vurdere oppstuvingstilstanden på overvannsnettet. Kummer lavere enn to meter vil gi mer oppstuving enn kummer som er høyere enn to meter.

Kritisk punkt 2 fra befaringen er et sted vann kan forsvinne fra overvannsnettet. Da kan den totale avrenningen målt på urbanstasjonen blir for lav.

Vannføringen som gjør at vannet går over terskelen på 0,39 m er beregnet med Formel 7.1:

Hazen Williams formel for beregning av vannføringskapasiteten i ledning:

$$Q = 6,67 C D^{2,63} I^{0,54}$$

Formel 7.1: Hazen Williams formel-vannføringskapasitet i rør.

Q : Vannføring [l/s]

C : 100 for betongrør

D : Ledningsdiameteren oppstrøms skjæringspunktet[m] = 0,5 m

I : Fallet på ledning D [%] = 22,7

Vannføring Q når $D \geq 0,39$ m = 323 l/s

Vann vil forlate overvannsnettet som drenerer til urbanstasjonen når vannføringen blir større enn 323 l/s.

For et 100 års regn simulert med sekundærmodellen ble det totalt registrert 935 l/s da alt vannet ble ledet i overvannsnettet til urbanstasjonen. Med terskelen ble det totalt målt 885 l/s, det vil si at 50 l/s ble ledet ut av nedbørsfeltet. Det tilsvarer 5 % av den totale avrenningen.

7.3 Beregnings metode med SWMM modell

- Overflateavrenning: Grop magasin for permeable flater ble 7 mm for sekundærmodellen, det er oppgitt som skog i Tabell 13.1 Vedlegg B. Grop magasin for tette flater ble gitt som 1,6 mm. Det er en mellomting i intervallet oppgitt Tabell 13.1 Vedlegg B, parameteren ga ikke noe utslag på følsomhetsanalysen og har dermed ikke blitt vurdert videre i oppgaven.
- Infiltrasjon: Ut i fra SWMM manualen (Rossman et al. 2010) var det ingen direkte sammenheng mellom minimum og maksimum infiltrasjonsrate. Minimum infiltrasjonsrate ble oppgitt med mange flere jordteksturkategorier enn maksimum infiltrasjonsrate som ble oppgitt med tre kategorier (
 - Tabell 13.2 og
 - Tabell 13.3 Vedlegg B).

Maksimum infiltrasjonsrate ble tørr jord og mellomleire som var 75 mm/time. Det er usikkert om det er det samme som fyllmasse og bart fjell oppgitt som jordsmonn på Vestli av NGU (Norges Geologiske Undersøkelser 2011).

Minimum infiltrasjonsrate ble en mellomting av siltig sand og sandig lettleire, 20 mm/time. Forutsetning I (avrenning bør starte på tilnærmet lik null) betyr at det ikke har vært nedbør i forkant som har fylt porene i jorda med vann. Likevel burde infiltrasjonsraten bli satt til samme karakteristikk maksimum infiltrasjonsrate som var mellomleire. Da ville minimum infiltrasjonsrate i stedet vært 1,5 mm/time.

Tidskonstant, c i Hortons ligning ble $4 \cdot 1/\text{time}$ og tørketiden til jorden ble 7 dager, begge middeltall av det som er oppgitt i SWMM manualen (Rossman et al. 2010) (

Tabell 13.4 Vedlegg B).

Infiltrasjonsparameterne ble utelatt i følsomhetsanalysen og ble ikke tatt i betraktning videre i oppgaven. Noe som kan være en årsak til den dårlige enstemmigheten mellom modellen og målt vannføring.

- Strømningsberegning: I SWMM manualen står det at «Dynamisk strømningsberegning gir teoretisk best resultat ettersom hele St.Venants ligning blir løst» (Rossman et al. 2010). Dette gjorde at dynamisk strømningsberegning ble valgt.
- Oversvømmelse ut av kum: Ved valg av dynamisk strømningsberegning kunne vann som ble oversvømt ut av kum entre systemet igjen når kapasiteten var tilstrekkelig. På den måten ble det totale vannvolumet beregnet.

7.3.1 Parametere

- Delareal: Antall delareal i nedbørsfeltet er 41. I SWMM manualen (Rossman et al. 2010) står det at fasongen på delarealene optimalt bør være rektangulære. Fordi delarealene er delt inn etter kotehøydene i kartet og påkobling av takrenner har delarealene alle mulig fasonger.
- Breddelareal: Ettersom delarealene ikke er rektangulære kan det bidra til en feilkilde i tilrenningstiden til ledningsnett.
- Tette flater (avrenningskoeffisienten): Oppgitt som 30 % av Bernt V. Matheussen, 27,7 % ved utregning i GIS og 25,5 % ved beregning for hånd ved hjelp av kartdata (Norgeskart). Det gir en god indikasjon på andel tette flater, men ikke andel deltagende tette flater til kum/sluk.
- Helning delfelt: Parameteren ble beregnet for hånd slik at hvert delareal har en uniform helning. I naturlig felt varierer høydekurvene, dette blir tatt i betraktning i modelleringsprogrammer som har GIS funksjon (for eksempel ROSIE).

7.4 Kalibrering 1

7.4.1 Modellverifikasjon

For å få lave kontinuitetsfeil ble ledningsnett utformet slik at det ble et fall fra en kum til en annen uten oppstuvinger. Dette bidrar til at analysen av ledningsnett blir bedre enn det kanskje er i virkeligheten.

7.4.2 Modellsølsomhet

Følsomhetsanalysen ga en pekepinn på hvilke parametere som ga størst utslag på modellen. Som Figur 6.2 viser var det «tette flater» og «ruhet i rør» som ga størst endring i Q_{maks} . Parametrene «bredde delfelt», «tette flater», «gropmagasin permeable flater», «ruhet rør», «helning på delfelt» og «ruhet permeable flater» ble justert for å få en lavere avrenning enn primærmodellen. Selv om «ruhet rør» ga stort utslag følsomhetsanalysen ble ikke denne parameteren justert fordi overvannsnett har store dimensjoner (0,3 og 0,5 meter) på ledningsnett og fallet i nedbørsfeltet er bratt (90 meter), slik at det antagelig har oppstått lite begroing i rørene.

7.4.3 Modellvalidering/etterprøving

F faktor ble 448 738, det viser liten korrelasjon mellom målt og beregnede verdier. Lars Buhler fikk 104 i sin masteroppgave (Buhler 2013a). Den viktigste faktoren er maksimal avrenning, Q_{maks} . Alene var den på 64 553. Trenden for etterprøvingen er at den var god for intense og kraftige nedbørshendelser der nedbørintensiteten lå på $3 - 9 \frac{mm}{5 \text{ min}}$. Da modellen ble testet mot nedbørhendelser med en lavere intensitet ble vannføringen i sekundærmodellen i noen tilfeller over dobbelt så lav som den målte. For et tilfelle ble den beregnede avrenningen dobbelt så høy som den målte avrenningen. Spennet mellom målt og beregnet verdi for de

fem tilfeldige nedbørshendelsene brukt i etterprøvingen ble for stort. Eneste mulighet var å gjennomføre en ny kalibrering.

8 METODE 2

Primærmodellen fra Metode 1 blir kalibrert opp mot nedbørshendelser mindre enn $3 \frac{\text{mm}}{5 \text{ min}}$. En ny SWMM modell, tertiærmodellen blir sammenlignet med en modell utarbeidet i programmet ROSIE laget av Bjørn Christoffersen på VAV.

8.1 Kalibrering 2

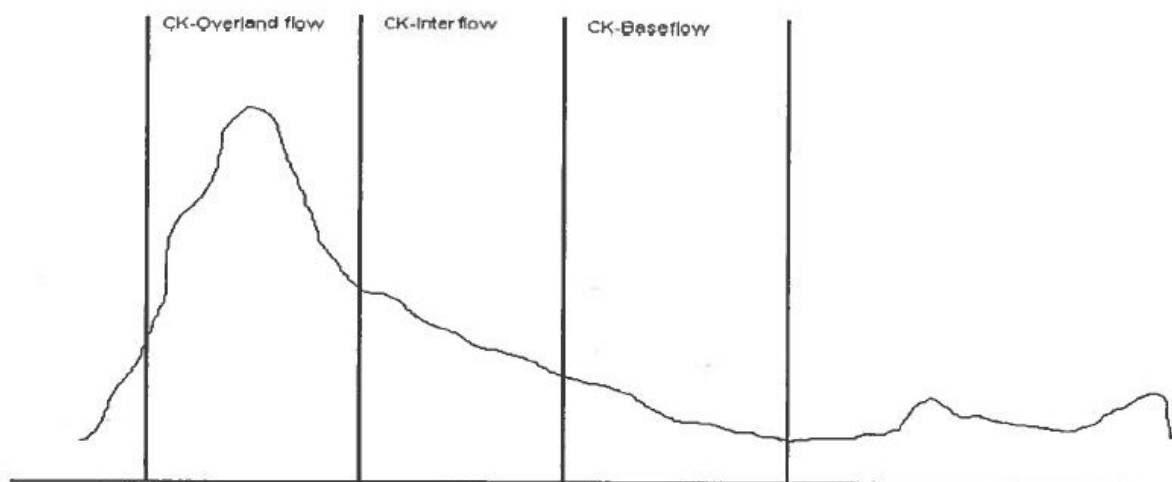
8.1.1 Kalibrering i SWMM

Primærmodellen i Metode 1 ble brukt til en ny kalibrering for moderate nedbørshendelser mindre enn $3 \frac{\text{mm}}{5 \text{ min}}$. Fem nedbørshendelser ble brukt til justering for målt maksimal avrenning ved hjelp av Formel 5.1. Modellen som ga best gjennomsnittlig avrenning ble tertiærmodellen. Den ble etterprøvd med fem nedbørshendelser og F-verdi ble beregnet med Formel 5.2.

8.1.2 Kalibrering i Rosie-Mouse

Bjørn Christoffersen i VAV lagde en overvannsmodell over nedbørsfeltet på Vestli i ROSIE. Det ga muligheten til å kalibrere over et helt år. Nedbør og avrenning fra to år (2010 og 2011) målt på urbanstasjonen ble lagt inn i ROSIE. Da ble kalibreringen basert på et større gjennomsnitt av nedbørshendelser i stedet for fem enkelthendelser. Feltparameterne: areal, andel tette flater og konsentrasjonstid fikk samme verdi som SWMM modellen.

Beregningsparametere ble valgt ut i fra gyldighetsintervallet til programmet og justert etter vannføringskurven til NVE. Figur 8.1 viser inndelingen av vannføringen for RDII (rainfall dependent infiltration/inflow) parameterne i ROSIE. Det vil si parameterne som styrer innlekking til ledningsnett.



Figur 8.1: Vannføringen deles inn i CK – overland flow, CK-Interflow og CK-Baseflow.

De tre RDII parameterne som spiller inn er CK-overland flow, (overvannsavrenning), CK-Interflow og CK-Baseflow. Totalt er det 7 parametere som spiller inn på kalibreringen i ROSIE (Kveine 2006):

1. Overvannsavrenning (CK-Overland flow): Tidskonstanten bestemmer hvor raskt avrenningen reagerer på nedbøren. Lave verdier gir smale og spisse kurver som indikerer rask respons fra feltet.

2. Interflow (CK-Interflow): Tidskonstanten bestemmer avrenningen etter den raske nedbøren ut i fra størrelsen på overflatemagasinet og rotsonemagasinet.
3. Baseflow (CK-Baseflow): Tidskonstanten bestemmer den siste avrenningen fra nedbørshendelsen. Basert på størrelsen til rotsonemagasinet.
4. Overflatemagasin: Avgjør hvor mye vann som blir lagret på overflaten. Et lite overflatemagasin fører til økt overvannsavrenning.
5. Rotsonemagasin: Et lite magasin øker interflow og baseflow.
6. Overflate koeffisient: Andelen tette flater som bidrar med avrenning til ledningsnettene varierer. Erfaringstall fra VAV tilsier at bidragsfaktoren av de tette flatene er på 40 – 80 %. En faktor på 0,7 betyr at 70 % renner av på overflaten og 30 % infiltrerer i grunn og kan bidra som baseflow ved innlekking til ledningsnettene.
7. Grunnvannskoeffisienten: Innlekking av grunnvann til ledningsnettene.

Tabell 8.1: Parametere som ble brukt i kalibreringen av Rosie programmet; overflatemagasin, rotsonemagasin, overflatekoeffisient, overvannsavrenning, interflow, baseflow og grunnvannskoeffisient(DHI 2000).

<i>Parameter</i>	<i>Forkortelse</i>	<i>Gyldighetsintervall</i>
Overvannsavrenning,	CK	[1,5;8]
Interflow	CK _{if}	[30;500]
Baseflow	CK _{bf}	[300;2000]
Overflatemagasin	U _{max}	[2;20]
Rotsonemagasin	L _{max}	[50;200]
Overflate koeffisient	C _{qof}	[0,1;0,9]
Grunnvannskoeffesien	C _{area}	[...;...]

8.1.3 Sammenligne SWMM og ROSIE modell

Maksimal avrenning (Q_{maks}) fra tertiærmodellen ble sammenlignet med maksimal avrenning simulert i ROSIE og målt avrenning (NVE) for fem nedbørshendelser (fra 2010 og 2011) (Formel 5.1).

9 RESULTATER 2

Kapittel 9 omhandler resultatene fra kalibrering 2 gjort med modell programmene SWMM og ROSIE og en sammenligning av avrenning fra de to modellene.

9.1 Kalibrering 2

9.1.1 Kalibrering i SWMM

Ti nedbørshendelser ble valgt til kalibrering. Fem til justering av modellen (Tabell 9.1) og fem til etterprøving av modellen (Tabell 9.3).

Tabell 9.1: De fem nedbørshendelsene som ble brukt i justering av modellen for kalibrering 2. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].

<i>Nedbørshendelser brukt til justering</i>	<i>Avrenning Q_{maks} [l/s]</i>	<i>Maks nedbør [mm/5 min]</i>
10.08.2006	180	2
11.08.2009	250	1,6
20.08.2002	90	1
29.06.2012	210	1,6
09.05.2013	120	1,4

Maksimal nedbørintensitet for justering av modell var $2 \frac{mm}{5 min}$ med tilhørende avrenning på 180 l/s. Den laveste nedbørintensiteten var $1 \frac{mm}{5 min}$ med maksimal avrenning på 90 l/s. Nedbørshendelsene brukt til justering (Tabell 9.1) var utgangspunktet for den nye modellen, tertiærmodellen, Tabell 9.2.

Tabell 9.2: Sammenligning av Q_{maks} for målt verdi og endringer gjort på primærmodellen for å justere til målte avrenningen.

<i>Nedbørs - hendelse</i>	<i>Q_{maks} NVE [l/s]</i>	<i>Q_{maks} swmm prim. [l/s]</i>	<i>Q_{maks} swmm red 10 % [l/s]</i>	<i>Q_{maks} swmm red 20 % [l/s]</i>	<i>Q_{maks} swmm red 30 % [l/s]</i>	<i>ΔNVE og Qprim. [%]</i>	<i>ΔNVE og Qswmm10 [%]</i>	<i>ΔNVE og Qswmm20 [%]</i>	<i>ΔNVE og Qswmm30 [%]</i>
10.08.2006	180	262,6	239,0	214,6	189,2	-45,9	-32,8	-19,2	-5,1
11.08.2009	250	257,8	231,1	204,0	175,2	-2,8	7,6	18,4	30
20.08.2002	90	106,5	96,0	84,9	73,3	-18,3	-6,7	5,7	18,6
29.06.2012	210	320,4	289,7	258,6	227,1	-52,6	-38,0	-23,1	-8,1
09.05.2013	120	144,3	129,3	114,1	97,8	-20,3	-7,8	4,9	18,5
Absolutt gjennomsnittlig forskjell [%]						28,0	18,6	14,3	17,7

Parameteren «tette flater» ble justert slik at den målte maksimale avrenningen fikk best samsvar med modellen. Andel «tette flater» i primærmodellen ble redusert med 10, 20 og 30 %, Tabell 9.2 (vist i Vedlegg D). En 20 % reduksjon i primærmodellens tette flater ga absolutt gjennomsnittlig forskjell med målt verdi for maksimal avrenning på 14,3 %. Absolutt

gjennomsnittlig forskjell var både negativ og positiv, det vil si at tertiærmodellen simulerte både mer og mindre enn den målte maksimale avrenningen.

Fem nedbørshendelser brukt til etterprøving av tertiærmodellen vist i Tabell 9.3.

Tabell 9.3: De fem nedbørshendelsene som ble brukt til etterprøving av modellen for kalibrering 2. Oppgitt med Q_{maks} [l/s] og høyeste nedbørintensitet [mm/t].

Nedbørshendelser brukt til etterprøving	Avrenning Q_{maks} [l/s]	Maks nedbør [mm/5 min]
29.07.2010	230	1,4
13.08.2010	300	2,6
05.08.2011	280	2
20.09.2010	100	0,6
08.07.2011	70	0,8

For etterprøving var maksimal nedbørintensitet $2,6 \frac{mm}{5 min}$ med tilhørende avrenning på 300 l/s.

Den laveste nedbørintensiteten var $0,6 \frac{mm}{5 min}$ med maksimal avrenning på 100 l/s.

I Tabell 9.4 er målt og beregnet verdi for maksimal avrenning, Q_{maks} , total volum og tiden Q_{maks} inntreffer illustrert for å beregne F-verdi for tertiærmodellen.

Tabell 9.4: Sammenligning av målte verdier og tertiærmodellen for Q_{maks} , total volum og tiden Q_{maks} inntreffer.

	29.07.10	13.08.10	05.08.11	20.09.10	08.07.11
Q_{maks} målt [l/s]	230	300	280	100	70
Q_{maks} beregnet [l/s]	191,0	295,8	390,7	97,7	84,4
Volum målt [m ³]	1986	1314	1851	1242	159
Volum beregnet [m ³]	1381,6	983,4	1850,0	970,6	115,0
Tid Q_{maks} målt [hh:mm]	04:40	10:00	18:05	21:50	20:55
Tid Q_{maks} beregnet [hh:mm]	04:40	10:00	18:05	21:05	20:55

$$V1=0,1, V2=0,1, V3=0,8$$

$$\Sigma Q=14\ 005$$

$$\Sigma V= 550\ 190$$

$$\Sigma T= 2025$$

$$F - verdi = 0,1 \cdot 14\ 005 + 0,1 \cdot 550\ 190 + 0,8 \cdot 2025 = 58\ 039$$

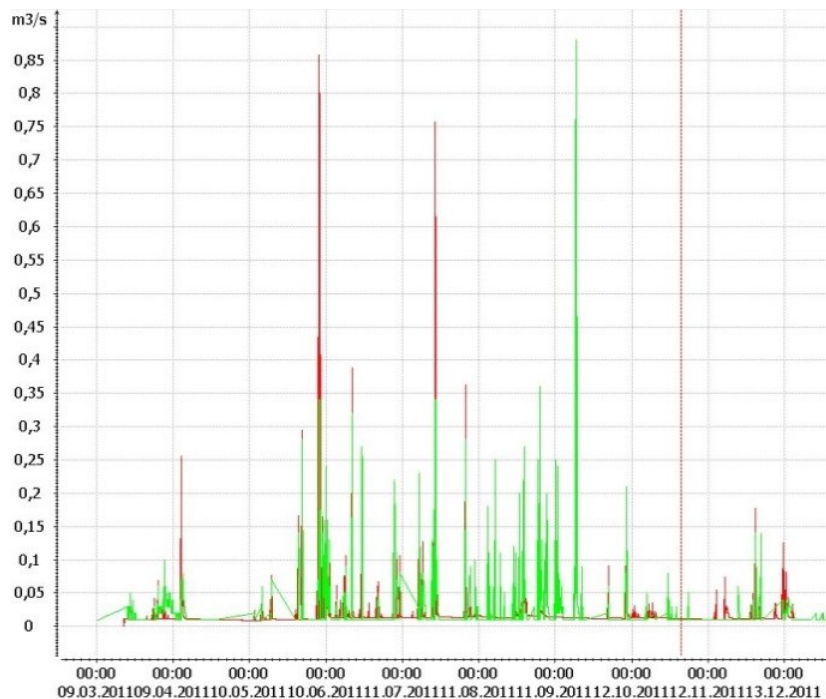
9.1.2 Kalibrering i ROSIE

Parameterne brukt i kalibrering til ROSIE var andel tak, andel vei, tilleggsstrømning av vann, overflatemagasin, rotsonemagasin, overflate koeffisient, grunnvannskoeffisient, overvannsavrenning, interflow og baseflow, Tabell 9.5.

Tabell 9.5: Parameterne brukt til kalibrering av ROSIE modellen;

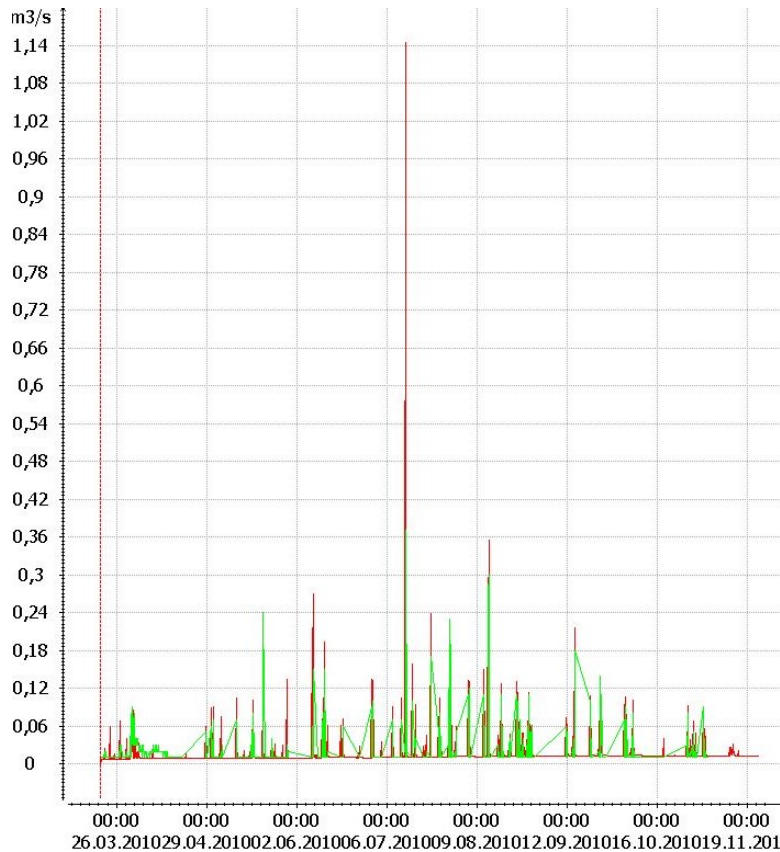
<i>Parameter</i>	<i>Verdi</i>
Andel tak [%]	70
Andel vei [%]	60
Tilleggsstømning av vann [m^3/s]	0,007
Overflate magasin, U_{max}	20
Rotsone magasin, L_{max}	200
Overflate koeffisient, CQ_{of}	0,2
Grunnvann, C_{area}	1,0
Overflateavrenning, CK	1,5
Interflow, CK_{if}	500
Baseflow, CK_{bf}	2000

Kalibreringen av ROSIE ble gjort for to år (2011 og 2010). Rødt plott er modellert avrenning i ROSIE og grønt plott er målt avrenning på Vestli, Figur 9.1 og Figur 9.2.



Figur 9.1: Avrenning for hele 2011 fra nedbørfeltet på Vestli. Rødt plott er modellert avrenning i ROSIE, grønt plott er målt avrenning.

Den modellerte avrenningen (rød) ble gjennomsnittlig bra for moderate nedbørshendelser i 2011. For to intense nedbørshendelser ble den modellerte avrenningen 500 l/s og 400 l/s mer enn den målte avrenningen, Figur 9.1.



Figur 9.2: Avrenning for hele 2010 fra nedbørsfeltet på Vestli. Rødt plott er modellert avrenning i ROSIE, grønt plott er målt avrenning.

I 2010 ble den modellerte avrenningen (rød) gjennomsnittlig bra for moderate nedbørshendelser, men for en intens nedbørshendelse ble den modellerte avrenningen 780 l/s høyere enn den målte avrenningen, Figur 9.2.

9.1.3 Sammenligne SWMM og ROSIE modell

Absolutt gjennomsnittlig forskjell for maksimal avrenning mellom målt (NVE), tertiærmodellen og ROSIE modellen for fem nedbørshendelser er vist i Tabell 9.6

Tabell 9.6: Sammenligning av maksimal avrenning for NVE og SWMM, SWMM og ROSIE og NVE og ROSIE.

<i>Nedbørs-hendelse</i>	Q_{maks} NVE [l/s]	Q_{maks} SWMM(Tert.) [l/s]	Q_{maks} ROSIE [l/s]	Δ NVE og SWMM [%]	Δ SWMM og ROSIE [%]	Δ NVE og ROSIE [%]
29.07.2010	230	191,0	200	17	-4,7	13,0
13.08.2010	300	295,8	350	1,4	-18,3	-16,7
05.08.2011	280	390,7	360	-39,5	7,9	-28,6
20.09.2010	100	97,7	108	2,3	-10,5	-8,0
08.07.2011	70	84,4	100	20,6	-18,5	-42,9
Absolutt gjennomsnittlig forskjell [%]				16,2	12,0	27,6

Absolutt gjennomsnittlig forskjell for maksimal avrenning mellom målt (NVE) og tertiærmodellen var 16,2 % beregnet med Formel 5.1. Gjennomsnittlig forskjell mellom tertiærmodellen og ROSIE var 12 %. Gjennomsnittlig forskjell mellom målt avrenning (NVE) og simulert avrenning i ROSIE var 27,6 %.

Tertiærmodellen simulerte en lavere vannføring for fire av fem nedbørshendelser sammenlignet med målt avrenning (NVE) (vist med positive fortegn) og ROSIE (illustrert med negative fortegn). ROSIE simulerte en høyere vannføring for fire av fem nedbørshendelser sammenlignet med målt avrenning(NVE) (negative fortegn).

10 DISKUSJON 2

Kapittel 10 omhandler kalibrering 2 gjort med SWMM og ROSIE. Deretter blir ulike simuleringer gjort med tertiærmodellen for utbygging, oppstuvning og ved bruk av LOD tiltak.

10.1 Kalibrering 2

10.1.1 Kalibrering i SWMM

En F-verdi på 58 039 indikerer ikke en direkte korrelasjon mellom målt og beregnede verdier. Summen av Q_{maks} alene var på 14 005. Det var lavere enn for Kalibrering 1 der F-verdien var 448 738 og summen av Q_{maks} var 64 553. Kalibrering 2 er basert på å plukke ut moderate nedbørshendelser for justering og etterprøving. Nedbørshendelsene for etterprøving er bare gjort for 2010 og 2011 for å kunne sammenligne med ROSIE modellen. Nedbør og avrenningshendelser kunne bli valgt fra 1998 – 2014. Utvelgelse fra to år reduserer utvelgelsen av tilfeldige nedbørshendelser.

De tre modellversjonene, (Tabell 10.1):

- (1) Primærmodellen er basert på parametere i SWMM manualen utledet fra følsomhetsanalysen og målinger fra kartverket Gemini.
- (2) Sekundærmodellen er basert på kalibrering opp mot intense nedbørshendelser.
- (3) Tertiærmodellen er basert på kalibrering opp mot nedbørshendelser med en intensitet lavere enn $3 \frac{mm}{5 min}$.

Tabell 10.1: De tre modellene er primærmodellen, sekundærmodellen og tertiærmodellen, de sistnevnte er utledet fra primærmodellen.

Parametere	Primærmodellen	Sekundærmodellen	Tertiærmodellen
Bredde delareal [m, gjennomsnitt]	71,5	$71,5 \cdot 0,4 = 28,6$	71,5
Tette flater [%, gjennomsnitt]	27,7	$27,7 \cdot 0,4 = 11,1$	$27,7 \cdot 0,8 = 22,2$
Grop magasin permeable flater [mm]	5	7	5
Grop magasin tette flater [mm]	1,6	1,6	1,6
Helning på del felt [%, gjennomsnitt]	8	$8 \cdot 0,4 = 3,2$	8
Ruhet impermeable flater [n]	0,013	0,013	0,013
Ruhet permeable flater [n]	0,24	0,24	0,24
Ruhet rør [n]	0,013	0,013	0,013
Andel tette flater uten grop magasinering	0	0	0
Horton infiltrasjon maks [mm/time]	75	75	75
Horton infiltrasjon minimum [mm/time]	20	20	20

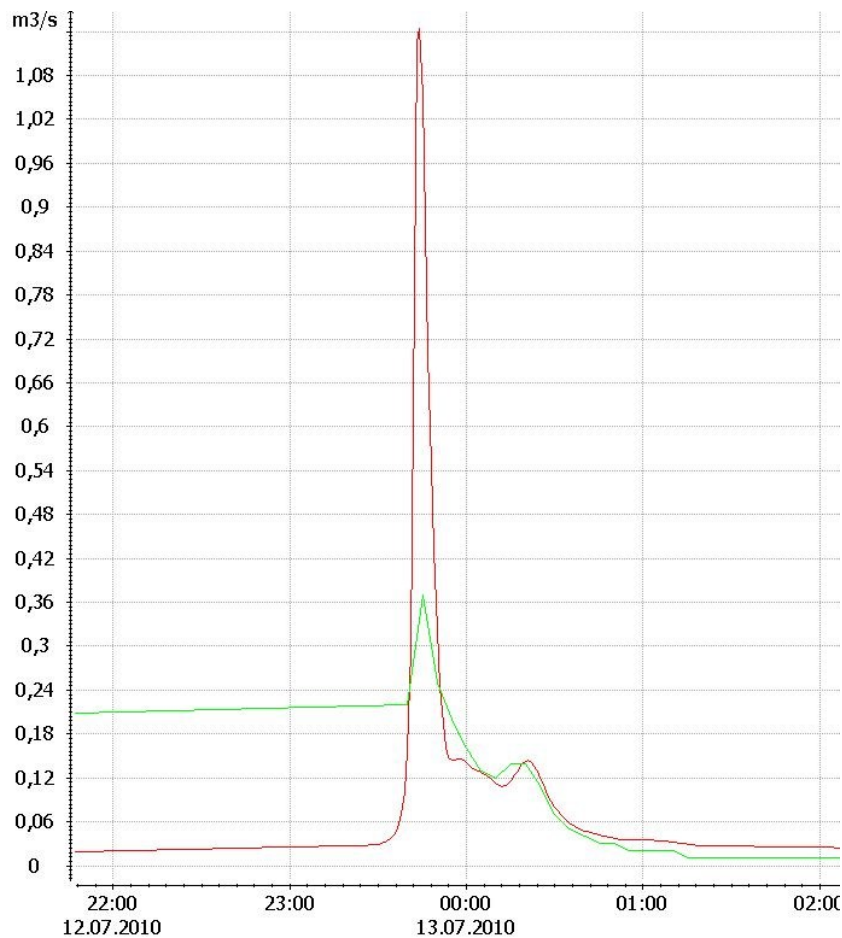
Primærmodellen og tertiærmodellen er helt like bortsett fra at de tette flatene er redusert med 20 % i tertiærmodellen.

Hortons infiltrasjonsmetode har ikke blitt justert i noen av kalibreringene. Området på Vestli består av fyllmasse og bart fjell og dette kan gjøre at minimum infiltrasjonsraten burde vært lavere, tilsvarende mellomleire på 1,5 mm/time.

I alle modellene utarbeidet i SWMM er innstrømning fra grunnvann eller vannlekkasje til overvannsnett utelatt. Dette var ikke riktig antagelse. Visualisering av avrenningen over hele året i ROSIE viste at det er kontinuerlig avrenning på 10 l/s som blir målt av urbanstasjonen store deler av årene (2010 og 2011). Kalibreringen av de enkelte nedbørshendelsene har ikke hatt avrenning i forkant, det kan ha kompensert for at innlekkingen var utelatt.

10.1.2 Kalibrering i ROSIE

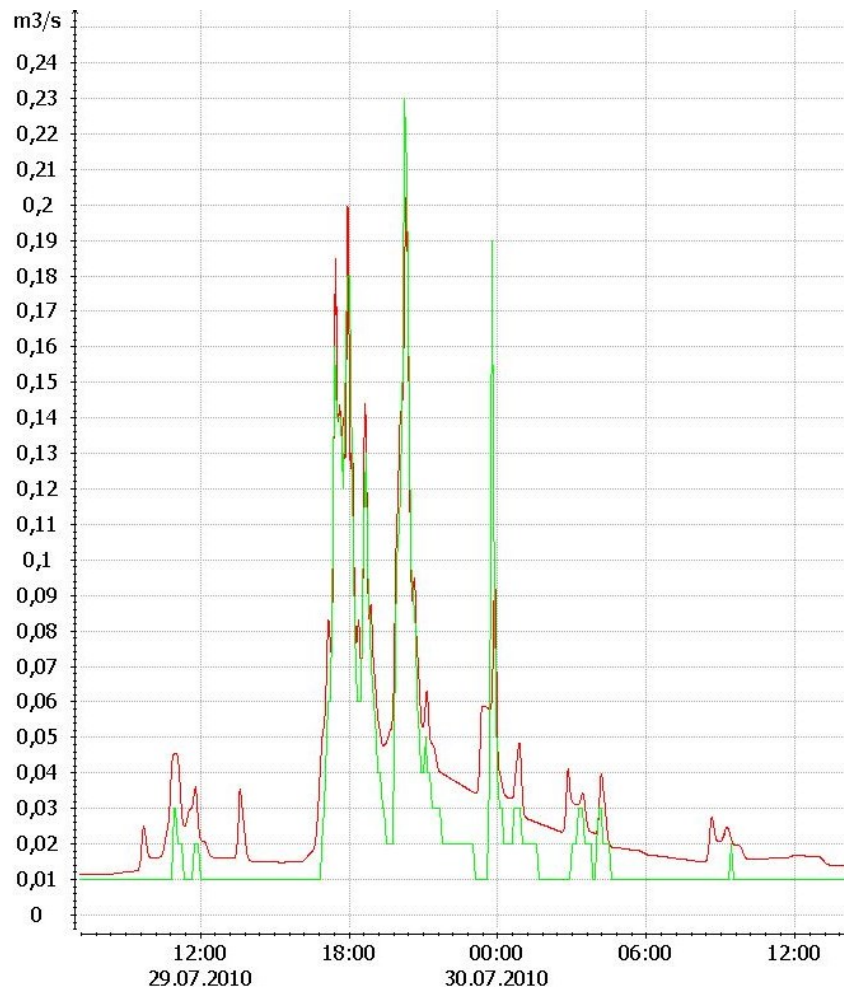
Kalibreringen i ROSIE klarte ikke å få samme avrenning for intense og moderate nedbørshendelser, Figur 10.1.



Figur 10.1: Nedbørshendelse 12.07.2010, sammenlignet avrenning fra ROSIE og målt avrenning.

Figur 10.1 er et eksempel på en den mest intense nedbørshendelsen brukt i kalibrering 1 på $8,8 \frac{mm}{5 min}$. Avviket mellom målt og beregnet maksimal avrenning er 68 % der målt avrenning er 360 l/s og beregnet er 1140 l/s.

For nedbørshendelser der maksimal avrenningen var under 400 l/s var det godt samsvar mellom målt avrenning og simulert avrenning i ROSIE, Figur 10.2.



Figur 10.2: Nedbørshendelse 29.07.2010, sammenlignet avrenning fra ROSIE og målt avrenning.

Formen på den målte avrenningen er raskt avtagende etter maksimal avrenning. Vist ved at beregnet kurve (rød) har høyere vannføring enn målt kurve (grønn) etter avrenningstoppene. Det tilsier at det er en veldig rask avrenning fra nedbørsfeltet (Christoffersen 2014).

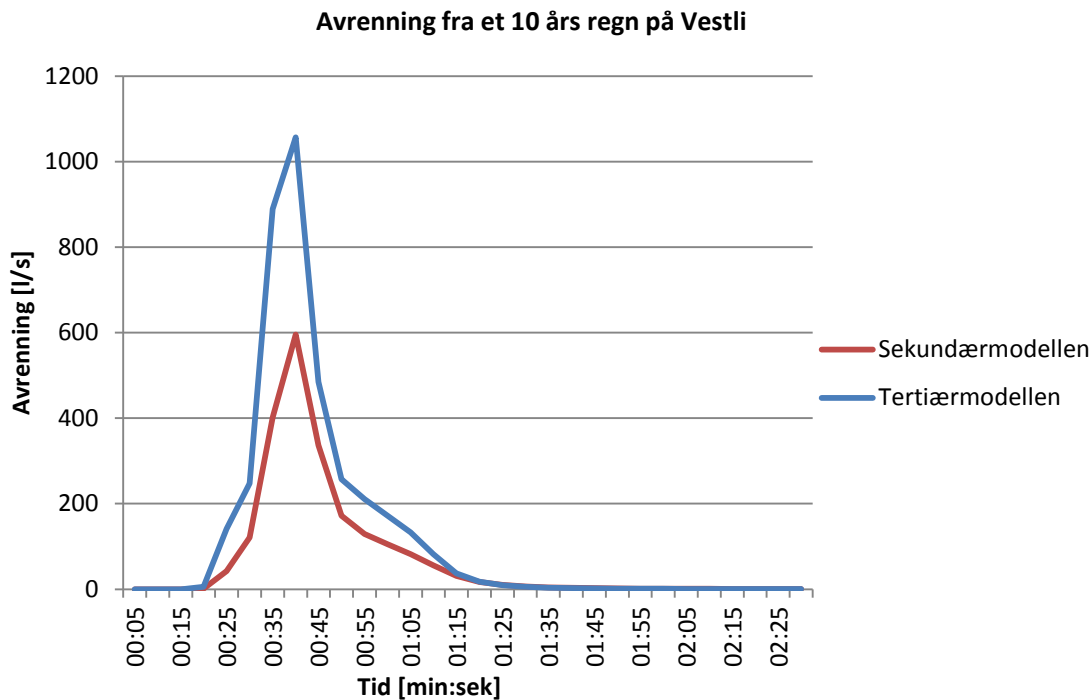
10.1.3 Sammenligne kalibrering i SWMM og ROSIE modell

Absolutt gjennomsnittlig forskjell for Q_{maks} mellom tertiærmodellen og ROSIE var 12 %. ROSIE modellen simulerte en høyere Q_{maks} enn tertiærmodellen for fire av fem nedbørshendelser. Et avvik på 12 % bygger opp troverdigheten til tertiærmodellen ettersom ROSIE er et nyutviklet program rettet mot det norske VA miljøet og norske forhold.

10.2 Simuleringer med tertiærmodellen for ulike scenarier

Tertiærmodellen simulerte gjennomsnittlig bedre enn sekundærmodellen. Det ble en lavere F-verdi og samsvar med ROSIE modellen.

Simulert avrenning for sekundærmodellen og tertiærmodellen for et 10 års regn er vist i Figur 10.3.



Figur 10.3: Sammenligning av sekundærmodellen og tertiærmodellen for et 10 års regn. Avrenningen fra tertiærmodellen er 500 l/s høyere enn det som er simulert i sekundærmodellen.

Det blir 500 l/s mer avrenningen fra tertiærmodellen sammenlignet med sekundærmodellen. Dette skyldes i hovedsak at sekundærmodellen har 11 % tette flater mens tertiærmodellen har 22 % tette flater som er den parameteren som påvirker totalavrenningen i størst grad.

Ettersom tertiærmodellen simulerer en høyere vannføring enn sekundærmodellen er tertiærmodellen best egnet til å vurdere kapasiteten til ledningsnett. Ulike scenarier som utbygging, oppstuvning, kritiske punkter, og LOD tiltak ble simulert med tertiærmodellen.

10.2.1 Utbygging

I 2014 er det 31 709 innbyggere i bydel Stovner fordelt på 4 distrikter (Høybråten, Haugenstua, Stovner og Vestli), (Tabell 4.1).

Antar uniform befolkningsspredning i bydel Stovner:

Antall mennesker per distrikt:

$$\frac{31\,709}{4} = 7928 \text{ mennesker}$$

Antar at hvert menneske blir omsluttet av samme areal av tette flater. På Vestli var det totalt 8,4 hektar tette flater.

Antall mennesker per tette flate i 2014:

$$\frac{7928}{84\,000} = 0,094 \text{ mennesker/m}^2$$

Dersom hele bydel Stovner har samme befolkningsvekst på 3,07 % vil det føre til utbygging av ny infrastruktur som hus, barnehager og eldrecenter.

Antall mennesker på Vestli i 2030:

$$7928 \cdot 1,0307^{16} = 12\,861 \text{ mennesker}$$

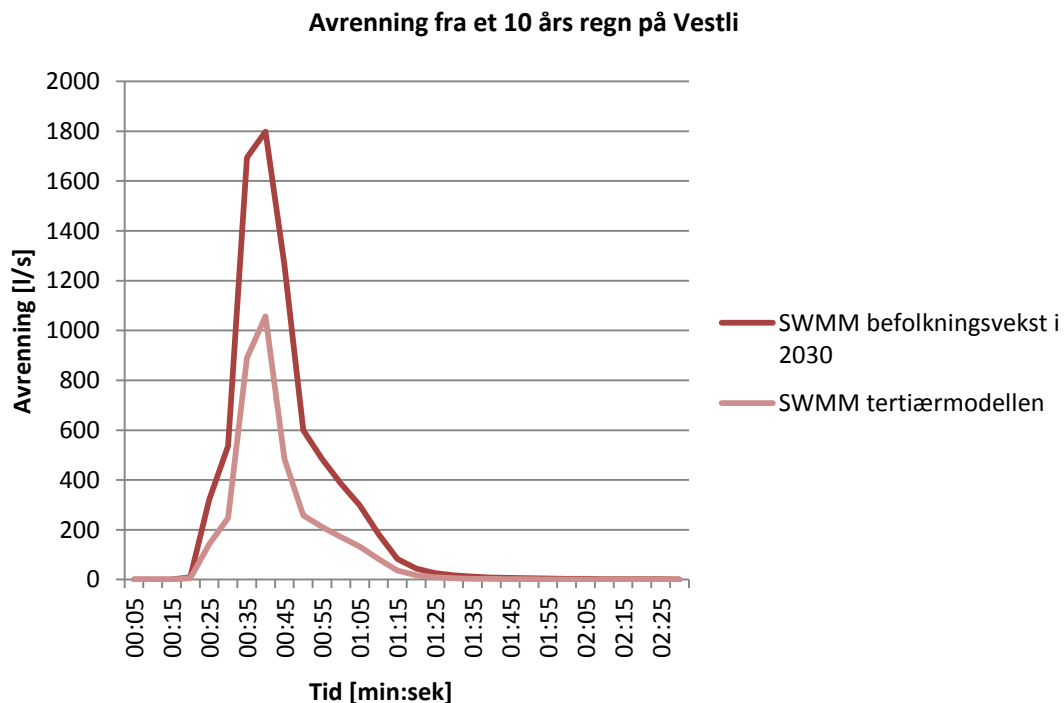
Andel tette flater i 2030:

$$\frac{12\,861 \text{ mennesker}}{0,094 \frac{\text{menneske}}{\text{m}^2}} = 136\,819 \text{ m}^2$$

Prosentvis andel tette flater i 2030:

$$\frac{131\,234}{303\,000} \cdot 100 \% = 45 \%$$

Maksimal avrenningen for et 10 års regn i 2030 sammenlignet med tertiærmodellen vist i Figur 10.4.

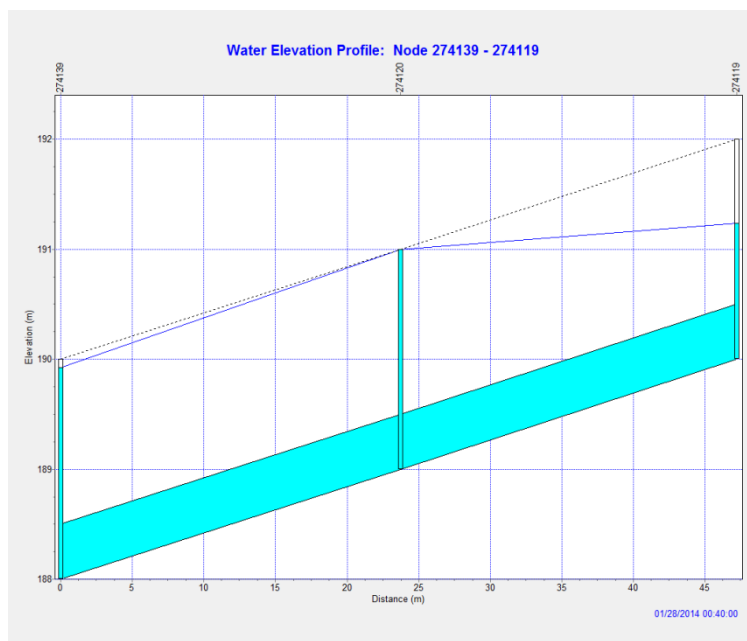


Figur 10.4: Befolkningsvekst fram mot 2030 fører meg seg en økning i tette flater

Maksimal avrenningen ble 600 l/s høyere under et 10 års regn i 2030 sammenlignet med tertiærmodellen (dagens situasjon). Det ble antatt at hvert menneske som bor på Vestli nyttiggjør seg av like mye tette flater både vei og takareal.

10.2.2 Oppstuvning i kum

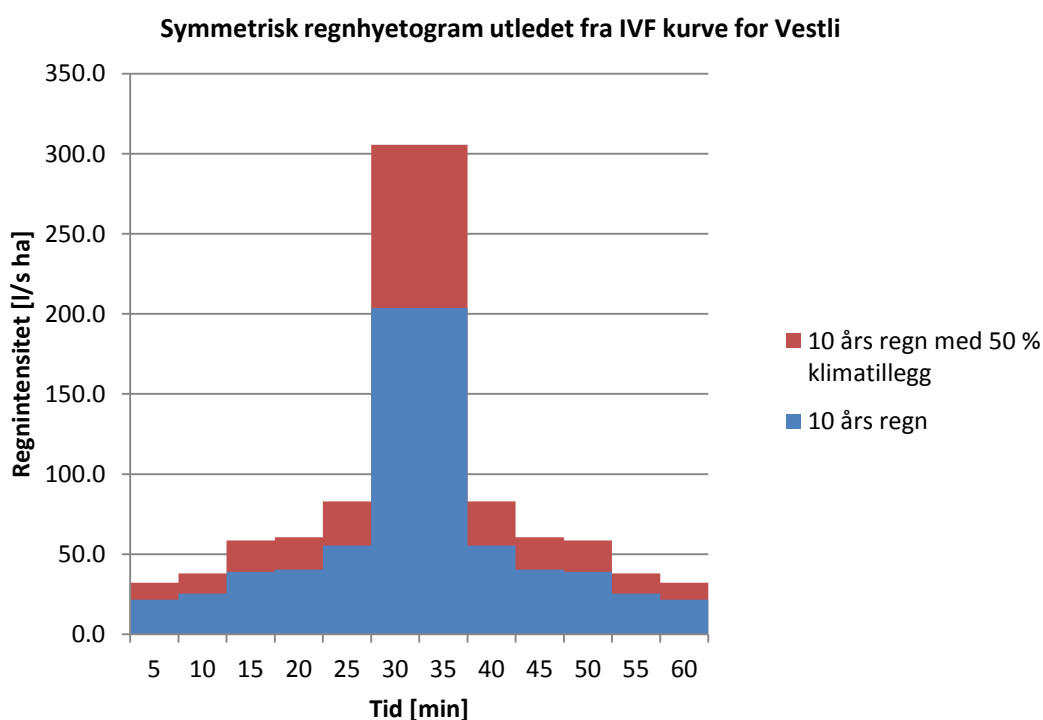
Hele overvannsnett på Vestli har to meter som kum høyde, dermed oppstår oppstuvning når vannmengden er to meter eller høyere, Figur 10.5.



Figur 10.5: Oppstuvning i kum for tertiærmodellen under et 100 års regn (SWMM 2010).

Oppstuvning i kum er vist i midten av bildet. X-aksen er avstanden fra første kum til siste kum for ledningsstrekket som blir vurdert. Y-aksen er høydeprofilen til kummene oppgitt som meter over havet.

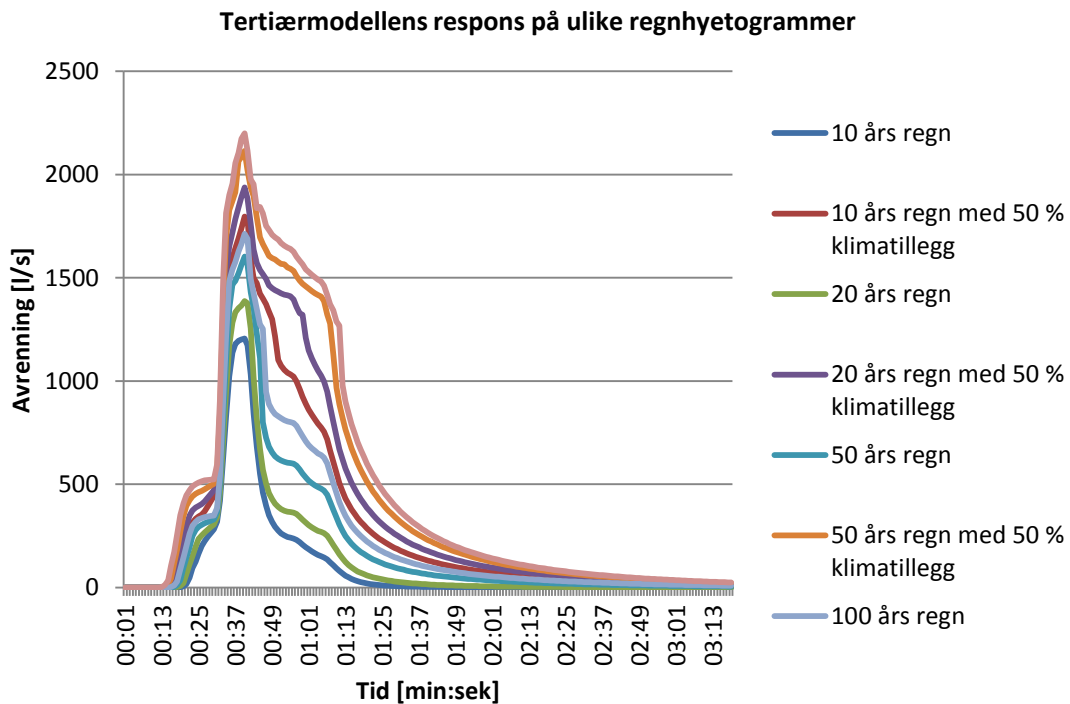
Kapasiteten til ledningsnettets blir vurdert ut i fra antall oppstuvninger tertiærmodellen registrerte for konstruerte regnhyetogrammer for 10, 20, 50 og 100 års regn med og uten klimatillegg på 50 % (tatt ut fra IVF - kurven på Vestli Figur 3.13). Regnhyetogram for et 10 års regn, med og uten 50 % klimatillegg vist i Figur 10.6.



Figur 10.6: Regnhyetogram for 10 års regn med og uten klimatillegg.

Regnintensiteten øker med $100 \frac{l}{s \cdot ha}$ med et klimatillegg på 50 %.

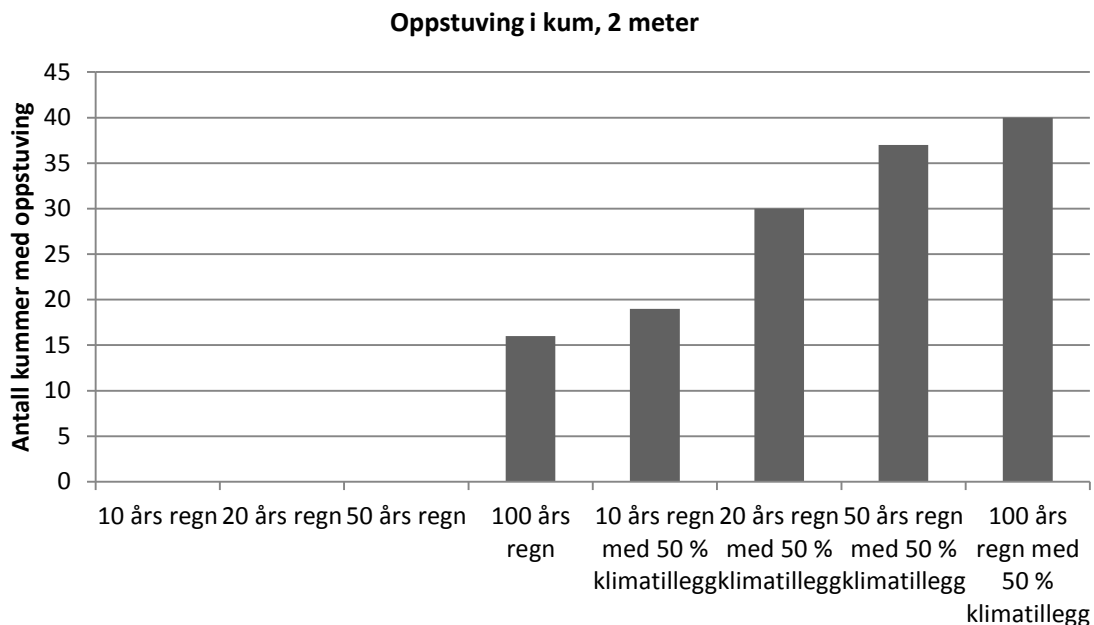
Tertiærmodellens respons på 10, 20, 50 og 100 års regn med og uten klimatillegg er vist i Figur 10.7.



Figur 10.7: Avrenningskurver for 10, 20, 50 og 100 års regn med og uten klimatillegg på 50 % fra tertiærmodellen.

Maksimal avrenning på 2200 l/s oppstår med et 100 års regn med 50 % klimatillegg. Minste avrenning opptrer for et 10 års regn og er 1200 l/s.

SWMM programmet teller antall kummer med oppstuvning, vist i Figur 10.8 for ulike regnhyetogram.



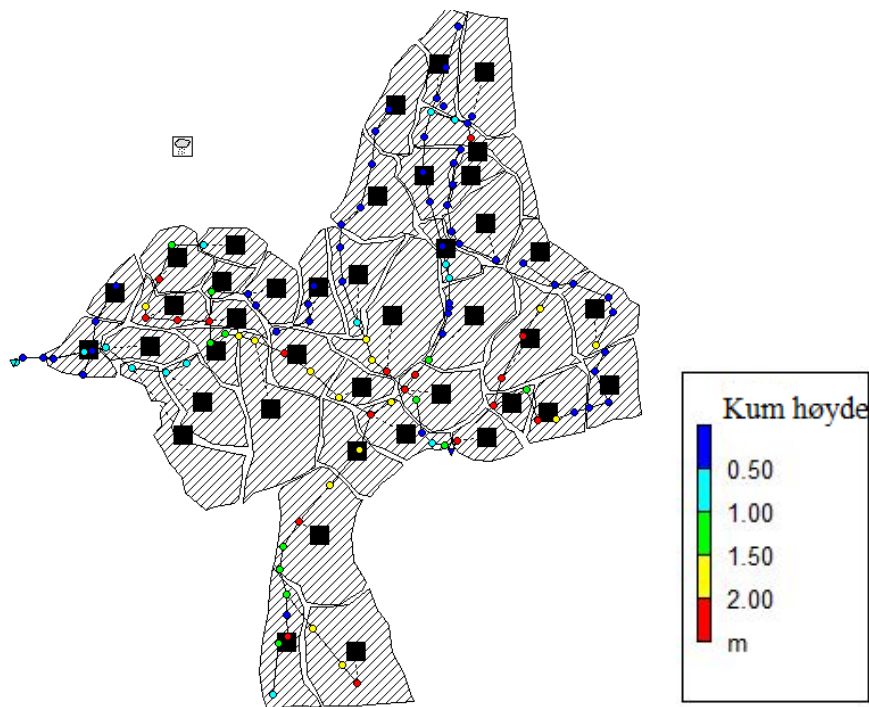
Figur 10.8: Oppstuvning oppstår ved 100 års regn og 10, 20, 50 og 100 års regn med 50 % klimatillegg.

Det ble ikke oppstuvning for 10, 20 og 50 års regn. For 100 års regn ble det oppstuvning i 16 kummer. For 10 års regn med 50 % klimatillegg ble det oppstuvning i 19 kummer. For 20 års regn med 50 % klimatillegg ble 30 kummer oversvømt. For 50 års regn med 50 % klimatillegg ble 37 kummer oversvømt. For 100 års regn med 50 % klimatillegg ble 40 kummer oversvømt. Den hydrauliske kapasiteten til ledningsnettets reduseres med fremtidige klimaendringer.

Simulering med nedbørintensiteter større enn 20 års regn har et stort usikkerhetsmoment. Dette skyldes at sluk kapasiteten ikke har mulighet til å ta inn alt vannet som blir generert. Det fører til at målt avrenning er lavere enn total avrenningen. Modellen vil i slike tilfeller måle mer avrenning enn det som entrer ledningsnettets (Christoffersen 2014).

Norsk Vann veileder har dimensjonerende oversvømmelseshyppighet på 1 i løpet av 20 år i bysenter. Ettersom det ikke blir oppstuvning før ved et 100 års regn tilsier det at ledningene har god hydraulisk kapasitet. Derimot kan vi ikke vite hvordan tilstanden er på ledningsnettets er før det har blitt gjort rørinspeksjoner i område. Flom/oppstuvning kan oppstå som følge av brudd eller opphoping av sand, grus, innlekking av kloakk eller lignende.

Stedene i nettet der oppstuvning oppstår er kritiske punkter. Disse er merket med røde punkter (kummer) på Figur 10.9.

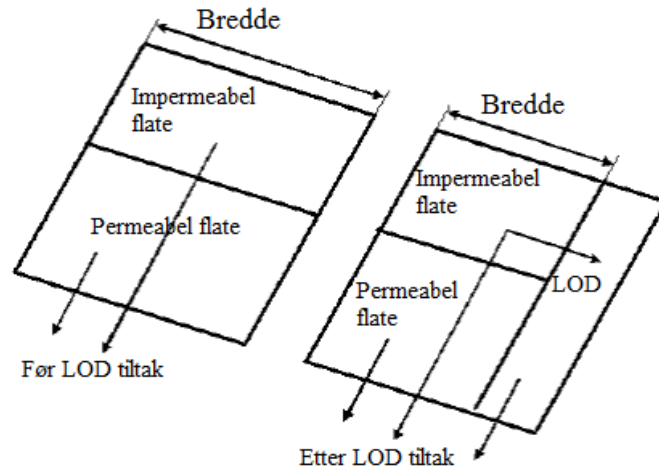


Figur 10.9: Kritiske punkter på ledningsnettets ved et 100 års regn er vist i rødt. Da er vann i kum 2 meter eller høyere og det er fare for oppstuvning (SWMM 2010).

Det er spesielt hovedledningen som er mest utsatt for oppstuvning under et 100 års regn, den får tilført avrenning fra forgreiningene i ledningsnettets. Ved å avdekke kritiske punkter kan det gjennomføres tiltak for å begrense avrenningen til ledningsnettets for å redusere faren for oppstuvning og flom.

10.2.3 Lokal overvannsdiskonering - Bioretention cell

Lokal overvannsdiskonering er en mulighet for å forsinke avrenningen til ledningsnett. Uten et LOD tiltak renner overvannet fra de tette flatene over på de permeable flatene før det treffer ledningsnett. Med en LOD utforming blir avrenningen forsinket fordi tilrenningstiden til ledningsnettet øker når bredden på delarealet minker ved at overvannet fra de impermeable flatene renner på LOD utformingen og de permeable flatene før det renner til sluk, Figur 10.10.



Figur 10.10: Uten LOD tiltak vil overvannet renne direkte fra de tette flatene til de permeable flatene. Ved LOD tiltak vil overvannet renne fra de tette flatene både til de permeable flatene og LOD utformingen (Rossman et al. 2010).

LOD tiltaket «bioretention cell» er nedsynkning av vegetasjon som vokser i en ingeniør konstruert jordmiks over puk og grus. De fordrøyer, infiltrerer og evaporerer bort nedbør og avrenning fra omkringliggende områder. Regnbed, planter og grønne tak er varianter av «bioretention cells» (Rossman et al. 2010).

LOD tiltaket «bioretention cell» ble lagt inn i hvert delareal i tertiærmodellen. Der okkuperte «bioretention cell» ca. 20 % av hvert delareal. Andelen av de tette flatene som ble «behandlet» var 50 %. Oppbyggingen av en Bioretention cell er vist i Tabell 10.2 med ulike faktorer for jord, overflate og lagringskapasitet.

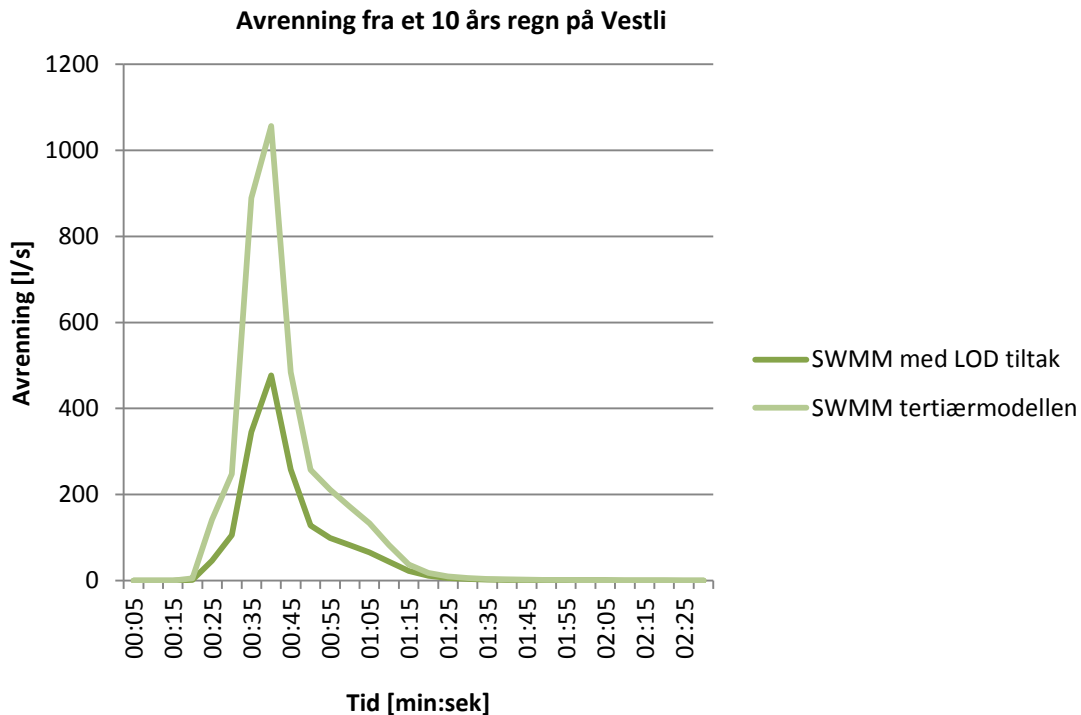
Tabell 10.2: Eksempel for hvordan en «Bioretention cell» kan bli representert med faktorer for jord, overflate og lagringskapasitet der underdrenering er 0 (James 2012).

Jord	
Tykkelse [mm]	900
Porøsitet	0,4
Felt kapasitet	0,11
Volum andel som visner	0,05
Ledningsevne [mm/t]	25
Lednings helning	7,5
Kapillær sugehøyde[mm]	88,9

Overflate	
Lagrings dybde[mm]	100
Andel som er vegetasjon	0,9
Overflateruhet [n]	0,3
Overflate helning [%]	0,25

Lagringskapasitet	
Høyde [mm]	450
Tomrom/jord	0,75
Ledningsevne [mm/t]	6
Igjen tettingsfaktor	- 0

Maksimal avrenningen for et 10 års regn med LOD tiltak sammenlignet med tertiærmodellen vist i Figur 10.11.



Figur 10.11: LOD tiltak i hvert delareal reduserer avrenningen for et 10 års regn sammenlignet med tertiærmodellen.

Total avrenningen ble redusert med 45 %, det vil si 580 l/s ved bruk av «bioretention cell».

Eksemplet med «bioretention cell», Tabell 10.2 er kopiert av Rob James som jobber ved Computational Hydraulics International (CHI) som er et internasjonalt firma som utvikler overvannsmoeller. Firmaet har lang erfaring med modellering av overvann og LOD tiltak som gjør parameterne troverdige. Derimot kan det være urealistisk at «bioretention cell» okkuperer 20 % av hvert delareal og andelen av de tette flatene som blir behandlet er 50 %. På den andre siden er det interessant at tiltak med LOD reduserer maksimal avrenningen i så stor grad.

På VAV har det ikke blitt gjort forsøk på hvor mye LOD tiltak reduserer avrenningen fra delarealer. Der blir LOD tiltak simulert ved å anta en reduksjon i tette flater i modellen.

10.2.4 Lokal overvannsdiskonering – Avkobling av takrennene

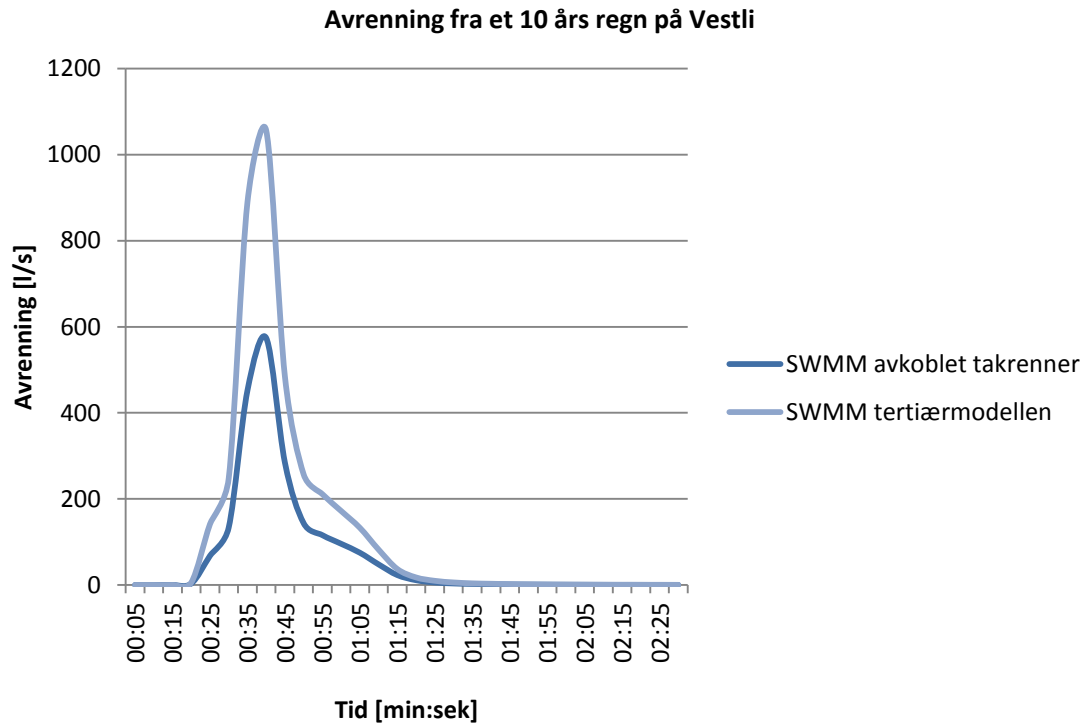
I nedbørsfeltet var 5 hektar tak og 3,4 hektar var vei av de tette flatene.

Ved å koble av takrennene fra overvannsnettlet og i stedet la vannet infiltrere lokalt ved huset vil det redusere andelen effektive tette flater til ledningsnettlet:

Prosentandel tette flater i modell uten tak:

$$\frac{3,4 \text{ ha}}{30,3 \text{ ha}} \cdot 100 \% = 11 \%$$

Avkobling av takrennene fra overvannsnettlet sammenlignet med tertiærmodellen for et 10 års regn vist i Figur 10.12.



Figur 10.12: Avkobling av takrenner ga lavere avrenning.

Total avrenningen ble redusert med 54 %, det vil si 600 l/s. For det urbanhydrologiske forskningsfeltet på Vestli blir den totale avrenningen fra tette flater målt og dermed er alle takrennene koblet på overvannsnettet. Dersom den hydrauliske kapasiteten i ledningsnettet blir redusert og problemer med oppstuvning oppstår i fremtiden på grunn av befolkningsvekst og ekstreme nedbørshendelser er avkobling av takrenner en måte å redusere overvannstilførselen til ledningsnettet.

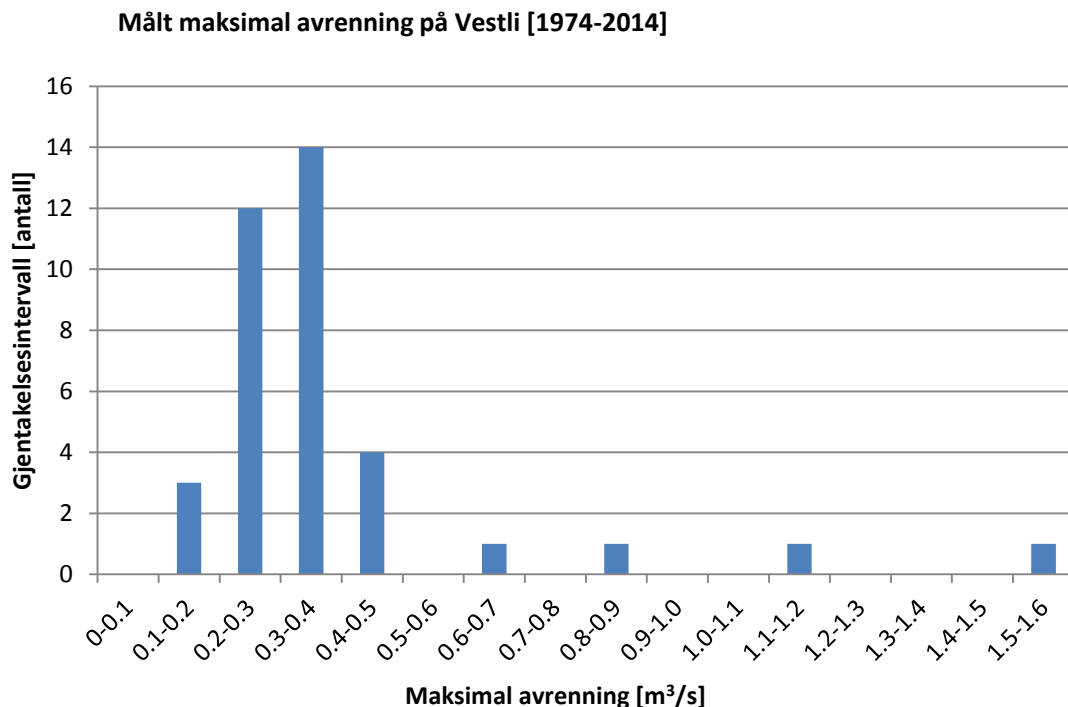
11 DISKUSJON - KALIBRERING 1 OG 2

En målsetting var å vurdere kilder som kan skape målefeil på stasjonen. Ettersom det ikke er samsvar mellom sekundærmodellen og tertiærmodellen omhandler dette kapittelet kommentarer og ideer om hva som kan være årsak til det.

11.1 Sammenligning av sekundærmodellen og tertiærmodellen

Som nevnt i metode 1 beregner sekundærmodellen 1000 l/s mindre maksimal avrenning enn den rasjonale formel og primærmodellen for et 10 års regn. Det er en indikasjon på at det blir målt for lite avrenning under intense nedbørshendelser siden sekundærmodellen er kalibrert mot intense nedbørshendelser.

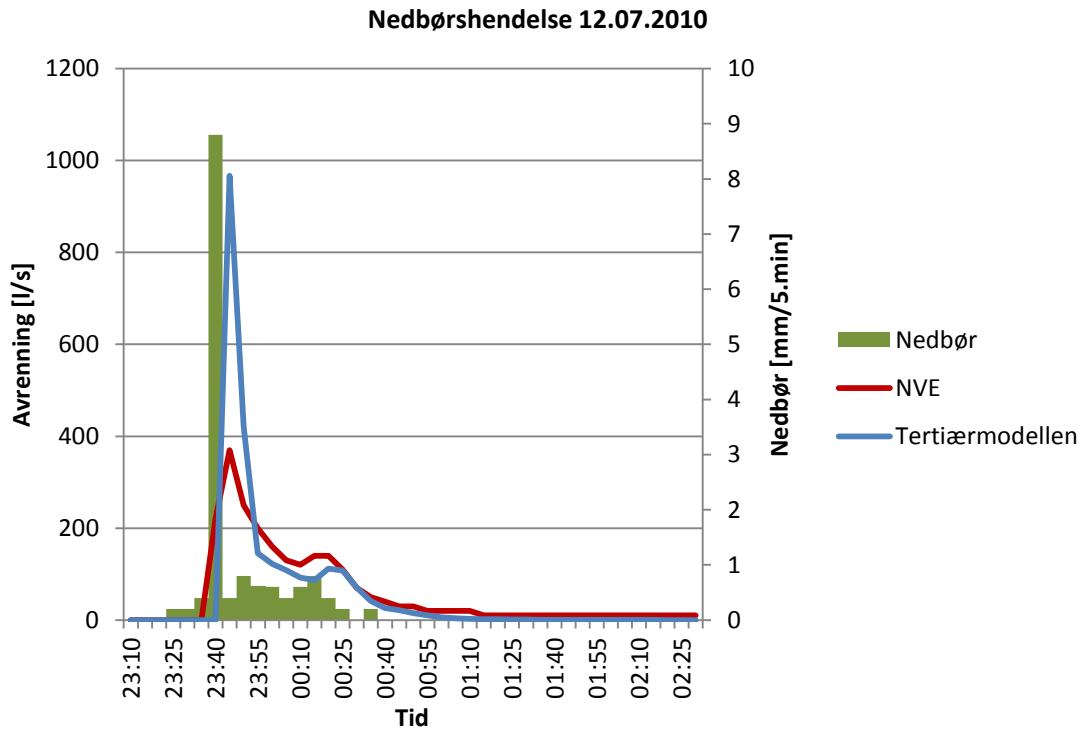
I Hydra II blir maksimal avrenning registrert hvert år. En fremstilling av maksimal avrenning gir en indikasjon på hvor ofte og i hvilken grad maksimal avrenning til urbanstasjonen inntreffer fra 1974 til 2014, Figur 11.1.



Figur 11.1: Fremstilling av gjentakelsesintervall for maksimal avrenning målt hvert år på urbanstasjonen på Vestli (unntatt 1978, 1982 og 1983).

Det høyeste gjentakelsesintervallet for maksimal avrenning målt på urbanstasjonen ligger på 300 - 400 l/s, det har skjedd 14 ganger på 37 år. Den største avrenning målt på urbanstasjonen skjedde i 2012 og var på 1520 l/s. Likevel ble det ikke påvist målt maksimal avrenning høyere enn 400 l/s under kalibrering 1 og 2.

Det er en usikkerhet rundt målingene for intense nedbørshendelser. Et eksempel er vist med nedbørshendelse 12.07.2010, Figur 11.2.



Figur 11.2: Avrenning og nedbørintensitet 12.07.2010, målt verdi og tertiærmodellen.

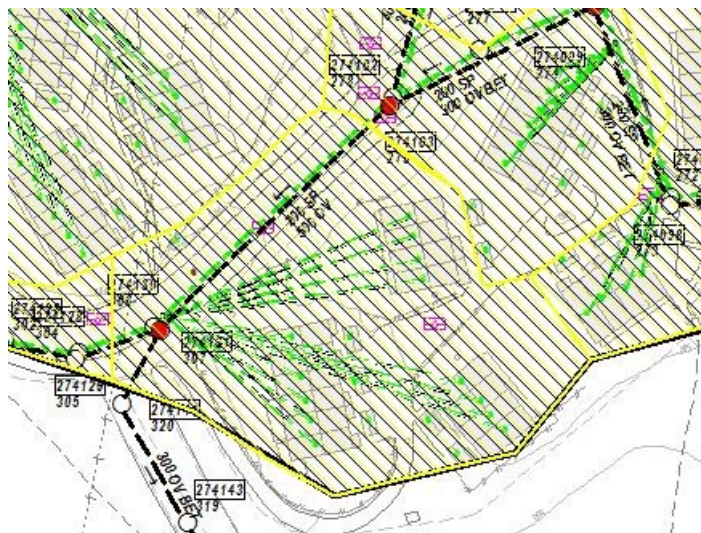
Avrenningen fra tertiærmodellen simulerer 62 % det vil si 600 l/s mer enn den målte avrenningen for en nedbørshendelse på $9,3 \frac{mm}{10 \text{ min}}$, tilsvarende 2 - 5 års regn.

Den store forskjellen i avrenning for intense og moderate nedbørshendelser målt på urbanstasjonen var utgangspunktet for å avdekke kilder som kunne skape målefeil.

11.2 Kilder som kan skape målefeil

11.2.1 Vannet renner forbi slukene. Vann ut av kritisk punkt 2

For at total avrenningen fra nedbørsfeltet skal bli målt må alt overvann treffe sluk/kum. En lav avrenning under intense nedbørshendelser kan skyldes at det er for få sluk i nedbørsfeltet eller at sluk kapasiteten er lav. I hele nedbørsfeltet er det totalt 82 sluk, det vil si 2 sluk i gjennomsnitt per delareal, illustrert med rosa firkanter på Figur 11.3.



Figur 11.3: Sluk i nedbørsfeltet illustrert med rosa firkanter rundt kritisk punkt 2 (Gemini VA 2014).

Ved kritisk punkt 2, fordelingskummen vist på Figur 11.3, vil overvannet gå ut av nedbørsfeltet når vannføringen er større enn 323 l/s (utregnet i Diskusjon 1). Ved å benytte den rasjonale formel (Formel 3.5) kan nedbørintensiteten bli beregnet for når vann går ut av ledningsnett i nedbørsfeltet:

Antar at 80 % av tette flater er deltagende (tertiærmodellen). Arealet som bidrar med avrenning til fordelingskummen er 4,74 hektar (Gemini VA 2014).

$$i = \frac{Q}{A \cdot \varphi} = \frac{323}{4,74 \cdot 27,7 \cdot 0,8} = 3,08 \frac{l}{s \cdot ha}$$

Nedbørintensiteten er ikke oppgitt som noen returperiode fra IVF kurven på Vestli (Figur 3.13). Dermed vil avrenning forsvinne fra overvannsnett under små nedbørshendelser på $3,08 \frac{l}{s \cdot ha}$. For et 100 års regn ble det 5 % av totalavrenningen.

11.2.2 Oppstuvning, vann ut av kum

Diskusjon 2 delkapittel 10.2.2, viste at kapasiteten på ledningsnett er bra, vannet som kommer til ledningsnett blir der frem til et 100 års regn simulert med terciærmodellen, da blir det oppstuvning. Dermed forsvinner det ikke vann ut av kum under mindre intense nedbørshendelser.

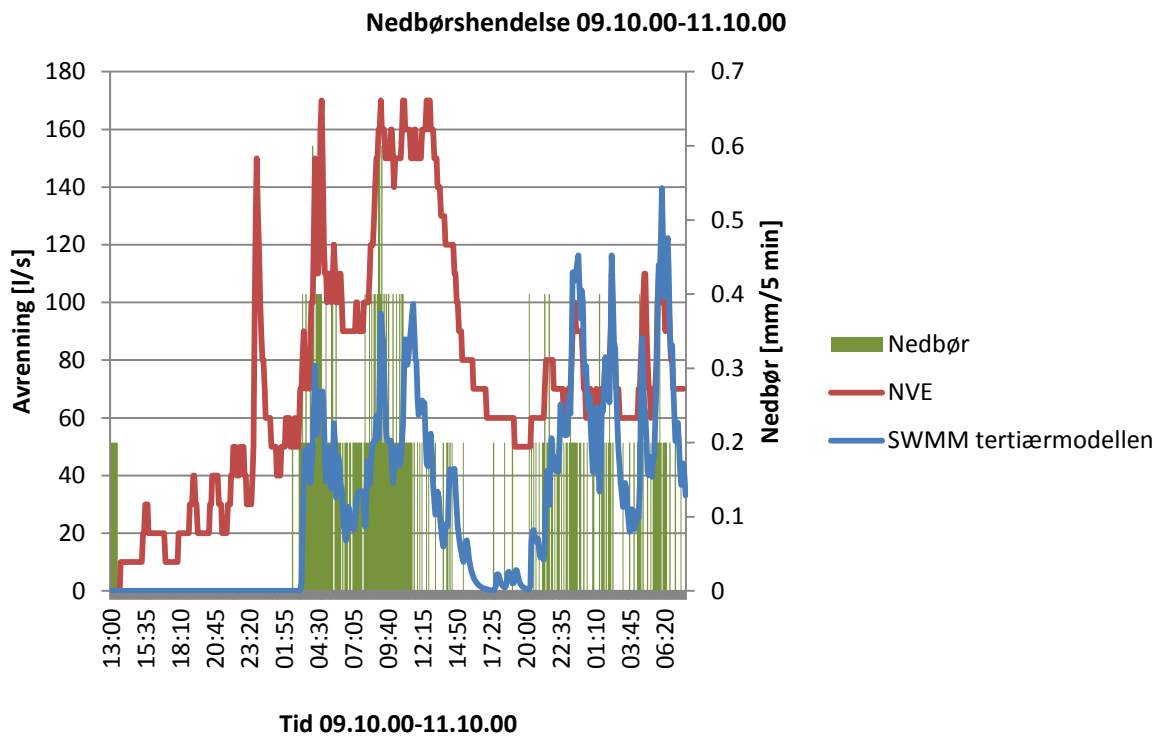
11.2.3 Oppstuvning utenfor V-overløp

Oppstuvning i Tokerudbekken ble observert 10.10.2000, Figur 11.4b som kan skyldes stikkrennen nedstrøms urbanstasjonen, Figur 11.4a.



Figur 11.4: a) Bilde til venstre viser stikkrennen 39 meter nedenfor V-overløpet. b) Bildet til høyre er tatt mens det er oppstuvning i Tokerudbekken utenfor V-overløpet.

Oppstuvingshendelsen ble simulert med tertiærmodellen og sammenlignet med målt avrenning, Figur 11.5.



Figur 11.5: Avrenning målt på urbanstasjonen og simulert med tertiærmodellen.

Toppen av den målte kurven er flat og hakkete som indikerer overkritisk strømning. Målt avrenning var omtrent 70 l/s høyere enn vannføringen simulert med tertiærmodellen for maksimal vannføring kl. 04:15, 09:10 og 11.30 den 10.10.2000.

Rundt kl. 20:30 10.10.2000 begynner det å bli samsvar mellom den målte kurven og tertiærmodellen. Det er tegn på at oppstuvningen har begynt å avta. Den totale nedbørsmengden registrert i perioden var 47 mm. Tidsperioden var 09.10.2000 kl. 13:00 til 11.10.2000 kl. 07:45. Nedbør intensiteten var i gjennomsnitt $\frac{47 \text{ mm}}{42,75 \text{ time}} = 1,1 \frac{\text{mm}}{\text{time}}$. Det er ikke registrert som en returperiode på IVF kurven for Vestli, Tabell 5.3. Antagelig har det vært mye nedbør og avrenning i perioden før oppstuvningen som har fylt jordmatrisen.

I perioder der avrenningen til Tokerudbekken er større enn den hydrauliske kapasiteten til stikkrennen kan det bli oppstuvning oppstrøms:

- Beregning av stikkrennens kapasitet ved hjelp av Mannings formel, Formel 3.10 for utregning av vannføringskapasiteten til stikkrennen med full våt omkrets.

Stikkrenne:

Bredde: 32 cm

Høyde: 39 cm

Lengde: 4 meter

Antar fri stråle fra utløpet av stikkrennen. Det er uvisst hvilket fall og ruhetskoeffisient stikkrennen har. Fire utregninger med endring av parameterne gir en gjennomsnittlig kapasitetsberegning, Tabell 11.1:

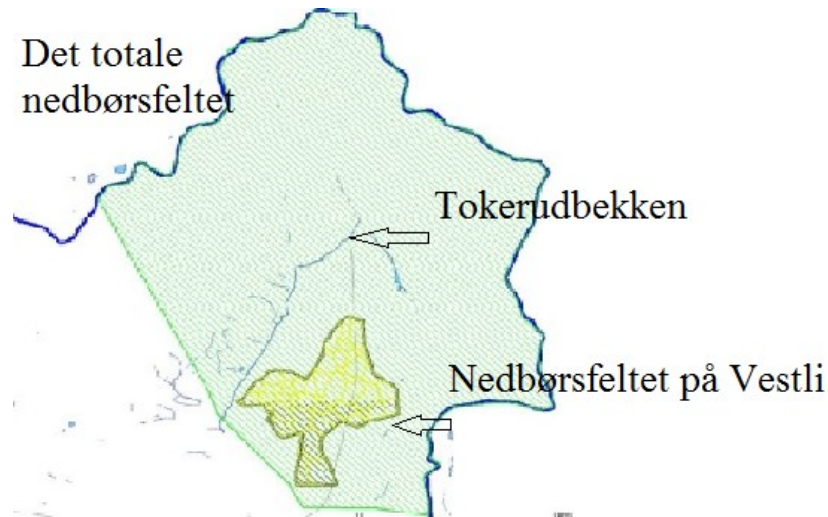
Tabell 11.1: Utregning av vannføringskapasiteten til stikkrennen når det er full våt omkrets for ulike fall, 10 og 20 ‰ og Mannings ruhetskoeffisient, 0,0133 og 0,0125.

	<i>Fall, S [‰]</i>	<i>Mannings ruhetskoeffisient [n]</i>	<i>Q [l/s]</i>
1	10	0,0133	6412
2	20	0,0133	8249
3	10	0,0125	6206
4	20	0,0125	8777
Gjennomsnittlig vannføring			7411

Gjennomsnittlig kapasitet til stikkrennen beregnet med Mannings formel er 7411 l/s.

- Den rasjonale formel for beregning av total avrenning til Tokerudbekken:

Gemini VA har et kartlag som deler Oslo inn i nedbørsfelt. Ved å måle opp det totale arealet som har en mulig tilrenning til Tokerudbekken kan den rasjonale formelen brukes til en overslagsberegning av avrenningen for et 10 års regn, Figur 10.6.



Figur 11.6: Det grønne arealet illustrerer det totale nedbørsfeltet som drenerer til Tokerudbekken som er den blå streken. Den gule figuren er nedbørsfeltet på (Gemini VA 2014).

Tilrenningskonstanten, t_k utregnet med Formel 3.8:

H: 240 m

L: 2236 m

$$t_k = 17 \text{ minutter} \approx 20 \text{ minutter}$$

Avrenningen til Tokerudbekken:

A_{tot} : 379 hektar

φ : 0,3

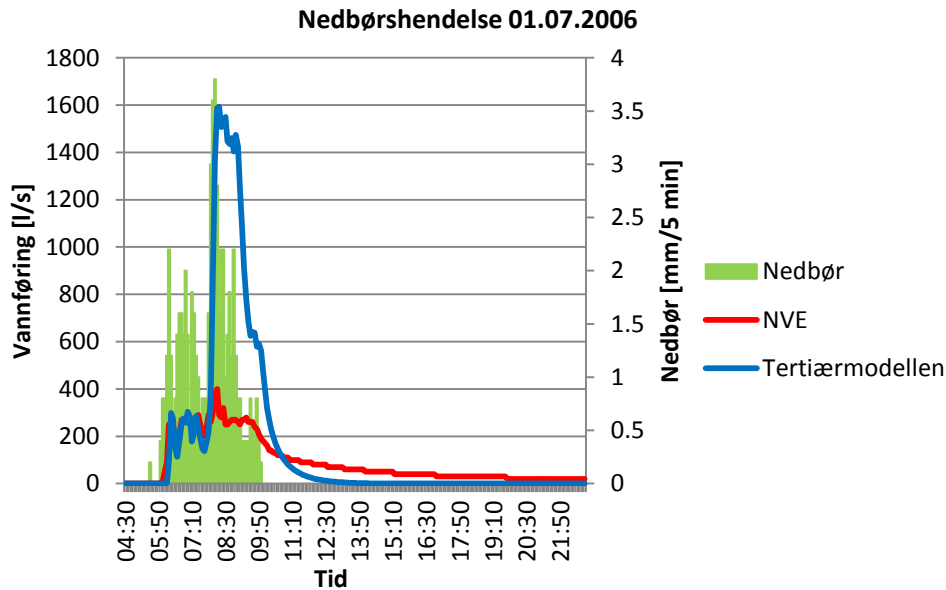
$i = 64,2 \frac{1}{\text{s}\cdot\text{ha}}$ for et 10 års regn når $t_k = 20$ min

$$Q = i \cdot A \cdot \varphi = 64,2 \frac{\text{l}}{\text{s}\cdot\text{ha}} \cdot 379 \text{ ha} \cdot 0,3 = 7300 \text{ l/s}$$

Den total avrenningen fra hele området til Tokerudbekken for et 10 års regn er på 7300 l/s. Det er en overslagsberegning for å se hvor mye vann som kan bli generert. Den rasjonale formelen er ikke nøyaktig for felt større enn 50 hektar så det er usikkerheter tilknyttet resultatet. Avrenningen er litt lavere enn den hydrauliske kapasiteten til stikkrennen beregnet med Mannings formel på 7411 l/s. Kvister eller andre gjenstander kan ha blokkert stikkrennen slik at det ble oppstuvning i Tokerudbekken 9.-11.10.2000.

11.2.4 Oppstuvning i V-overløp

Avskjæring av en avrenningstopp inntreffer 1. juli 2006, Figur 11.7. Da er det ikke sammenheng mellom målestørrelsen av vannstand, y_m , og det primære utgangssignalet, y_{up} . Dette kan være en dynamisk unøyaktighet som oppstår fordi målesystemets utgangssignal ikke klarer å følge med inngangssignalet tilstrekkelig raskt.



Figur 11.7: Nedbørshendelse med avskjærende topp, tertiærmodellen beregner vannføring 1200 l/s høyere enn den målte vannføringen.

En grunn til avskjæringen kan være at måleinstrumentene på urbanstasjonen har vanskeligheter for å måle høyere vannføring enn 300 l/s: «Falltapet i et V-overløp med skarp kant er forholdsvis stort og denne overløpstypen er derfor mest brukt for relativt små vannføringer (mindre enn 200 - 300 l/s), men målingene er gode opp til 1000 - 2000 l/s» (Mosevoll et al. 1991).

En annen grunn kan være oppsamling av slam oppstrøms V-overløpet. Det har blitt oppfordret til regelmessig spyling den gang VAV driftet urbanstasjonen på Vestli: «Spyling bør skje hver 14. dag for å unngå at slam når for høyt opp og forstyrrer målingene av vannføringen. En regelmessig spyling har den fordel at slammet ikke får hardne» (Øyen 1987). Oppsamling av gjenstander oppstrøms V-profilen kan føre til at strømmingen blir overkritisk og ødelegger målingene. Fem stasjonskontroller ble gjennomført i 2006. Det ble funnet kloakksjøppel oppstrøms V - profilen 14.06.2006, Tabell 11.2.

Tabell 11.2: Informasjon om stasjonsoppdydding fra 2006.

Det har blitt gjort 5 kontroller i 2006	
Kontroll dato	Kommentar
15.02.2006	Mye snø i nedbørsmålere. Litt is på betong nedstrøms profil. Isen ble fjernet.
30.04.2006	Ingen kommentar
14.06.2006	Mye kloakksjøppel oppstrøms V-profil. Fjernet en del. Oslo kommune varslet om situasjonen.
26.06.2006	Utførte kommunikasjonstest. Sannsynligvis dritt i røret. Instrumentverdi etter kommunikasjonstest 0,039
29.11.2006	Sjekket nedbørsmålere.

Optimalt burde stasjonen fungert bra 01.07.2006 ettersom det hadde vært kontroll en måned tidligere da kloakksjøppel antagelig var fjernet.

- Beregning med interpolasjonsformelene for V-overløpet på Vestli:

Segment 1: $Q_1 = 3,1595 \cdot h^{2,402}$, definisjonsområde $[0 - 0,2979]$

Segment 2: $Q_2 = 2,725(h-0,112)^{1,6968}$, definisjonsområde $[0,2979 - 1,18]$

En vannføring på 400 l/s gir høyden for Segment 2:

$$h = \left(\frac{0,40}{2,725}\right)^{\frac{1}{1,6968}} + 0,112 = 0,43 \text{ m}$$

Høyden på 0,43 meter er innenfor definisjonsområdet og det skal ikke være grunn til at interpolasjonsformlene gjør at målingene blir kuttet av ved 400 l/s.

Maksimal vannføring oppstår for øverste definisjonsområde, $h=1,18$. Da blir $Q_{2\text{maks}} = 3,05 \text{ m}^3/\text{s} = 3050 \text{ l/s}$. Det er høyere enn maksimal vannføring beregnet med tertiærmodellen for 100 års regn med 50 % klimatillegg som er 2200 l/s.

Befaring (15.04.2014) og skissetegning fra VAV fører til et endret definisjonsområde for Segment 1 og Segment 2.

$$\text{Segment 1 korrelert: } Q = 3,1595 h^{2,402}$$

Definisjonsområde $h [0 - 0,33]$

$$\text{Segment 2 korrelert: } Q = 2,725(h - 0,112)^{1,6968}$$

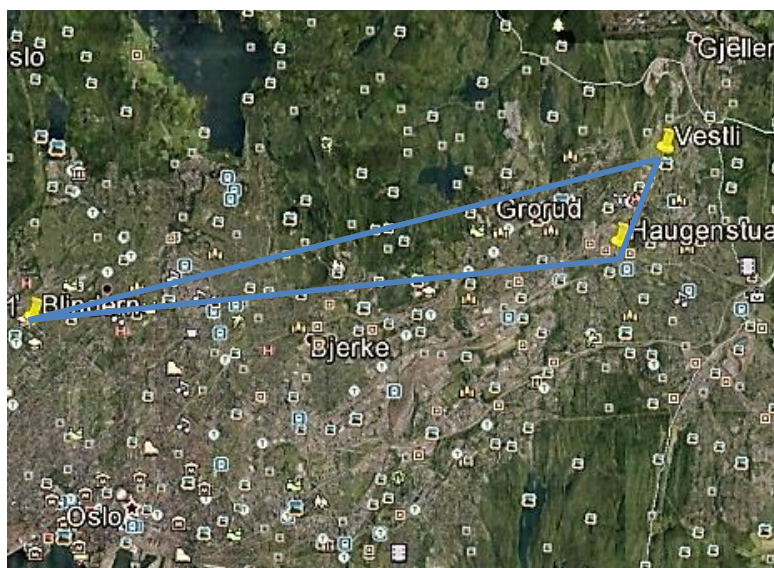
Definisjonsområde $h [0,33 - 1,18]$

Maksimal vannføring for Segment 1 når definisjonsområdet er $[0-0,33]$ er 220 l/s, det er 45 l/s høyere enn for tidligere definisjonsområde. Maksimal vannføring for Segment 2 blir det samme ettersom det bare er minimumintervallet for definisjonsområdet som blir endret. Et endret definisjonsområde har heller ikke noen betydning for den avkuttete vannføringen.

11.2.5 Ikke representativ nedbør

Nedbørmålere er bra til et visst punkt, deretter er det opp til de som drifter hvor gode målingene er (Møen 2014). På Vestli har det vært to typer nedbørmålere med en innebygget målefeil fram til Lambrecht ble installert i 2013 (Møen 2014). Pleumatic nedbørmålere har et kulelager i seg. Dette stivner slik at nedbørintensiteten ofte underestimeres. Nedbørmåleren Geonor måler vekten av regnvannet i en bøtte. Den fungerer bra helt til bøtten blir full og må tømmes og det har ikke blitt gjort regelmessig på Vestli (Møen 2014).

Konvektive nedbørshendelser om sommeren kan opptre veldig lokalt. I et område bør det optimalt være to til tre målere plassert ulike steder i nedbørsfeltet som skal bli modellert. På den måten kan målingene sammenlignes og nedbør som ikke er registrert på alle målerne kan utelukkes. På Vestli er det bare en nedbørmåler i nedbørsfeltet, men sammenligning med andre målestasjoner gir likevel en indikasjon på hvor lokalt nedbørshendelsen var. Fra Vestli er nærmeste målestasjon på Haugenstua som ligger 1,8 km unna, Figur 11.8. Målingene på Blindern er pålitelige fordi målestasjonen blir driftet jevnlig, men plasseringen er 11,5 km unna Vestli i luftlinje og ligger lavere i terrenget, slik at det blir registrert mindre nedbør på Blindern enn Vestli.



Figur 11.8: Avstand Haugenstua-Vestli = 1,8 km. Avstand Blindern-Haugenstua = 10,4 km. Avstand Blindern-Vestli = 11,5 km (Google Earth 2014).

Nedbørshendelser brukt i kalibrering 1 og 2 ble sammenlignet med nedbørmålerne på Haugenstua, Blindern og Vestli fra Metrologisk Institutt for å se hvor lokalt de konvektive nedbørhendelsene var, Tabell 11.3 og Tabell 11.4.

Tabell 11.3: Alle nedbørshendelsene brukt i oppgaven for kalibrering 1.

<i>Nedbør – hendelse Kalibrering 1</i>	<i>Nedbør Vestli_NVE Brukt i modell [mm]</i>	<i>Vestli metrologisk [mm]</i>	<i>Haugenstua metrologisk [mm]</i>	<i>Blindern metrologisk [mm]</i>
19.08.2004 10.00-16.00	32,6	32,6	49,3	25
07.06.2011 06.00-08.30	36,4	14,8	39,3	9,1
12.07.2010 23:20-00:40	14,8	2,2	41,1	14,3
21.06.2013 09:00-23:30	21	-	22.1	14.8
01.05.2000 05:00-09:10	17,8	17,6	-	-
12.08.2002 13:50-21:15	23	22,6	-	17,2
01.07.2004 11:30-23:55	26,6	3,4	2,3	0,5
22-23.08.2005 19:10-09:00	35,6	38,6	36,8	19,3
15.07.2001 06:45-12:05	9,4	9	-	5,6
05.07.2007 15:10-17:50	13,4	13,6	19,5	14,1
11.08.2009 20:00-22:25	4,2	4,2	0	0

Det var ikke samsvar mellom nedbøren registrert hos NVE og Metrologisk Institutt for målestasjonen på Vestli for nedbørshendelse 07.06.2011, 12.07.2010, 01.07.2004. Da var det registrert mindre nedbør på Metrologisk Institutt enn hos NVE. For nedbørshendelsene 21.06.2013 var ikke nedbøren registrert hos Metrologisk institutt. Nedbørshendelsene der Vestli har en overenstemmelse med målerne på Haugenstua og Blindern opptrer 19.08.2004, 21.06.2013, 12.08.2002, 22-23.08.2005 og 05.07.2007.

Nedbørshendelsene brukt i kalibrering 2, vist i Tabell 11.4:

Tabell 11.4: Alle nedbørshendelsene brukt i oppgaven for kalibrering 2

<i>Nedbør – hendelse Kalibrering 2</i>	<i>Nedbør Vestli_NVE Brukt i modell [mm]</i>	<i>Vestli metrologisk [mm]</i>	<i>Haugenstua metrologisk [mm]</i>	<i>Blindern metrologisk [mm]</i>
10.08.2006 17:50-20:10	5,6	5,4	2,7	3,8
11.08.2009 20:00-22:25	4,2	4,2	0	0
20.08.2002 12:45-15:35	4	2,6	-	1,4
29.06.2012 10:20-19:25	20,8	-	7	9,7
09.05.2013 13:45-17:00	4,2	-	5,3	2,1
29-30.07.2010 15:45-04:45	25	24,6	25,8	22,9
13.08.2010 05:30-21:00	20,2	20,2	15	32
05-06.08.2011 15:15-01:45	27,8	5,4	8,1	12,9
20-21.09.2010 16:25-03:05	18	18	20,1	14,5
08.07.2011 19:35-22:25	3,6	3,6	4	2,7

Det var ikke samsvar mellom nedbøren registrert hos NVE og Metrologisk Institutt for målestasjonen på Vestli for nedbørshendelse 20.08.2002 og 05-06.08.2011. Da var det registrert mindre nedbør på Metrologisk Institutt enn hos NVE. For nedbørshendelser 21.06.2013 og 09.05.2013 var ikke nedbøren registrert hos Metrologisk institutt. Nedbørshendelsene der Vestli har en overenstemmelse med målerne på Haugenstua og Blindern opptrer 10.08.2006, 09.05.2013, 29-30.07.2010, 13.08.2010, 20-21.09.2010 og 08.07.2011.

Siden det ikke alltid var samsvar mellom nedbøren registrert hos NVE og Metrologisk Institutt (met.no) på Vestli, ble en kontaktperson på Metrologisk Institutt kontaktet og spurt om hvorfor dette var tilfellet. Svaret var at: «*Metrologisk Institutt lar NVE ta seg av driften på Vestli og får tilsendt dataene derifra. Metrologisk Institutt har algoritmer for vedlikehold der de fjerner kunstige intervaller. Dataene fra NVE blir kontrollert og slettet dersom det ser feil ut*» (Klimainformatikk 2014). Kontaktpersonen understreket at Metrologisk Institutt sine

metoder er ikke var feilfrie og at det ligger en usikkerhet i innsamlingen og kontrolleringen av nedbørsdataene.

Optimalt burde Metrologisk Institutt sendt nedbørsdataene tilbake til NVE etter at det har blitt kjørt en feilalgoritme. På den andre siden ble alle nedbørshendelsene kontrollert av Eydis Dalen fra NVE og sammenlignet med tilhørende avrenning. Hun mente at nedbørshendelsene hadde samsvar med avrenningen, vist i Vedlegg E (Dalen 2014).

Det er en feilkilde ved modelloppbygging og ikke benytte representativ nedbør i kalibreringen. En kontroll test av nedbøren burde blitt utført helt i starten av kalibreringen.

I tillegg er det viktig at trær og andre hindringer blir fjernet slik at det meste av nedbøren treffer måleren. «*Nærmeste hindring til nedbørmåleren skal ikke være høyere enn nedbørmåleren addert med avstanden mellom hindring og nedbørmåler*» (Martinsen & Pham 2014). Alexander Pham og Thomas Martinsen fra VAV kommenterte at trærne rundt nedbørmåleren stod nærme og antagelig var for høye i forhold til høyden til nedbørmåleren.

12 KONKLUSJON

Avslutning på oppgaven er konklusjonen som gir svar på problemstillingene for oppgaven.

- Den hydrauliske kapasiteten til overvannsnettets på Vestli er god med hensyn på oppstuvning. Det blir ikke oppstuvning før med et 100 års regn. En 50 % økning i nedbørintensitet gir oppstuvning for et 10 års regn i 19 kummer. Ved å bruke LOD utforming, grønne tak og regnbed eller avkobling av takrenner til overvannsnettets vil det redusere avrenningen med 50 % slik at den hydrauliske kapasiteten opprettholdes i en tid med klimaendringer.
- Målesikkerhet for intense nedbørshendelser gjorde at to kalibreringer ble utført i SWMM og en i ROSIE. Den andre kalibrering i SWMM (tertiærmodellen) samsvarte med ROSIE modellen. Derfor ble terciærmodellen brukt til å simulere den hydrauliske kapasiteten til overvannsnettets på Vestli.
- Maksimal avrenning høyere enn 400 l/s har blitt observert åtte ganger siden 1974, men det ble ikke påvist under kalibreringen. For intense nedbørshendelser simulerte terciær og ROSIE modellen over 50 % høyere maksimal avrenning enn målt avrenning, men hadde god korrelasjon for moderate og små nedbørshendelser målt på Vestli.
- Kilder som kan skape målefeil på urbanstasjonen er: (1) oppstuvning i Tokerudbekken utenfor V-overløpet, (2) gjenstander oppstrøms V-profilet, (3) feilalgoritmer fra Metrologisk Institutt som ikke blir tilbakeført til NVE, (4) for høye trær rundt nedbørmåleren, (5) et fåtall av sluk som leder vann til overvannsnettets og vann som forsvinner ut av overvannsnettets i fordelingskum (SID 274131).

Referanser

- Akershus fylkeskommune & Oslo kommune. (2010). *Befolkningsframskriving for Akershus og Oslo 2011 - 2030*. Tilgjengelig fra: <https://www.oru.no/Documents/%C3%98vre%20Romerike%20Utvikling/Strategier/2011-2020/Bakgrunnsnotater/Befolkningsframskrivning%20for%20Akershus%20og%20Oslo.pdf> (lest 02.02.2014).
- Bergen kommune. (2005). *Retningslinjer for overvannshåndtering i Bergen kommune*. Bergen: Bergen Kommune-Vann og avløpsetaten. Tilgjengelig fra: <http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpasning/Bilder/Kommunecase/Hordaland/Retningslinjer.pdf> (lest 20.02.2014).
- Bjerkholt, J. (2012). *Avrenning*. Ås: Norges- miljø og biovitenskapelige universitet (Forelesning i THT261).
- Braskerud, B. (2010a). *Flomdirektivet - til hjelp for fremtidens byer*. Norges- vassdrag og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://www.regjeringen.no/upload/subnettsteder/framtidens_byer/klimatilpasning/Flomdirektivet%20NVE.pdf (lest 03.02.2014).
- Braskerud, B. (2010b). *Urbant overvann - hvordan leve med det?* Norges-vassdrag og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://www.nve.no/Global/Seminar%20og%20foredrag/Skred-%20og%20vassdragsdagene%202010/Urbant%20overvann_BCB10.pdf (lest 02.02.2014).
- Buhler, L. (2013a). *Analyse av klimaendringens påvirkning på Rustadfeltet med kalibrert modell*. Masteroppgave. Ås: Norges- miljø og biovitenskapelige universitet.
- Buhler, L. (2013b). *Kalibrering*. Ås: Norges- miljø og biovitenskapelige universitet (Kompendium i THT300).
- Bydelsdirektør. (2010). *Strategisk plan for Bydel Stovner*. Oslo Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.bydel-stovner.oslo.kommune.no/getfile.php/bydel%20stovner%20\(BSR\)/Internett%20\(BSR\)/Dokumenter/Strategisk%20plan%202010-2013.pdf](http://www.bydel-stovner.oslo.kommune.no/getfile.php/bydel%20stovner%20(BSR)/Internett%20(BSR)/Dokumenter/Strategisk%20plan%202010-2013.pdf) (lest 05.03.2014).
- Bymilljøetaten. (2013). *Oslo grønn hovedstad - Handlingsplan for miljø og klima 2013-2016*. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20\(PMJ\)/Internett%20\(PMJ\)/Dokumenter/Rapporter/3%20Kommunens%20milj%C3%B8arbeid/Handlingsplan_Miljo_Klima_2013-2016.pdf](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20(PMJ)/Internett%20(PMJ)/Dokumenter/Rapporter/3%20Kommunens%20milj%C3%B8arbeid/Handlingsplan_Miljo_Klima_2013-2016.pdf) (lest 17.03.2014).
- Bystyret. (2006). *Sanitærreglementer for Oslo*. Oslo: Vann og avløpsetaten i Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20\(VAV\)/Internett%20\(VAV\)/Dokumenter/Sanit%C3%A6rreglement%20revidert%20januar%202007.pdf](http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20(VAV)/Internett%20(VAV)/Dokumenter/Sanit%C3%A6rreglement%20revidert%20januar%202007.pdf) (lest 20.03.2014).
- Bystyret. (2011). *Byøkologisk program 2011-2026*. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20\(PMJ\)/Internett%20\(PMJ\)/Dokumenter/By%C3%B8kologisk%20program/Trykksak_By%C3%B8kologisk%20Program%202011-2026%20NO.pdf](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20(PMJ)/Internett%20(PMJ)/Dokumenter/By%C3%B8kologisk%20program/Trykksak_By%C3%B8kologisk%20Program%202011-2026%20NO.pdf) (lest 20.03.2014).
- Christoffersen, B. (2014). *Modellering med ROSIE*. Oslo Vann og avløpsetaten (Personlig kommunikasjon 03.03.2014).
- Dalen, E. (2014). *Vannstandsmåling for V-overløp på Vestli*. Oslo: Norges- vassdrag og energidirektorat (Personlig kommunikasjon 15.04.2014).
- Dalløkken - GIS. (2014). *Beregning av tette flater på nedbørsfeltet på Vestli*.

- DHI. (2000). *Mouse RDII calibrator-user guide*. Danmark: DHI Water & Environment.
Tilgjengelig fra:
http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_RDII_UserGuide.pdf.
- Fergus, T., Hoseth, K. A. & Sæterbø, E. (2010). *Vassdragshåndboka*. 2 utg.: Tapir forlag.
- Gemini VA. (2010). *Gemini VA*. Tilgjengelig fra:
<http://www.powel.no/produkter/Gemini/gemini-va/> (lest 10.04.2014).
- Gemini VA. (2014). *Dataprogram*.
- Google Earth. (2014). *Dataprogram*.
- Hendriks, M. R. (2010). *Introduction to Physical Hydrology*: Oxford.
- HYDRA II. (2006). *"Hysopp"- Informasjon om Urbanstasjonen på Vestli*.
- James, R. (2012). *Modeling LIDs using PCSWMM and EPA SWMM5*. Ontario: CHI.
Tilgjengelig fra: http://sustainabletechnologies.ca/wp/wp-content/uploads/2013/01/Rob-James_LID-Modeling-Mar-28-2012.pdf.
- Kitterød, N. O. (2013). *Hydrologi*. Ås: Norges miljø og biovitenskapelige universitet (Forelesning i VANN200).
- Klimainformatikk. (2014). *For klimarelaterte spørsmål, inkludert eKlima.no* (Personlig kommunikasjon 24.03.2014).
- Kveine, R. (2006). *Kokebok for modellering. Internt dokument VAV*.
- Lilleås, H. S. (2012). *Oslo vokser raskest i Europa*: Nettavisen. Tilgjengelig fra:
<http://www.nettavisen.no/nyheter/3392039.html> (lest 24.04.2014).
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsen, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. Norsk Vann Rapport*, 162: 79.
- Lindholm, O. (2013a). *Miljøgifter i overvann og fra tette flater. Forurensning i våtvær*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (Forelesning i THT 300).
- Lindholm, O. (2013b). *Oversvømmelse i by*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (Forelesning i THT100).
- Lindholm, O. (2013c). *Videregående emner om nedbør til bruk i urbanhydrologien*. Ås: Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (Forelesning i THT300).
- Lovdata. (1981). *Forurensningsforskriften*. Tilgjengelig fra:
http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-06-01-931/KAPITTEL_4-6#KAPITTEL_4-6 (lest 10.04.2014).
- Lovdata. (1983). *Lov om vern mot forurensninger og om avfall*. Tilgjengelig fra:
<http://lovdata.no/dokument/NL/lov/1981-03-13-6> (lest 10.04.2014).
- Lovdata. (2000). *Vannressursloven*. Tilgjengelig fra:
http://lovdata.no/dokument/NL/lov/2000-11-24-82/KAPITTEL_2#§7 (lest 10.04.2014).
- Lovdata. (2008). *Plan og Bygningsloven*. Tilgjengelig fra:
<http://lovdata.no/dokument/NL/lov/2008-06-27-71?q=plan+og+bygningloven> (lest 10.04.2014).
- Lovdata. (2010). *Byggeteknisk forskrift*. Tilgjengelig fra:
http://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2010-03-26-489/KAPITTEL_3-6-3#KAPITTEL_3-6-3 (lest 10.04.2014).
- Martinsen, T. & Pham, A. (2014). *Hindring rundt nedbørsmåler på Vestli*. Oslo: Vann og avløpsetaten i Oslo (Personlig kommunikasjon 20.03.2014).
- Metrologisk Institutt. (2010). *Klima*. Tilgjengelig fra: <https://metlex.met.no/wiki/Klima> (lest 09.01.2014).
- Metrologisk Institutt. (2014). *Nedbørsmåler*. Tilgjengelig fra:
http://met.no/Meteorologi/A_male_varet/Observasjoner_fra_land/Varstasjoner/Automatiske_varstasjoner/Maleinstrumenter/Nedbormaler/ (lest 20.03.2014).

- Miljødirektoratet. (2000). *Vanndirektivet*. Tilgjengelig fra: <http://www.vannportalen.no/enkel.aspx?m=31147> (lest 10.04.2014).
- Mosevoll, G., Wedum, K. & Sægrov, S. (1991). Håndbok for vannføringsmålinger i vann- og avløpsanlegg 2. utgave.
- Møen, K. (2014). *Urbanstasjonen på Vestli*. Oslo: Norges-vassdrag og energidirektorat (Personlig kommunikasjon 11.04.2014).
- Norges Geologiske Undersøkelser. (2011). *Løsmasser*. Tilgjengelig fra: <http://www.ngu.no/no/hm/Kart-og-data/Losmasser/> (lest 05.03.2014).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2008). *Hydrologi*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/> (lest 05.04.2014).
- Norges vassdrags- og energidirektorat. (2009). *Urbanhydrologi*. Tilgjengelig fra: <http://www.nve.no/no/Vann-og-vassdrag/Hydrologi/Vannstandvannforing/Urbanhydrologi/> (lest 05.04.2014).
- Norsk Vann. (2012). *Vann og Avløpsteknikk*. 1 utg.: Norsk vann.
- Oslo kommune. (2013). *Mer regn og tettere bebyggelse utfordrer byen vår*. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20\(PMJ\)/Internett%20\(PMJ\)/Dokumenter/Rapporter/vann%20og%20vassdrag/Overvannsbrosjyre%202013-for%20utskrift.pdf](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20(PMJ)/Internett%20(PMJ)/Dokumenter/Rapporter/vann%20og%20vassdrag/Overvannsbrosjyre%202013-for%20utskrift.pdf) (lest 13.05.2014).
- Oslo kommune. (2014). *Osloborgere*. Tilgjengelig fra: <http://www.utviklings-og-kompetanseetaten.oslo.kommune.no/oslostatistikken/article273184-42123.html> (lest 09.04.2014).
- Otnes, J. & Ræstad, E. (1973). *Hydrologi definisjoner og begreper*.
- Rosim. (2009). *ROSIE-modellering av vann- og avløpsnett*. Tilgjengelig fra: <http://www.rosie.no/post6398.tmp/hXGYCSNdHS3G.16.idium> (lest 24.04.2014).
- Rossmann, L. A., Shade, T., Sullivan, D., Dickinson, R., Chan, C. & Burgess, E. (2010). *Storm Water Management Model User's manual version 5.0*. Cincinnati: United States Environmental Protection Agency. Tilgjengelig fra: <http://nepis.epa.gov/Adobe/PDF/P100ERK4.pdf> (lest 01.09.2013).
- Statens Vegvesen. (2011). *Vegbygging. Håndbok 018*. Oslo: Vegdirektoratet.
- Statens Vegvesen. (2014). *Vegprosjekter*. Tilgjengelig fra: <http://www.vegvesen.no/Vegprosjekter> (lest 09.04.2014).
- Stenhus, S. (2012). *Vannføringsstasjoner i Norge med felt mindre enn 50 km². Oppdragsrapport A, 5*.
- 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. Tilgjengelig fra: http://www.climatechange2013.org/images/report/WG1AR5_SPM_FINAL.pdf (lest 15.01.2014).
- Store norske leksikon. *Atmosfære-luftlaget omkring Jorden*. Tilgjengelig fra: http://snl.no/atmosf%C3%A6re/luftlaget_omkring_Jorden (lest 07.04.2014).
- SWMM. (2010). *Storm Water Management Model*. Amerika: USEPA.
- Sælthun, N. R. (2013). *Hydroteknikk Hydrologiske modeller*. Ås: Norges- miljø og biovitenskapelige universitet (Forelesning THT 300).
- Tollan, A. (2013). *Nordens hydrologi*. Ås: Norges- miljø og biovitenskapelige universitet (Kompendium VANN i 200).
- USGS. (2014). *Amerikas geologiske undersøkelse: Vannets kretsløp*. Tilgjengelig fra: <http://water.usgs.gov/edu/watercyclenorwegian.html> (lest 07.04.2014).

- Vaisala Inc. (1998). Model 436 Series of Incremental Shaft Encoders, Interfaces and options *User's Guide 3.1*.
- Vann- og avløpsetaten. (2000). *Hovedplan for avløp og vannmiljø i Oslo 2000-2015*. Oslo: Vann og avløpsetaten i Oslo kommune. Tilgjengelig fra: [http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20\(PMJ\)/Internett%20\(PMJ\)/Dokumenter/Rapporter/vann%20og%20vassdrag/Hovedplan%20vann%20og%20avlop.pdf](http://www.miljo.oslo.kommune.no/getfile.php/Milj%C3%B8portalen%20(PMJ)/Internett%20(PMJ)/Dokumenter/Rapporter/vann%20og%20vassdrag/Hovedplan%20vann%20og%20avlop.pdf) (lest 20.03.2014).
- Vann- og avløpsetaten. (2011). *Overvannshåndtering-En veileder for utbygger*. Oslo: Vann og avløpsetaten i Oslo kommune. Tilgjengelig fra: http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/getfile.php/vann-%20og%20avl%C3%B8psetaten%20%28VAV%29/Internett%20%28VAV%29/BILDER%20NY/Vannet%20v%C3%A5rt/Overvann/Overvannsveileder_01.04.12 (lest 15.02.2014).
- Vann- og avløpsetaten. (2012). *Vassdragene og fjord*. Oslo: Vann og avløpsetaten i Oslo kommune. Tilgjengelig fra: http://www.vann-og-avlopsetaten.oslo.kommune.no/vannet_vart/vassdrag_og_fjord/vassdragene_vare/alna/ (lest 02.04.14).
- Vann- og avløpsetaten. (2014a). *Hovedplan avløp og vannmiljø 2014-2030. Internt dokument hos Vann og avløpsetaten i Oslo*.
- Vann- og avløpsetaten. (2014b). *Overvannshåndtering*. Oslo: Oslo kommune. Tilgjengelig fra: Intranett Oslo kommune.
- Vestersager, T. *Seksjon for hydrodynamikk*. Norges- vassdrag og energidirektorat. Tilgjengelig fra: http://www.nve.no/PageFiles/14510/03%20Stasjonsnett%20og%20datamottak_Tina%20Vestersager.pdf (lest 10.04.2014).
- Yara. (2014). *Jordarter*. Tilgjengelig fra: <http://www.yara.no/gjodsel/gjodslingsplanlegging/> (lest 15.03.2014).
- Øyen, E. (1987). *Urbanstasjonen på Vestli*. Upublisert manuskript.

13 VEDLEGG

Vedlegg A Lover og styringsdokumenter for Overvann

Lover:

- Plan og bygningsloven § 27-2: Ved opprettelse eller endring av eiendom til bebyggelse skal bortledning av avløpsvann være sikret i samsvar med forurensningsloven. Lovbestemmende og det er mest hensiktsmessig å knytte seg til felles ledningsnett eller føre avløpsledningen over en annens grunn (Lovdata 2008).
- Byggeteknisk forskrift: Vannforsynings- og avløpsanlegg skal prosjekteres og utføres slik at helse, miljø og sikkerhet ivaretas. Ledningsnettet skal prosjekteres og utføres slik at forventet levetid oppnås (Lovdata 2010).
- Forurensningsloven: Formål om å verne det ytre miljø mot forurensning og å redusere eksisterende forurensning. Loven skal sikre en forsvarlig miljøkvalitet slik at forurensninger og avfall ikke fører til helseskade, trivsel eller skader naturen (Lovdata 1983).
- Forurensningsforskriften 15A: Gjelder bestemmelser for påslipp av avløpsvann til offentlig avløpsnett (Lovdata 1981).
- Vannressursloven § 7: Vassdrag skal beskyttes. Utbygging og andre virksomheter skal skje slik at nedbør kan få infiltrere i grunnen, hvis ikke kan Vassdragsmyndighetene gi pålegg om tiltak for å øke infiltrasjon i grunnen (Lovdata 2000).
- Abonnentsbetingelser for Oslo: «Sanitærreglement for Oslo» en oppsummering av: Plan og bygningsloven, Forurensningsloven, Matloven, Vannressursloven, Forvaltningsloven og Vann- og avløpsgebyrer (Bystyret 2006).

Styringsdokumenter:

- Byøkologisk program 2011 -2026: Visjonen og hovedmål er at Oslo skal være et bærekraftig bysamfunn der alle har rett til ren luft, rent vann og tilgang på gode friområder (Bystyret 2011).
- Veileder om overvannshåndtering for utbyggere: Tar utgangspunkt i gjeldende lover og forskrifter, sanitærrelementet for Oslo og overordnede planer (byøkologisk program). Dette skal bidra til å sikre vannbalansen i utbyggingsområder og unngå overbelastning av det offentlige avløpsnettet (Vann- og avløpsetaten 2011)
- Handlingsplan for miljø og klima, 2013 - 2016: Visjon: «Oslo skal være blant de mest innovative byene i Europa og gi rom for kreativitet og verdiskapning. Oslo skal ha en byutvikling med gode steds- og miljøkvaliteter og et miljøeffektivt transportsystem. Oslo skal være en av verdens mest miljøvennlige byer. Fjorden og marka gir Oslo et blågrønt preg som skal bevares og styrkes» (Bymilljøetaten 2013).
- Hovedplan avløp og vannmiljø 2000 - 2015: Omhandler strategier for håndtering av avløp, planleggingsprinsipp, tiltak og kostnader (Vann- og avløpsetaten 2000).
- Hovedplan for avløp og vannmiljø 2013 – 2030: Et samlet hovedformål i lover og styrende dokumenter er å bygge robuste avløpssystemer som møter klimaendringer, befolkningsøkning og fortetting (Vann- og avløpsetaten 2014a).

Vedlegg B Parametere for beregningsmetode i SWMM

Tabell 13.1: Parametere for gropmagasin for permeable og impermeable flater (Rossmann et al. 2010).

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

Tabell 13.2: Maksimum infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossmann et al. 2010).

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 men ikke tørket ut	Tørr jord/3	Tørr jord/3	Tørr jord/3
Fuktig jord opp mot metning	Min infiltrasjon	Min infiltrasjon	Min infiltrasjon
Fuktig jord som nesten har tørket ut	Tørr jord/[1,5-2,5]	Tørr jord/[1,5-2,5]	Tørr jord/[1,5-2,5]

Tabell 13.3: Minimum infiltrasjonsrate for ulike jordteksturer (Rossmann et al. 2010).

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

Tabell 13.4: Avtakingskonstant og tørke tid for jorden (Rossmann et al. 2010).

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

Tabell 13.5: Ruhet impermeable flater (Rossman et al. 2010).

Ruhet impermeable flater [n]:	
Glatt asfalt	0,011
Glatt betong	0,012
Vanlig betong	0,013
Leire	0,015

Tabell 13.6: Ruhet permeable flater (Rossman et al. 2010).

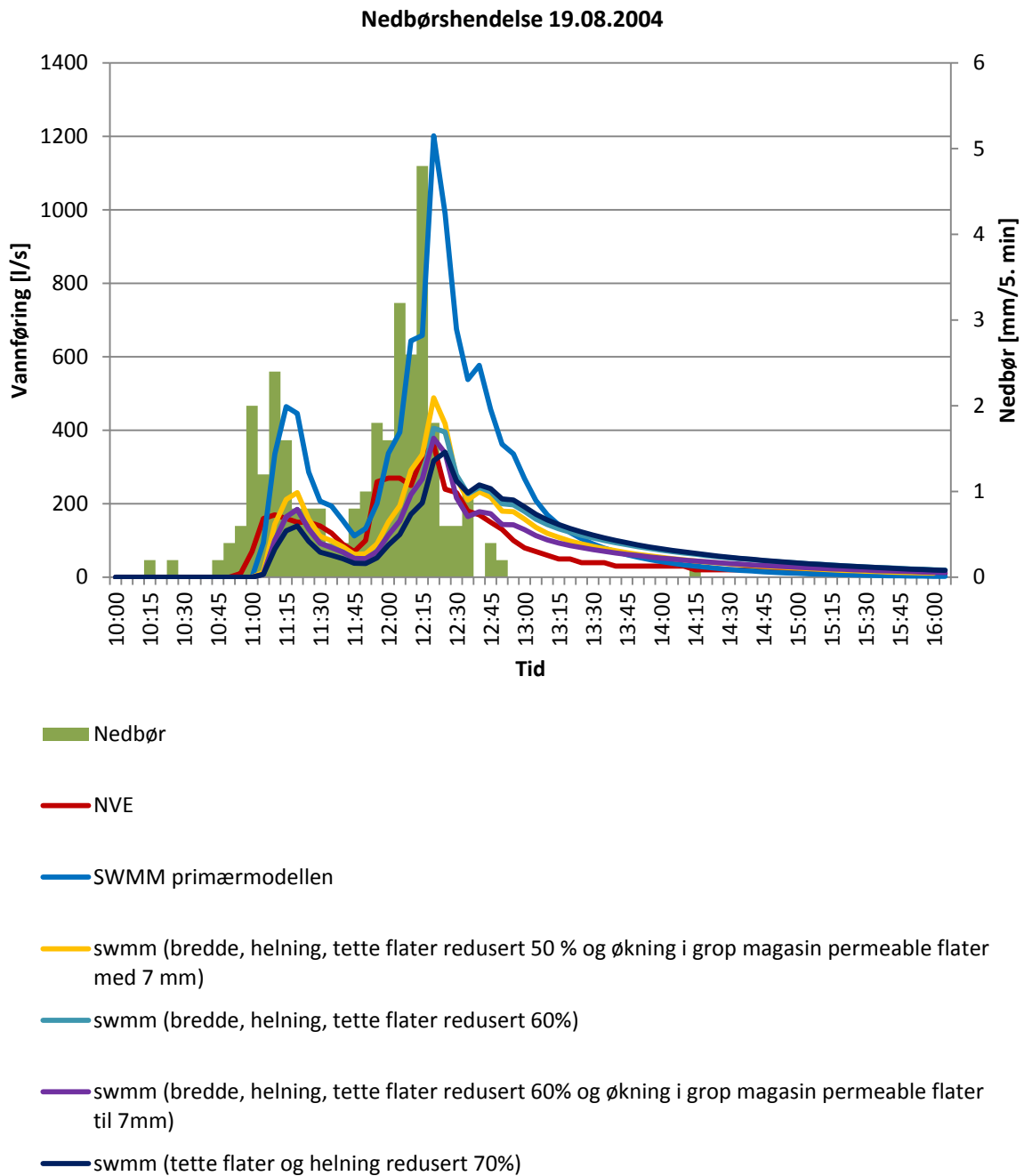
Ruhet permeable flater [n]:	
Kort gress	0,15
Tett gress	0,24
Bermuda gress	0,41

Tabell 13.7: Ruhet rør (Rossman et al. 2010).

Overvannsnettet består av betong rør, ruhet rør [n]:	
Glatt monolittisk betong	0,012 - 0,014
Ru monolittisk betong	0,015 - 0,017
Betong rør	0,011 - 0,015

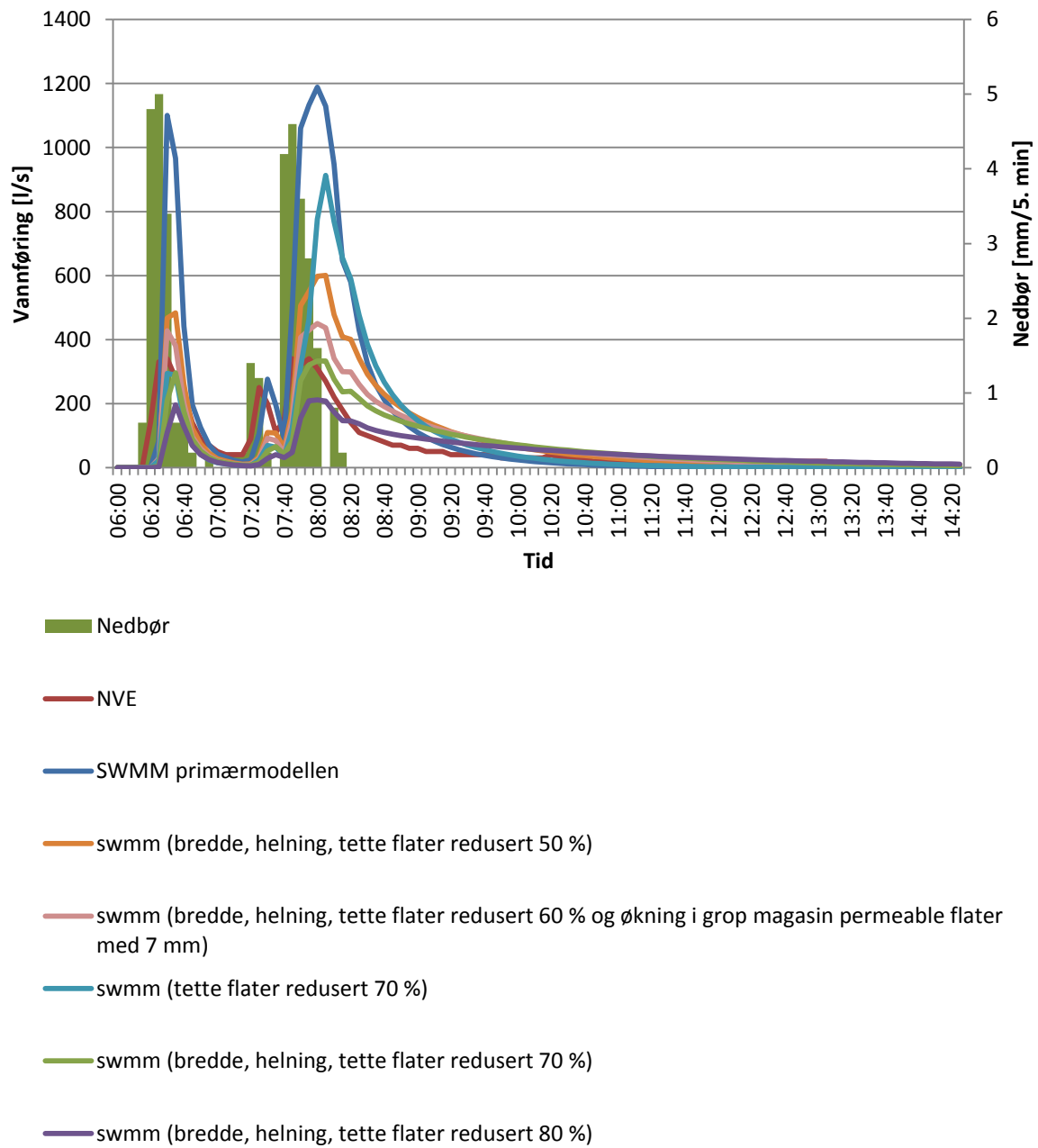
Vedlegg C Nedbørshendelsene Kalibrering 1

Justering:

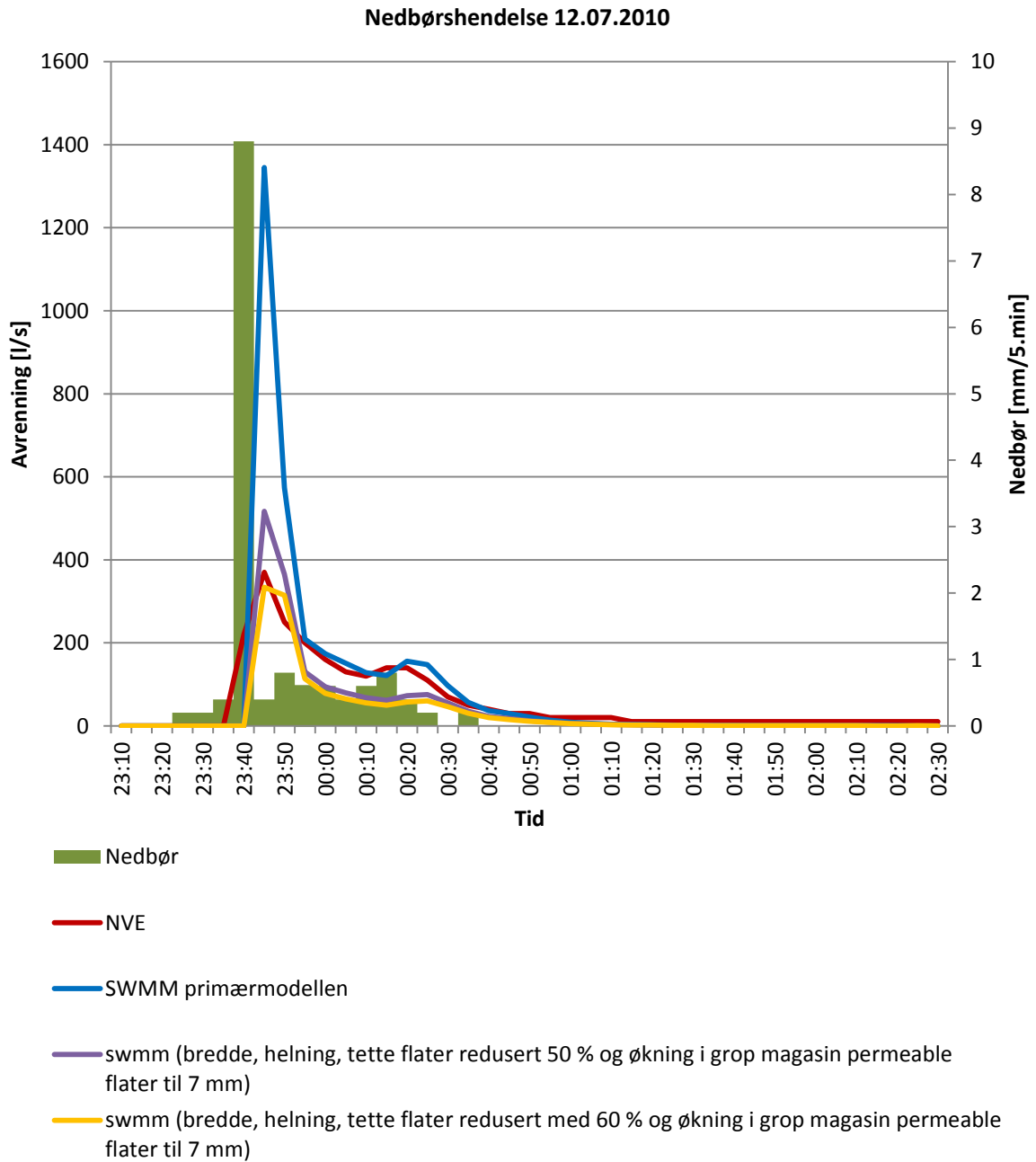


Figur 13.1: Nedbørshendelse 19.08.2004 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.

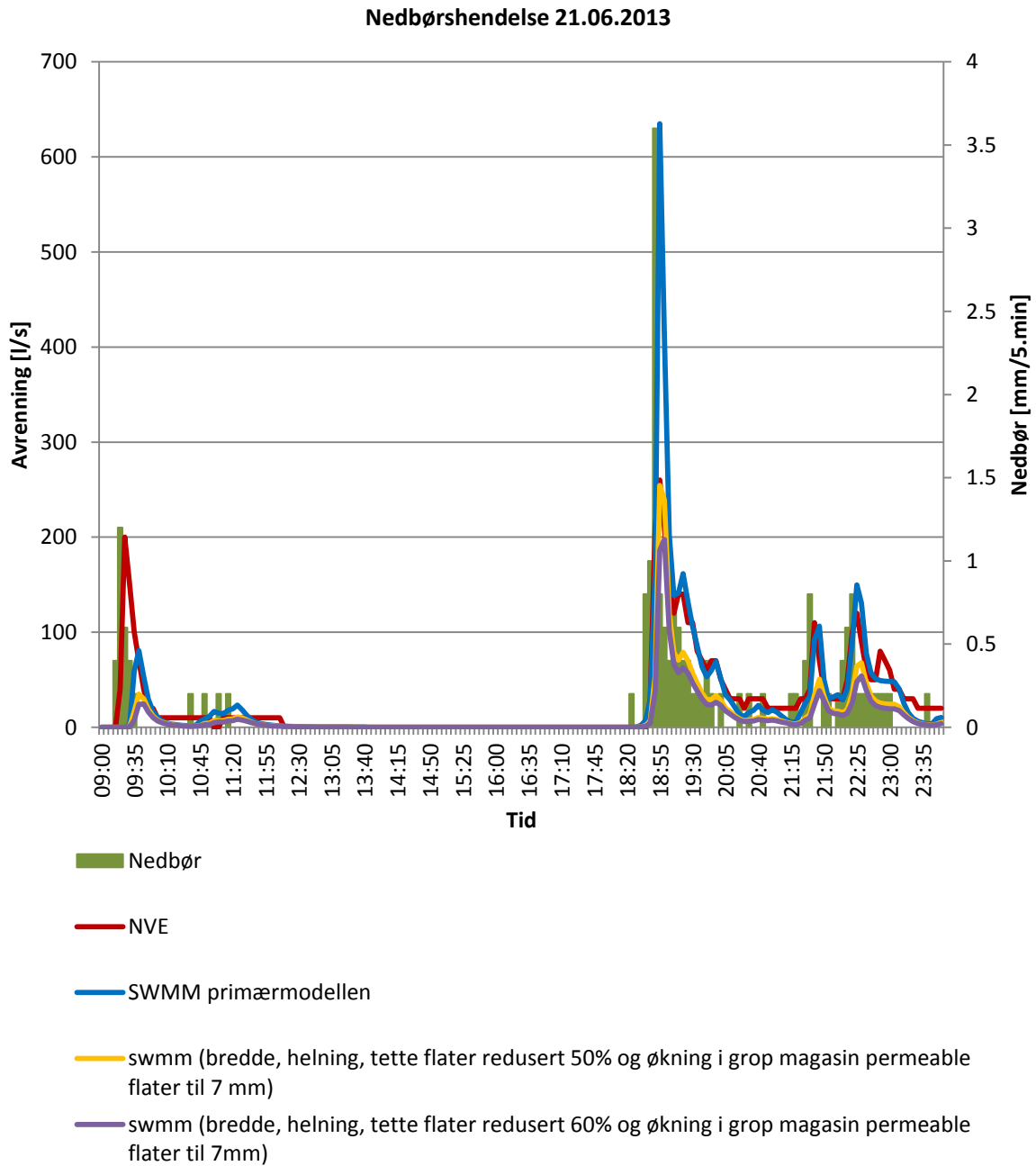
Nedbørshendelse 07.06.2011



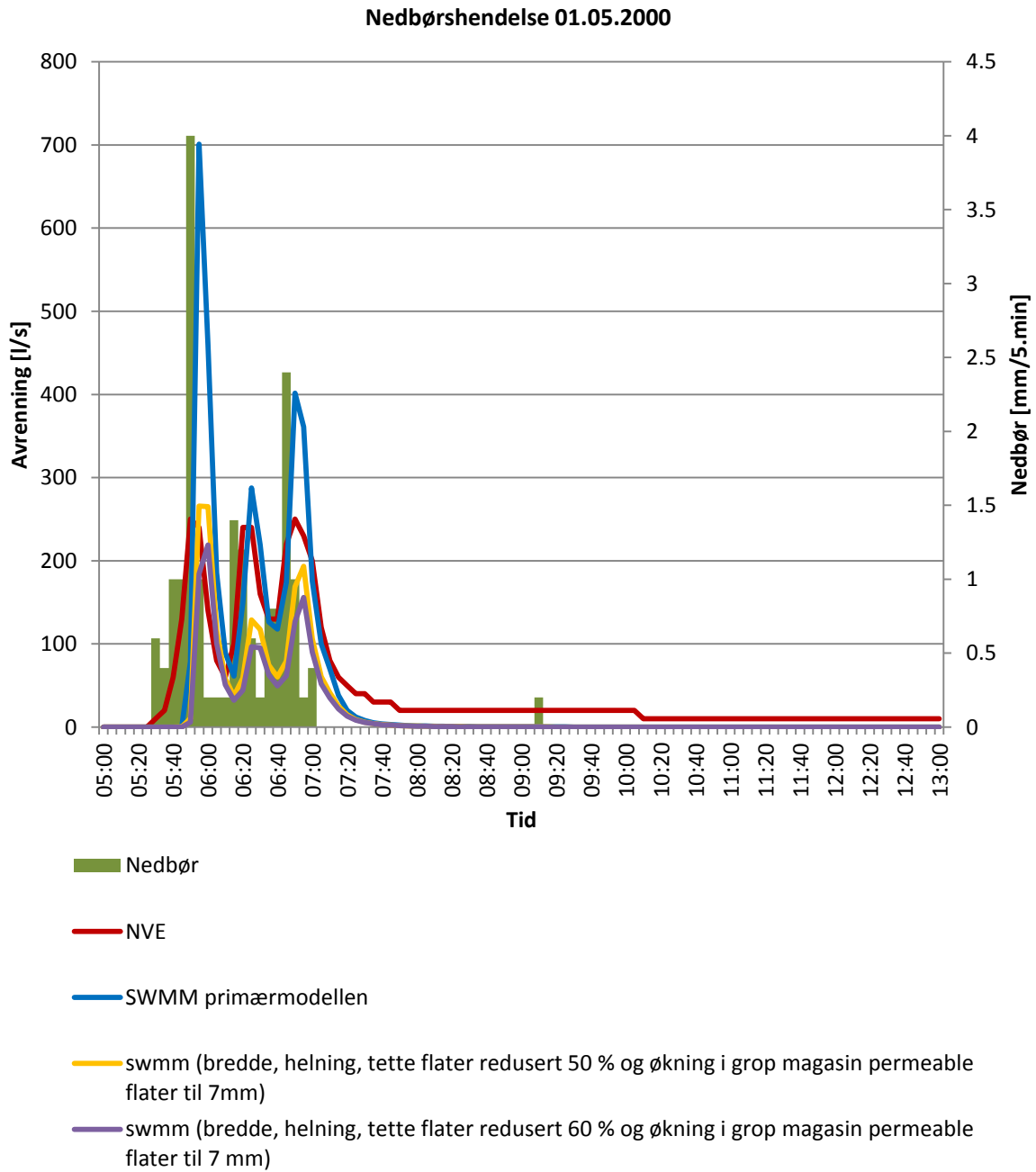
Figur 13.2: Nedbørshendelse 07.06.2010 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.



Figur 13.3: Nedbørshendelse 12.07.2010 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.

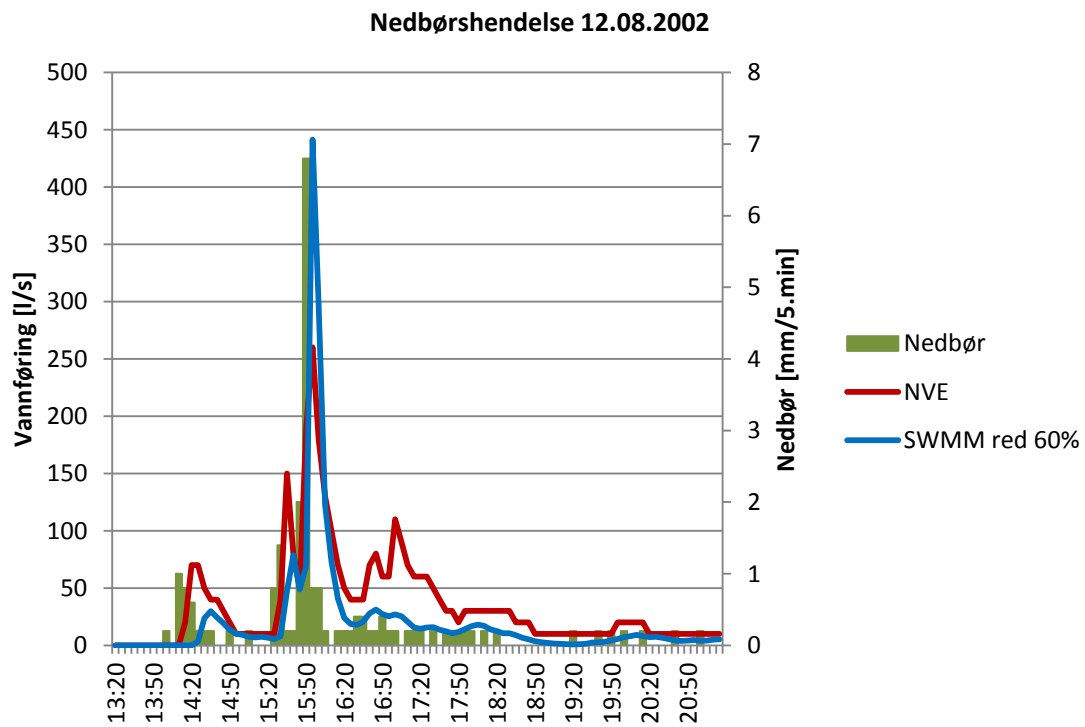


Figur 13.4: Nedbørshendelse 21.06.2013 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.

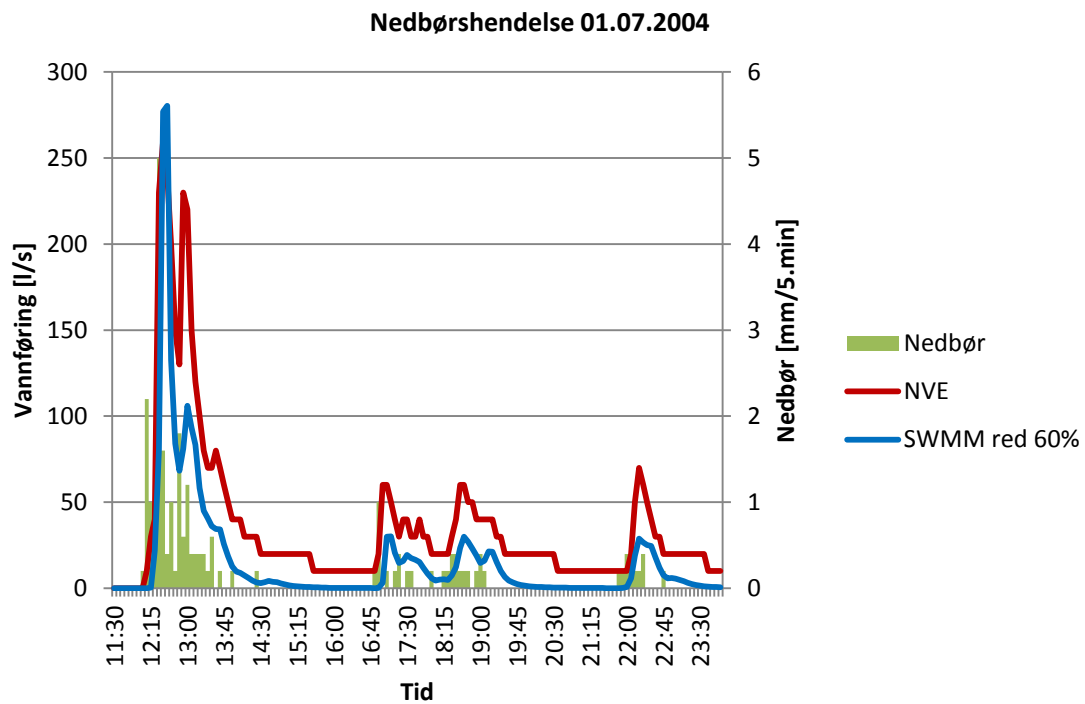


Figur 13.5: Nedbørshendelse 01.05.2000 brukt i kalibrering 1 for justering av sekundærmodellen.

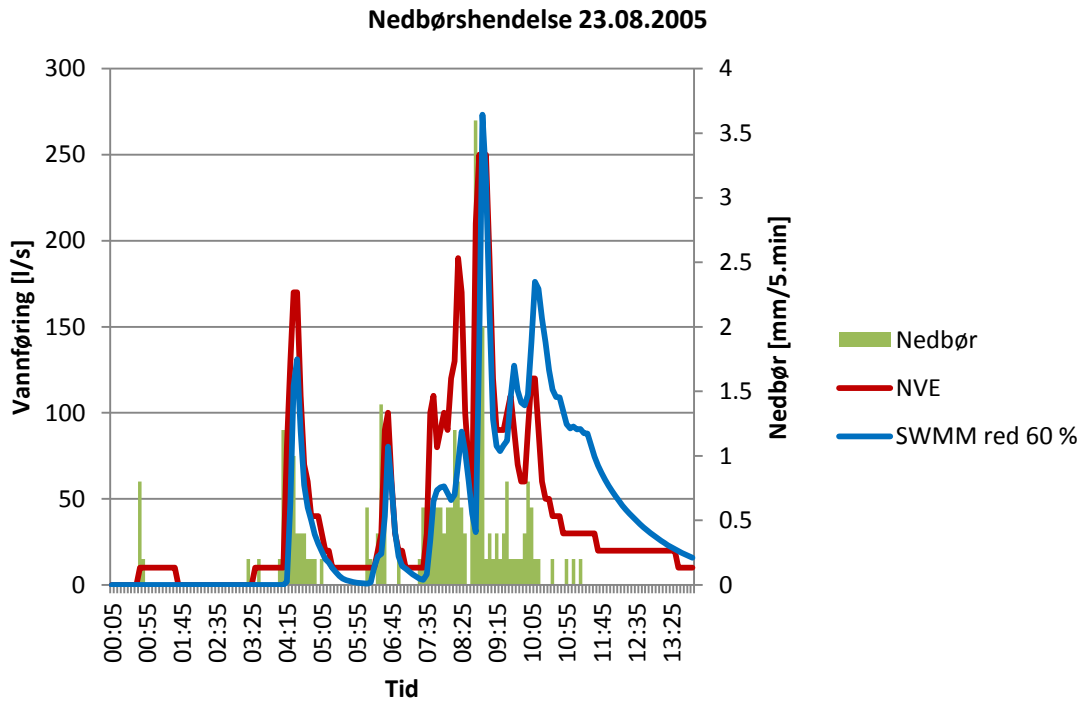
Etterprøving:



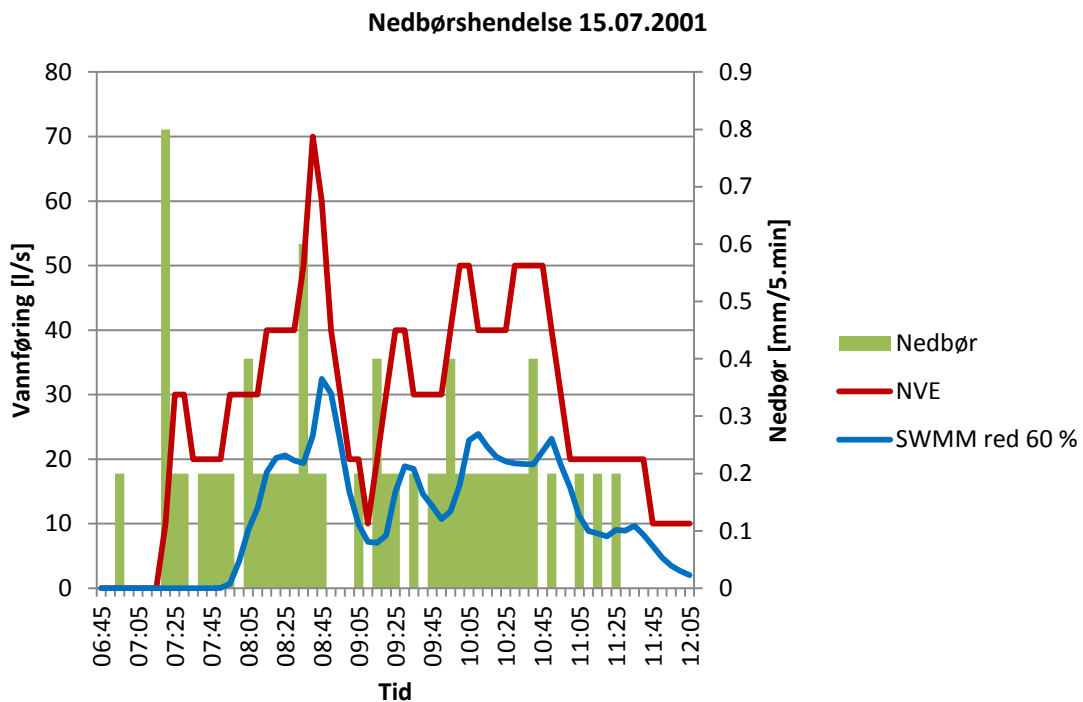
Figur 13.6: Nedbørshendelse 12.08.2002 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.



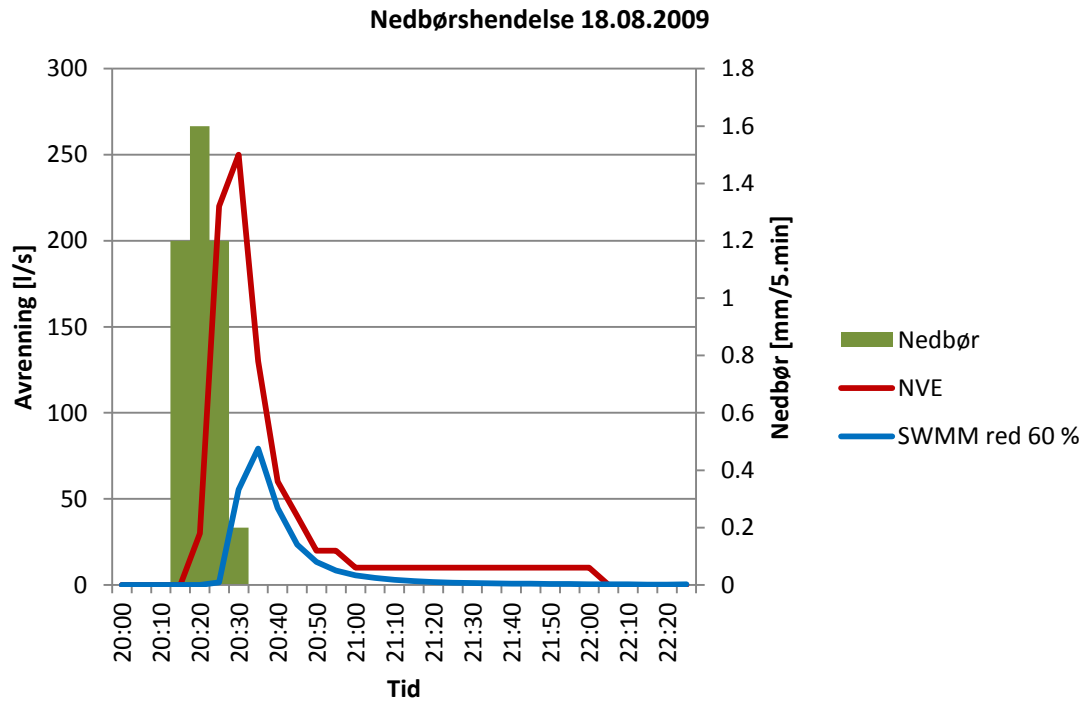
Figur 13.7: Nedbørshendelse 01.07.2004 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.



Figur 13.8: Nedbørshendelse 23.08.2005 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.



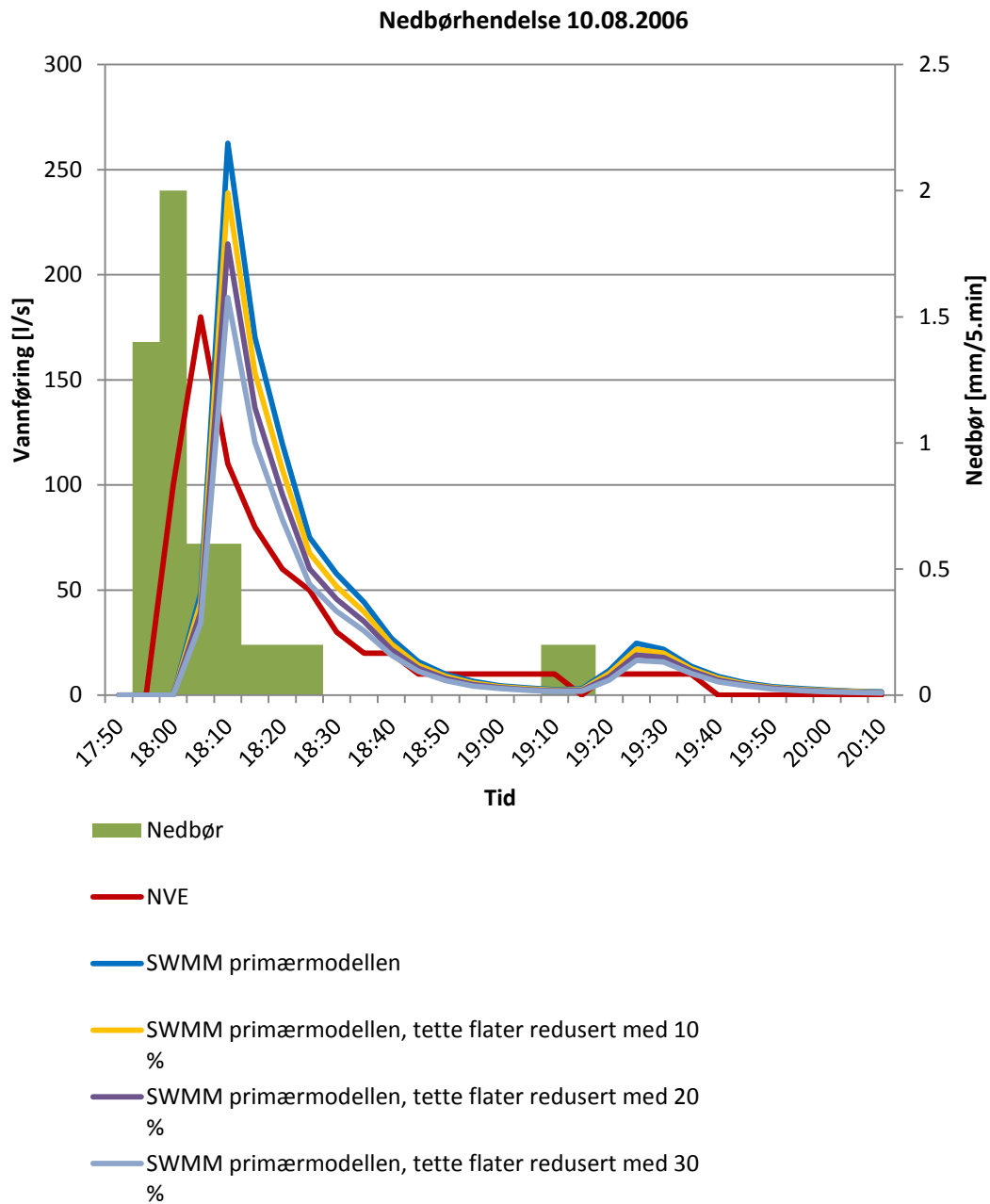
Figur 13.9: Nedbørshendelse 15.07.2001 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.



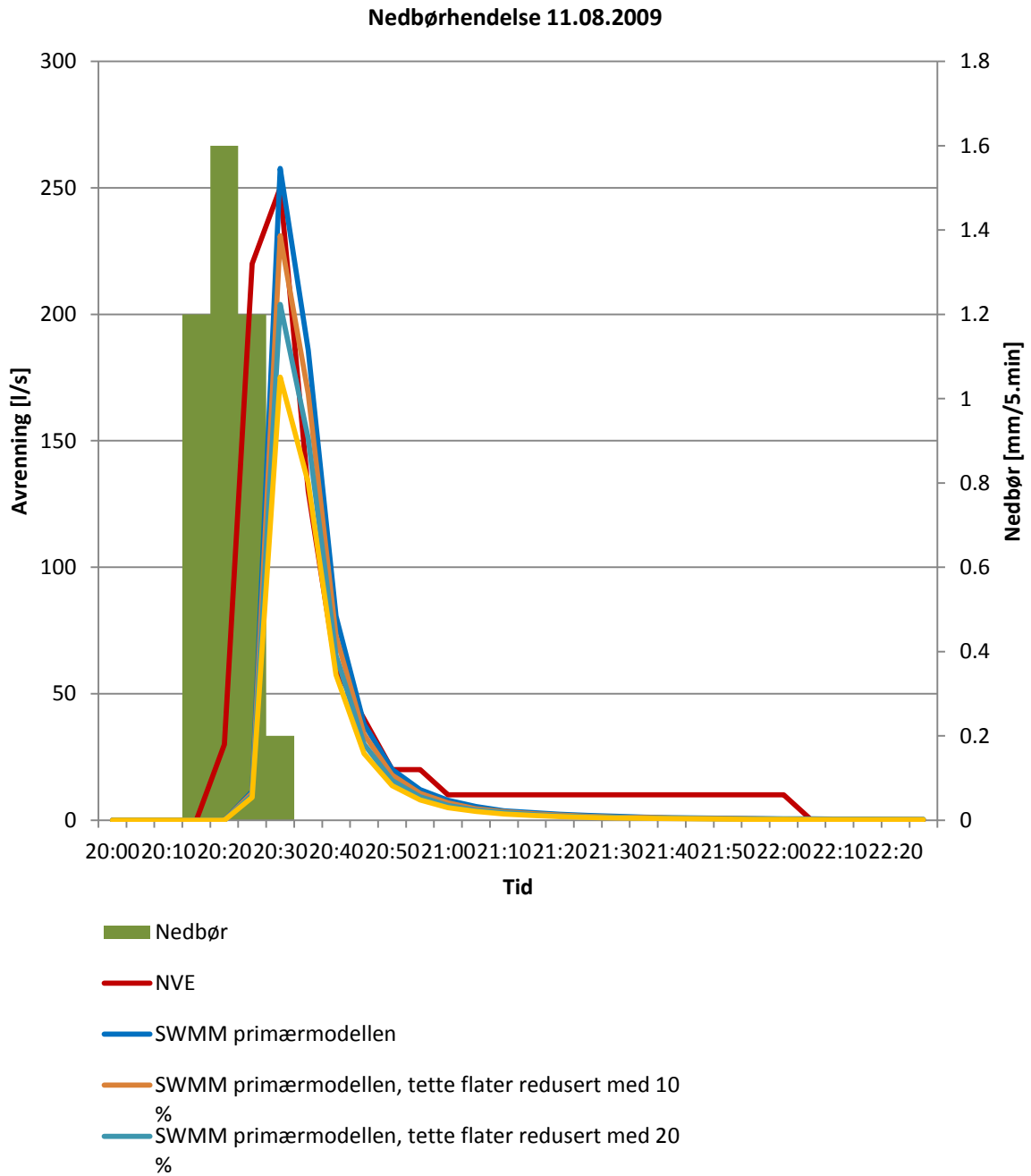
Figur 13.10: Nedbørshendelse 11.08.2009 brukt i kalibrering 1 for etterprøving av sekundærmodellen.

Vedlegg D Nedbørshendelsene Kalibrering 2

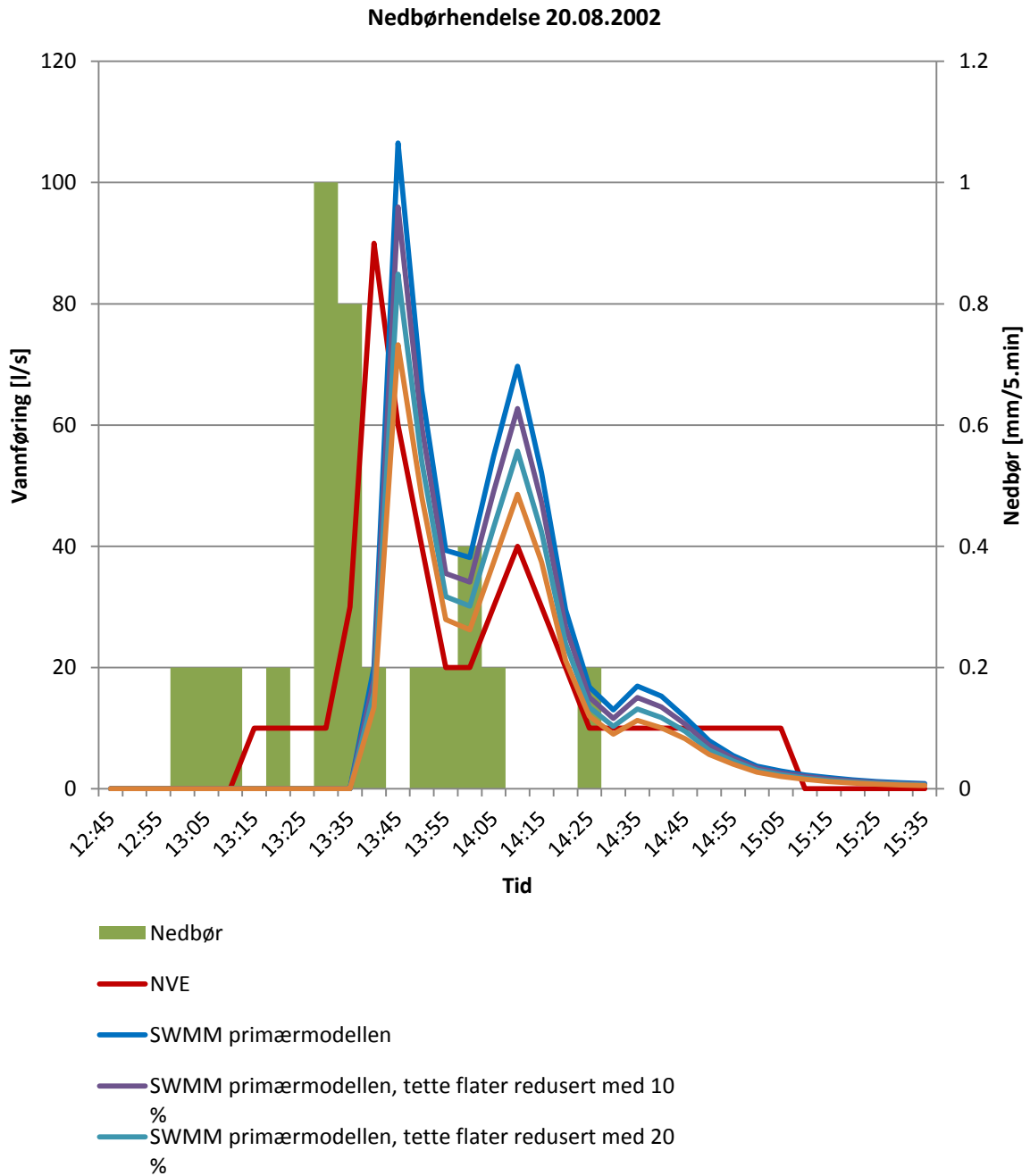
Justering:



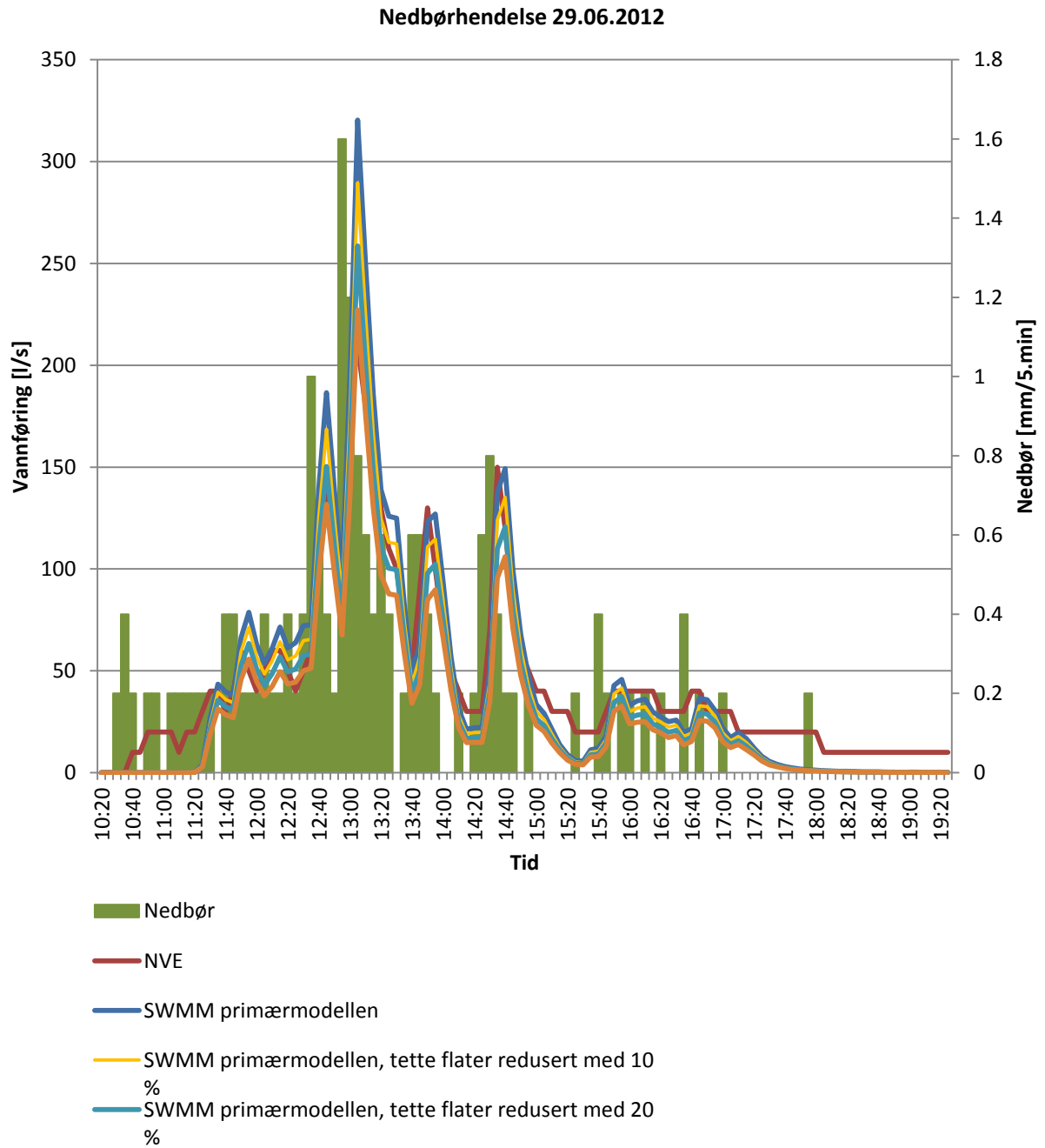
Figur 13.11: Nedbørshendelse 10.08.2006 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.



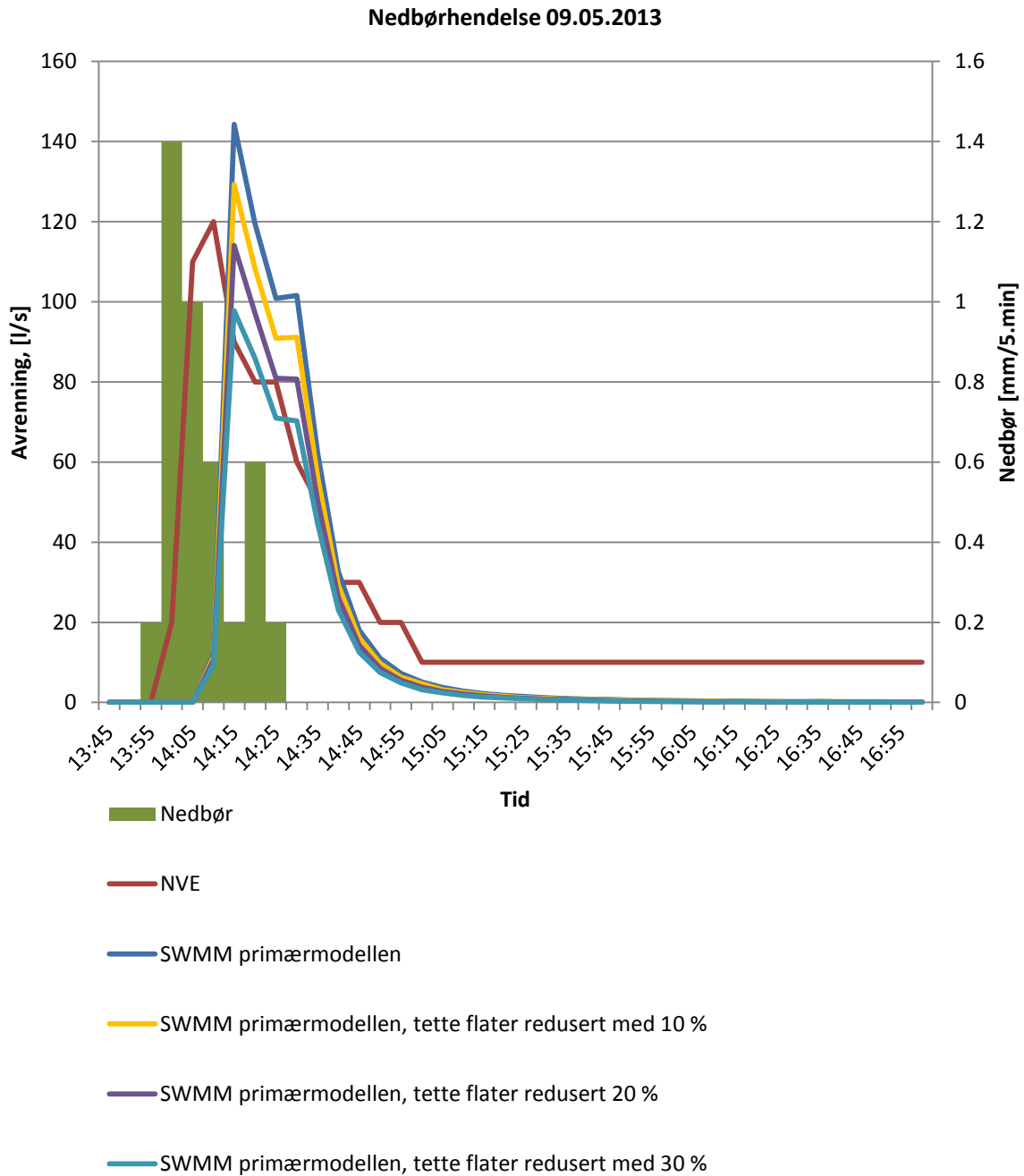
Figur 13.12: Nedbørshendelse 11.08.2009 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.



Figur 13.13: Nedbørshendelse 20.08.2002 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.



Figur 13.14: Nedbørshendelse 29.06.2012 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.

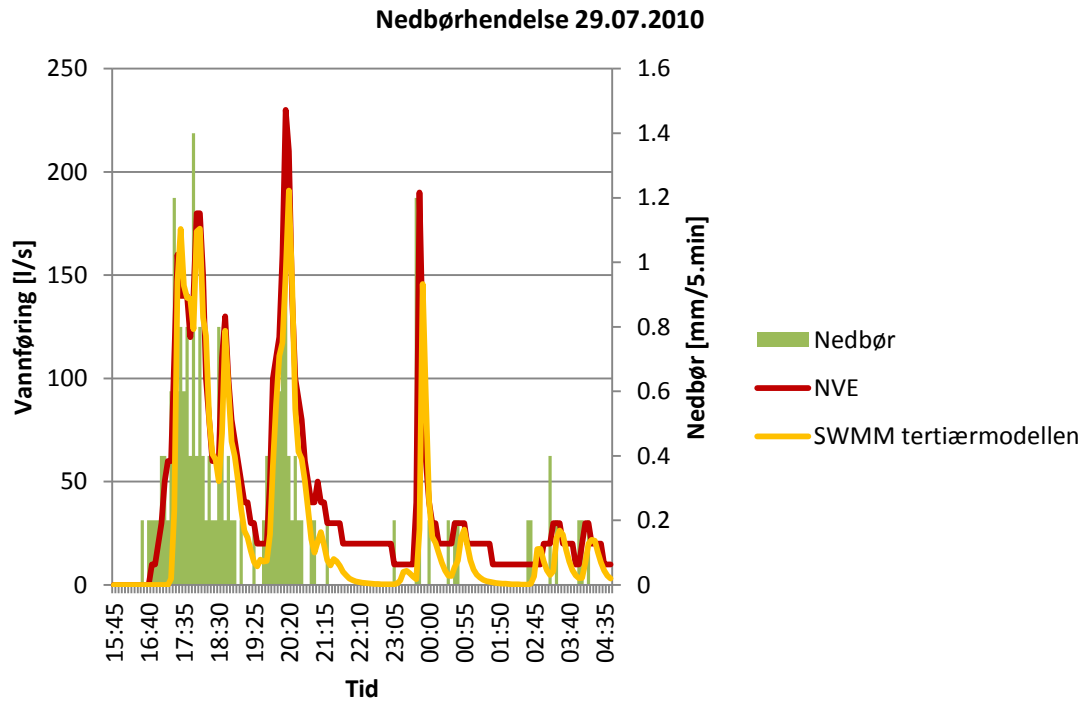


Figur 13.15: Nedbørshendelse 09.05.2013 brukt i kalibrering 2 for justering av tertiærmodellen.

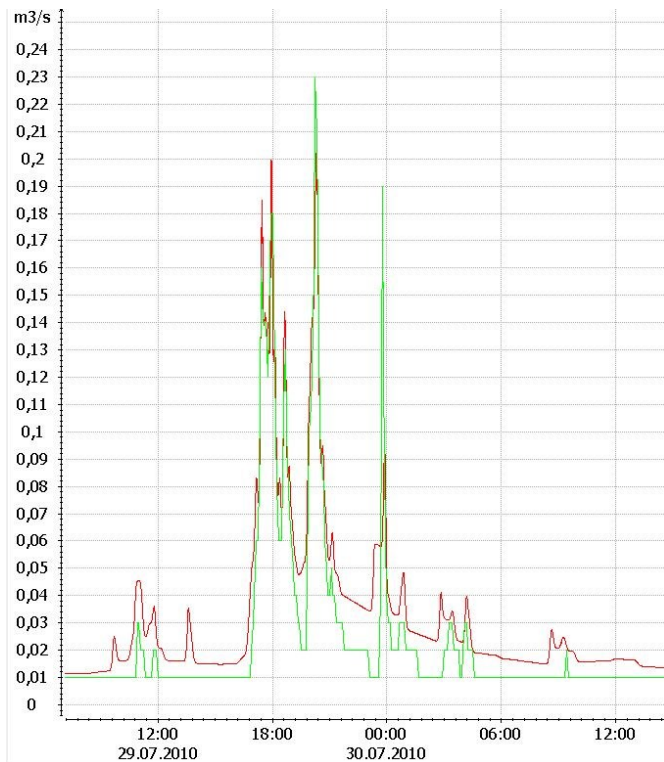
Etterprøving og sammenligning med ROSIE:

SWMM: Gul graf er modellert avrenning, rød graf er målt avrenning hos NVE

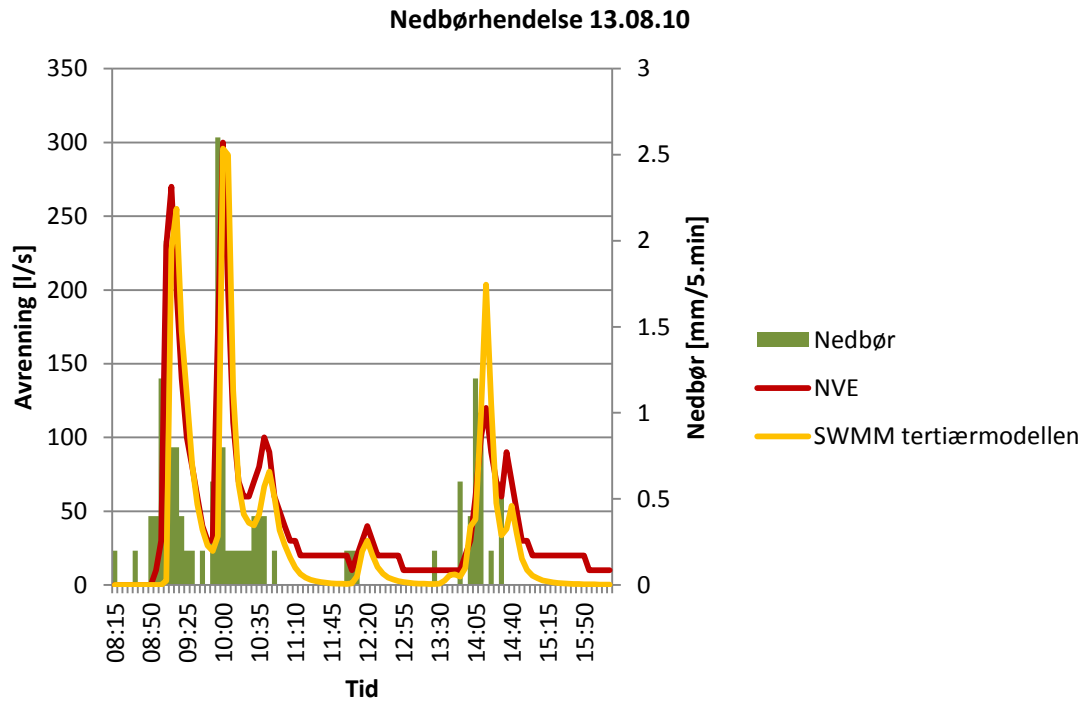
ROSIE: Rød graf er modellert avrenning, grønn graf er målt avrenning hos NVE



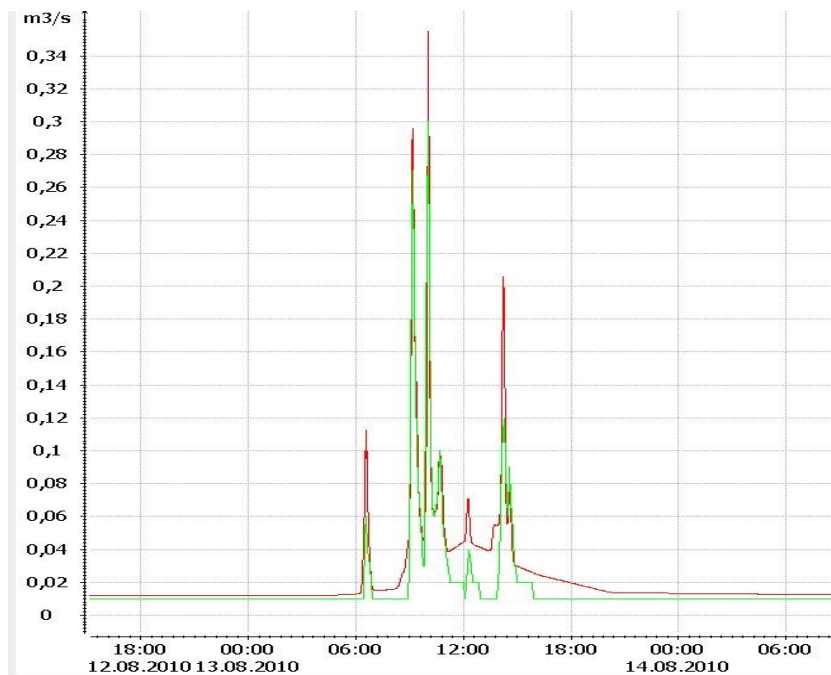
Figur 13.16: Nedbørshendelse 29.07.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertærmodellen.



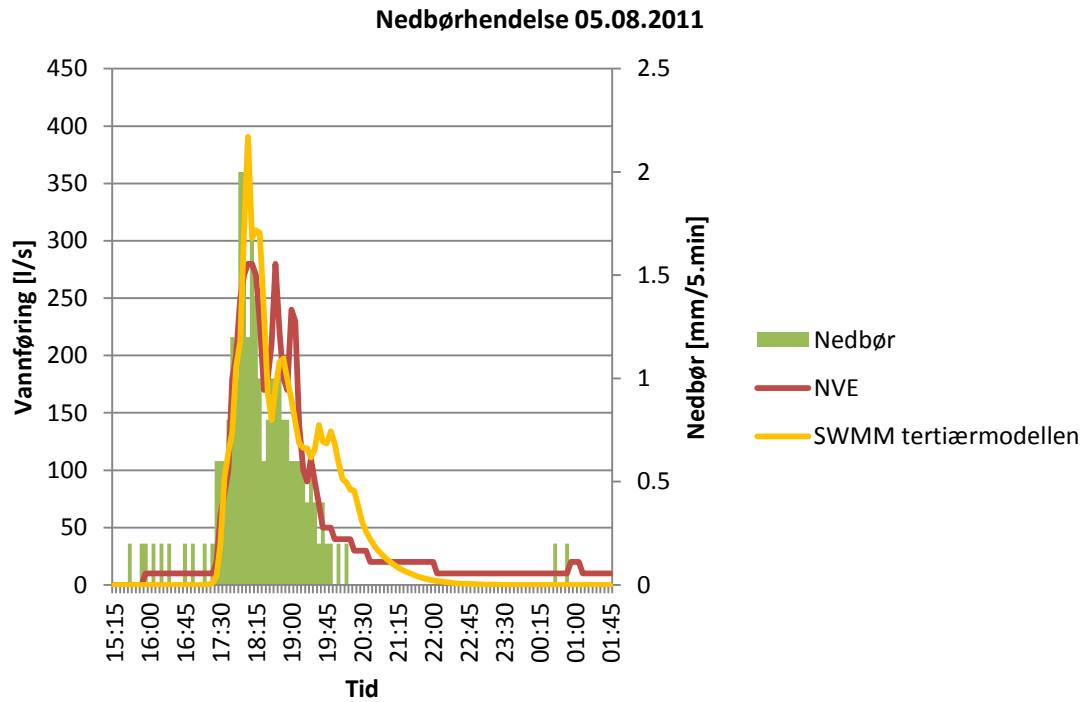
Figur 13.17: Nedbørshendelse 29.07.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.



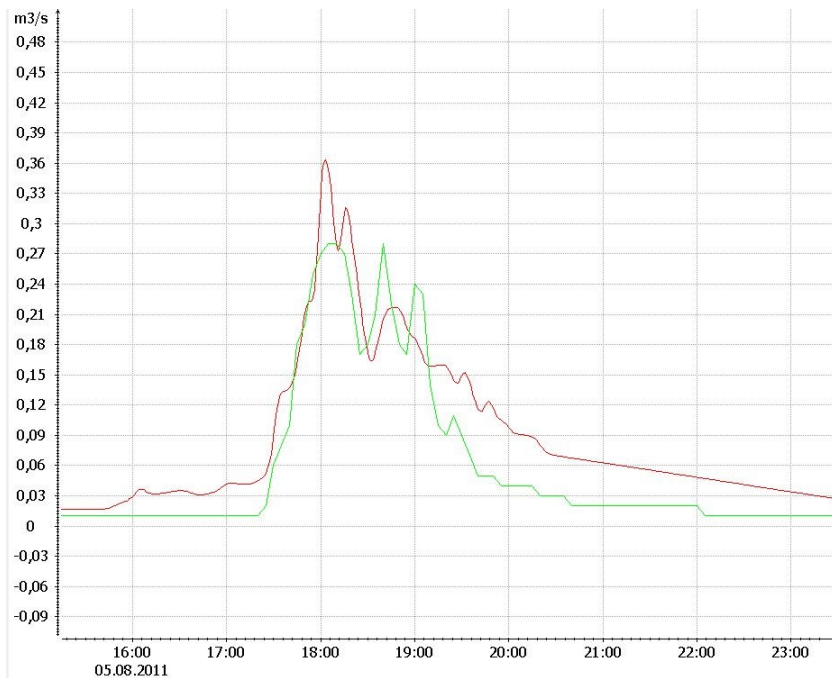
Figur 13.18: Nedbørshendelse 13.08.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertærmodellen.



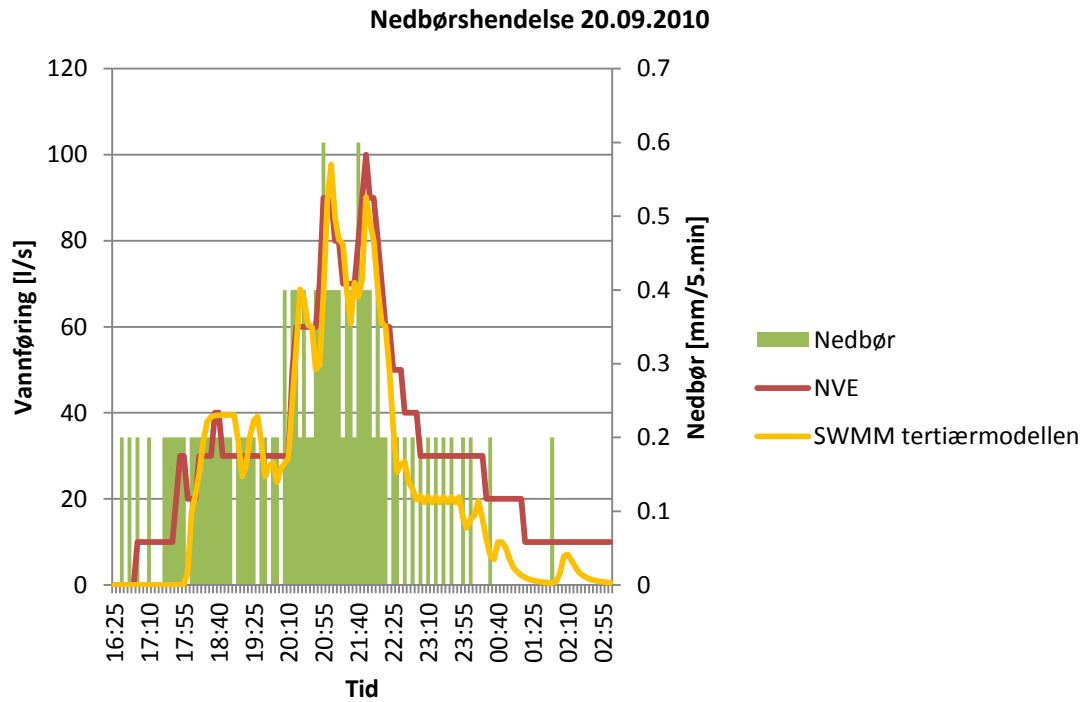
Figur 13.19: Nedbørshendelse 13.08.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.



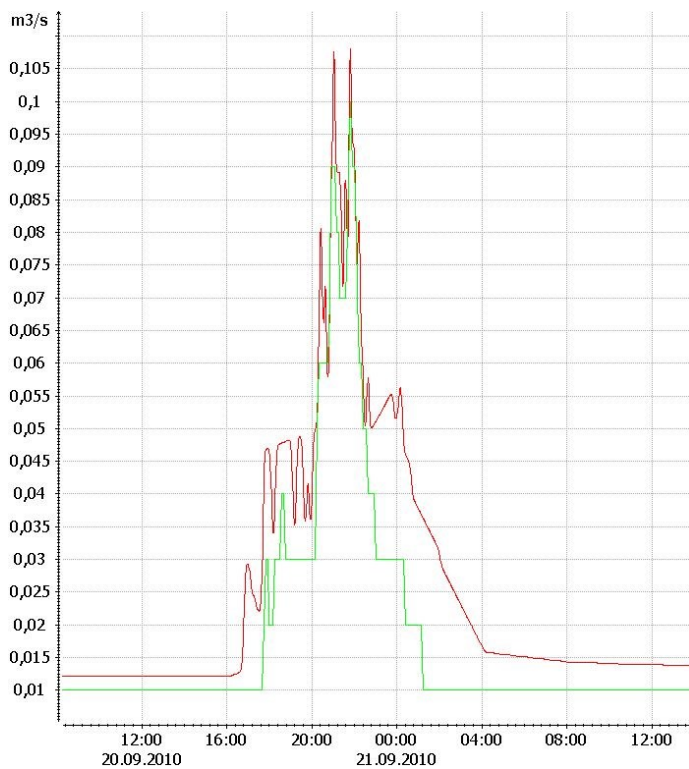
Figur 13.20: Nedbørshendelse 05.08.2011 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertærmodellen.



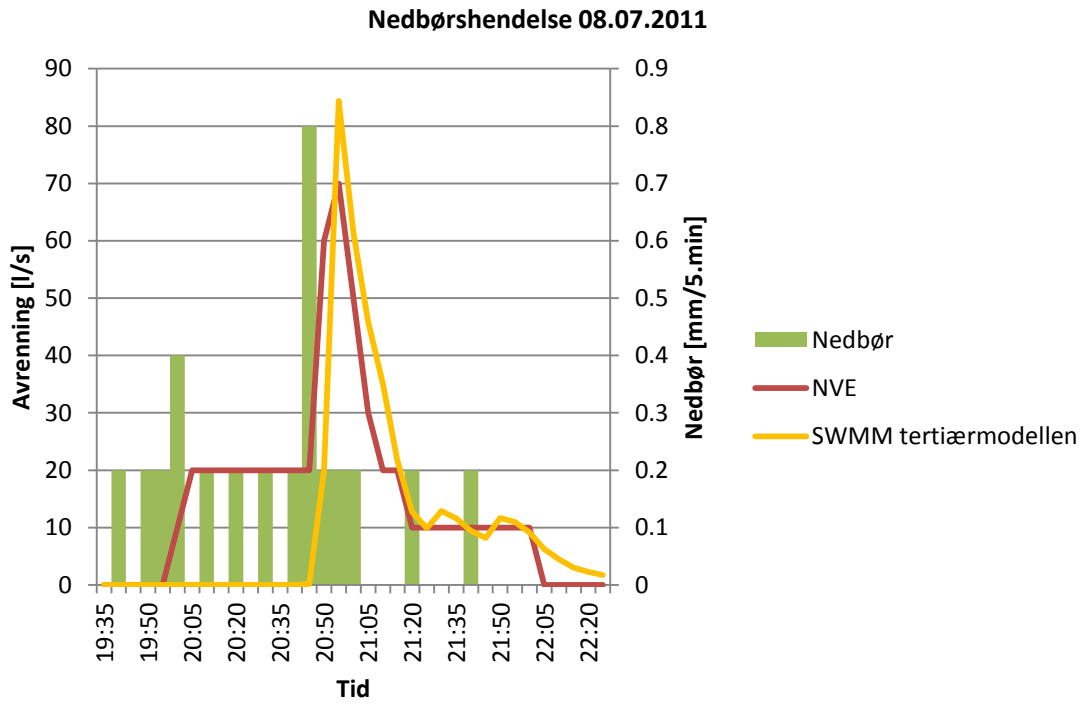
Figur 13.21: Nedbørshendelse 05.08.2011 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.



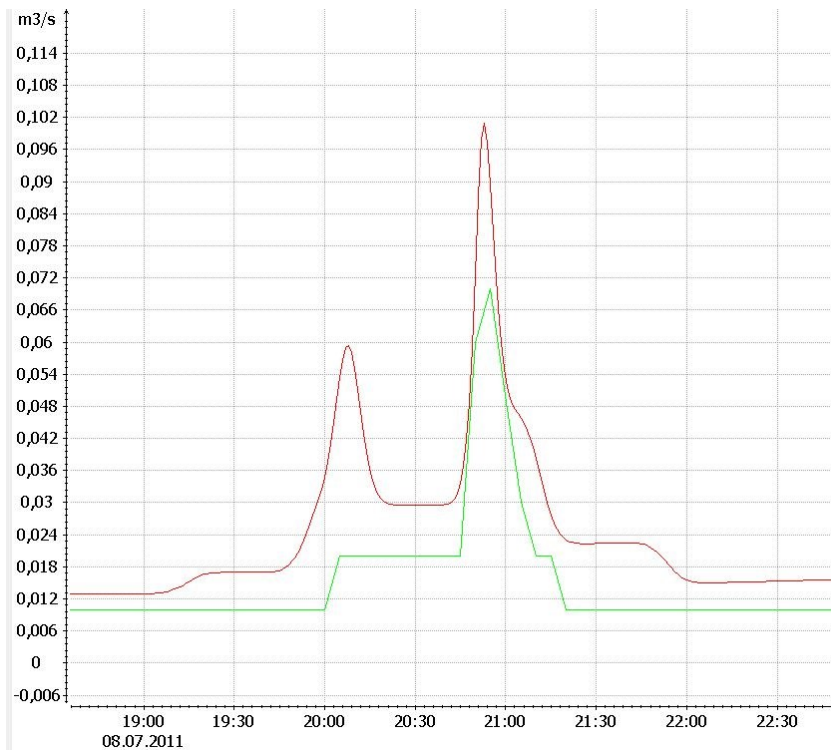
Figur 13.22: Nedbørshendelse 20.09.2010 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertiermodellen.



Figur 13.23: Nedbørshendelse 20.09.2010 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.



Figur 13.24: Nedbørshendelse 08.07.2011 brukt i kalibrering 2 for etterprøving av tertærmodellen.

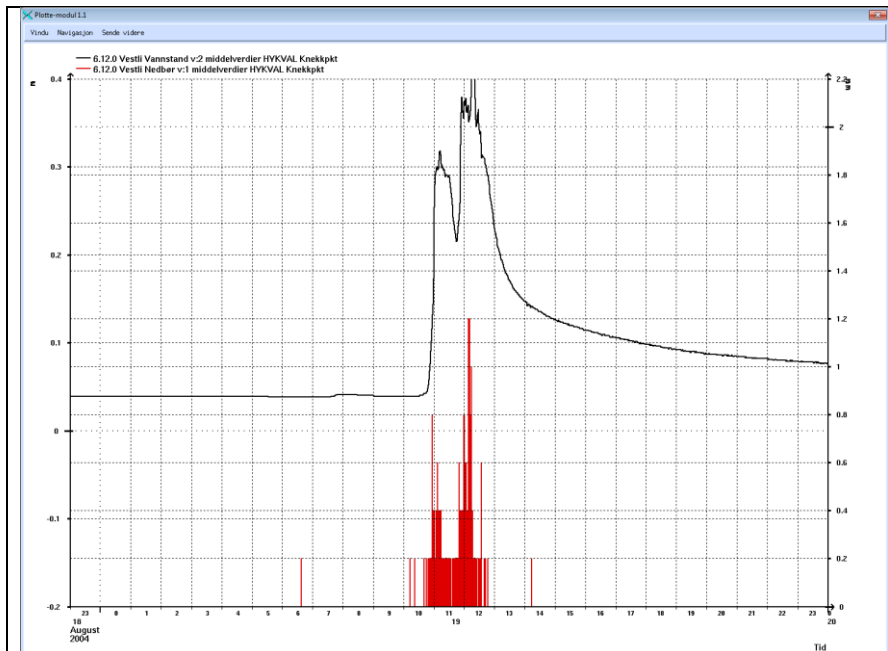


Figur 13.25: Nedbørshendelse 08.07.2011 brukt i kalibrering 2 for ROSIE.

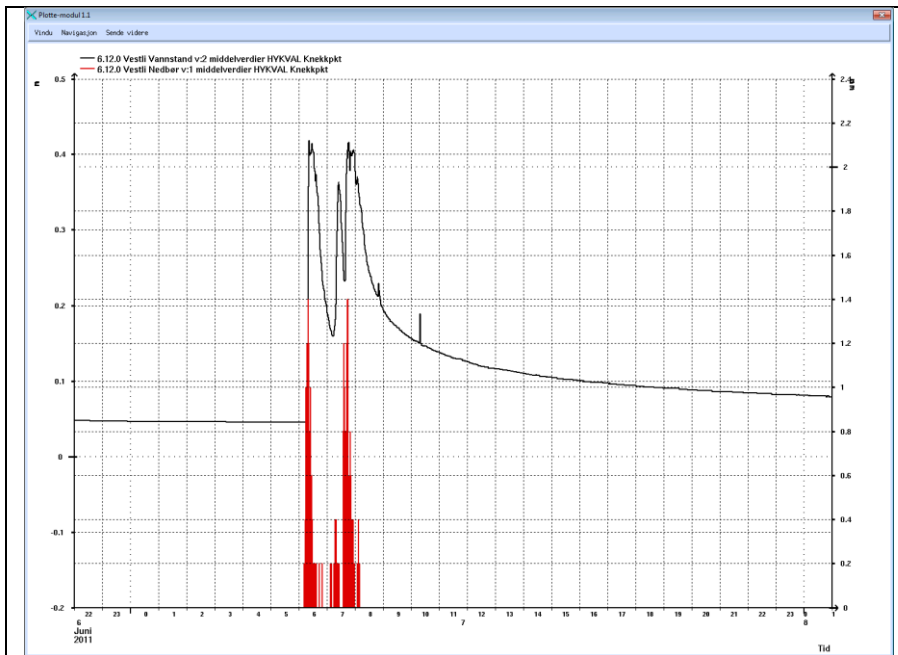
Vedlegg E Kontroll av nedbør og avrenningsdata

Av: Eydis Dalen

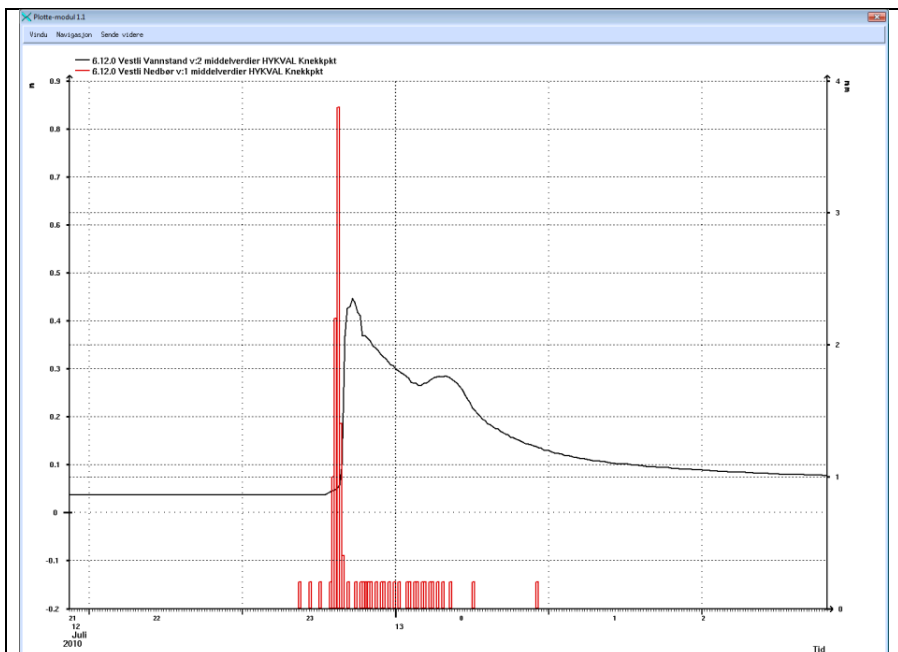
Kalibrering 1:



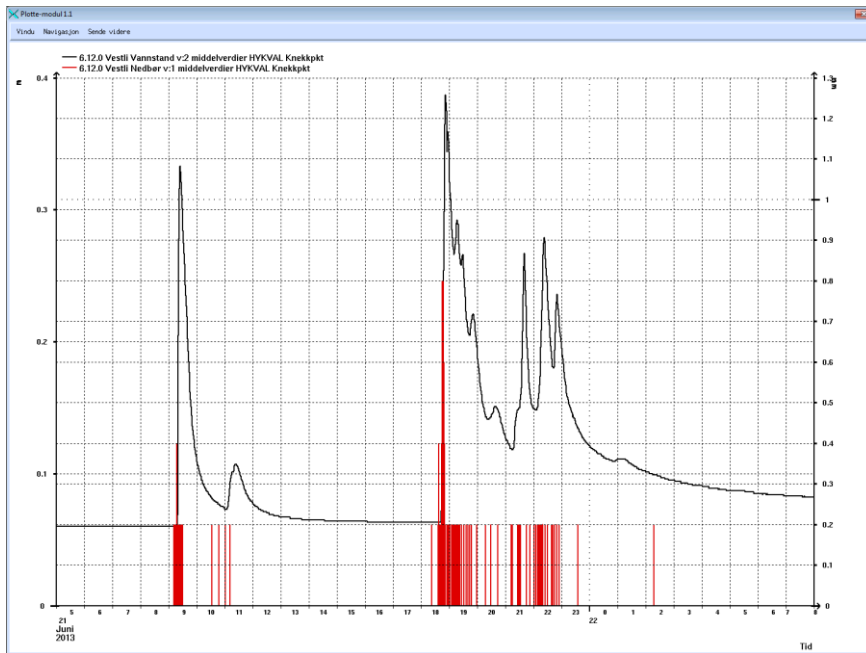
Figur 13.26: Nedbør og avrenning 19.08.2004 fra Hydra II.



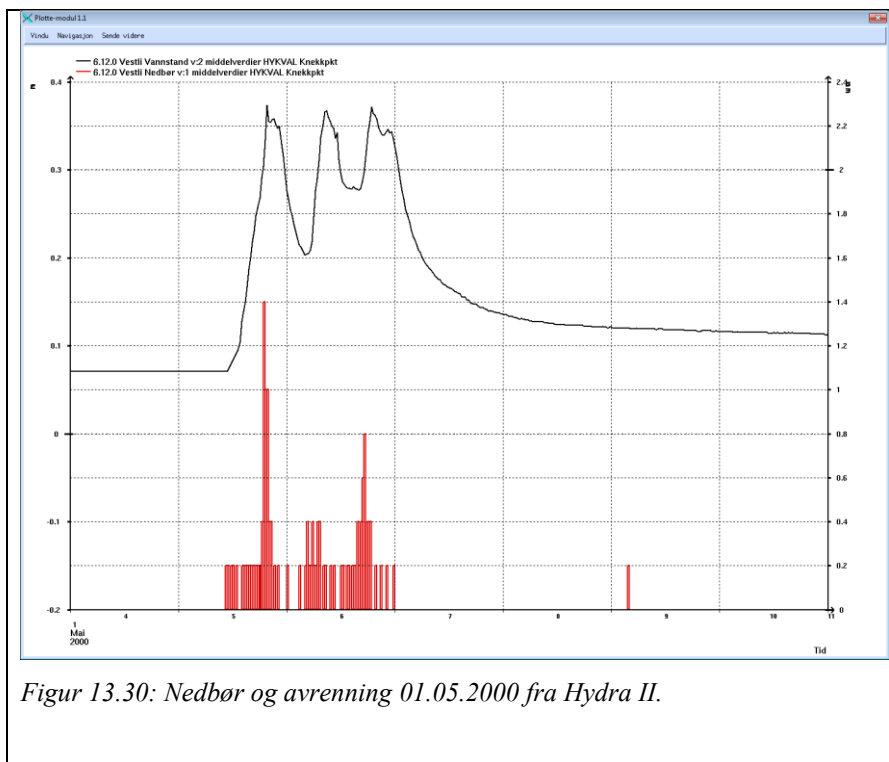
Figur 13.27: Nedbør og avrenning 07.06.2011 fra Hydra II.



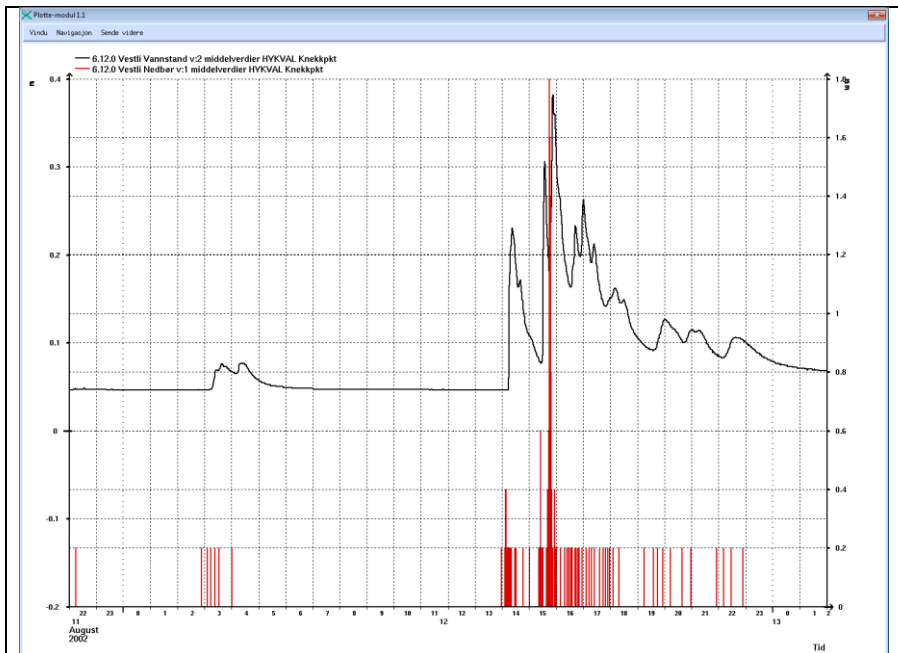
Figur 13.28: Nedbør og avrenning 12.07.2010 fra Hydra II (svært intens).



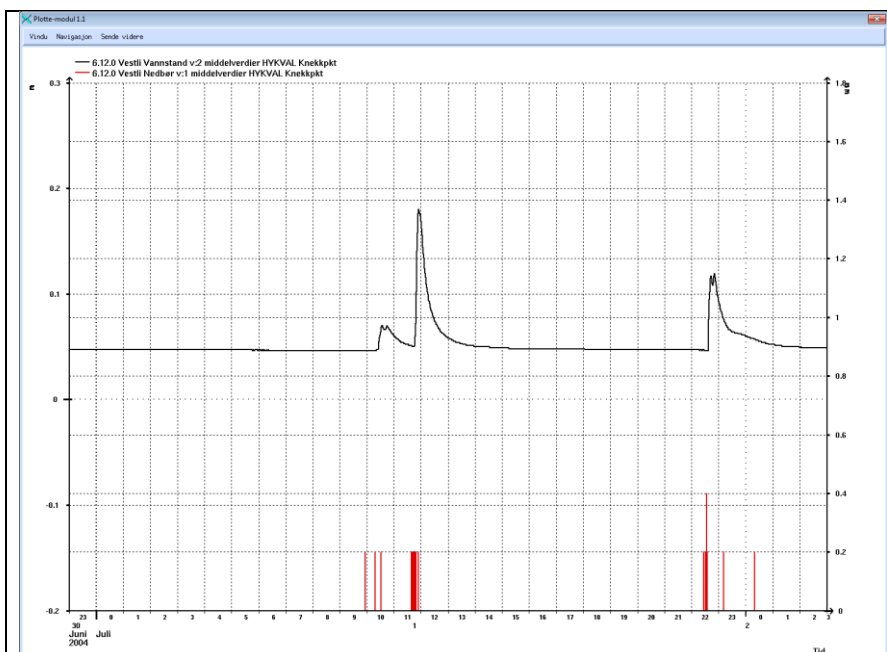
Figur 13.29: Nedbør og avrenning 21.06.2013 fra Hydra II.



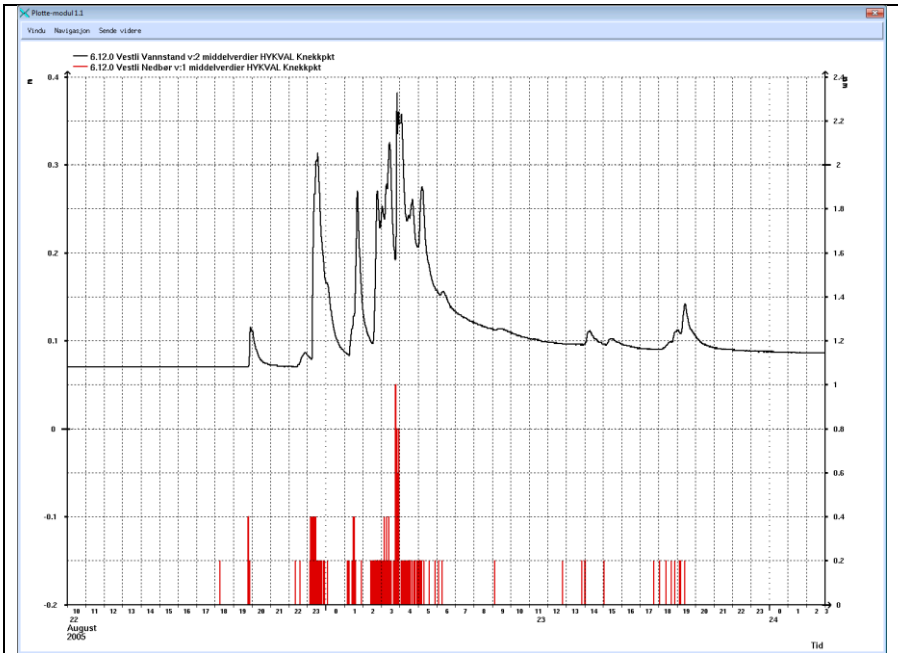
Figur 13.30: Nedbør og avrenning 01.05.2000 fra Hydra II.



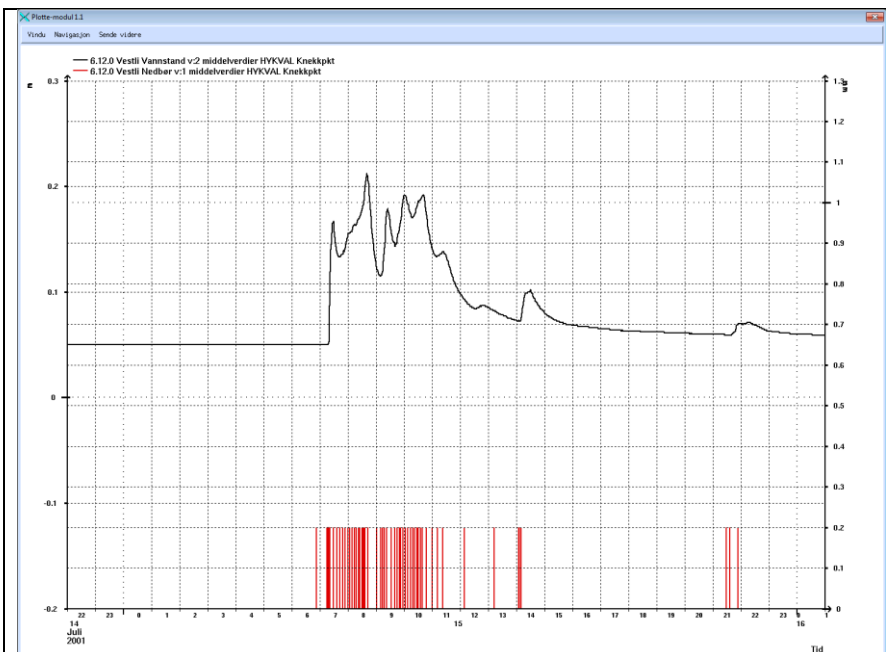
Figur 13.31: Nedbør og avrenning 12.08.2002 fra Hydra II (svært intens nedbør).



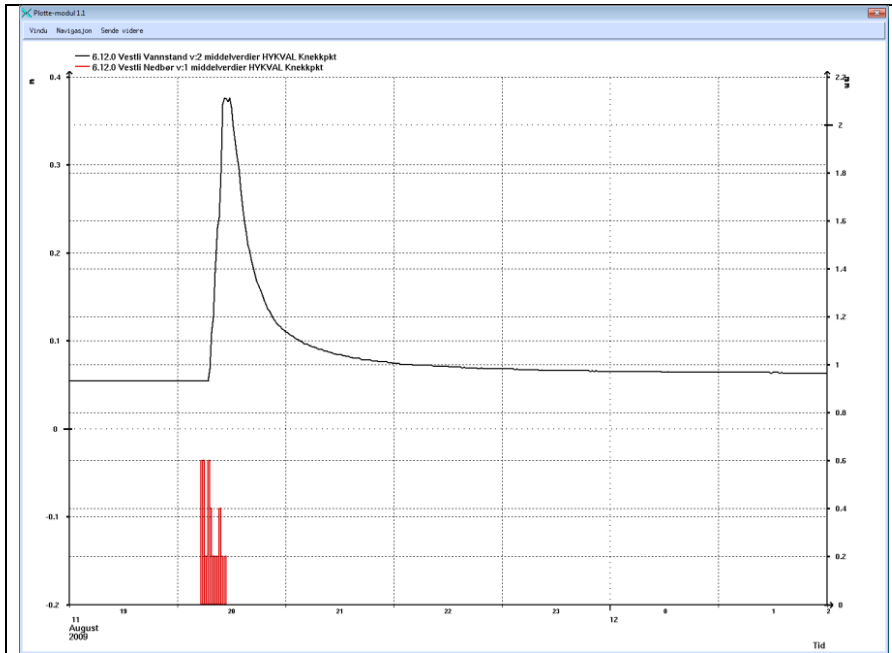
Figur 13.32: Nedbør og avrenning 01.07.2004 fra Hydra II.



Figur 13.33: Nedbør og avrenning 23.08.2005 fra Hydra II.

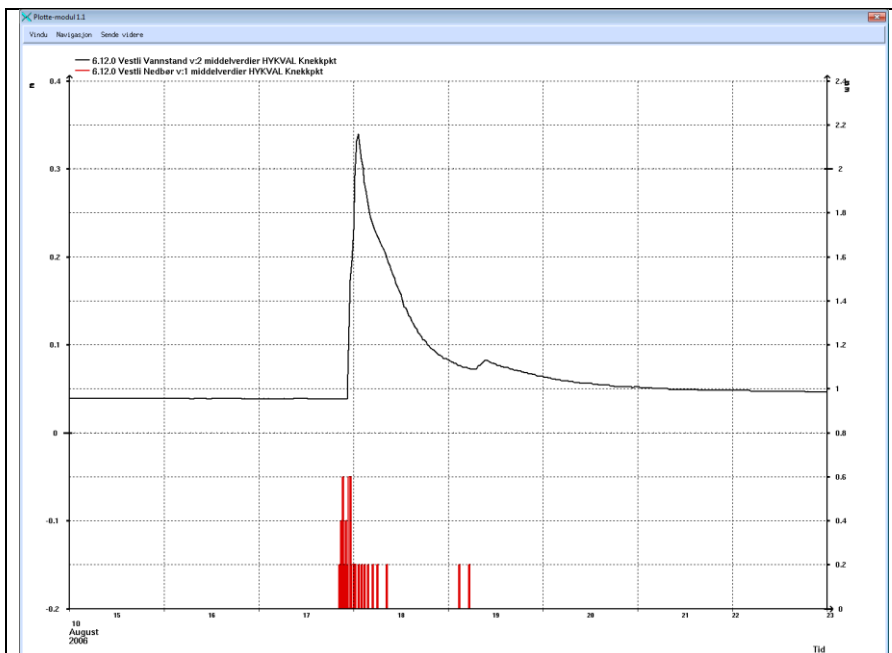


Figur 13.34: Nedbør og avrenning 15.07.2001 fra Hydra II.

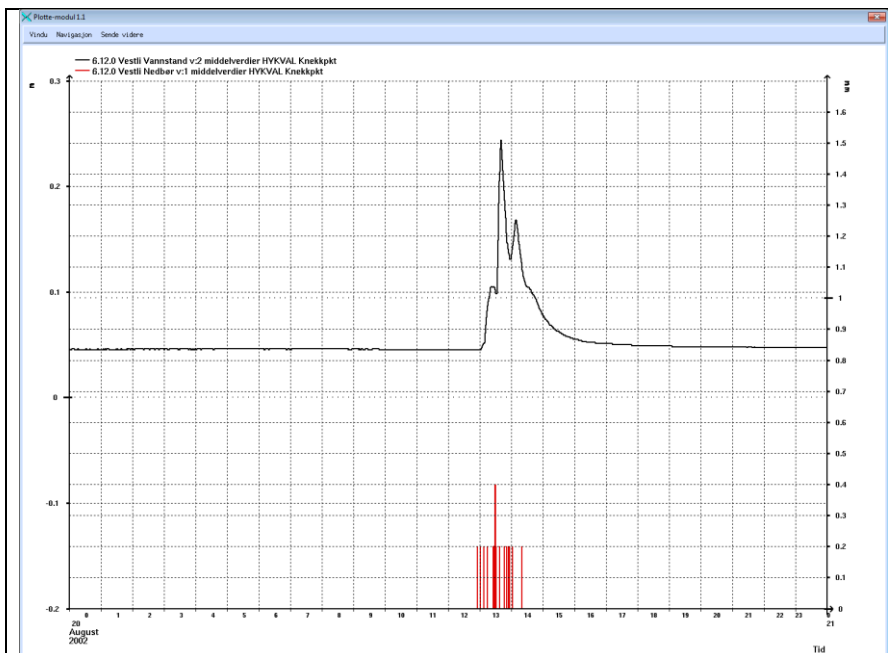


Figur 13.35: Nedbør og avrenning 11.08.2009 fra Hydra II (brukt i kalibrering 1 & 2..

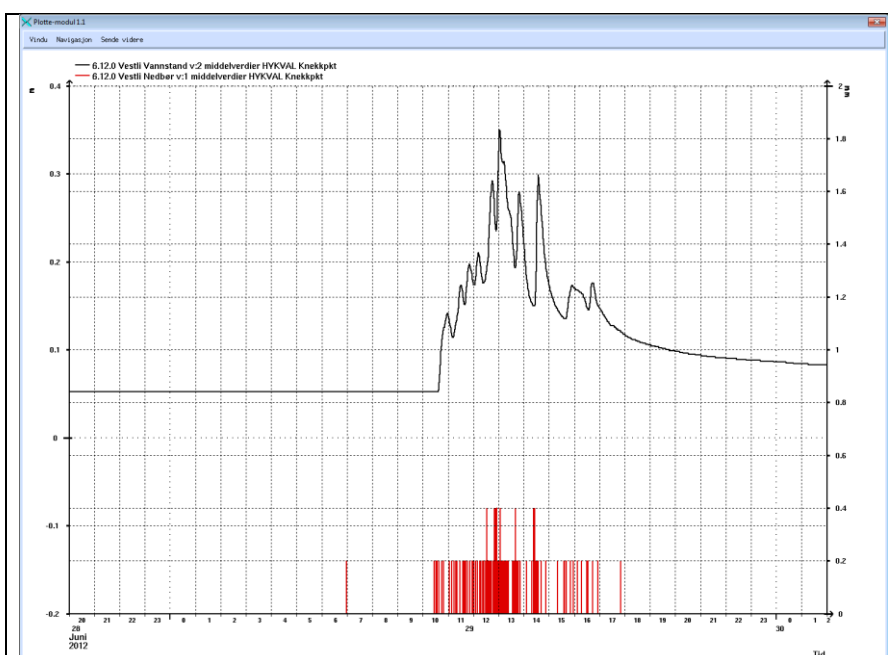
Kalibrering 2



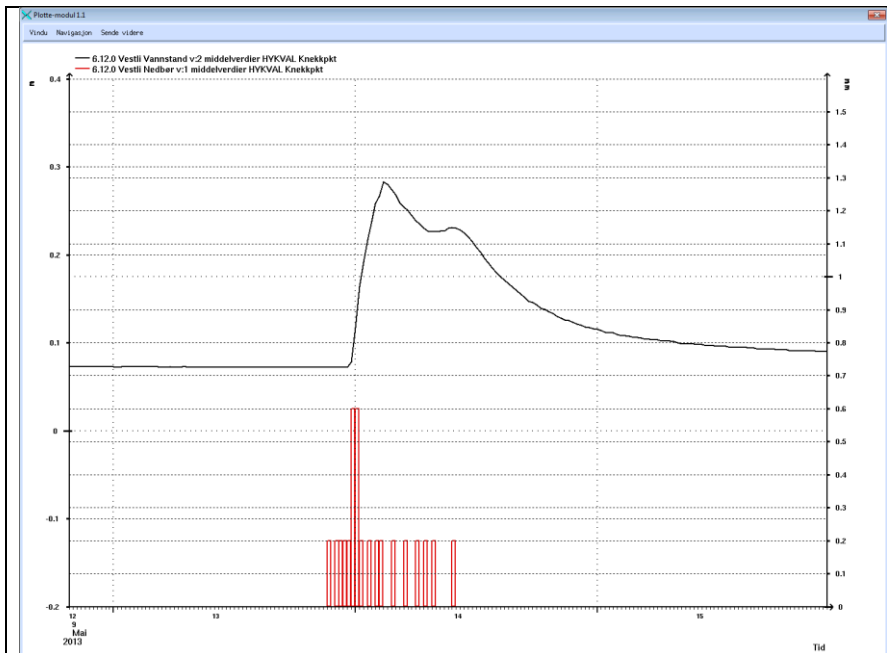
Figur 13.36: Nedbør og avrenning 10.08.2006 fra Hydra II.



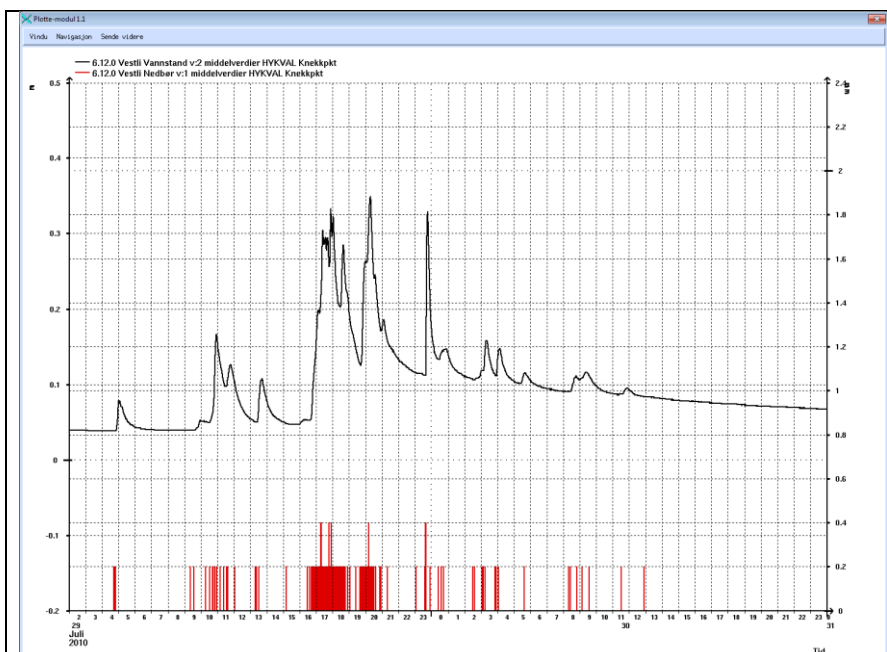
Figur 13.37: Nedbør og avrenning 20.08.2002 fra Hydra II.



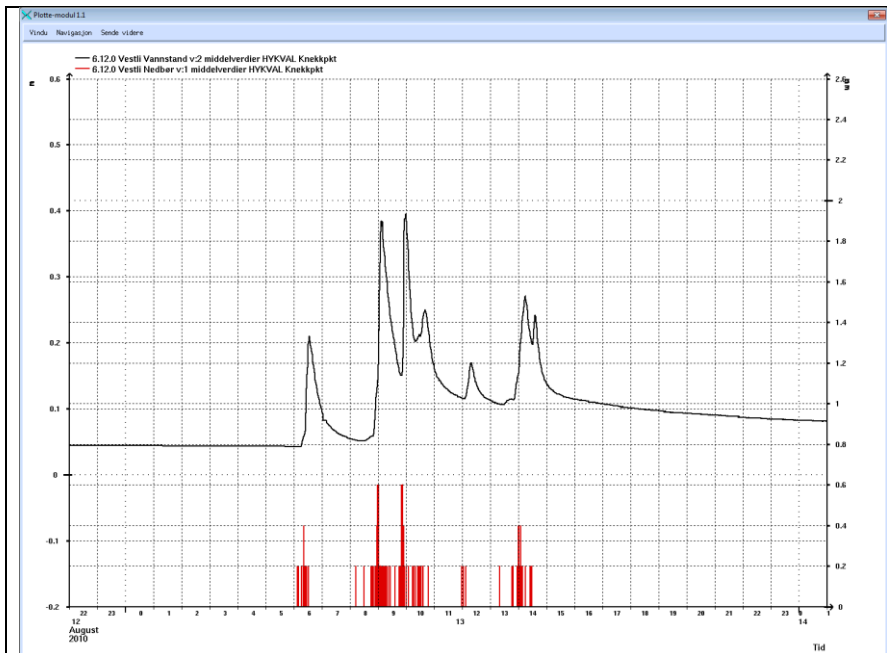
Figur 13.38: Nedbør og avrenning 29.06.2012 fra Hydra II.



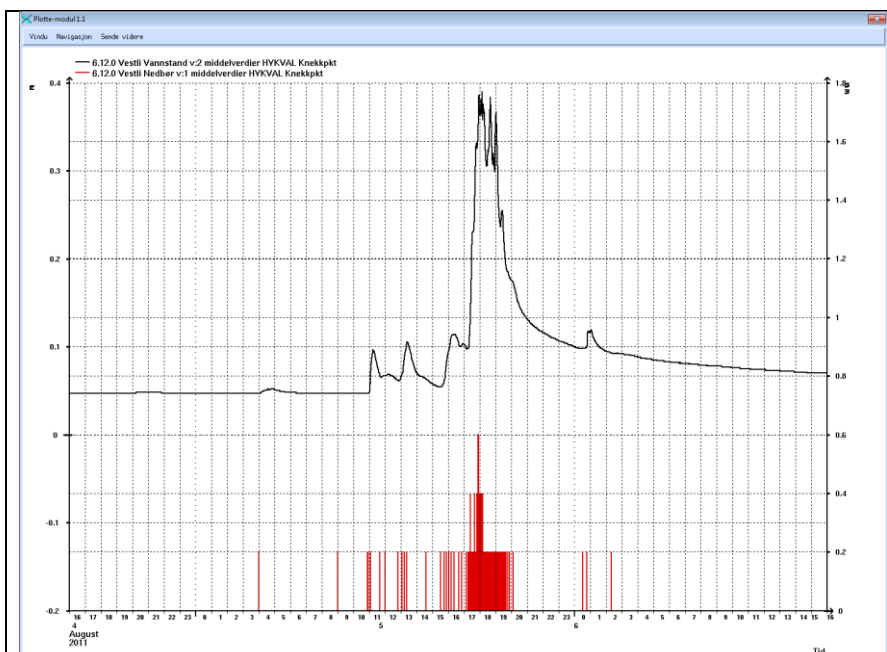
Figur 13.39: Nedbør og avrenning 09.05.2013 fra Hydra II.



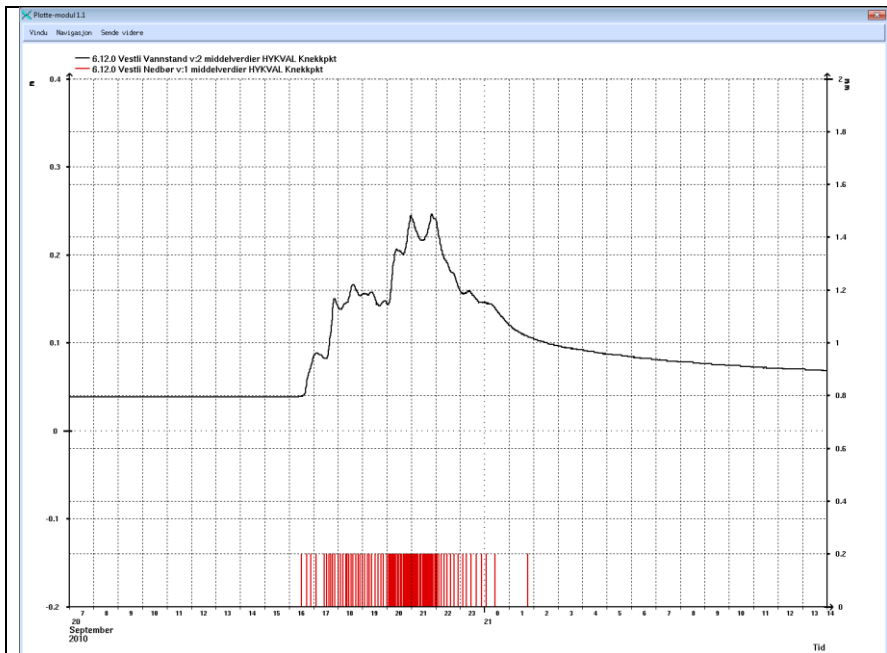
Figur 13.40: Nedbør og avrenning 29-30.07.2010 fra Hydra II.



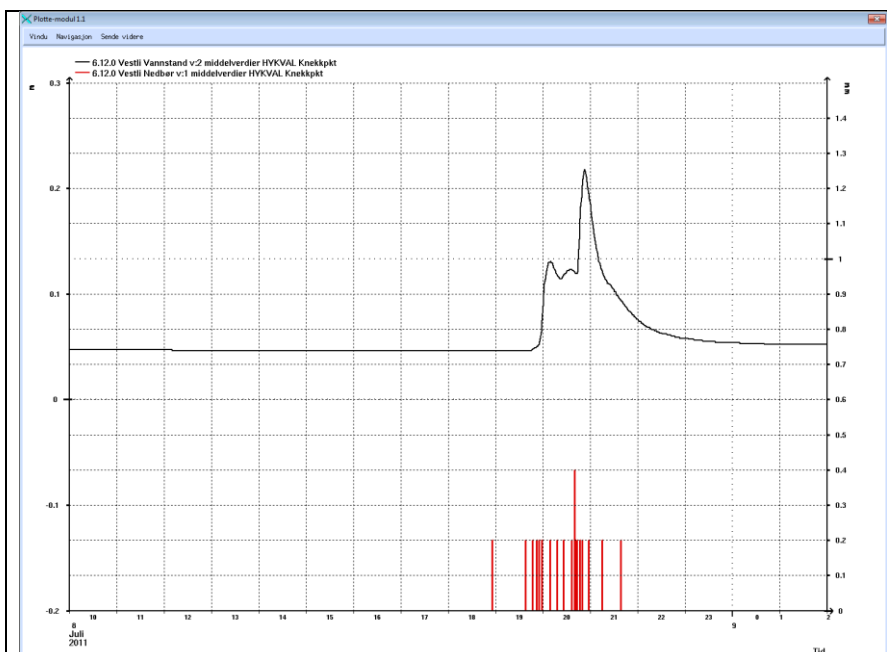
Figur 13.41: Nedbør og avrenning 13.08.2010 fra Hydra II.
 13/8-2010



Figur 13.42: Nedbør og avrenning 5-6.08.2011 fra Hydra II.



Figur 13.43: Nedbør og avrenning 20-21.09.2010 fra Hydra II.



Figur 13.44: Nedbør og avrenning 08.07.2011 fra Hydra II.

Vedlegg F Serienummerering i Hydra II

I Hydra II databasen består serienummering av fem tall:

1. Stasjonsnummer: Angir stedet stasjonen er knyttet til.
2. Hovednummer: Rent løpenummer innenfor vassdragsområdet
3. Punktnummer: Alltid 0 for enkeltstasjoner.
4. Parameter: Tallkode i henhold til EDC protokollen som angir den fysiske størrelsen serien inneholder.
3. Versjonsnummer: Brukes til å skille seriene på same sted med samme parameter dersom det forekommer.