



Analyse av arealnedbøren si betydning

Tormod Relling Nielsen

Bygg- og miljøteknikk

Innlevert: juni 2013

Hovedveileidar: Sveinn T Thorolfsson, IVM

Noregs teknisk-naturvitskaplege universitet
Institutt for vann- og miljøteknikk

Forord

Dette er masteroppgåva mi i 10. semester ved bygg- og miljøteknikk ved NTNU, og er ein del av fordjupinga innanfor vassforsynings- og avløpsteknikk.

Sveinn T. Thorolfsson har vore hovudrettleiaren min. Han har vore til stor inspirasjon spesielt når det har butta imot.

Lars Petter Risholt har vore medrettleiar, og gav meg trua på oppgåva å peika på nytten i det arbeidet eg har gjort.

Tormod Relling Nielsen, 10.06.2013

Samandrag

Det er sett på arealnedbøren i Trondheim kommune med bakgrunn i at nedbørshendinga 13. august 2007 viste store skilnader mellom dei forskjellige nedbørsmålarane i kommunen (Risholt, 2009). I tillegg er IVF-kurvane frå Risvollan og Voll særskilte sjølv om dei berre ligg 2,1 km unna kvarandre. Kva konsekvensar har det å bruke den eine eller den andre målarane for eit større område, kontra å bruke forskjellige målarar på forskjellige nedslagsfelt?

Det er gjort simuleringar i PCSWMM og bruk av nedbørsdata berre frå Risvollan viser seg å gi andre avrenningstoppar enn om ein bruker alle nedbørsmålarane samla. Risvollan gir ikkje konsekvent dei høgaste avrenningstoppene, sjølv om utveljingsmetoden for nedbørshendingar er basert på stor avrenning frå Risvollan, og ikkje nødvendigvis høge nedbørstoppar. I nokre tilfelle gir Risvollan gjennomsnittsverdien av alle nedbørsmålarane. Det undersøkte datamaterialet er for lite til å kunne seie noko sikkert om trendane for avrenningsforskjellane.

Undersøkingar av nedbøren viser at det truleg er Saupstad som har den mest intensive nedbøren på det jamne. I dei mest ekstreme nedbørstilfella, har ein ikkje observert korttidsnedbør frå Saupstad høgare enn på Risvollan, men for regnvarigheiter frå 10 minutt og oppover er nedbørsintensiteten frå både Saupstad, Ranheim og Sverresborg høgare enn 100-årsnedbøren for Risvollan. IVF-kurva frå Voll blir overskriden på det jamne av Risvollan og ved fleire tilfelle på andre målestasjonar. Om det er klimaendringar som gjer det, eller om det er Voll som ikkje er representativ for heile Trondheim skal ein vere forsiktig med å seie noko om. Truleg er det ein kombinasjon av desse. Det er uansett eit faktum at Voll blir overskriden av andre målarar, og det er på tide å bruke IVF-kurva frå Risvollan til dimensjonering. Det blir vurdert til at denne er det beste dimensjoneringsgrunnlaget ein har for Trondheim per dags dato.

Den typiske nedbørshendinga for Trondheim er vanskeleg å finne, men det er observert at ein nedbørstopp ofte ikkje opptreir åleine. Om toppen kjem før, etter eller midt under ein utvida nedbørsperiode varierer. Simuleringar viser at seine nedbørstoppar gir større avrenningstoppar enn tidlege nedbørstoppar. Det blir difor oppmoda om at dimensjonerande nedbørshending for Trondheim har ein sein nedbørstopp.

Det er òg sett på ei eventuell utbygging av Risvollan. Analysane der viser at avrenninga aukar mykje med auka utbygging, men at det teknisk sett er fullt mogleg å få til, utan å auke belastninga på avløpsnettets nedstraums. Ved ei mogleg utbygging vil det vere naudsynt å kontrollere eksisterande leidningar, då desse allereie verkar å vere pressa.

Abstract

The regional distribution of precipitation was studied for the municipality of Trondheim. The extreme rainfall event on the 13th of august 2007 showed large variations in intensity for the different rain gages in the municipality (Risholt, 2009). In addition the IDF-curves from Risvollan and Voll are different, even if they are placed only 2.1 kilometres away from each other. Here I consider the consequences of using one gage or the other for a larger catchment area instead of using different gages for different sub catchments?

Simulations were run in PCSWMM. Use of precipitation data from only Risvollan show huge differences compared to the use of data from all the rain gages. Consequently, Risvollan does not give the highest runoff peaks, even if the selection method for rainfall events is based on high runoff values from Risvollan, and did not necessarily give high precipitation values. In some cases the analysis gave Risvollan the mean value of the rain gages. The data set used in this study was too small to show any trends for the runoff differences.

The surveys performed in this study indicate that Saupstad had the most intensive average precipitation. In the most extreme rainfall events, short time precipitation from Saupstad was not observed to be higher than that in Risvollan. However, for rain durations longer than 10 minutes, the precipitation intensity from Saupstad, Ranheim and Sverresborg exceed 100 year precipitation from Risvollan. The IDF-curve from Risvollan frequently exceeds that from Saupstad and by more incidents on the other rain gages.

We are not sure if climate change is responsible for these observations. Alternatively, precipitation levels in Voll are not representative for the whole municipality. Probably it is a combination of the two reasons. However, we can be sure that Voll is exceeded by other rain gages, and it is appropriate to use the IDF-curve from Risvollan for future design of urban drainage systems.

A typical rainfall event for Trondheim is difficult to characterise, but it is observed that a rainfall peak seldom occurs alone. The peak can come either before, after or in the middle of an extended rainfall period. Simulations show that rainfall peaks late in the event give higher runoff peaks than rainfall peaks early in the event. Therefore, the design rainfall for Trondheim should include a late rainfall peak.

I also studied a scenario for the development of the catchment area of Risvollan. The analyses show that the runoff may increase, but that, technically, it should be possible to build more houses in Risvollan without increasing the loads on the sewer systems downstream Risvollan. However, in the event of any future development of Risvollan, the existing sewer system within the catchment should be examined as it already seems stressed.

Figurar

Figur 1.1: Nedbør frå Ranheim og Risvollan 13. august 2007 og symmetrisk typeregner (Risholt, 2009).....	9
Figur 1.2: Kart over Trondheim med nedbørsmålarar (Risholt, 2009; Kartverket; Google) ...	10
Figur 2.1: Til venstre: Avrenning utan målt nedbør. Til høgre: Målt nedbør utan avrenning.	12
Figur 2.2: Samanheng mellom punktnedbør og arealnedbør. Aukande areal gir lågare arealnedbør.....	13
Figur 2.3: Thiessenpolygon for Trondhiem.	13
Figur 2.4: 20-års Chicagoregner for Trondheim med varigheit på 35 minutt.	15
Figur 2.5: Tilnærma 20-års typeregner for Risvollan. På endane kan ein få avvikande verdiar.	16
Figur 2.6: Utforming av Sifnellregnet (Svenskt Vatten, 2011).	16
Figur 2.7: Det originale Kristoffersenregnet frå Forus (Kristoffersen 2010).....	17
Figur 2.8: Karmodellen med tre delar med ulike avrenningsforhold.....	18
Figur 2.9: Infiltrasjon etter Horton.	20
Figur 4.1: Grøne område på Risvollan.....	23
Figur 4.2: Flate tak på Risvollan.....	23
Figur 4.3: Rør går fulle ved enkelte regnskyll på Risvollan.....	24
Figur 4.4: Første køyring. Modellen overestimerer.	26
Figur 4.5: Andre køyring. Modellen ligg framleis for høgt.	26
Figur 4.6: Tredje køyring. Modellen tendenserer til å underestimere, men nærmar seg eit greitt resultat.....	27
Figur 4.7: Fjerde køyring, og den modellen som blir rekna som ferdig.	28
Figur 4.8: Sensitivitet av gropmagasinering ved store nedbørshendingar.	28
Figur 5.1: Nedbør og avrenning for nedbør med 1 og 5 minutt opplysing.	30
Figur 5.2: Endring i prosent mellom 1 og 5 minutt opplysing. Mørk blå viser endring for nedbørstoppane, medan ljøs blå viser avrenningstoppane.	31
Figur 5.3: Nedbørshendinga frå 30. juni 2008.	32
Figur 5.4: Nedbørshendinga frå 27. august 2008.....	32
Figur 5.5: Nedbørshendinga frå 1. august 2010.....	32
Figur 5.6: Nedbørshendinga frå 11. juni 2011.	33
Figur 5.7: Nedbørshendinga frå 8. august 2011.....	33
Figur 5.8: Nedbørshendinga frå 1. juli 2012.....	33
Figur 5.9: IVF-kurve for Risvollan med regnhendinga 1. august 2010 for Sverresborg og Ranheim. (Meteorologisk intitut, 2013).	35
Figur 5.10: Avrenning frå 13. august 2007.....	36
Figur 5.11: Avrenning frå 30. juni 2008.....	37
Figur 5.12: Avrenning frå 27. august 2008.....	37
Figur 5.13: Avrenning frå 1. august 2010.....	38
Figur 5.14: Avrenning frå 11. juni 2011.....	38
Figur 5.15: Avrenning frå 8. august 2011.....	39

Figur 5.16: Avrenning frå 1. juli 2012.	39
Figur 5.17: Avrenningsfaktorar for heile og delar av nedbørshendingar.....	40
Figur 5.18: Nedbørshendinga 8. august 2011. Avrenninga går ikkje ned til null før det startar å regne igjen.	41
Figur 5.19: Nedbør og avrenning frå 19. juni 2010.	41
Figur 5.20: Nedbør og avrenning frå 2. september 2009.....	42
Figur 5.21: Radarbilete av nedbør.....	43
Figur 5.22: To like store Chicago-regn.....	45
Figur 5.23: To påfølgjande toppar med to timars mellomrom.	46
Figur 5.24: Forslag til dimensjonerande regn.	47
Figur 5.25: Avrenninga frå 20-års Kristoffersenregn.....	47
Figur 5.26: Simulering av utbygging på Risvollan.....	48
Figur 5.27: Nedbørslagring ved lette vegeterte tak (Paus, 2012).	49
Figur 5.28: Døme på bruk av lette, grønne tak(Paus, 2012).	49
Figur 5.29: Avrenning med bruk av vegeterte tak.	50
Figur 5.30: Profil av mogleg løysing for å møte problema ved auka avrenning.	51

Tabellar

Tabell 2.1: Infiltrasjonsverdiar for Leire (Butler & Davies, 2011).....	19
Tabell 4.1: Manningstal til bruk i modellen (Hydraulic Reference, 2006).	25
Tabell 5.1: Konsekvensar ved nedbørsretningar.....	43
Tabell 5.2: Avrenning frå to påfølgjande nedbørstoppar.	45
Tabell 5.3: Samla nedbør før nedbørstopp.	46
Tabell 5.4: Forskjellar mellom den rasjonale metoden og modellen.	51

Innhold

Forord.....	I
Samandrag.....	II
Abstract	III
Figurar	IV
Tabellar.....	VI
1. Innleiing.....	9
1.1. Føremål.....	9
1.2. Problemskildring.....	9
1.3. Val av modell	9
1.4. Datagrunnlag.....	10
1.5. Tidlegare arbeid.....	11
2. Teori.....	12
2.1. Nedbør/nedbørsmåling.....	12
2.2. Problem med punktmåling.....	12
2.3. Arealnedbør.....	12
Thiessenpolygon.....	13
Arealreduksjonsfaktor	14
2.4. Typeregner.....	14
Blokkregn.....	14
Chicago	14
Symmetrisk typeregner	15
Sifnell	16
Kristoffersenregnet	17
2.5. Avrenningsmodellar	17
Rasjonale metode.....	17
PCSWMM.....	18
2.6. Kalibrering	20
3. Framgangsmåte.....	22
4. Kalibrering av modellen.....	23
4.1. Nedslagsfeltet på Risvolla	23
4.2. Kalibreringsgrunnlag.....	24
4.3. Oppbygging av modellen.....	25
4.4. Kalibrering	25

5.	Analyser og modellkøyringar.....	30
5.1.	Oppløysing av nedbørsdata.....	30
5.2.	Kvar i Trondheim regnar det mest?.....	31
5.3.	Konsekvensar av arealnedbøren	35
5.4.	Avrenningsfaktoren	40
5.5.	Regn i rørsle.....	42
5.6.	Typisk nedbør for Trondheim	44
5.7.	Utbygging av Risvollan.....	48
6.	Oppsummering og konklusjon	53
7.	Vidare arbeid/forsking.....	54
7.1.	IVF-kurve basert på mange målarar med korte måleseriar	54
7.2.	AVF-kurve, Avrenning-Varigheit-Frekvens	55
8.	Kjelder.....	56
	Vedlegg.....	58

1. Innleiing

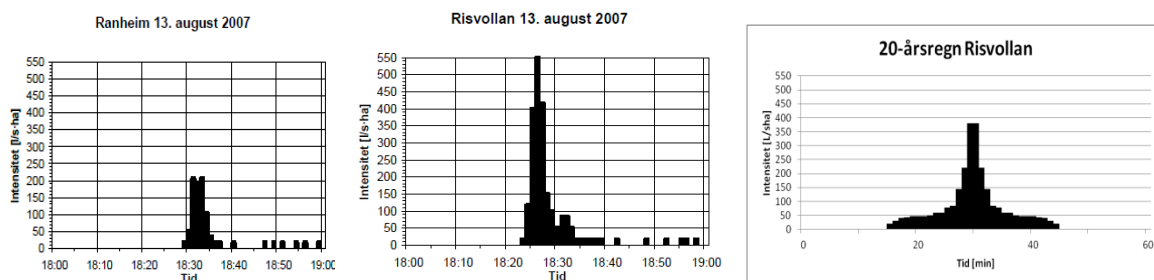
1.1. Føremål

Det overordna målet med denne oppgåva er å setje fokus på nytten av fleire nedbørsmålarar i eitt område og auke interessa for forskning som byggjer på fleire nedbørsmålarar. Med dette i tankane blir nedbøren i Trondheim studert for å sjå om ein kan finne trendar for nedbørshendingar. Kan ein seie noko om korleis eit typeregner for Trondheim bør sjå ut? Korleis er nedbøren fordelt i kommunen?

1.2. Problemskildring

13. august 2007 vart Trondheim råka av eit regn som var så kraftig at 154 forskjellige eigendomar fekk påført skader. Nedbørstoppen på Risvollan var på heile 550 L/sha, noko som er større enn den berekna 200-årsnedbøren for Voll. Alle målarane i kommunen viste store nedbørstilfelle. Intensiteten over fem minutt var større enn 100-årsnedbøren på Voll for fire av seks målarar. Likevel tilsvara nedbøren på Ranheim på det meste 9-årsnedbøren på Voll. Det viste seg, med andre ord, å vere store forskjellar i nedbøren i kommunen (Risholt, 2009). Den same sommaren, 29. juli, var det ei lengre nedbørshending som òg viste store interne forskjellar. Rapporten til Risholt (2009) er den einaste som tek for seg nedbørsmålingar frå dei seks aktive nedbørsmålarane i Trondheim og samanliknar dei.

Nedbørshendingane i 2007 førte med seg ein del spørsmål knytt til arealnedbør i Trondheim og forskjellane mellom målarane. Frå IVF-kurvane til Voll og Risvollan (Vedlegg A) ser ein stor forskjell mellom desse to stadane, sjølv om dei ligg nærme kvarandre. Korleis er nedbøren på dei andre stadane i kommunen i forhold? Figur 1.1 viser nedbøren på Ranheim og Risvollan 13. august 2007 samanlikna med eit 20-årsregn på ein halv time frå Risvollan.



Figur 1.1: Nedbør frå Ranheim og Risvollan 13. august 2007 og symmetrisk typeregner (Risholt, 2009).

1.3. Val av modell

Det finst fleire forskjellige modelleringsprogram for avrenning. PCSWMM og MIKE URBAN er dei som blir mest brukt til urban avrenning i Noreg. Til bruk i denne rapporten er det PCSWMM som er brukt grunna kjennskap til dette programmet frå tidlegare.

1.4. Datagrunnlag

Gjennom eit samarbeid mellom Institutt for vassbygging, NTH, NVE og Trondheim kommune, vart det i 1986 oppretta eit urbanhydrologisk målefelt på Risvollan. Der skulle det vere mogleg å studere både kvalitet og kvantitet på både spillvatn og overvatn (Thorolfsson & Høgeli, 1994). Stasjonen har vore i drift sidan den gong, og har gitt eit stort grunnlag for studie av nedbør og avrenning og kombinasjonen av desse.

Trondheim kommune har 6 nedbørsmålalarar for korttidsnedbør. Sjå Figur 1.2.

Nedbørsmålaren på Risvollan har vore i drift sidan 1986, Voll sidan 1967, og dei fire andre, Sverresborg, Lade, Ranheim og Saupstad, har målingar sidan 2006. Truleg er det berre Oslo kommune som har høgare tettheit av nedbørsmålalarar i Noreg (Mamen & Iden, 2010). Til dimensjonering er det IVF-kurvane frå Voll som blir brukt. Det er òg laga IVF-kurver for Risvollan som viser større nedbørsmengd enn på Voll. IVF-kurva for Risvollan baserer seg òg på nyare data enn for Voll (Meteorologisk institutt, 2013).

Til bruk i denne rapporten har nedbørs- og avrenningsdata frå Risvollan vore tilgjengeleg gjennom Institutt for vass-og miljøteknikk, NTNU. Nedbørsdata frå Sverresborg, Lade, Ranheim og Saupstad er henta frå Trondheim kommune sine loggingstenester. Data herifrå er ikkje kvalitetssikra av Meteorologisk institutt. Det er likevel vald å bruke desse, då det er dette som er tilgjengeleg. Denne rapporten ynskjer òg å fokusere på mogleg bruk av kommunale nedbørsdata. Slike data er ikkje alltid kvalitetssikra. Nedbørsdata for Voll har vore problematisk å få henta ut. Ved kontakt med meteorologisk institutt er det vist til klima.no, men der er det berre funne nedbørsdata med låg oppløysing.



Figur 1.2: Kart over Trondheim med nedbørsmålalarar (Risholt, 2009; Kartverket; Google) .

1.5. Tidlegare arbeid

I Oslo er det sett stort fokus på arealnedbør, der dei har oppretta 10 permanente nedbørsmålarar som dei samarbeider med met.no om. I tillegg til desse har dei 8 semipermanente målarar som skal stå ute i tre år. I løpet av kort tid er det planlagt å etablere til saman 30 heilårs nedbørsmålarar supplert med 15 ekstra nedbørsmålarar til sommarmålingar (Krogh, personleg kommunikasjon 28. mai 2013).

I Sverige er det gjort fleire studie på arealnedbør. Niemczynowicz og Hernebring (1984 og 2008, referert i Svenskt Vatten (2011), ss. 30-33) kartla samanhengen mellom punktnedbør og arealnedbør i Lund, Växjö og Jönköping. Begge fann at arealnedbøren vart redusert med regnvarigheit og areal, men reduksjonen varierte frå dei forskjellige plassane. Bengtson og Niemczynowicz (1986) konkluderer med at skilnaden på ARF for skandinaviske byar er så liten at verdiane for Lund i Sverige kan brukast over heile Skandinavia.

I "stasjonsårsmetoden" lagar ein IVF-kurver basert på måleseriar frå fleire ulike nedbørsmålarar sett saman til éin. Slik kan ein auke datagrunnlaget for IVF-kurva. Falk (1951) og Arnell (1974) brukte denne metoden til å supplere data i Stockholm og Göteborg. Det blir lagt vekt på at ein ikkje kan bruke denne teknikken viss det finst systematiske skilnader mellom målarane (Hernebring, personleg kommunikasjon, 8. mai 2013). Nedbøren aukar ofte med høgda, noko som gjer at målarane må vektast for å få dei rette IVF-kurvane (Hernebring, När regnet kommer, 2008).

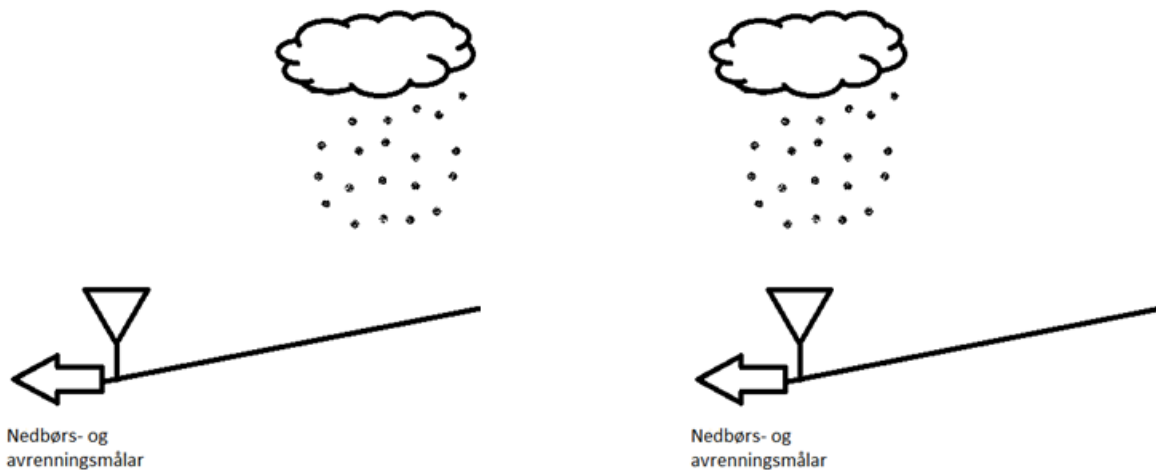
2. Teori

2.1. Nedbør/nedbørsmåling

For måling av punktnedbøren er det vippekarsmåling som blir mest brukt. Prinsippet går ut på at ein har to kar som tømmer seg når dei er fulle av regnvatn. Når det eine karet blir tømt, blir den andre fylt. Niemczynowicz (1986, referert i Mamen & Iden(2010)) fann ut at vippekara fylte seg forskjellig ved forskjellig nedbørsintensitet. Denne skilnaden blir teken omsyn til av meteorologisk institutt, der dei er teken inn som samarbeidspartnar (Mamen & Iden, 2010).

2.2. Problem med punktmåling

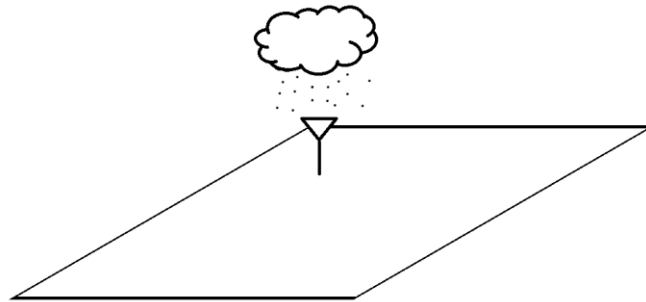
På målestasjonen på Risvollan står det nedbørsmålarar for korttidsnedbør. Dette er punktmålarar, og tek berre omsyn til korleis nedbøren er i det punktet der målarane står. Avrenningsmålararen måler kva som renn av frå heile nedbørsfeltet. I enkelte tilfelle kan det regne over nedbørsmålararen, medan det ikkje regnar oppe i nedbørsfeltet. Då vil ein måle nedbør utan at ein får representativ avrenning. Omvendt kan det regne i nedbørsfeltet utan at det regnar over nedbørsmålararen. Då vil ein registrere avrenning utan nedbør. Ekstremtilfelle av denne effekten er illustrert i Figur 2.1.



Figur 2.1: Til venstre: Avrenning utan målt nedbør. Til høgre: Målt nedbør utan avrenning.

2.3. Arealnedbør

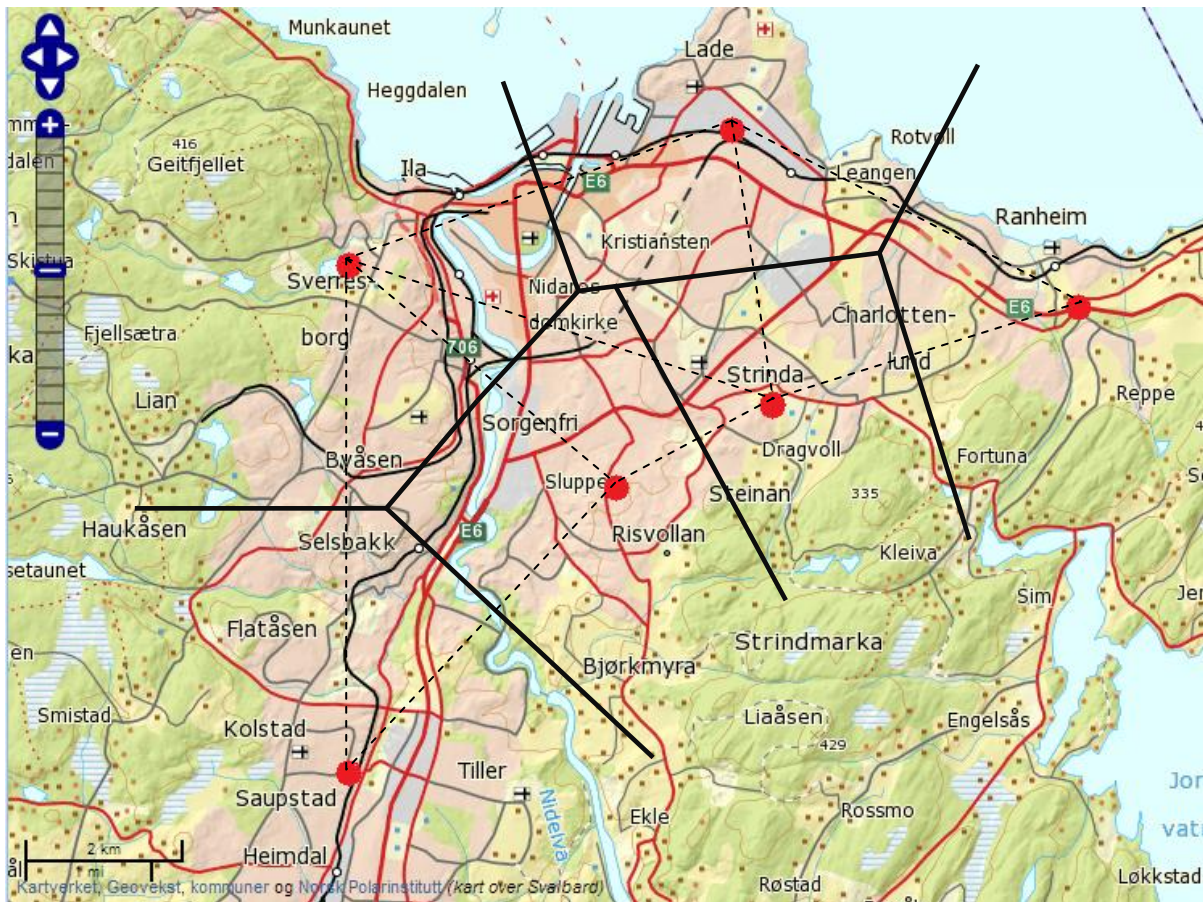
Til forskjell frå punktnedbøren, som blir målt i vanlege målestasjonar, representerer arealnedbøren den nedbøren som fell over eit større område. Det viser seg at nedbøren spreitt utover eit areal er betydeleg mindre enn for punktnedbøren (Svenskt Vatten, 2011). Sjansen er altså større for å ha intensiv nedbør i eitt enkelt punkt enn over eit større område. Skilnaden mellom arealnedbør og punktnedbør aukar med aukande areal og gjentaksintervall, som skissert i Figur 2.2. For lengre nedbørshendingar jamnar skilnaden seg ut (Niemczynowicz 1986, referert i Svenskt Vatten, 2011 s. 30).



Figur 2.2: Samheng mellom punktnedbør og arealnedbør. Aukande areal gir lågare arealnedbør.

Thiessenpolygon

Det er utvikla fleire måtar å utjamne skilnadane mellom punkt- og arealnedbør. Har ein fleire målarar tilgjengeleg kan Thiessenpolygon vere aktuelt. Prinsippet går ut på å dele opp eit område etter kvar målarane står. Kvart delområde har éin tilhøyrande målar. Ingen delar av eitt område skal vere nærare den gjeldande målaren. Dette får ein til ved å trekkje trekantar mellom alle målarande, for så å teikne opp alle midtnormalane. Kvar midtnormal representerer ei grense mellom to delfelt. Til saman gir dette polygon rundt kvar av nedbørmålarane (Dingman, 2002).



Figur 2.3: Thiessenpolygon for Trondheim.

Det finst ulempar ved bruk av Thiessenpolygon, mellom anna at polygonane ikkje tek omsyn til topografien. Nedbøren har ein tendens til å auke med høgda, og slik polygonane er sett opp i Figur 2.3, varierer høgdene mykje innanfor kvart polygon.

Arealreduksjonsfaktor

Om ein berre har éin målar å dimensjonere etter samstundes som at nedslagsfeltet er stort, kan det vere naudsynt å trekkje inn ein arealreduksjonsfaktor (ARF). Ofte har kraftige nedbørshendingar ei utbreiing på berre 3-5 km. Dette gjer at om ein har eit felt på meir enn 5 km², blir det dimensjonerande regnet for stort om ein breier det utover heile arealet. Difor trekkjer ein inn ARF, som ligg mellom 0,7 og 1 (Svenskt Vatten, 2011). Denne er avhengig av storleiken på nedslagsfeltet, gjentakintervallet og varigheita på regnet (Lindholm et al., 2012).

2.4. Typeregner

Til dimensjonering av avløpsnett blir det ofte brukt eit typeregner. Dette er fiktive nedbørshendingar som blir konstruert og som prøver å likne ei reell nedbørshending. IVF- kurver er ofte utgangspunkt for typeregner, medan forskjellige matematiske tilnærmingar gir den ønska forma.

Blokkregner

Blokkregner er den enklaste av typeregner. Då går ein ut ifrå at nedbøren er konstant over eit visst tidsrom. I den rasjonale metoden er det blokkregner som blir nytta. Intensiteten på blokkregner blir bestemt av kor lang tid regnet varer, som igjen er avhengig av konsentrasjonstida på nedslagsfeltet.

Chicago

Kiefer og Chu (1957, referert i Nilsdal, 1988) kom opp med eit typeregner etter å ha studert fleire nedbørshendingar i Chicago. I Chicagometoden går ein ut ifrå at det regnar både før og etter ein regntopp med ein intensitet, i . Nedbørstoppen kan ein forskyve med r frå 0 heilt i starten til 1 heilt på slutten av nedbørshendinga. Konstantane a og b justerer høgda på nedbørstoppen og kor bratt kurva skal konvergere mot c . Formelen for Chicagoregner er (Svenskt Vatten, 2011)

$$i = \frac{a * b}{\left[\frac{|t - rT|}{r} + b \right]^2} + c$$

Før intensitetsmaksimum

$$i = \frac{a * b}{\left[\frac{|t - rT|}{1 - r} + b \right]^2} + c$$

Etter intensitetsmaksimum

der

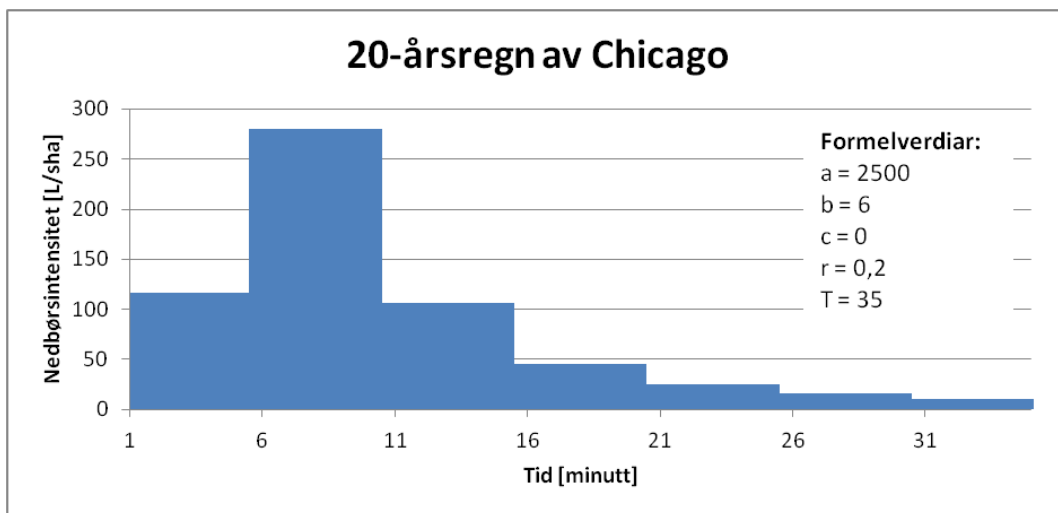
i = regnintensitet ved tida, t

T = totaltid

rT = tidspunkt for nedbørstopp

a , b og c er konstantar

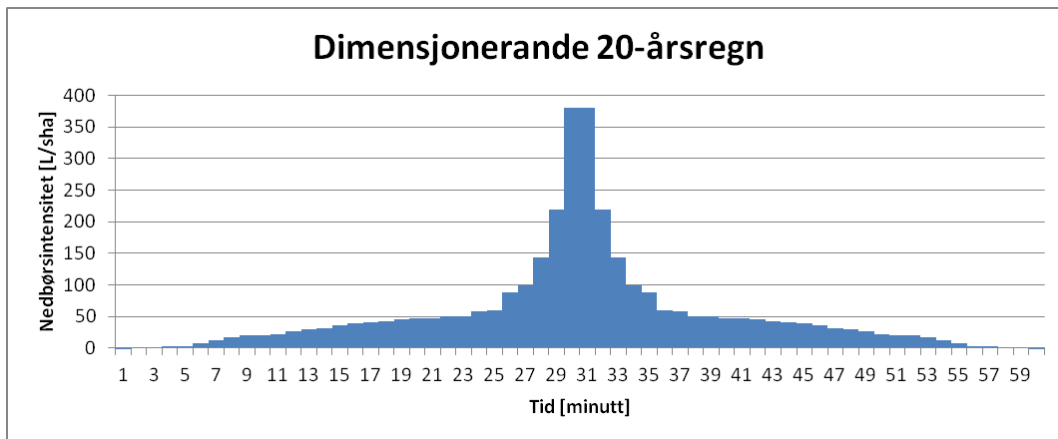
I denne studien er det berre brukt formelen for Chicagoregnet etter nedbørsmaksimum. Dette har gitt greie verdiar for Trondheim. Figur 2.4 viser 20-års Chicagoregn etter IVF-kurva på Risvollan.



Figur 2.4: 20-års Chicagoregn for Trondheim med varigheit på 35 minutt.

Symmetrisk typeregnet

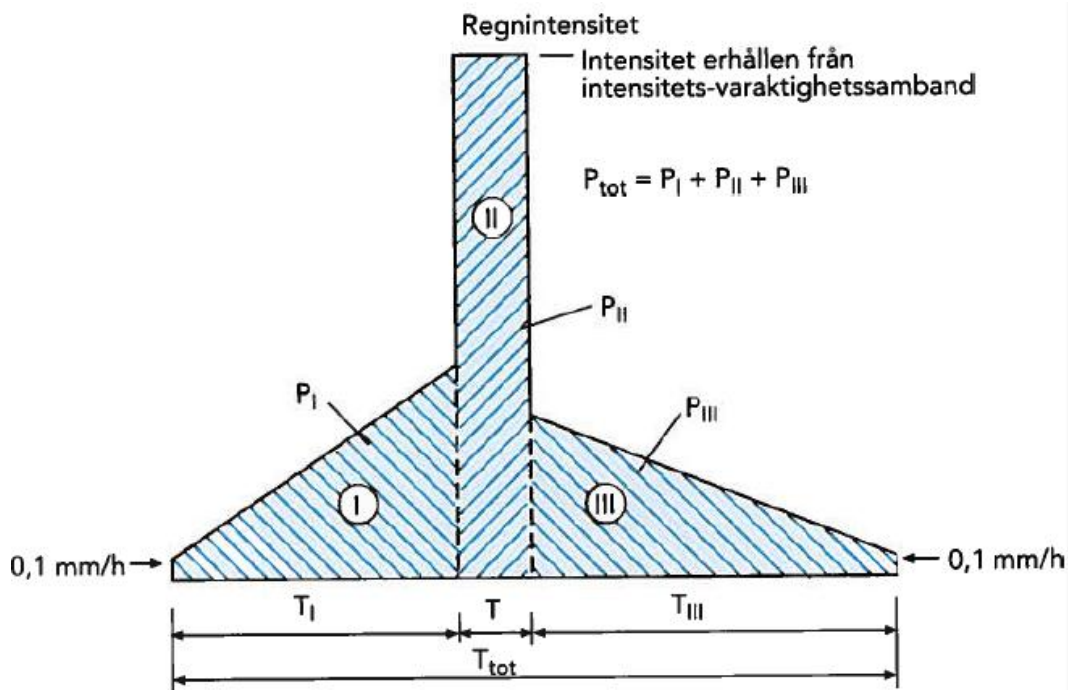
Ideen bak det symmetriske typeregnet er at det totale volumet skal stemme overeins med gjentakintervallet for den gjeldane IVF-kurva, samstundes som at toppverdien òg gjer det. Nedbørstoppen kjem på midten av nedbørshendinga. Symmetrisk typeregnet for Risvollan er vist i Figur 2.5 (Thorolfsson, 2000).



Figur 2.5: Tilnærma 20-års typeregnet for Risvollan. På endane kan ein få avvikande verdiar.

Sifnell

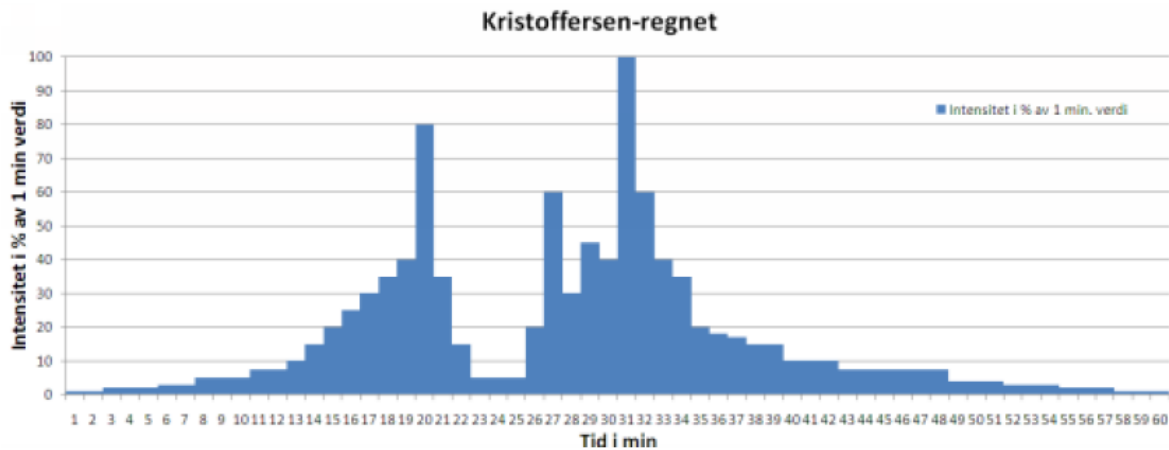
Arnell (1991, referert i (Svenskt Vatten, 2011, s. 27) skildrer eit typeregnet basert på Sifalda regnet frå 1973. Typeregnet er tredelt med ein hovuddel på midten med eit for- og eit etterregn. Hovuddelen er basert på den gjeldande IVF-kurva. Dei to andre delane er laga ut ifrå 8 koeffisientar (Nilsdal, 1988). Prinsippskisse av Sifnellregnet er vist i Figur 2.6.



Figur 2.6: Utforming av Sifnellregnet (Svenskt Vatten, 2011).

Kristoffersenregnet

Kristoffersen (2010) presenterer Kristoffersenregnet. Ideen bak dette er at typeregnet som skal dimensjonerast etter, skal vere tufta på historiske nedbørshendingar og vare i 60 minutt. Kvar varigheit bør samsvare så godt som mogleg med IVF-kurva som det blir dimensjonert etter. Figur 2.7 viser Kristoffersen-regnet brukt for Forus næringspark.



Figur 2.7: Det originale Kristoffersenregnet frå Forus (Kristoffersen 2010).

2.5. Avrenningsmodellar

For dimensjonering av overvassleidningar prøver ein å simulere kor store avrenningsmengder ein kan vente seg. I Noreg er det den rasjonale metoden eller datasimulering som blir brukt til dimensjonering (Norsk VA-norm, 2012). Ein modell for urban avrenning består i hovudsak av to hovuddelar; ein hydrologisk del og éin hydraulisk del. Den hydrologiske delen består av nedbør og arealet nedbøren fell på. Den hydrauliske delen består av leidningsnett, hovudtransportssystem, utsleppsarrangement og eventuelt overløp, pumpestasjonar og utjamningsbasseng (Thorolfsson, 2000).

Rasjonale metode

Den rasjonale metoden er gjeldande for nedslagsfelt mindre enn 20 ha, men er rask å bruke for mindre felt. Metoden baserer seg på bruk av blokkregn henta frå gjeldande IVF-kurve. Formelen for Q ser slik ut:

$$Q = \varnothing * I * A$$

Q = avrenninga [L/s]

\varnothing = avrenningsfaktoren [-]

I = nedbørsintensiteten [L/sha]

A = arealet [ha]

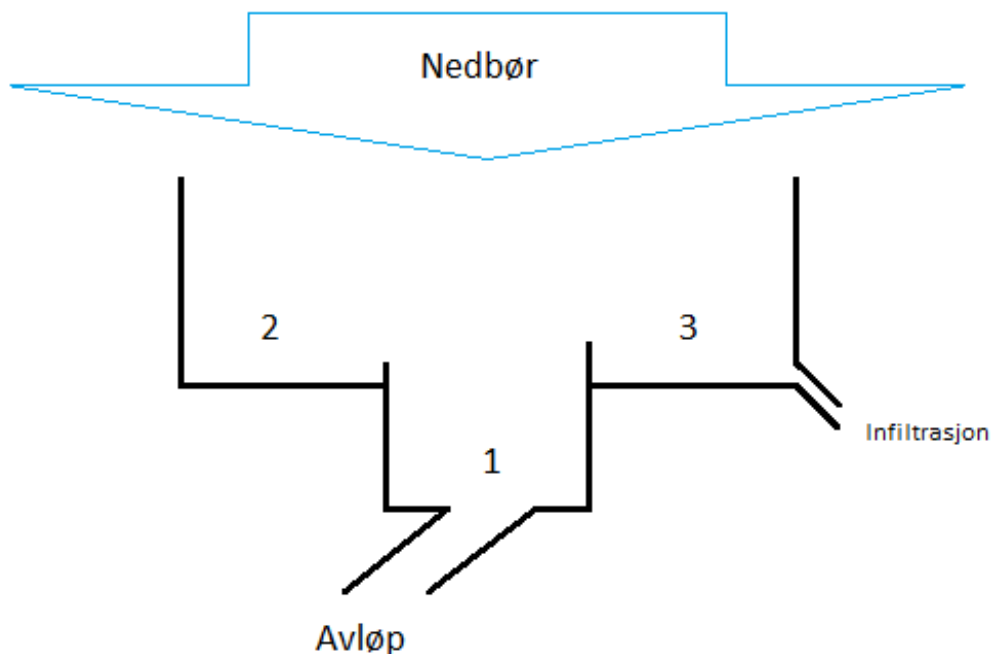
Avrenningsfaktoren, ϕ , blir behandla som ein konstant ut ifrå samansettinga av ulike arealtypar innanfor det gitte området. I realiteten varierer avrenningsfaktoren gjennom ei nedbørshending og frå årstid til årstid. Avrenningsfaktoren kan uttrykkjast ved

$$\phi = \frac{\text{Volum nedbør}}{\text{Volum avrenning}}$$

PCSWMM

PCSWMM er eit modelleringsverktøy for nedbørsavrenning og avløpssystem, som baserer seg på Stormwater Management Model (SWMM) som vart utvikla av US EPA i 1969-71 (Huber, 2003). Fleire endringar er gjort sidan den gong, og det er den femte og siste versjonen som blir brukt i denne rapporten.

SWMM-rutinen byggjer på ideen om ein karmodell, der nedbøren som fell, fell i eit tredelt kar. Frå del 1 renn all nedbøren av til avløpet. Del 2 tillet gropmagasinerings, at det samlar seg vatn i groper på overflata. Først når gropene er fulle, får ein avrenning, men då går òg alt vatnet til avløpet. Del 3 er lik del 2, bortsett frå at det alltid har ei viss mengd av nedbøren som ikkje går til avløpet i det heile. Dette er infiltrasjonen. Karmodellen er skissert i Figur 2.8.



Figur 2.8: Karmodellen med tre delar med ulike avrenningsforhold.

Infiltrasjon

Det er vald å bruke infiltrasjonsmodellen etter Horton som er uttrykt ved:

$$f_t = (f_0 - f_c) * e^{-kt} + f_c$$

f_t = Infiltrasjon ved eit gitt tidspunkt [mm/min]

f_0 = Infiltrasjon ved starten av infiltrasjonsforløpet [mm/min]

f_c = Infiltrasjon ved slutten av infiltrasjonsforløpet [mm/min]

k = Infiltrasjonskoeffisient [min^{-1}]

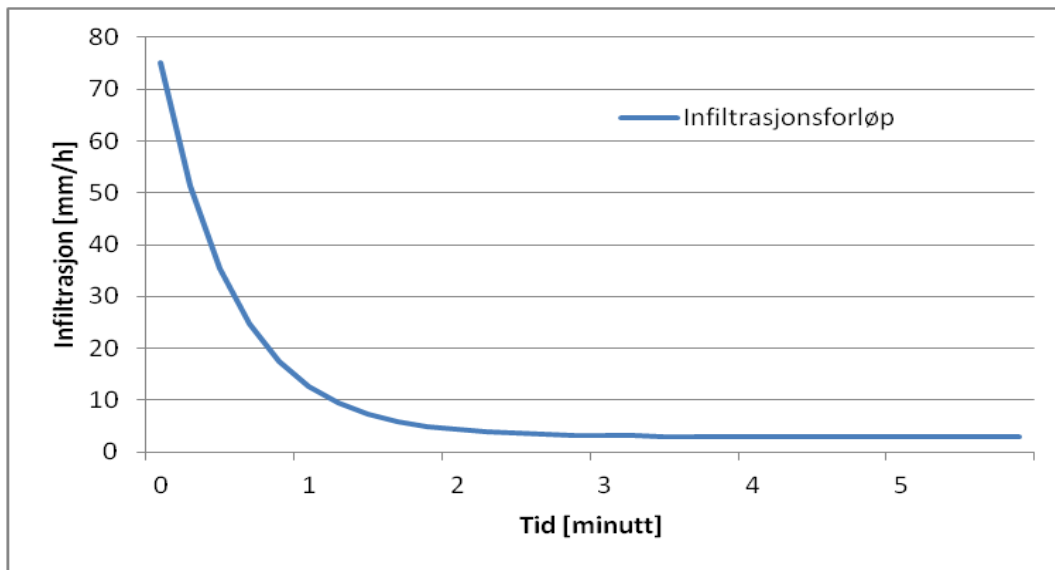
t = Tid frå det startar å regne [min]

Typiske infiltrasjonsverdiar for leire, som det er mykje av på Risvollan, er lista opp i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Infiltrasjonsverdiar for Leire (Butler & Davies, 2011).

Infiltrasjon etter Horton	
Maksimal infiltrasjon [mm/h]	75
Minimal infiltrasjon [mm/h]	3
Reduseringsfaktor	2
Dagar før tørt	4

Figur 2.9 viser infiltrasjonsforløpet etter Horton. Med dei inngangsverdiane som er vanlege for leire synk infiltrasjonen til sluttinfiltrasjonen etter berre 3 minutt. Det vil difor i hovudsak vere den minste verdien for infiltrasjon som er den avgjerdande for avrenninga.



Figur 2.9: Infiltrasjon etter Horton.

Gropmagasinering

Saman med infiltrering er gropmagasinering den prosessen som har mest å seie for reduksjon av avrenninga. Butler og Davis (2011) gir opp ein formel for gropmagasinering som avhenger av helling og overflate:

$$d = \frac{k}{\sqrt{s}}$$

d = gropmagasinering [mm]

s = hellinga [-]

k = koeffisient på 0,07 for tette flater, og 0,28 for gjennomtrengelige flater

Dei gir òg opp typiske verdiar på 0,5 – 2 mm for tette flater, men kan variere frå 2,5 til 7,5 for flate tak. For hagar kan gropmagasineringa kome opp i 10 mm. Om ein bruker formelen for Risvollan, får ein verdiar mellom 0,1 og 0,4 for tette flater og mellom 0,5 og 1,5 for gjennomtrengelige flater.

2.6. Kalibrering

Ein datamodell for avrenning gir det same resultatet kvar gong så lenge ein bruker dei same inngangsdataa. I ein naturleg tilstand er det ei rekkje tilfeldige prosessar som det er vanskeleg å ta omsyn til i ein modell (Butler & Davies, 2011). Ein modell speler heile tida på forenklingar av dei naturlege prosessane. Til dømes går ein ut ifrå at infiltrasjonen fylgjer eit fast mønster og at grunnen er tørr etter eit fast tidsrom. I røynda varierer desse mykje. Det er difor ikkje mogleg å få modellen til å passe perfekt med dei målte verdiane.

Maalel & Huber(1984) legg vekt på at ved å kalibrere ut ifrå fleire nedbørshendingar samstundes, vil modellen bli meir robust enn om ein kalibrerer for éi og éi regnhending. Ein vil òg vere i stand til å luke ut feil i måledata og urealistiske parametrar i modellen. Med fleire nedbørshendingar å kalibrere ut ifrå er målet å finne ein balanse mellom overestimert og underestimert avrenning både med tanke på toppar og volum.

3. Framgangsmåte

I denne studien er det både fokusert på nedbørsforhold i Trondheim, forskingsfeltet på Risvollan og dagens dimensjoneringspraksis, der kombinasjon av Excel og PCSWMM brukt i analysearbeidet. Excel er brukt der rein observasjon og forholdsberäkningar har vore naudsynt, til dømes til å finne typiske nedbørshendingar for Trondheim. PCSWMM har vore viktig der avrenninga av dei gitte nedbørshendingane har vore viktige. I slike tilfelle er simulerte verdiar brukt for nedbørsdata frå andre målarar enn frå Risvollan, medan målte avrenningsverdiar er brukt for Risvollan. Under kapittelet om avrenningsfaktoren er det målte verdiar som er brukt for å få dei faktiske verdiane i staden for dei teoretiske. For framtidsutsikter for forskingsfeltet på Risvollan er ein nøydt til å stole på den modellen ein har laga.

Det er òg studert animasjonar av nedbørshendingar. Desse er innhenta frå yr.no som tek radarbilete kvart kvarter. Radarbilete ligg ute på nett berre for det siste døgeret, men på førespurnad vart det laga 8 animasjonar av historiske nedbørshendingar til bruk i denne studien.

4. Kalibrering av modellen

I studien av avrenninga frå Risvollan er det fokusert på at toppane i avrenningsmodellen skal vere så like som mogleg den målte avrenninga. Samla avrennt volum kan òg vere interessant, til dømes om ein ser på vasstilførsel til reinseanlegget, men for kapasiteten til leidningsnettlet vil toppavrenninga vere mest interessant.

4.1. Nedslagsfeltet på Risvollan

Det hydrologiske forskingsfeltet på Risvollan ligg 4 kilometer sør for Trondheim sentrum. Området er prega av bustadhus, der dei fleste taka er flate. Det er òg store grøntareal med fotballbane og elles til dels høgt, men ikkje alltid tett gras. Grunnen er leirehaldig (Trondheim kommune, 2007). Figur 4.1 og Figur 4.2 viser døme på parkareal og flate tak på Risvollan.



Figur 4.1: Grøne område på Risvollan.



Figur 4.2: Flate tak på Risvollan.

På synfaring under og etter ei nedbørshending 30. mai 2013 vart det observert at vatn strøymde opp frå eit kumlokk som vist i Figur 4.3. Vatnet rann vidare i ein bekk, og samla seg på leikeplassen nedstrøms. Nedbørshendinga 30. mai 2013 kan ikkje karakteriserast som noko stor nedbørshending. Det stuva seg opp vatn på vegane opp til Risvollan, men nedbørsmålaren viste at det var langt ifrå 2-årsnedbøren på Risvollan. For dei nedbørshendingane som er undersøkt i denne rapporten, er det ingen som gir målte avrenningstoppar på meir enn 290 L/s. Ei forklaring til dette kan vere nettopp det at røra går fulle sjølv ved små nedbørshendingar. Leikeplassen nedstrøms kummen i Figur 4.3 såg ut til å ha kapasitet til å lagre betydeleg større mengder vatn. Det kan altså verke som om ikkje alt vatnet som kjem inn i avløpsrøra kjem ned til målestasjonen på Risvollan. Avrenningsmodellen tek utgangspunkt i at vatnet som kjem i røra, kjem til målestasjonen. Dette kan føre til feil i modellen.



Figur 4.3: Rør går fulle ved enkelte regnskyll på Risvollan.

4.2. Kalibreringsgrunnlag

Nedbørs- og avrenningsdata er vald til fem minutts oppløysing. Det skal vere mogleg å få tak i finare oppløysing, men til denne rapporten vart det berre funne minuttdata for 2012, noko som vil gi for lite datagrunnlag. I kapittel 5.1 er det gjort samanlikningar av bruk av både eitt og fem minutts oppløysing av nedbørsdata, og det viser seg at fem minutt gir gode nok resultat.

Det varierer mykje kva nedbørshendingar som gir størst avrenning, og nedbørstoppen samsvarar ikkje alltid med avrenningstoppen. Dette har med kva som har hendt før toppen inntreff. På hausten og våren vil marka vere våtare enn om sommaren, og kapasiteten til infiltrasjon vil vere redusert i forhold til ein tørr periode på sommaren. Med dette i tankane vart det sett på avrenningsstorleik i staden for på nedbørshendinga direkte. Regn som på Risvollan ga målt avrenning på 150 L/s eller meir vart teken med i kalibreringa. Frå 2006 til 2012 var det 13 tilfelle av avrenning på over 150 L/s der ein har gode data for både avrenning og nedbør. 2007 er ikkje teken med i kalibreringa, då dei to ekstreme regnhendingane 29. juli og 13. august slo ut systemet. Det manglar difor mykje data frå denne sommaren.

Dei utvalde nedbørshendingane vart sett etter kvarandre med fleire dagar utan regn i mellom. Dataserien vart lagt til sommaren 2012, noko som betyr at grafar henta rett frå

modellen vil vere datert frå 1. mai til midten av juli 2012, sjølv om nedbørs- og avrenningsdata er henta frå andre datoar.

4.3. Oppbygging av modellen

Det totale arealet for nedslagsfeltet på Risvolla vart funne til å vere 21,49 ha. Dette vart delt opp i 22 delfelt, der det er forsøkt å halde utbygde område skilde frå område med plen for å ha eit så homogent delfelt som mogleg. Avrenning frå desse delfelta vart sett til å gå i kummar utplassert etter leidningskart frå Trondheim kommune. I etableringa av leidningsnett er det forsøkt å spegle det reelle leidningsnett i grove trekk. Leidningane er sett til å ligge 2,5 meter under bakkenivå. Høgder er henta ut frå leidningskartet ved hjelp av høgdekurvene der. For å finne leidningslengder og areal av delfelt er norgeskart.no brukt.

Tette flater er sett til 21 % og ingen av desse blir i første gong sett utan gropmagasiner. Som eit utgangspunkt for køyringar er det brukt litteraturdata for infiltrasjon og avrenningsfaktorar både på overflata og i rør. For gropmagasiner er det brukt formelverdiar. Tabell 4.1 viser verdiane manningstal som er brukt som utgangspunkt for kalibreringa. Breiddene på delfelta er vald slik at rektangla liknar mest mogleg på forma på delfeltet. For nokre tilfelle er det tatt omsyn til at overvassrøra ligg nede i ein dal, som berekningsmessig vil gi breiare delfelt.

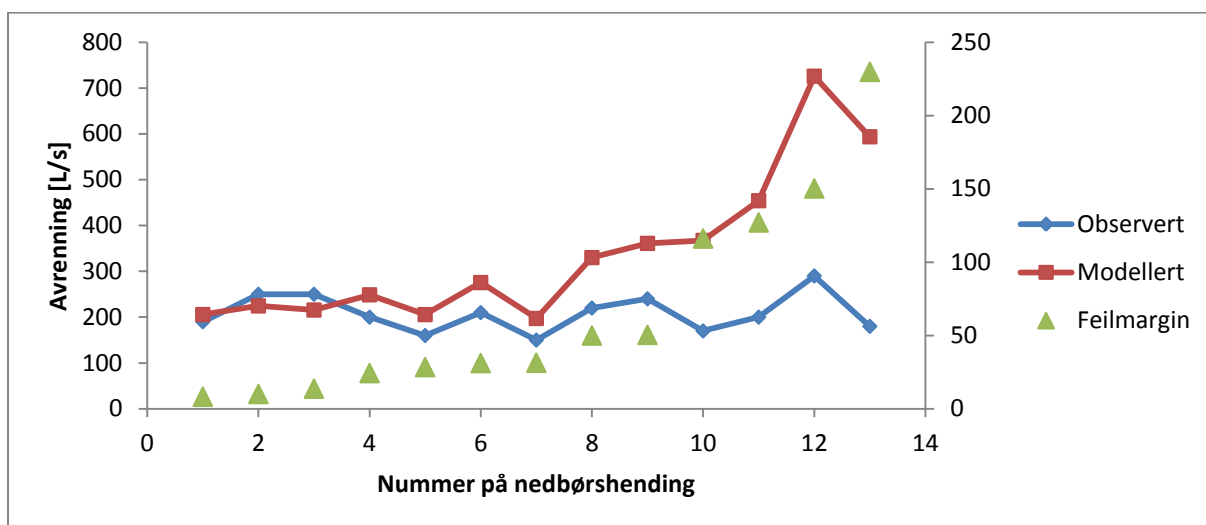
Tabell 4.1: Manningstal til bruk i modellen (Hydraulic Reference, 2006).

	Manningstal, n [$s/m^{1/3}$], som for:
Tette flater	asfalt 0.016
Permeable flater	høgt gras 0.05
I rør	avløpssystem med kummar 0.012

4.4. Kalibrering

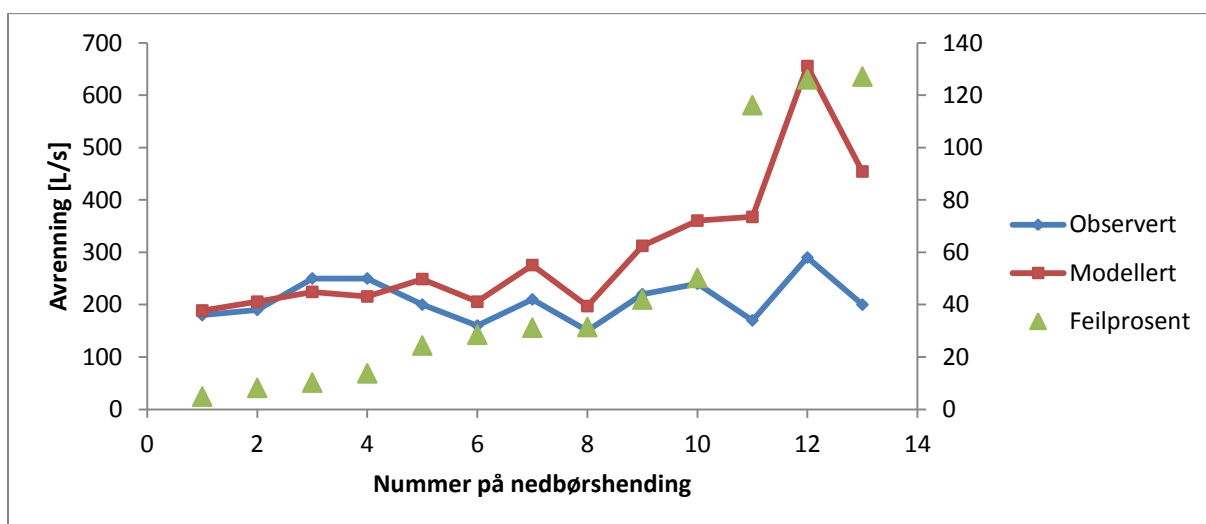
For den ferdig kalibrerte modellen sit ein att med 7 toppar som har eit avvik på 10 % eller mindre. 6 av 13 simulerte toppar er større enn dei målte, medan 7 av 13 er mindre. Kalibrering av ein modell handlar om å justere parametarar i modellen slik at det estimerte resultatet bli så likt det målte som mogleg. I PCSWMM er det nærare 20 forskjellige parametarar berre for areal og grunnforhold. I tillegg kjem parametarar for leidningsnett. Kombinasjonane av desse blir mange, og det vil her berre bli presentert nokre av kalibreringsstega.

Ved første køyring av modellen blir alle utanom to toppar overestimerte. Det er fleire parametarar som kan vere orsak til dette. I første omgang kan ein sjå på infiltrasjonen. Erfaringar tilseier at det er infiltrasjonen på slutten av Horton som er avgjerande for avrenninga og ikkje infiltrasjonen i starten. Denne blir auka frå 3 til 15 mm/h. Figur 4.4 viser toppane for den modellerte og den observerte avrenninga i rekkjefølgje slik at toppane med minst avvik kjem først.



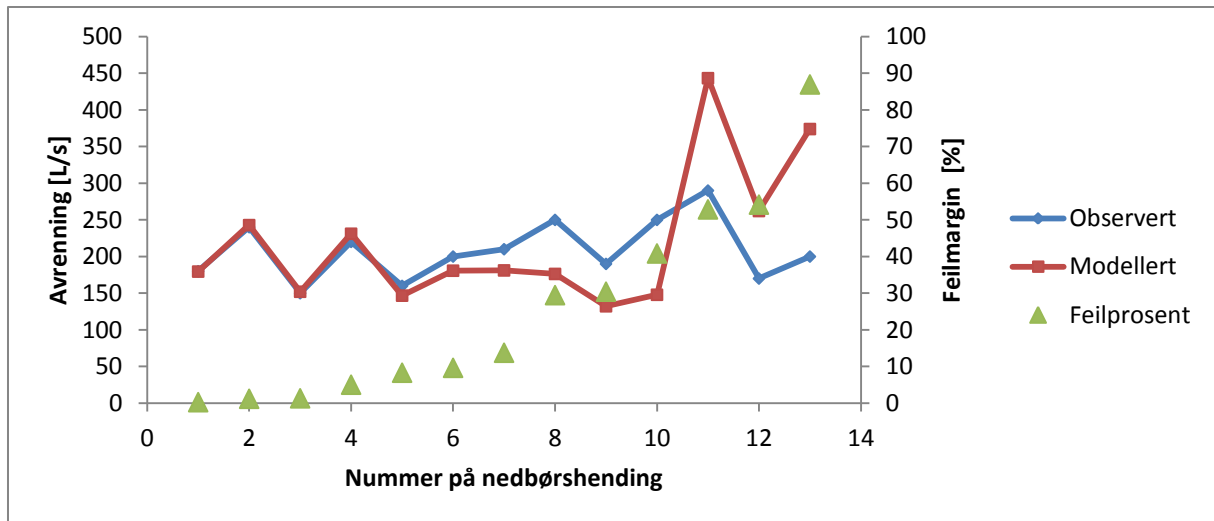
Figur 4.4: Første kjøring. Modellen overestimerer.

Figur 4.5 viser andre kjøring med lågare toppar, men modellen overestimerer framleis. Å endre meir på infiltrasjonsparametrane har ein ikkje grunnlag for å gjere. Det kan føre til at modellen mistar truverd. Fokuset skiftar difor til manningstala for overflater. Manningstala for overflatene skil seg lite frå røra. Det kan vere grunn til å tru at overflatene er ruare og har difor høgare manningstal enn røra. Manningstala for overflatene blir juster opp til 0,12 og 0,4 i staden for 0,016 og 0,05 for tette og gjennomtrengelige flater.



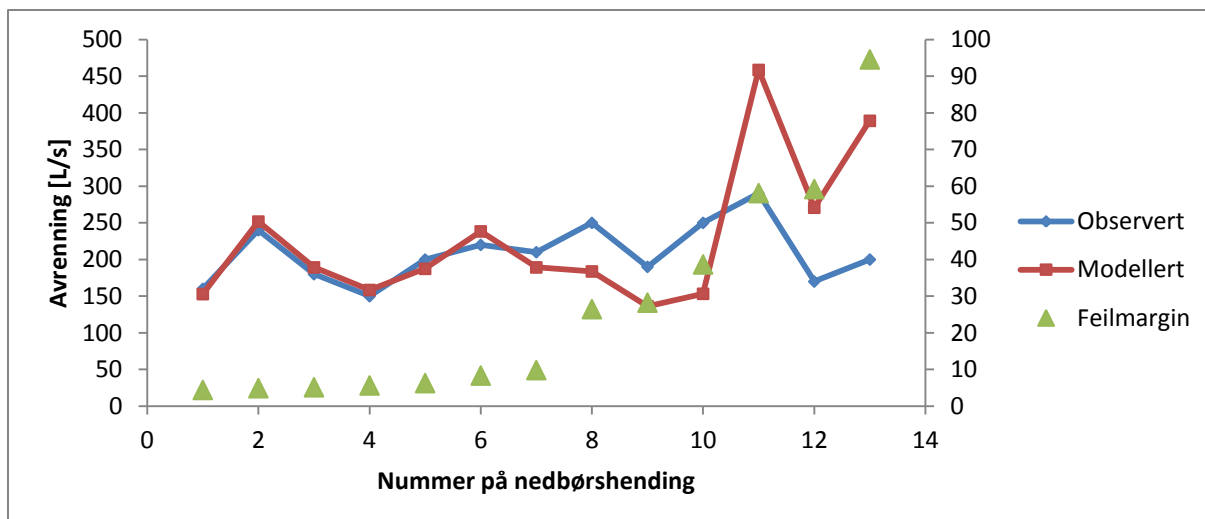
Figur 4.5: Andre kjøring. Modellen ligg framleis for høgt.

Ved tredje kjøring, som vist i Figur 4.6, har modellen ein tendens til å underestimere. Likevel er det fire toppar som blir overestimert. Til saman er det fem toppar som har eit avvik på mindre enn 10 % der éin av dei treff den målte toppen. Det er to toppar som ligg innanfor 15 % under dei målte toppane. Ved å auke det tette arealet litt, kan ein òg få desse innanfor 10 % avvik.



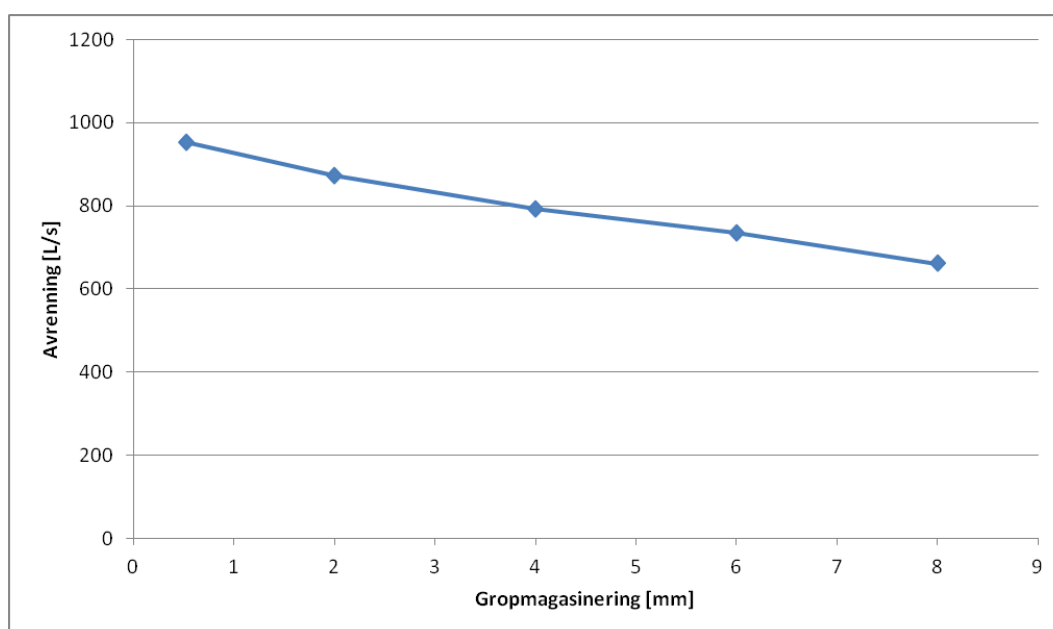
Figur 4.6: Tredje kjøring. Modellen tendenserer til å underestimere, men nærmar seg eit greitt resultat.

Figur 4.7 viser toppane for kjøringa av den ferdig kalibrerte modellen. Sju toppar er innanfor 10 %, noko som i denne samanhengen blir rekna som godt nok. Det vil vere vanskeleg å reprodusere alle toppane, då modellen ikkje tek omsyn til tilfeldige forhold i samspelet mellom nedbør og avrenning. Som Maalel og Huber (1984) presiserer, vil kalibrering med fleire hendingar etter kvarandre gjere det lettare å luke ut usannsynlege forhold mellom nedbør og avrenning. Feil i målingar frå avrenning eller nedbør kan vere orsak til slike usannsynlege forhold. Ein kan heller ikkje utelukke at overflatevatnet renn forbi avrenningsmålaren eller ikkje når målaren, sjølv om det er kome ned i avløpet. Det kan vere slike effektar ein ser for dei toppane som spriker mest mellom målt og modellert topp. Balansen mellom overestimert og underestimert er god.



Figur 4.7: Fjerde køyring, og den modellen som blir rekna som ferdig.

Det er brukt gropmagasineringsverdier etter formelen frå Butler og Davis (2011). Alle verdiane er under 1,5 og kan verke lågt. Om ein aukar gropmagasineringa blir den største toppen redusert, men sjølv med ekstreme verdier for gropmagasinering på 20 mm, nærmar ikkje den modellerte og den målte toppen seg mykje. Det skjer òg lite med dei andre avrenningstoppene med aukande gropmagasinering. I Figur 4.8 er det teikna inn verdiane for avrenningstoppene frå eit stort regn med varierende verdier for gropmagasinering. Gropmagasineringsverdiane er innanfor det Butler og Davis (2011) karakteriserer som realistiske verdier. Verdier for tette og gjennomtrengelige flater er sett like.



Figur 4.8: Sensitivitet av gropmagasinering ved store nedbørshendingar.

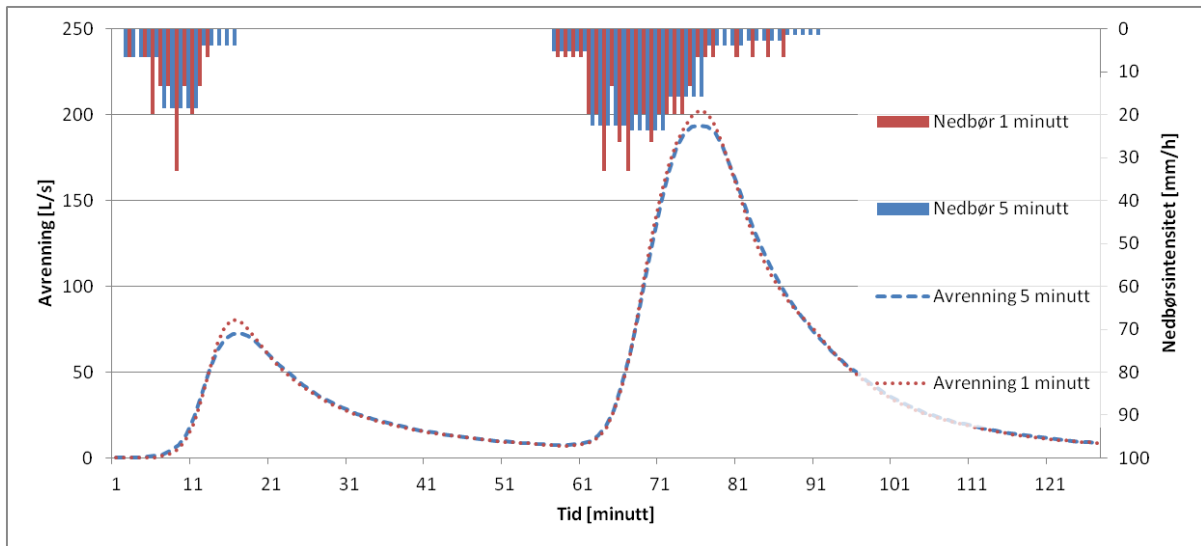
Mellom 0,5 og 8 mm blir avrenningstoppen redusert med om lag 300 L/s, men går ikkje heilt ned til det modellen er kalibrert for. Basert på nedbør- og avrenningsmålingar finst det ikkje grunnlag for å auke gropmagasineringa mykje. Modellen skal brukast til å studere forskjellar

mellom nedbørshendingar og avrenninga frå desse. Så lenge ein bruker same verdiar, vil ein kunne sjå eventuelle trendar utan å justere gropmagasineringsverdiane.

5. Analyser og modellkøyringar

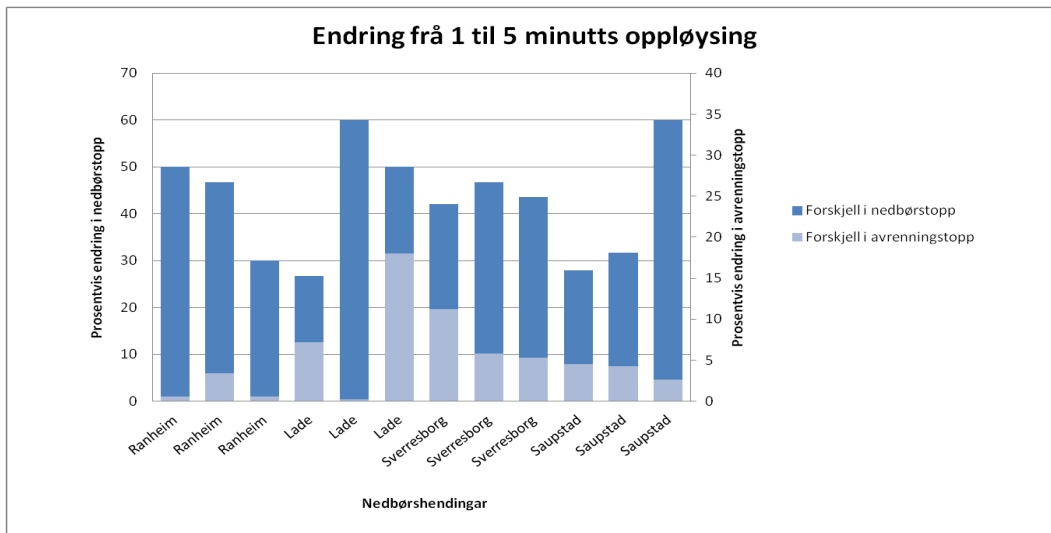
5.1. Oppløysing av nedbørsdata

Bør ein bruke oppløysing på eitt eller fem minutt? Kva har ei finare oppløysing å seie for den simulerte avrenninga? Tre forskjellige regnhendingar målte på fire forskjellige vêrstasjonar vart simulerte både med eitt og fem minutts oppløysing. Figur 5.1 viser eit døme frå Saupstad 11. juni 2011.



Figur 5.1: Nedbør og avrenning for nedbør med 1 og 5 minutts oppløysing.

Det viste seg at den forskjellige loggføringa gav til dels store skilnader for toppane på nedbøren, men skilnaden for avrenningstoppene ikkje spegla skilnaden på nedbørstoppene. Den prosentvise skilnaden mellom nedbørstoppene var i alle tilfella over 25 %, medan skilnaden i avrenninga alltid var under 20 %, og i berre to av tilfella var over 10 %. Ser ein på volum nedbør i forhold til volum avrenning, var det marginale forskjellar på under 1 % å spore. Figur 5.2 viser den prosentvise endringa både for nedbørs- og avrenningstoppene mellom eitt og fem minutts oppløysing.



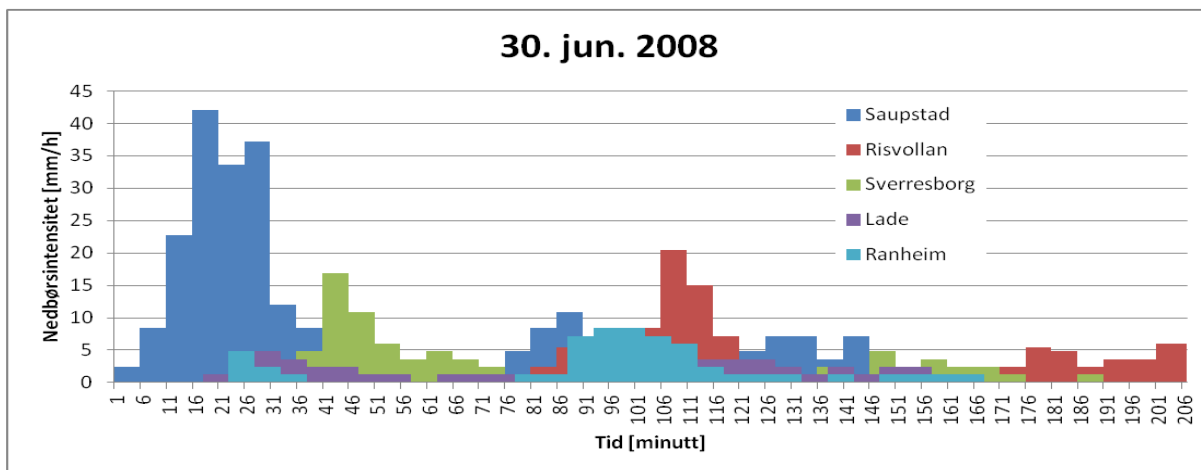
Figur 5.2: Endring i prosent mellom 1 og 5 minutts oppløysing. Mørk blå viser endring for nedbørstoppane, medan ljøs blå viser avrenningstoppane.

Ut ifrå dei tolv registreringane over, kan ein konkludere med at dei endringane ein får i nedbør har så lite å seie for den simulerte avrenninga, at ein ikkje treng å bruke den finaste oppløysinga. Uvissa rundt modellen er så stor, at ein ikkje får betre resultat av å bruke oppløysing på under fem minutt. Datagrunnlaget blir òg mykje større, og tek lengre tid å handtere om ein vel den minste oppløysinga. For konstruerte nedbørshendingar er det ofte lettare å produsere minuttverdier. I slike høve blir dette brukt.

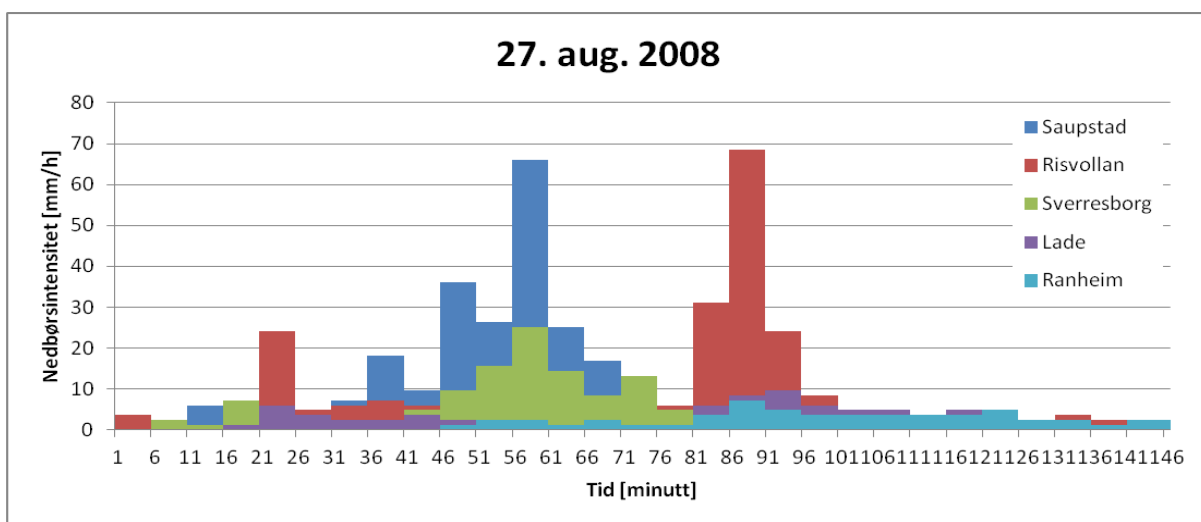
5.2. Kvar i Trondheim regnar det mest?

Av dei studerte nedbørshendingane har det vore vanskeleg å få tak i nedbørsdata frå alle målarane til Trondheim kommune. Før 30. juni 2008 er det ikkje funne data gjennom nettenestane, og for 2. og 9. september 2009 og 19. juni og 8. juli 2010 er det berre på Risvollan at det er registrert nedbør. Truleg manglar det datamateriell frå desse periodane. Animasjonar frå nedbørshendingane viser nedbør på andre stader enn frå Risvollan. Nedbørsdata frå desse hendingane kan ein truleg få frå Trondheim kommune om ein spør etter spesifikke nedbørshendingar. Dette vart gjort i vurderinga mellom 1 og 5 minutts oppløysing for nedbørsdata, men ikkje for alle regnhendingane.

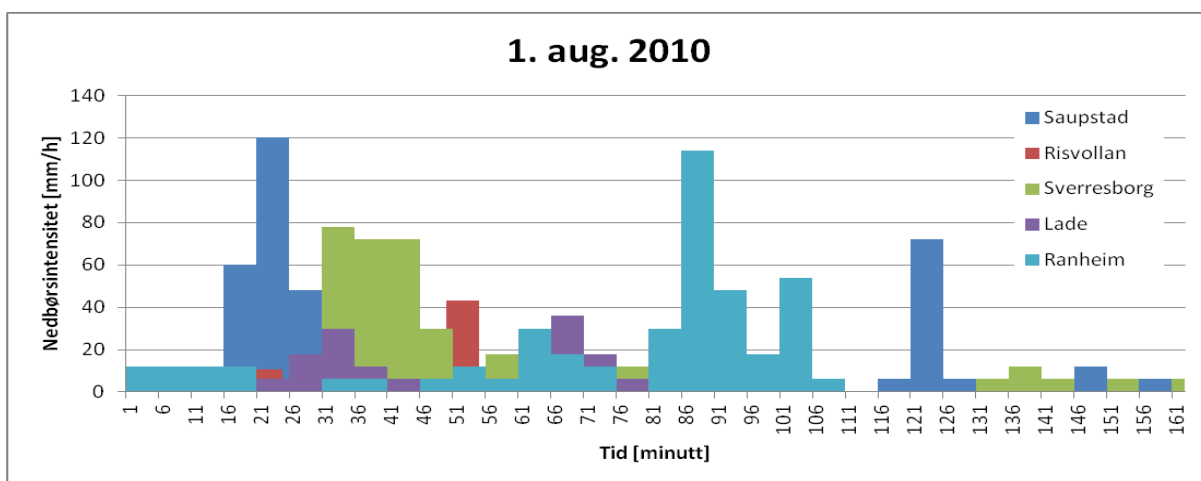
Med det tilgjengelege datamaterialet er 6 nedbørshendingar studert på leiting etter trendar for nedbøren, både med tanke på kvar i Trondheim det regnar mest, men òg for å finne den mest representative regnhendinga for byen. I Figur 5.3 til Figur 5.8 er det teikna inn nedbørsintensitetane frå dei utvalde hendingane.



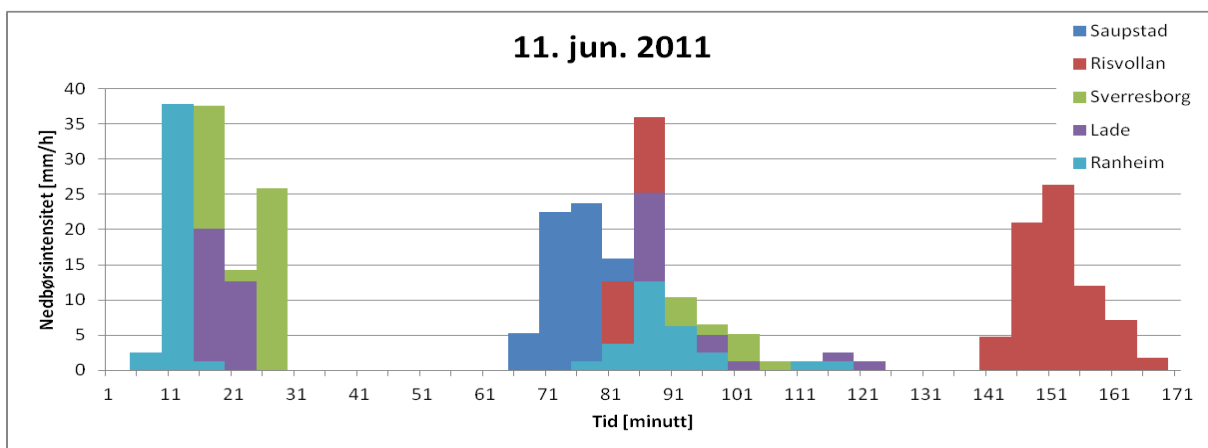
Figur 5.3: Nedbørshendinga frå 30. juni 2008.



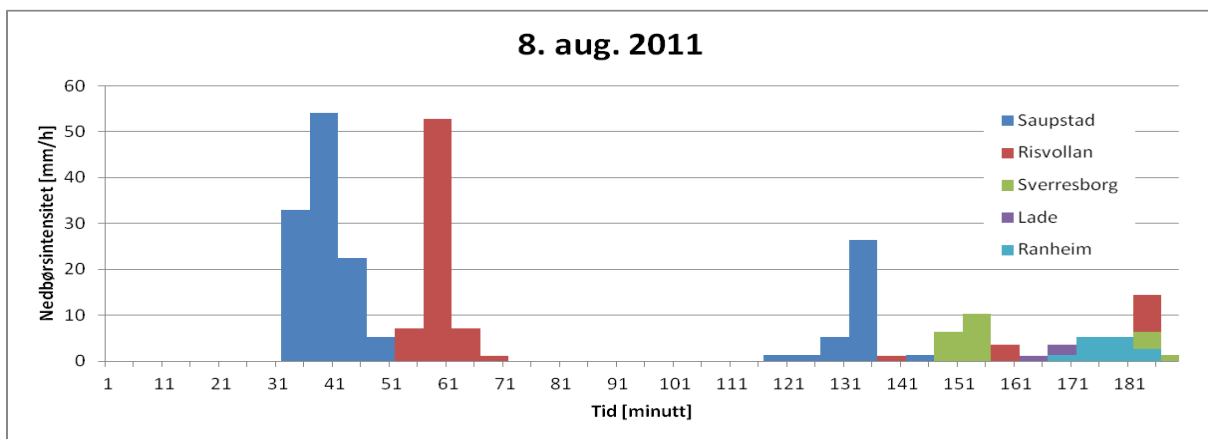
Figur 5.4: Nedbørshendinga frå 27. august 2008.



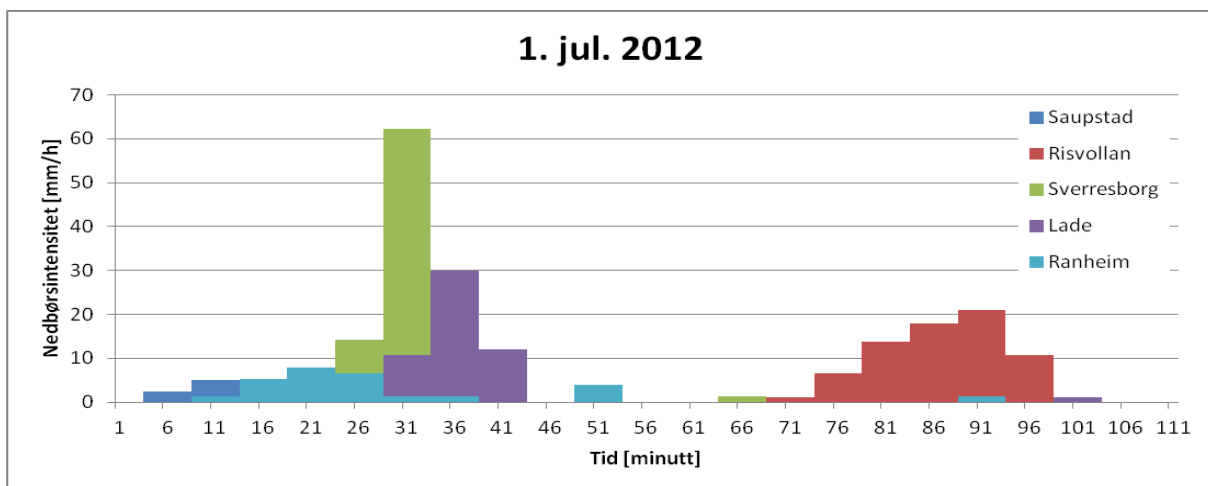
Figur 5.5: Nedbørshendinga frå 1. august 2010.



Figur 5.6: Nedbørshendinga frå 11. juni 2011.



Figur 5.7: Nedbørshendinga frå 8. august 2011.



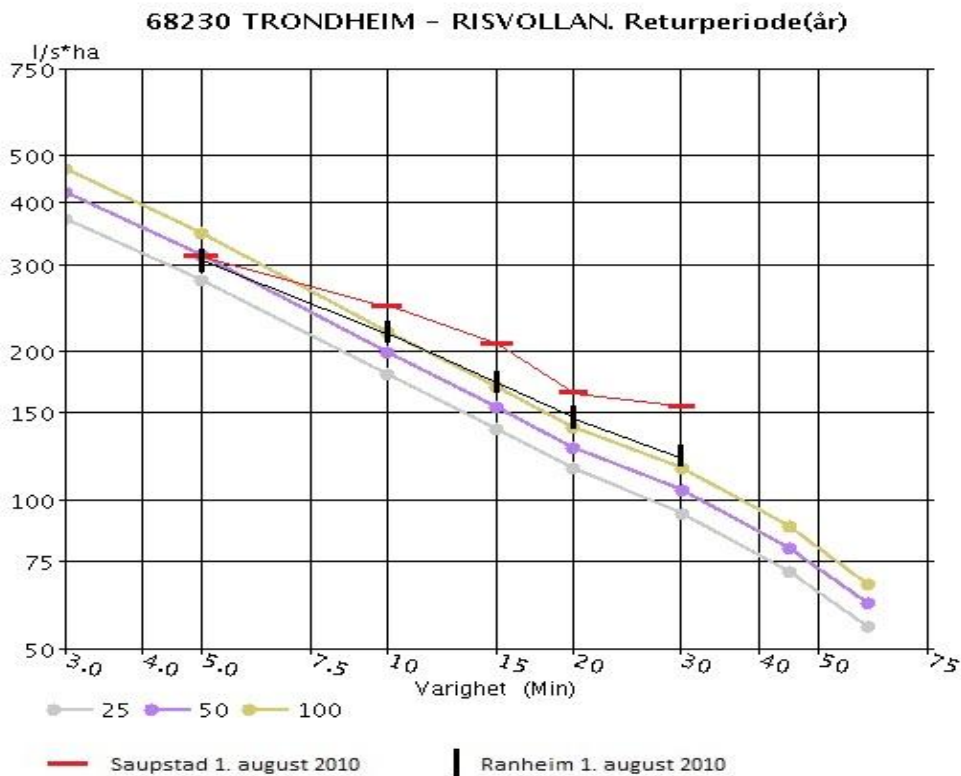
Nedbørsmålararen på Saupstad er den som seglar opp som den med størst nedbørstoppar på det jamne. I 3 av 6 tilfelle måler Saupstad dei største verdiane, og i eitt er Risvollan marginalt større. Ut over fem minutt er det i dei fleste tilfella Saupstad som dominerer.

Risvollan, som var mistenkt å ha den mest intensive nedbøren, viser seg i desse seks tilfella å ikkje skilje seg ut, korkje med store eller små nedbørsmengder. Nedbørstoppane på Risvollan er ofte av dei største, men aller størst berre i eitt av tilfella.

For Sverresborg viser målingane om lag same tendensar som for Risvollan, størst i eitt tilfelle og betydeleg, men ikkje ekstrem i dei andre.

Lade og Ranheim skil seg ut med låge nedbørsmålingar på det jamne. Lade har ingen målingar som kan kallast store i forhold til IVF-kurva for Risvollan. Ranheim har største nedbørstopp i eitt av dei undersøkte tilfelle, men varigheita på dette er så kort, at det ikkje kan kallast ei spesielt stor regnhending.

Nedbørshendinga 1. august 2010 er det verdt å nemne spesielt. På Risvollan er det registrert ei nedbørshending som for ti minutt nærmar seg 2 års gjentaksintervall. Avrenninga i modellen frå Risvollan viser om lag 260 L/s på det meste. Frå Lade er nedbørstoppane om lag like som frå Risvollan. Det som er interessant er dei andre målarane som viser ekstreme nedbørsverdiar. Mest ekstrem er Saupstad. Nedbøren her gir eit gjentaksintervall på Risvollan på om lag 50 år for 5 minutt. Frå 10 minutt og heilt til 30 minutt held nedbøren seg langt over 100 års gjentaksintervall for Risvollan. For Ranheim ligg nedbøren på om lag 100 års gjentaksintervall frå 10 til 30 minutt. Sverresborg har ein periode på 15 minutt som ligg på om lag 200 L/sha, som òg overgår 100-års gjentaksintervall for Risvollan. I Figur 5.9 er nedbørshendinga frå 1. august 2010 teikna for Saupstad og Ranheim for å illustrere kor høgt desse ligg i forhold til Risvollan.



Figur 5.9: IVF-kurve for Risvollan med regnhendinga 1. august 2010 for Sverresborg og Ranheim. (Meteorologisk intitut, 2013).

Nedbørshendinga 1. august 2010 var så stor, at det verkar rart at ho ikkje har fått meir merksemd i ettertid. Denne hendinga er målt opp imot IVF-kurvane frå Risvollan, ikkje Voll som blir brukt til dimensjonering i Trondheim. Sidan IVF-kurva ligg høgare på Risvollan enn på Voll, vil 1. august 2010 overgå hundreårsnedbøren òg for Voll. Ein ser altså at i alle fall Saupstad og Sverresborg overgår 100-års nedbørsintensitet på Voll ved to tilfelle frå 2007 til 2010. Desse observasjonane kan forklarast ved at Voll kanskje ikkje er den IVF-kurva bør vere representativ for Trondheim. Ein kan sjølvstøtt òg argumentere med at det er resultat av klimaendringar ein ser. Klimaendringar kan ikkje utelukkast, og mest sannsynleg er det nok at det er ein kombinasjon av endringar i klima og ei lite representativ IVF-kurve.

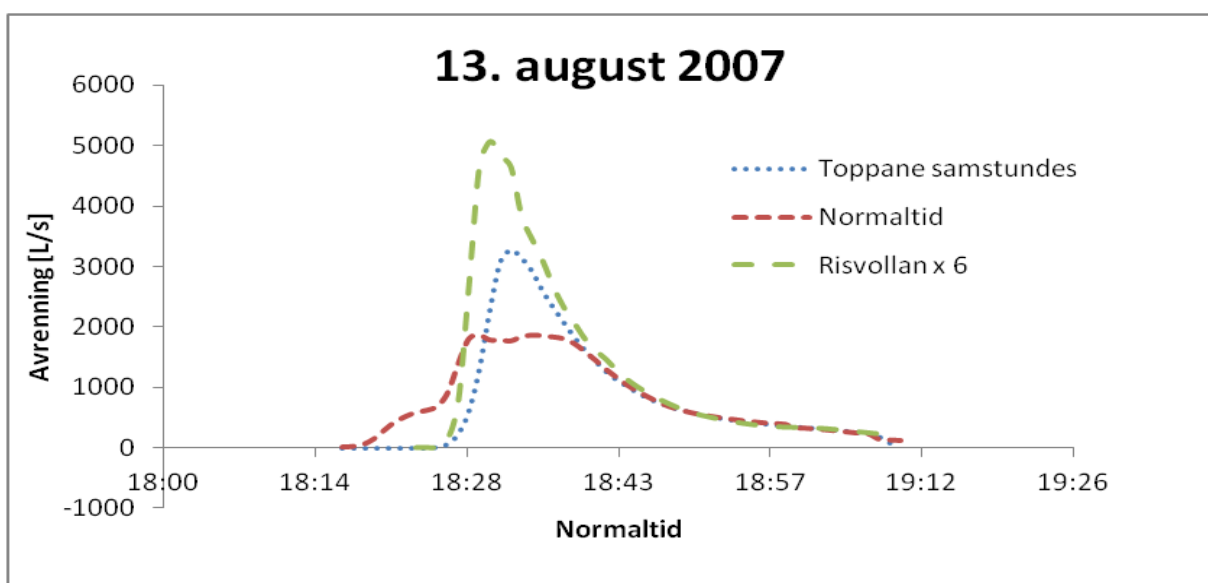
Døma over stadfestar ikkje det inntrykket ein fekk frå 2007 om at Risvollan var den staden i Trondheim der det regnar mest. Det ser heller ut som at det på det jamne regnar meir på Saupstad enn på Risvollan. Samstundes kan det ikkje utelukkast at det er på Risvollan at den mest intensive korttidsnedbøren oppstår, då 13. august 2007 var så mykje større der enn dei andre stadane (Risholt, 2009).

5.3. Konsekvensar av arealnedbøren

Det er vist at det er store skilnader på nedbøren frå dei forskjellige nedbørsmålarane i Trondheim. Kva konsekvensar det har å berre bruke éin målar til dimensjonering, vil no bli vist ved å gjere simuleringar frå dei forskjellige nedbørsmålarane, og setje desse saman. Ein kan tenkje seg at 6 nedbørsfelt har utløp på til same punkt, og at kvart felt har ein eigen

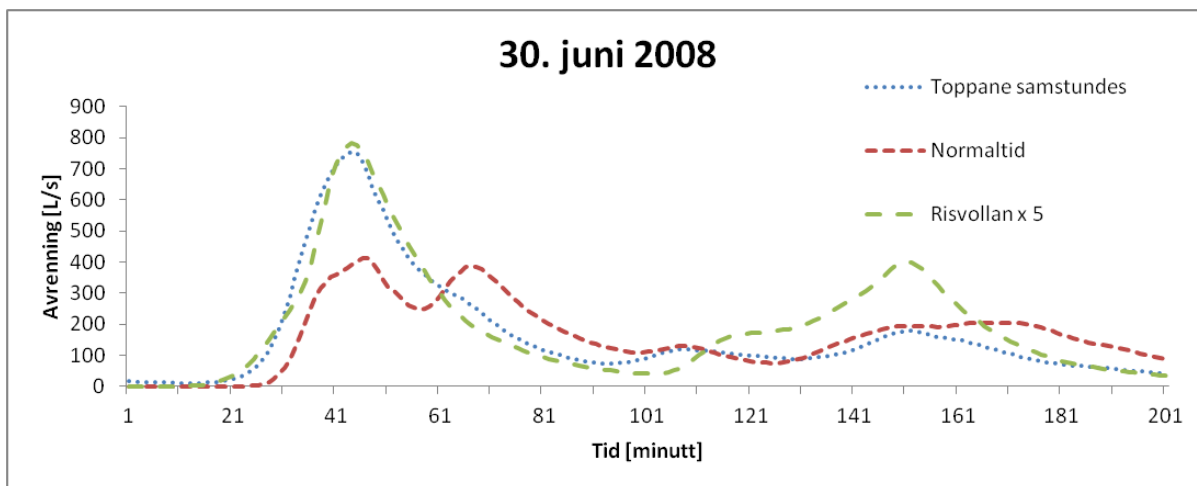
nedbørsmålar. Deretter blir nedbøren frå Risvollar simulert over alle felta. Forskjellen på avrenninga vil indikere konsekvensane det vil ha å berre bruke éin målestasjon til dimensjonering.

Det er først sett på nedbørshendinga frå 13. august 2007, som blir rekna som den største. Først er det gjort køyringar i normaltids, deretter er toppane sett til å treffe samstundes og til slutt blir avrenninga frå Risvollar multiplisert opp. Figur 5.10 viser dei tre måtane å studere avrenninga på. Forskjellane er store. Risvollar, som hadde den mest ekstreme nedbøren, ligg 2000 L/s over summen av alle målarane. Normaltidstoppen ligg 3000 L/s under Risvollar, men har ein mykje breiare topp.

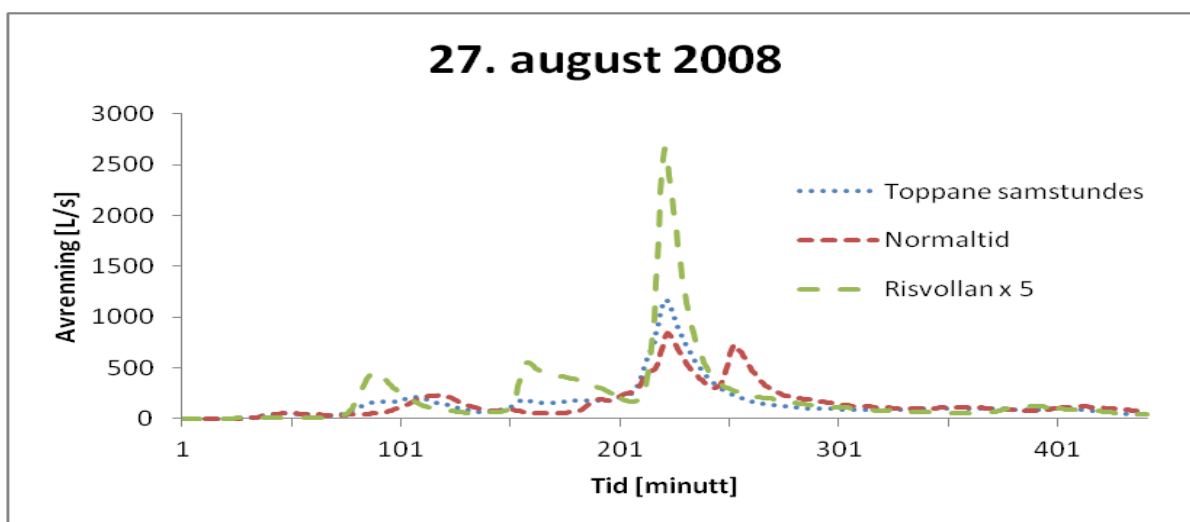


Figur 5.10: Avrenning frå 13. august 2007.

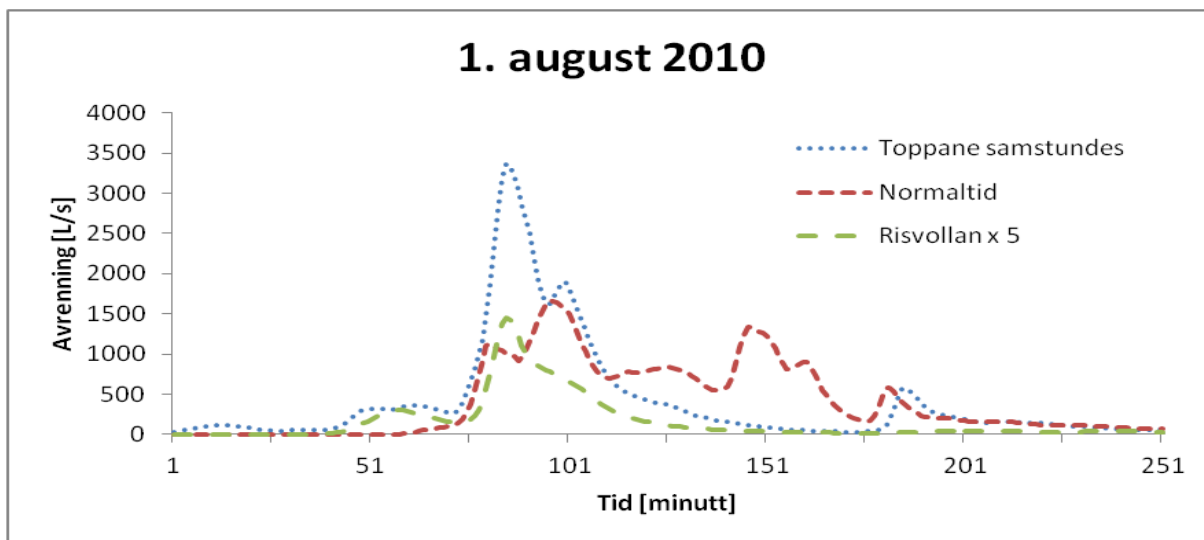
Det er òg gjort køyringar frå andre nedbørshendingar. I desse tilfella har det vore vanskeleg å finne nedbørsdata frå Voll. Difor er Voll ikkje teken med, og Risvollar er multiplisert opp med 5 i staden for 6. Dette er vist i Figur 5.11 til Figur 5.16.



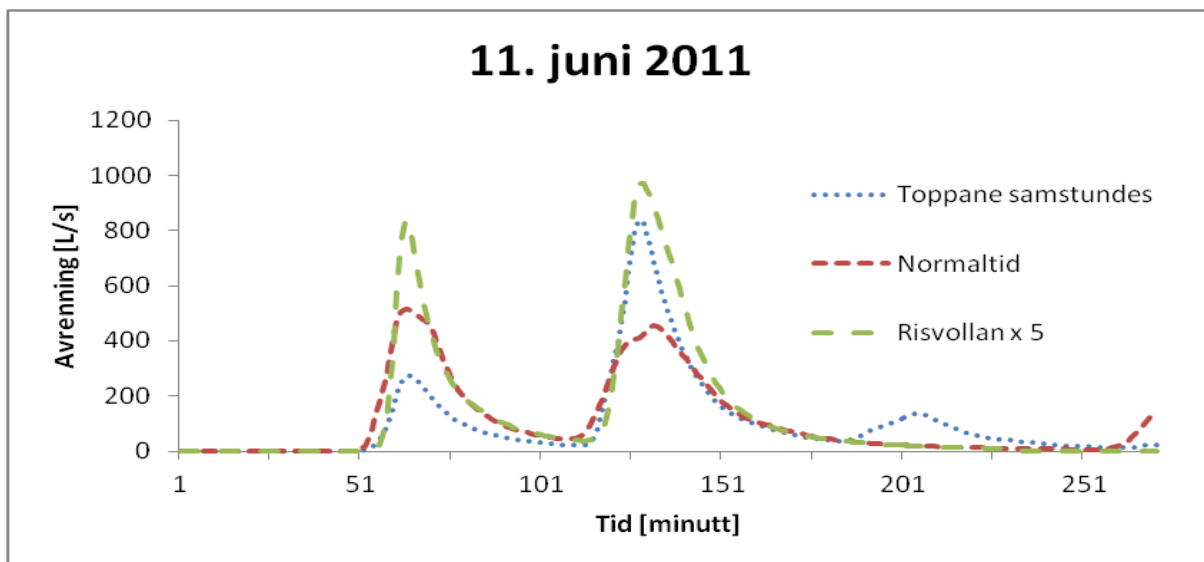
Figur 5.11: Avrenning frå 30. juni 2008.



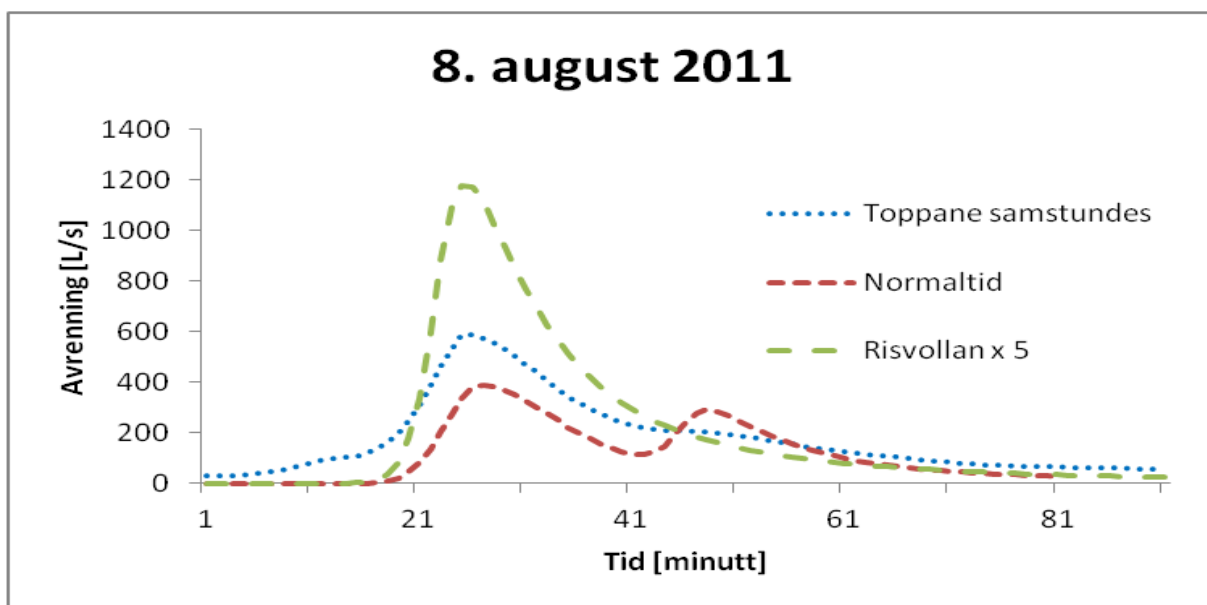
Figur 5.12: Avrenning frå 27. august 2008.



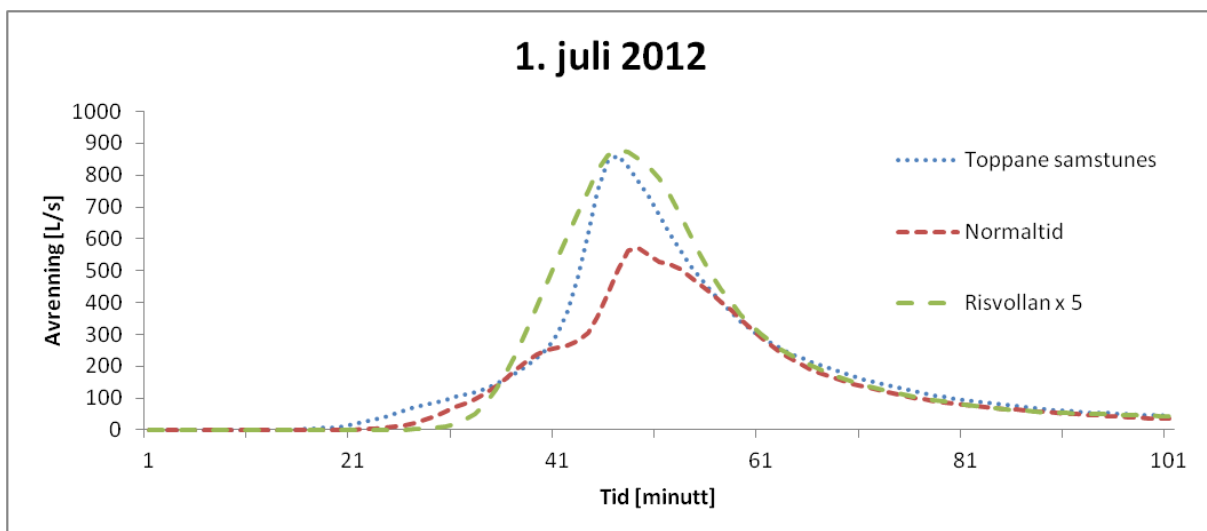
Figur 5.13: Avrenning frå 1. august 2010.



Figur 5.14: Avrenning frå 11. juni 2011.



Figur 5.15: Avrenning frå 8. august 2011.



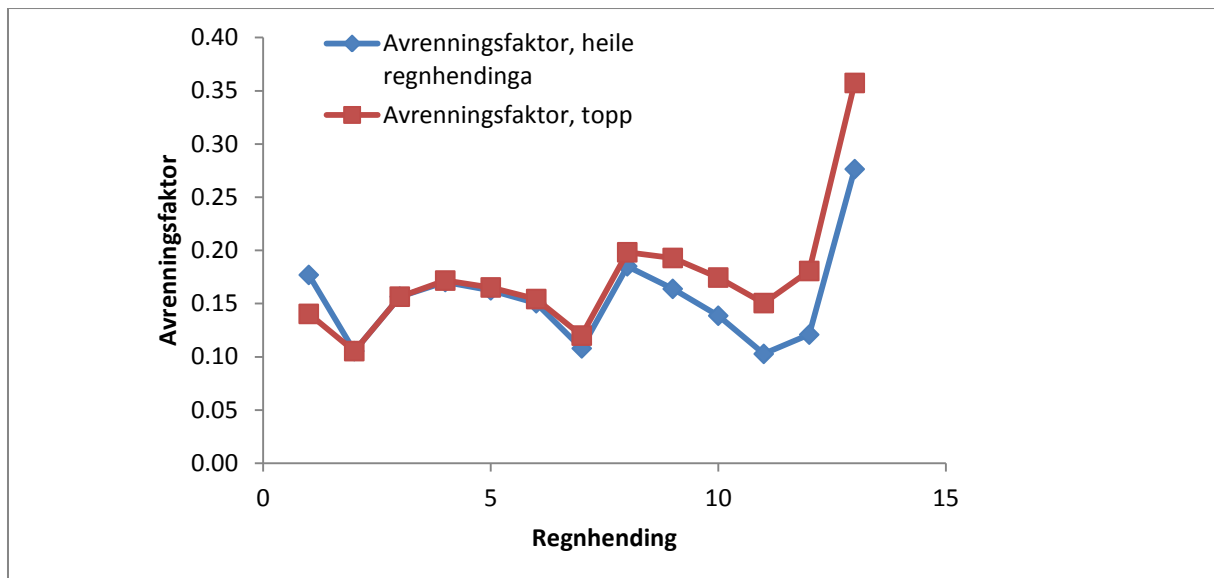
Figur 5.16: Avrenning frå 1. juli 2012.

I 3 av 7 studerte nedbørshendingar gir fem gongar avrenninga frå Risvolla ei mykje større avrenning enn summen frå dei andre. I 2 andre er det nærmast ingen forskjell på Risvolla og summen av toppane, medan det i eitt tilfelle er 20 % skilnad. I berre eitt tilfelle er Risvolla mykje lågare enn summen av toppane. Dette er avrenninga frå 1. august 2010, som viste ekstreme nedbørsmengder for Saupstad, Ranheim og Sverresborg.

Datagrunnlaget er for lite til å seie noko sikkert om trendane for arealnedbøren i Trondheim. Døma som er skildra her viser at 5 gongar Risvolla i dei fleste tilfella gir større avrenning enn summen av alle toppane. Likevel må ein vere forsiktig med å konkludere med at dette er ein trend. Ser ein på utvalsmetoden, vart det sett som krav at avrenninga på Risvolla skulle vere på 150 L/s eller meir. Det at ein samstundes ser tilfelle der Risvolla ikkje har spesielt stor nedbørsmengd og avrenning, gir grunn til å tru at det er registrert store

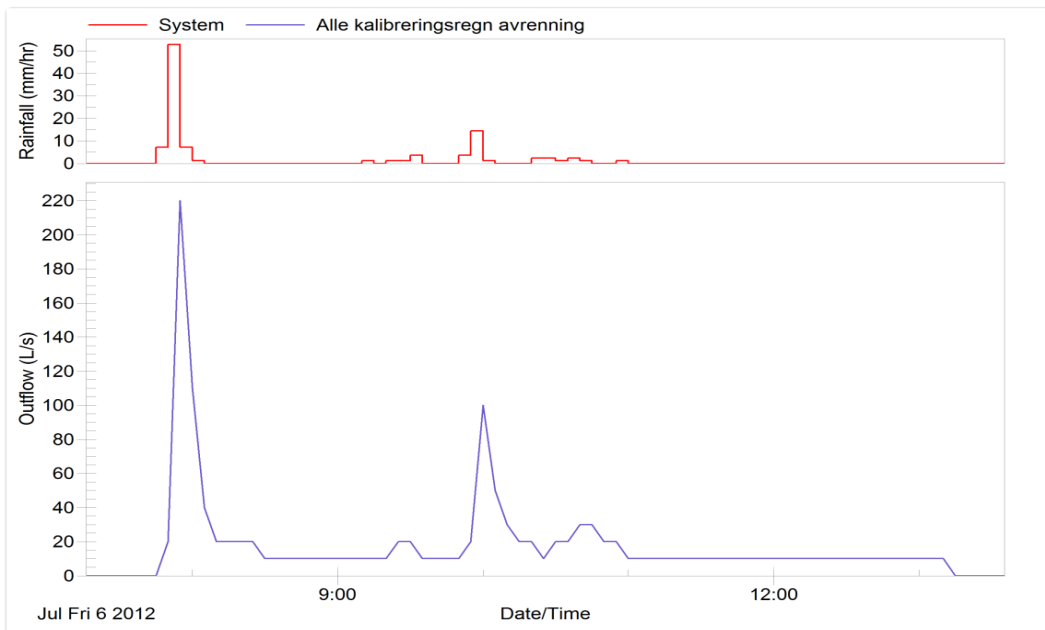
nedbørshendingar andre stader i Trondheim utan at dei er teken med her. Om ein hadde tatt utgangspunkt i alle nedbørsmålarane der éin eller fleire viste nedbør over ein viss verdi, ville ein truleg fått eit større datagrunnlag, og kanskje sett tydlegare trendar. Kanskje ville det gitt fleire høve der Risvolla representerer eit gjennomsnitt.

5.4. Avrenningsfaktoren



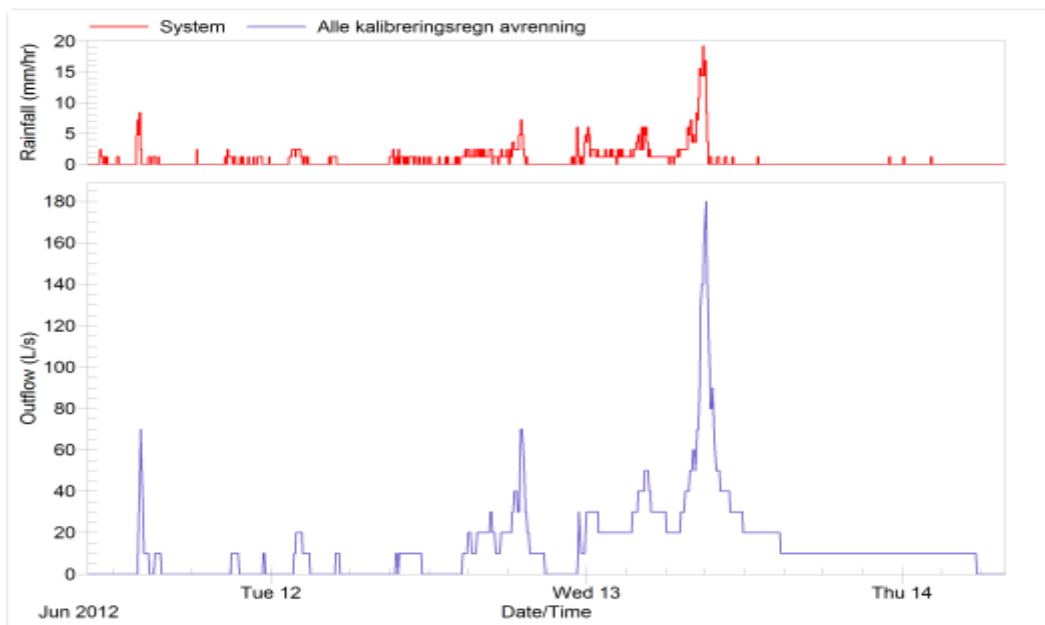
Figur 5.17: Avrenningsfaktorar for heile og delar av nedbørshendingar.

Til tider er kan det vere vanskeleg å bestemme kvar nedbørshendinga startar og når ho sluttar. I fleire tilfelle oppstår nokre mindre regnhendingar før sjølve toppen. Kvar skal ein då definere regnhendinga? Grafen i Figur 5.17 viser avrenningsfaktoren, både for toppen på regnhendinga og for ein lengre, våt perioden. Skilnaden mellom avrenningsfaktorane er teikna i stigande rekkefølge. Det er berre for 8. august 2011 at avrenningsfaktoren for toppen er lågare enn for den totale regnhendinga. Dette er òg forventa då toppen kjem i første delen av nedbørshendinga, og marka blir metta av toppen og avrenningsfaktoren stig etter dette. Nedbørshendinga frå 8. august 2011 er avbilda i Figur 5.18. Ein tidleg topp er truleg likevel ikkje den einaste påverknadsfaktoren til forskjellane i avrenningsfaktoren. Figur 5.18 viser at avrenninga ikkje når null før det på ny startar å regne. Dette fører til at ein "mistar" ein del av avrenninga i formelen for ϕ , og utrekningane for avrenningsfaktoren blir usikre.

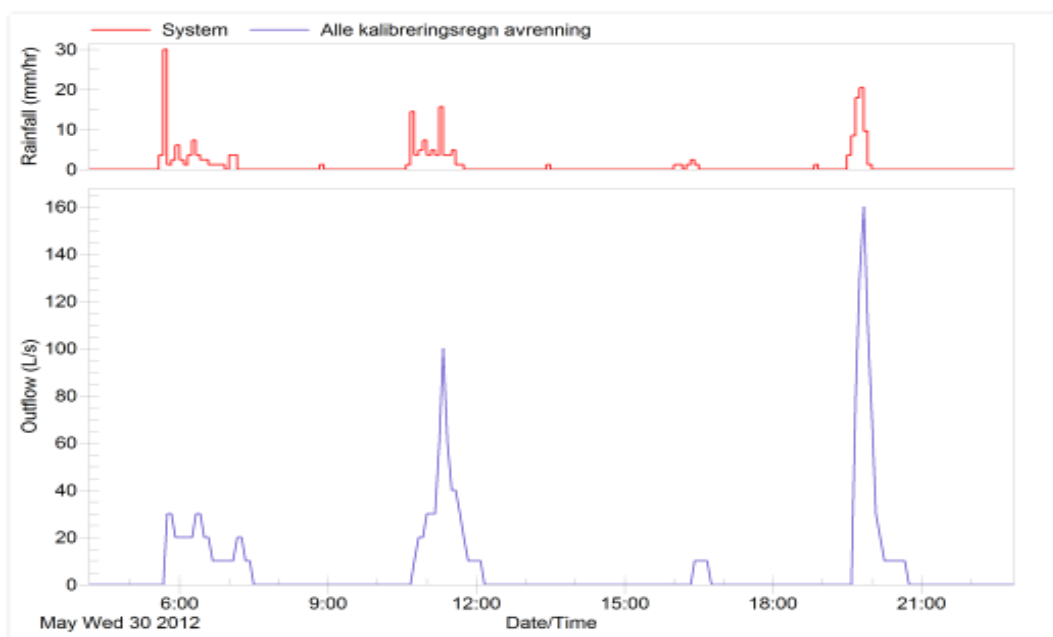


Figur 5.18: Nedbørshendinga 8. august 2011. Avrenninga går ikkje ned til null før det startar å regne igjen.

For dei andre regnhendingane er avrenningsfaktoren for toppane større eller lik for den totale regnhendinga, noko som verkar logisk i tilfelle der toppen kjem seint i regnhendinga. Mest synleg er dette for hendingane 2. september 2009 og for 19. juni 2010, der det i forkant av nedbørstoppane kjem store volum nedbør, som vist i Figur 5.19 og Figur 5.20.



Figur 5.19: Nedbør og avrenning frå 19. juni 2010.



Figur 5.20: Nedbør og avrenning fra 2. september 2009.

For dei nedbørshendingane som gir høgast avrenningsfaktor for toppane, frå 0,17 og oppover, er det observert i 6 av 7 tilfelle ei nedbørshendig i forkant av toppen. Kor lenge før og kor kraftig denne nedbøren er varierer frå 8 timar til 30 minutt.

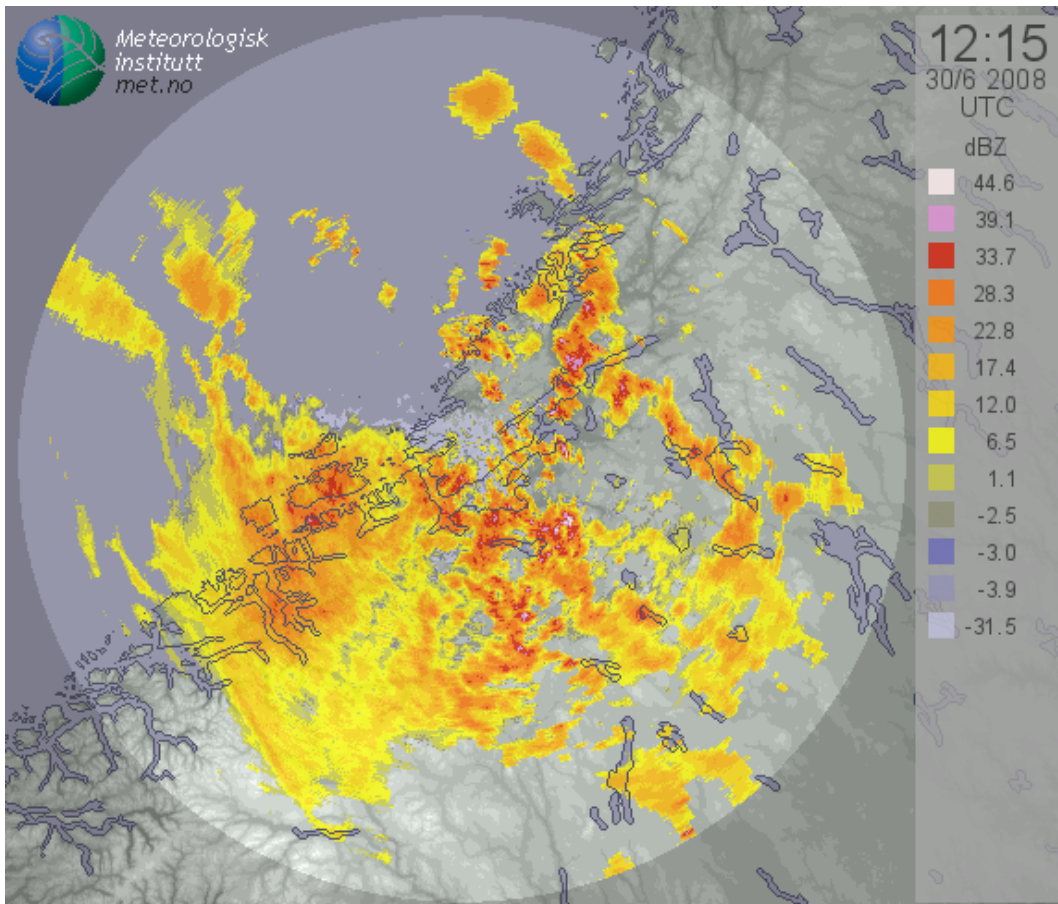
Det er vanskeleg å seie noko sikkert om avrenningsfaktoren på Risvollan. Han varierer mykje, og for dei forskjellige nedbørshendingane er det ikkje mogleg å sjå trendar for avrenningsfaktoren med tanke på nedbørstoppar, nedbørsvolum eller varigheit. Men ein kan sjå tendensar av metting av grunnen med aukande avrenningskoeffisient etter nedbør.

5.5. Regn i rørslé

For å forstå kvar det regnar mest og kvifor det gjer det, kan det vere interessant å sjå på kvar regnet kjem ifrå, og kva retning det tek.

Dei store regnhendingane som er studert i dette studiet har stort sett vore regn som har kome frå éin kant, og flytta seg over Trondheim i ei bestemt retning. Berre to regnhendingar har vore vanskeleg å karakterisere retninga på. Det eine kom det inn frå sørvest, snudde over byen, og fór vidare mot søraust. Under det andre, var det rørsler både frå nord og frå vest som møtte kvarandre over Trondheim, før det heldt fram mot aust. Figur 5.21 viser døme på radarbilete som er brukt.

Nedbørsfeltet på Risvollan har ei uregelmessig form, men er avlang, og strekkjer seg frå målestasjonen i nordvest til starten på nedbørsfeltet i søraust. Ein kan, ut ifrå retninga på nedbørsfeltet, tenkje seg at nedbør som flyttar seg over feltet frå nordvest vil gje ei seinare målt avrenning enn frå regn som kjem frå søraust.



Figur 5.21: Radarbilete av nedbør.

Åtte forskjellige nedbørshendingar målt på Risvolla er køyrd inn i avrenningsmodellen. Tabell 5.1 viser kva retning nedbøren kom ifrå og når den modellerte avrenningstoppen treffe i forhold til den målte. I tillegg er dei maksimale vassføringane teke med, og skilnaden mellom dei.

Tabell 5.1: Konsekvensar ved nedbørsretningar.

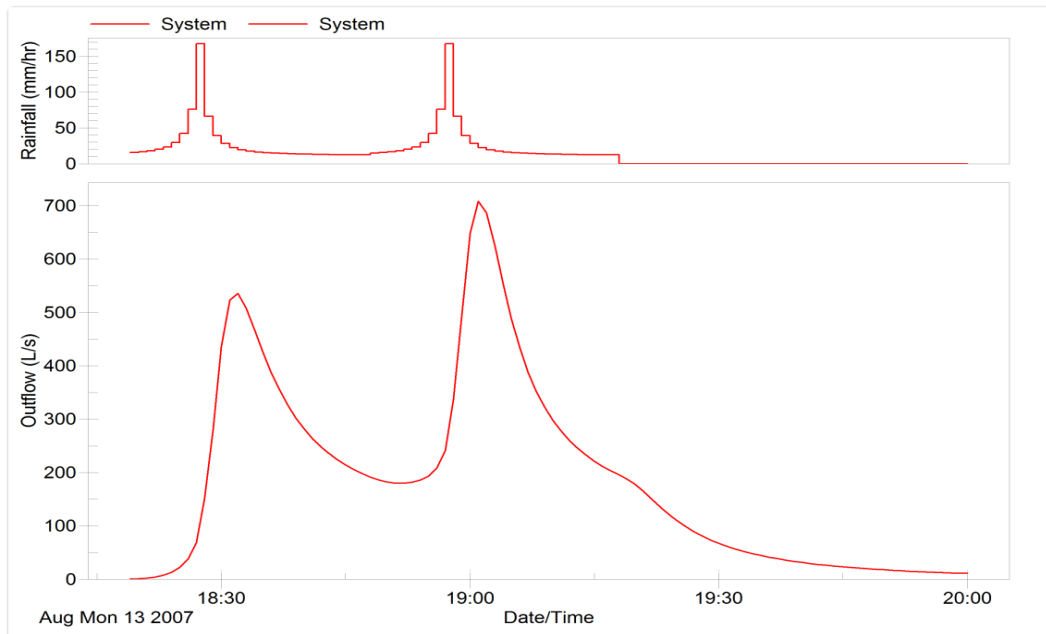
Dato	Retning frå	Tidspunkt for estimert topp	Nedbørstopp [mm]
29. september 2006	Vest	2 min for tidleg	4,9
30. juni 2008	Søraust	5-10 min for seint	1,8
27. august 2008	Varierende	Samstundes	5,7
09. september 2009	Vest	Samstundes	3,6
19. juni 2010	Varierende	Samstundes	1,6
1. august 2010	Sør	3 min for seint	3,6
11. juni 2011	Søraust	5 min for seint	2,6
08. august 2011	Sørvest	Samstundes	4,4

Dei utheva regnhendingane i Tabell 5.1: Konsekvensar ved nedbørsretningar. viser regn som kjem inn frå sør eller søraust gir seine toppar i modellen, i trå med teorien om at ein kan få målt avrenning utan å registrere nedbøren. For nedbør som kjem inn frå vest, er det eitt tilfelle der den modellerte toppen kjem for tidleg, medan toppane kjem samstundes for det andre tilfellet. Dette kan indikere at sjølv for små nedslagsfelt, som Risvollan, kan ein sjå effektar av at nedbøren ikkje er jamt fordelt utover heile nedslagsfeltet. Dei to nedbørshendingane som kjem inn frå søraust er dei som har minst nedbørstoppar, bortsett frå 19. juni 2010, som er vanskeleg å karakterisere retninga på. Av dei største nedbørshendingane kjem dei frå sør, sørvest og vest, bortsett frå den største, 27. august 2008, som òg er vanskeleg å skildre.

5.6. Typisk nedbør for Trondheim

Det typiske nedbørsforløpet i Trondheim er vanskeleg å finne. Nedbørstoppar oppstår åleine og saman med mindre nedbørshendingar både før og etter toppen. Varigheitene varierer mykje, frå fleire timar til 30 minutt. Skal ein finne den dimensjonerande nedbøren for Trondheim er det viktig å trekkje inn dei faktorane som avgjer avrenninga frå nedbøren, samstundes som ein gjenspeglar ei realistisk nedbørshending. Til dette kan ein bruke to påfølgjande Chicagoregn. Nedbørsperioden er sett til 1 time, som er dimensjonerande etter Kristoffersen. Nedbørstoppane treff etter 10 og 40 minutt.

I første omgang er det gjort køyringar for 20-årstoppen. For å kunne sjå skilnaden frå første og andre nedbørstopp er desse sett like, sjølv om dette ikkje vil vere realistisk i ein naturleg situasjon. Nedbørstoppane er på 450 L/sha. Med så stor nedbørsintensitet går røra i avrenningsmodellen full, noko som gir for låg avrenning. For å kunne studere effekten av to påfølgjande toppar, blir difor alle rør justert opp til ein diameter på 1 meter. Avrenningstoppane blir simulert til 535 og 709 L/s. Dette er ei auke på 32,5 % i vassføring for den andre toppen. Figur 5.22 viser dette tilfellet.

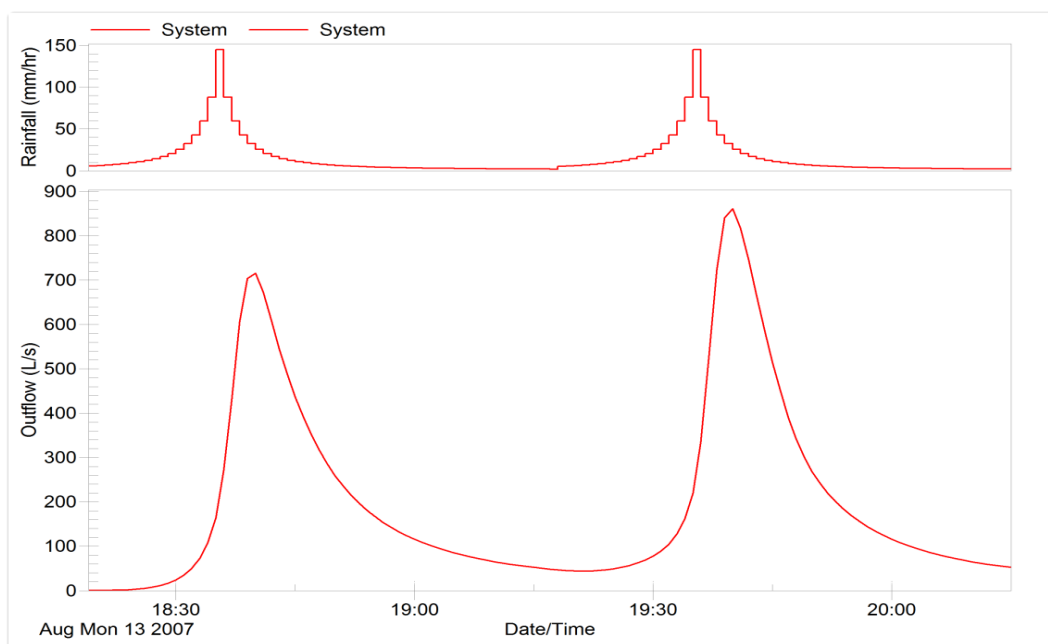


Figur 5.22: To like store Chicago-regn.

Tabell 5.2 viser avrenningstoppane og endringa i desse frå første til andre avrenningstopp for 20-, 10- og 5-årsnedbøren frå Risvollan. Alle skilnadene er på rundt 30 %, med ein synkende tendens med synkende nedbørstoppar. Det viser at auken er stor, om to toppar opptrer etter kvarandre.

Tabell 5.2: Avrenning frå to påfølgjande nedbørstoppar.

Nedbørstilfelle 1 time	1. avrenningstopp [L/s]	2. avrenningstopp [L/s]	Endring i %
20-års	535	709	32,5
10-års	469	610	30
5-års	357	456	27,7



Figur 5.23: To påfølgjande toppar med to timars mellomrom.

Forskjellen mellom nedbørstoppane er òg avtakande med aukande mellomrom mellom toppane. Figur 5.23 viser to 10-års toppar fordelt på 2 timar. Endringane mellom avrenningstoppane er på 20 %, medan avrenningstoppane er på 716 og 861 L/s. Avrenningstoppen frå 10-årstoppen fordelt over 2 timar er større enn toppen frå 20-årsregnet fordelt over 1 time. Dette kan verke rart.

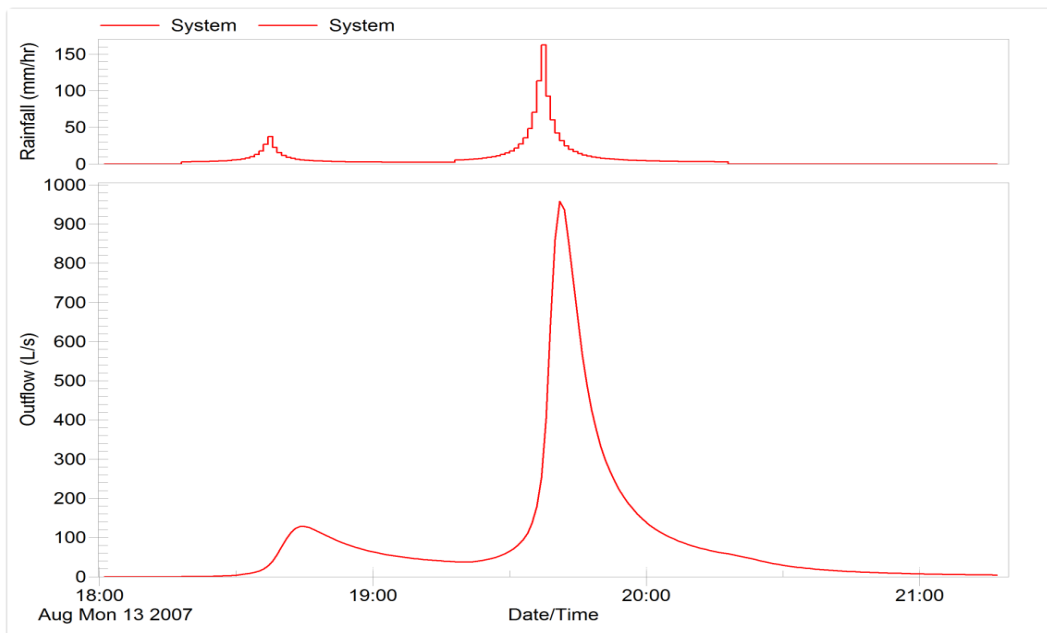
Forklaringa ligg truleg i det samla volumet med nedbør før nedbørstoppen inntreff. I Tabell 5.3 er dette vist for 10-årsnedbøren. Det kjem tydeleg fram at sjølv om toppane er like store, er volumet før nedbørstoppane forskjellig, og avrenninga aukar med aukande volum.

Tabell 5.3: Samla nedbør før nedbørstopp.

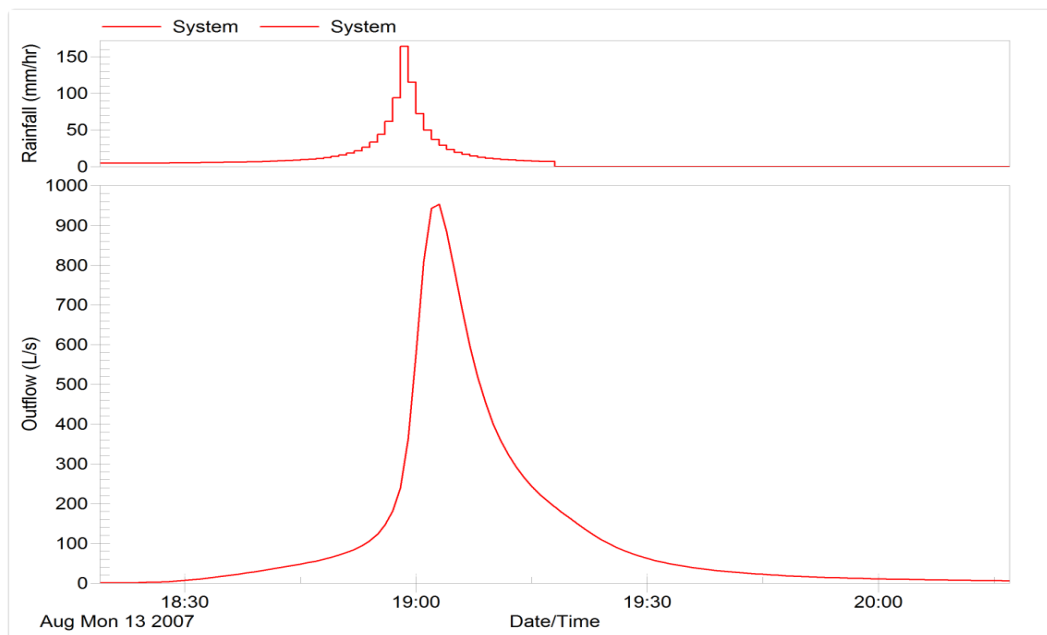
Nedbørstilfelle 10-års	1. avrenningstopp [L/s]	Volum før 1. nedbørstopp [mm]	2. avrenningstopp [L/s]	Volum før 2. nedbørstopp [mm]
1 time	469	4,2	610	17,5
2 timar	716	6,6	861	22,4
3 timar	738	8,4	873	25,3

Med observasjonane frå dei føregåande avsnitta i tankane er det forsøkt å lage eit dimensjonerande regn for Trondheim som ein kombinasjon av eit dobbelt Chicagoregn og Kristoffersenregnet. Formelen for Chicago-regnet er forholdsvis lett å få til å stemme med IVF-kurva for Risvollan. Nedbørshendinga er utvida frå 1 time i Kristoffersen-regnet til 2

timar, då døma over viste store utslag på lange nedbørsperiodar. Ein liten nedbørstopp er lagt inn 1 time før det dimensjonerande regnet inntreff. Dette er registrert i tidlegare nedbørstilfelle i Trondhiem. Forslaget til dimensjonerande regn i Trondheim med avrenning frå modellen er vist i Figur 5.24. Ein får ei avrenning på 958 L/s. Dette kan synast høgt for Risvollan, men køyrer ein Kristoffersen-regnet i modellen, som vist i Figur 5.25, får ein ei avrenning på 953 L/s, og avrenninga frå dei to nedbørshendingane må kunne reknast som like.



Figur 5.24: Forslag til dimensjonerande regn.

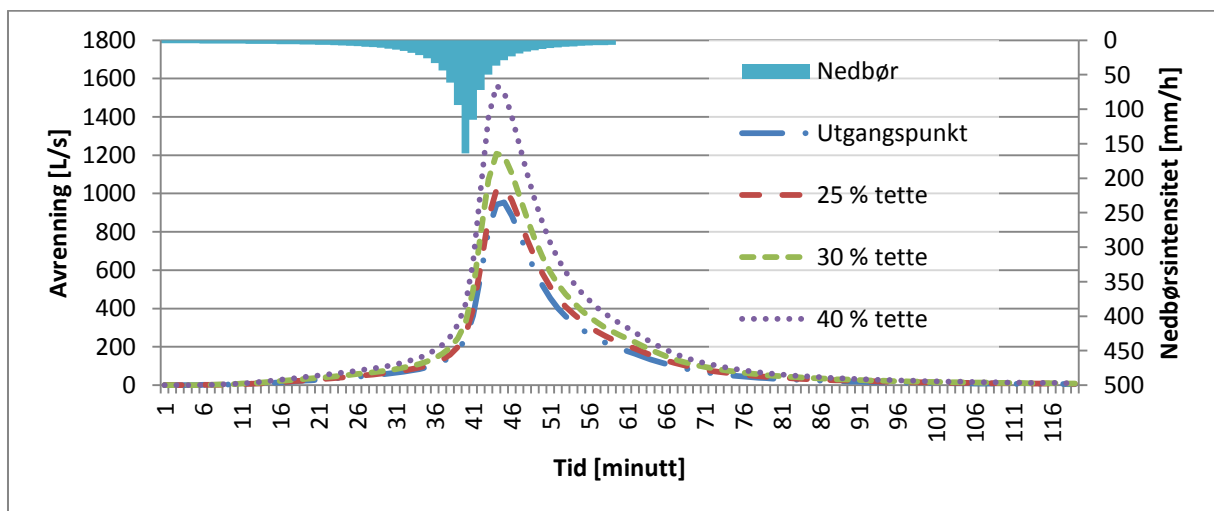


Figur 5.25: Avrenninga frå 20-års Kristoffersenregn.

Begge nedbørstilfella, Kristoffersen og forslaget til dimensjonerande, gir avrenningar på om lag 950 L/s, og blir omtala som 20-årsregn. Kristoffersenregnet er lettare å lage. For Trondheim kan ein få Chicagoregnet til å passe greitt med IVF-kurva for Risvollan. Om ein speglar denne, får ein plassert nedbørstoppen mot slutten av nedbørshendinga, og vil få den minst gunstige nedbørshendinga.

5.7. Utbygging av Risvollan

I nedslagsfeltet på Risvollan er det store områder der det framleis ikkje er bygd noko. Området er brukt til leikeplass og rekreasjon, men med eit venta stigande folketal i Trondheim, kan det etter kvart bli aktuelt å byggje ut meir på Risvollan. Trondheim kommune verkar tilbakehalden til utbygging, sjølv om ein har klart å få gjennom to nye bustadhus på analyseområdet (Trondheim kommune, 2007). Det er mogleg å sjå for seg vidare utbygging på Risvollan, noko som vil føre med seg meir tette flater med større og raskare avrenning. I avrenningsmodellen for Risvollan er det sett på konsekvensane av ei slik utbygging, først ei moderat utbygging til 25 % tette flater, seinare til 30 og 40 %. 40 % tette flater tilsvarar at heile området er fullt utbyggt. Til bruk for køyringane er det brukt dimensjonerande 20-års Kristoffersenregn. Simuleringa for dagens situasjon og dei tre utbyggingsstega er vist i Figur 5.26.



Figur 5.26: Simulering av utbygging på Risvollan.

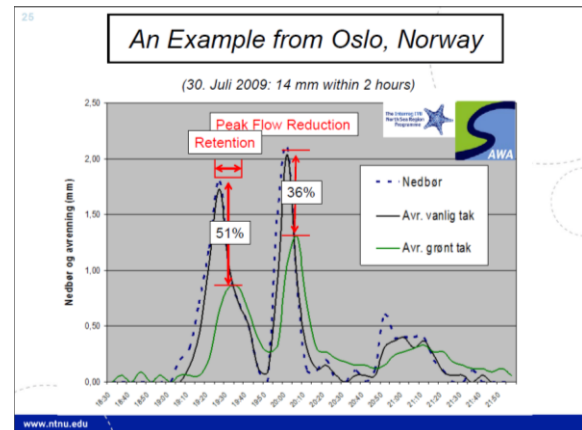
Ei moderat utbygging til 25 % tette flater ser ein allereie tydelege konsekvensar med tanke på avrenninga. Den aukar frå 953 til 1034 L/s; nesten 100 L/s. Aukar ein dei tette flatene enno meir, til 30 % stig avrenninga til 1208 L/s. For ei fullstendig utbygging av Risvollan vil den dimensjonerande vassføringa bli 1563 L/s, i følgje modellen.

Modellen viser at ein må vere forsiktig med utbygging av Risvollan med tanke på overvassmengdene. Berre ei lita utbygging vil ein merke på avløpssystemet nedstrøms. Ein kan likevel gjere tiltak som gjer ei utbygging mogleg. Sidan det på Risvollan stort sett berre er flate tak, ligg mykje til rette for å vegetere desse.

I eit prosjekt frå Oslo er det sett eit lag med jord og planter på delar av eit tak og studert avrenninga frå den delen med og den delen utan plantar, som vist i Figur 5.27. Figur 5.28 viser at laget med plantar kunne ta opp om lag 1 mm av den nedbøren i eitt spesielt høve. Fordelane med slike lett vegeterte tak, er at dei kan plasserast på eksisterande tak og at dei ikkje krev mykje vedlikehald. Spesifikk vekt er på mellom 50 og 130 kg/m². Ein føresetnad for bruk av ei slik løysing er at taka toler dei ekstra massane. Dette er ikkje undersøkt for Risvollan, men for å vise moglegheitene med vegeterte tak, er det gått ut ifrå at taka toler belastninga.



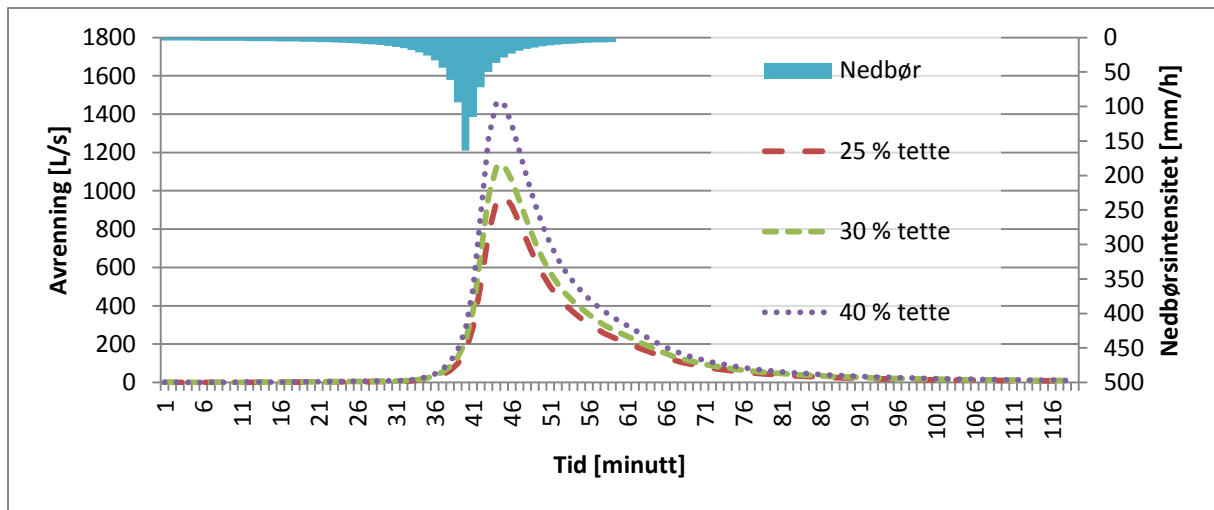
Figur 5.27: Nedbørslagring ved lette vegeterte tak (Paus, 2012).



Figur 5.28: Døme på bruk av lette, grønne tak (Paus, 2012).

I tilfellet for Risvollan, der det stort sett berre er flate tak, kan ein rekne med større magasineringseffekt enn på taka frå forsøket frå Oslo. I tillegg vil dei tette flatene utan gropmagasineringsing bli kraftig redusert. I Figur 5.29 er det gjort simuleringar med grønne tak. Flater utan gropmagasineringsing er sett til 10 % og gropmagasineringsing for tette flater er sett til 3 mm.

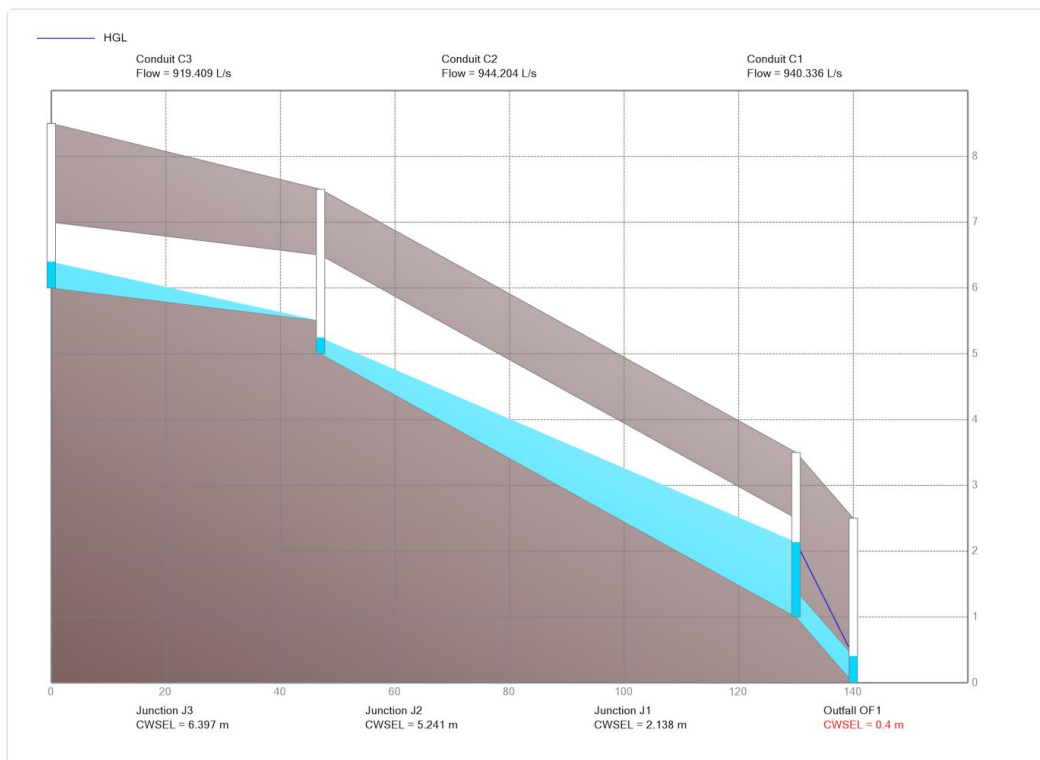
For 25 % tette flater er avrenninga 977 L/s og om lag nede att på utgangspunktet. Avrenninga frå 30 og 40 % tette er framleis høg, men er redusert kraftig. Målt i L/s er reduksjonen større for meir tette flater, medan den prosentvise reduksjonen er omtrent lik.



Figur 5.29: Avrenning med bruk av vegeterte tak.

For å redusere toppane enno meir, må ein truleg inn med meir omfattande tiltak som eit utjavningsbasseng. Det finst fleire måtar å gjere dette på. I PCSWMM er det funksjonar for mellom anna infiltrasjonsgrøfter, graskledde forseinkingar og regnbedd. For å illustrere moglegheitene med eit utjavningsbasseng, er det lagt ein stort rør på 1500 mm i enden av målefeltet med eit struperør på 400 mm som utløp. Med ei slik løysing i modellen er det lett å illustrere moglegheitene. I tillegg finst det liknande prefabrikkerte løysingar (Brødrene Dahl). Den simulerte løysinga er ikkje den best tilgjengelege løysinga. Med eit flatare magasin vil ein kunne utnytte volumet i røret betre. Figur 5.30 viser profil for utløpet av nedslagsfeltet for 30 % tette flater. Avrenninga blir på 954 L/s som er lik dagens situasjon. For 40 % tette krev framleis nokre grep, men med standardiserte løysingar, vil utnyttinga bli betre enn det som er gjort her. Det skal vere fullt mogleg å byggje ut Risvolla utan å auke

avrenningstoppane.



Figur 5.30: Profil av mogleg løysing for å møte problema ved auka avrenning.

I trå med rettleiinga for dimensjonering av avløpsanlegg kontrollerer ein resultatata frå modellen med den rasjonale metoden (Norsk VA-norm, 2012). Prosentdelen tette flater blir sett til avrenningsfaktoren, ϕ , og intensiteten til 130 L/sha som for 15 minutt konsentrasjonstid. Tabell 5.4 viser avrenninga frå dei forskjellige utbyggingsstega både med den rasjonale metoden og for modellen utan nokre tiltak.

Tabell 5.4: Forskjellar mellom den rasjonale metoden og modellen.

Utbyggingssteg	Avrenning etter rasjonale metoden [L/s]	Avrenning frå modellen [L/s]
Utgangspunkt	615	953
25 % tette	698	1034
30 % tette	838	1208
40 % tette	1117	1563

Modellen viser ei mykje meir dramatisk utvikling enn den rasjonale metoden. Det vil difor vere forholdsvis trygt å dimensjonere ut ifrå modellen. Den løysinga som er simulert for ei eventuell utbygging av Risvolla reduserer i hovudsak berre toppen på avrenninga. Om ein har som mål å ikkje auke avrenningsvolumet, må større infiltrerande tiltak brukast, til dømes

infiltrasjonskassetar. Med ei slik løysing er det uvisst om det let seg gjere å byggje ut heile Risvollan, då auken i avreninga er stor frå 30 til 40 %.

Aukande avrenning spelar ikkje berre ei rolle for kapasiteten nedstraums målestasjonen, men òg for dei avløpsleidingane som går gjennom feltet. Det kan sjå ut som at kapasiteten for leidingane gjennom feltet allereie er pressa. Ved ei utbygging må ein kanskje auke kapasiteten eller handtere overvatnet enno meir lokalt enn berre nedst i feltet.

6. Oppsummering og konklusjon

Det er kome fram til at modellering med oppløysing av nedbørsdata for mindre enn fem minutt har lite å seie for dei simulerte verdiane, med eit avvik ned mot 5 % i dei fleste undersøkte nedbørshendingar som er gjort i denne studien. Det er likevel greitt å bruke oppløysing på eitt minutt for konstruerte nedbørshendingar, då dette får med seg dei aller største toppane og er lett å framstille.

Når det kjem til nedbørsfordelinga i Trondheim er det framleis ingen av dei studerte nedbørshendingane som overgår Risvolla 13. august 2007 på korttidsnedbør på 5 minutt. Ut over 5 minutt viste nedbørshendinga 1. august 2010 at både Ranheim, Saupstad og Sverresborg har meir intensiv nedbør enn Risvolla. Saupstad verkar å ha mest nedbør på det jamne, medan det kan sjå ut som at nedbøren på Sverresborg liknar den som fell på Risvolla. Gjennomsnittet av avrenninga frå alle nedbørsmålarene samla var stort sett mindre eller likt som avrenninga berre frå Risvolla. Grunna utvalet av nedbørshendingar kan ein ikkje trekkje noko slutning om at Risvolla representerer eit gjennomsnitt eller ligg mykje høgare enn alle målarane samla.

For avrenningsfaktoren er det vist døme på korleis han varierer innanfor ein regnperiode, og at han aukar for påfølgjande nedbørshendingar. Kor mykje avrenningsfaktoren aukar varierer utan at det er funne trendar som kan seie noko om kva som gjer dette. Auka i avrenningsfaktoren seint i nedbørshendinga gir grunnlag for å setje toppen for dimensjonerande nedbørshendinga seint ved bruk av datasimulering av avløpsnett.

Regn i rørsle kan i teorien ha ein aukande effekt på avrenningstoppen. Denne effekten har det ikkje vore mogleg å få fram i denne studien, men det vart observert ein tendens til at den observerte avrenningstoppen kom før den simulerte i tilfelle der nedbøren først trefte toppen av nedslagsfeltet, for så å bevege seg nedover mot nedbørsmålaren.

Det er foreslått eit dimensjonerande regn for Trondheim. Basert på ideen bak Kristoffersenregnet og formelverket for Chicagoregnet, er det konstruert eit regn der ein først lagar eit Chicagoregn som passar så godt som mogleg med gjeldande IVF-kurve. Deretter speglar ein det, for å få toppen til å kome seint i nedbørshendinga. Då får ein den største avrenninga.

For ei mogleg utbygging av Risvolla er det vist at med nokre enkle tekniske grep let seg gjere utan å auke avrenningstoppane frå feltet. Om den totale avrenninga skal haldast på dagens nivå, må større inngrep gjerast. Eksisterande leidningsanlegg i feltet må vurderast særskild ved ei utbygging, då det verkar som om kapasiteten her allereie er pressa. At det finst tekniske løysingar som kan tillate vidare utbygging av Risvolla er det liten tvil om.

7. Vidare arbeid/forskning

7.1. IVF-kurve basert på mange målarar med korte måleseriar

Med meir ein éin nedbørsmålar, slik som ein har i Trondhiem, aukar sjansen for å måle toppen for kvar einiskild nedbørshending. Om ein tek den største målte verdien for kvar nedbørshending og lagar ei IVF-kurve av desse, vil ein få ei IVF-kurve som ligg høgare enn for bruk av berre éin målar. met.no har utarbeida eit forslag til rapport i eKlima der ei slik IVF-kurve skal vere tilgjengeleg (Corneliusen, 2010). I forslaget legg dei vekt på "...at same byge ikke opptrer flere ganger i beregningsgrunnlaget for estimatene." Med ein slik metode vil ikkje arealnedbøren vere representert, sjølv om ein bruker alle målarane så lenge ein berre bruker éi måling per nedbørshending.

For avløpsdimensjoneringa, der ein har ei viss forseinking, og då også ei utjamning av toppane, er det ikkje sikkert at den absolutt største nedbørstoppen treng å vere så interessant. Dimensjonerande avrenning frå eit slikt tilfelle vil bli mykje større enn det ein i røynda oppnår for den gitte returperioden. Difor trekk ein inn ARF. Denne praksisen inneber altså først å finne maks nedbør for så å redusere den att. Ville det vore mogleg å inkludere ARF i IVF-kurva ved hjelp av ei moderert IVF-kurve?

Grunna dei store skilnadane mellom nedbørsmålarane i Trondheim, kan ein tenkje seg ei IVF-kurve basert på alle målingar frå alle målarane utan noko form for vektning. Dette inneber å måle den same nedbørshendinga på forskjellige stader i byen. Måler ein ei regnhending på seks forskjellige stader med forskjellig intensitet, er tanken at dette representerer éin målar som måler seks nedbørshendingar.

For å illustrere tankegangen, kan ein sjå for seg at ein måler seks store regnhendingar på éin målar, og at ein klarer å fange toppen på éi av regnhendingane. Dei fem andre vil vere målingar som ikkje representerer ein topp, eller det kan representere toppen på ei mindre regnhending. Om ein måler same regn éin gong med seks målarar, kan ein tenkje seg at ein klarer å måle toppen på éin av målarane. Dei fem andre målarane representerer fem andre hendingar. Om ein tenkjer slik, kan det vere like representativt å måle éi bye på fleire stader som å måle mange byer på éin stad. Slik kan ein få eit større datagrunnlag på mykje kortare tid enn 25 år som ofte er naudsynt for å finne 100-årsnedbøren (Mamen & Iden, 2010).

Viss ei slik IVF-kurve viser seg å gi den representative arealnedbøren for eit område, vil ein kunne bruke ei slik kurve til dimensjonering av store avskjerande leidningar, og kan bli brukt i kommunar der fleire målarar har for lite datagrunnlag til å gi gode IVF-kurver. For Trondheim og Oslo, som byrjar å få eit stort datagrunnlag, vil det vere naturleg at dei bruker kvar målar spesifikt for dei områda dei representerer. Det store datagrunnlaget frå Oslo å Trondheim kan brukast til å kvalitetssikre metoden.

7.2. AVF-kurve, Avrenning-Varighet-Frekvens

Når ein dimensjonerer overvassystem gjer ein det med tanke på å kunne handtere flaumar med eit visst gjentaksintervall. Kunne det vore interessant å setje opp ei avrenning-frekvens-varigheits-kurve (ARF-kurve) for Risvollan? Då vil ein kunne sjå kva avrenning ein kan vente seg for dei gitte returperiodane. Kan det vere med på å seie noko meir om avrenningsfaktoren? Kan det vere at avrenningsfaktoren varierer med gjentaksintervall?

8. Kjelder

- Bengtson, L., & Niemczynowicz, J. (1986). Area Reduction Factor from Rain Movement. I *Nordic Hydrology* (ss. 65-82). Lund og Uppsala.
- Brødrene Dahl. (u.d.). *VA-konsept, Overvannshåndtering*. Henta april 30, 2013 frå <http://dahl.no/no/Produkter/VA/Kataloger/>
- Butler, D., & Davies, J. W. (2011). *Urban Drainage* (3. utgåve. utg.). London og New York: Spon Press.
- Corneliussen, S. (2010). *Bruk av nedbørsdata, Sluttrapport fra pilotprosjekt i Tønsberg*. Fredrikstad: Cowi AS.
- Dingman, S. L. (2002). *Physical Hydrology*. Long Grove, IL: Waveland Press, Inc.
- Google. (u.d.). *Google Maps*.
- Hernebring, C. (2013, mai 9). (claes.hernebring@dhi.se), Arealnedbør, masteroppgåve. Epost til Tormod Relling Nielsen (tormodni@gmail.com).
- Hernebring, C. (2008). *Når regnet kommer*. Göteborg: Svenskt Vatten.
- Huber, W. C. (2003). *ASCE Library*. Henta februar 2013 frå ascelibrary.org: <http://ascelibrary.org/doi/pdf/10.1061/40685%282003%29164>
- Hydraulic Reference. (2006). *Hydraulic Reference*. Henta Desember 3, 2012 frå <http://www.fsl.orst.edu>
- Kartverket. (u.d.). *Norgeskart*. Henta November 8, 2012 frå <http://norgeskart.no>
- Kristoffersen, H. V. (2010). *Analyse av overvannssystem*. Masteroppgåve, NTNU.
- Krogh, A. (2013, mai 28). (arnhild.krogh@vav.oslo.kommune.no) E-post til Sveinn T. Thorolfsson (sveinn.thorolfsson@ntnu.no) .
- Lindholm, O. G., & Bjerkholt, J. T. (2012). *Analyse av Rustadskogsfeltet*. Ås: Universitet for miljø- og biovitenskap UMB.
- Lindholm, O., Endresen, S., Smith, B. T., & Thorolfsson, S. (2012). *Veiledning i dimensjonering og utforming av VA-transportssystem*. Hamar: Norsk Vann.
- Maalel, K., & Huber, W. C. (1984). SWMM Calibration Using Continous and Multiple Event Simulation. I C. university, *Proceedings of the Third Internationa lConference on Urban Storm Drainage* (ss. 595-604). Göteborg.
- Mamen, J., & Iden, K. A. (2010). *Analyse av korttidsnedbør i Norge 1967-2009*. met.no.
- Meteorologisk intitutt. (2013, mai 6). *eKlima*. Henta mai 6, 2013 frå www.eklima.no
- Nilsdal, J.-A. (1988). *Bedømming av övervänningsrisiken i dagvattensystem*. Akademisk avhandling, Chalmers Univerdity og Technology.

Norsk VA-norm. (2012, mai 9). *Vedlegg 9 - Overvannshåndtering*. Henta mai 6, 2013 frå <http://www.va-norm.no/norsk vann/download/76568/715228/file/Vedlegg%209%20Overvannsh%C3%A5ndtering.pdf>

Paus, K. H. (2012, oktober 22). Principles of Sustainable Stormwater Management. *Førellesning i TVM4130 Urbane vassystem*. Trondheim.

Risholt, L. P. (2009). *Prosjekt Kjelleroversvømmelser sommeren 2007*. Trondheim: Trondheim kommune.

Svenskt Vatten. (2011). *Nederbördsdata vid dimensionering och analys av avloppssystem*. Stockholm: Svenskt Vatten.

Thorolfsson, S. T. (2000). *VA-systemer VK 2000, Overvannshåndtering*. Trondheim: NTNU Institutt for vassbygging.

Thorolfsson, S. T., & Høgeli, S. (1994). *Risvollan - Trondheim urbanhydrologiske forskningsfelt, Del 1, Dokumentasjon av målestasjonen*. Trondheim: Universitetet i Trondheim Institutt for vassbygging.

Trondheim kommune. (2007). *Rimfaksvegen, Forslag til reguleringsplan*. Trondheim.

Vedlegg

IVF-kurver Tyholt/Voll og Risvollan:

