

ANALYSE AV KLIMAENDRINGERES VIRKNINGER PÅ OVERVANNSSNETTET I BOGAFJELLFELETET, SANDNES KOMMUNE - EN CASESTUDIE.

THE EFFECTS OF CLIMATE CHANGE ON THE STORMWATER NETWORK IN
BOGAFJELL, SANDNES - A CASE STUDY.

IVAR TANGERUD HAGA

UNIVERSITETET FOR MILJØ- OG BIOVITENSKAP
INSTITUTT FOR MATEMATISKE REALFAG OG TEKNOLOGI
MASTEROPPGAVE 30 STP. 2011



Forord

Denne oppgaven er siste del av mitt masterstudium i industriell økonomi, ved Universitetet for miljø- og biovitenskap på Ås. Jeg startet på studiet høsten 2006 og vil nå, fem år etter, avslutte og gå ut i jobb som sivilingeniør i august.

Jeg har gjennom studietiden fordypet meg i temaet *vann og miljøteknikk*, og denne oppgaven er en siste ekstra fordypning innen dette fagfeltet. Arbeidet har vært interessant, men også frustrerende. Simuleringer av typen jeg har gjort tar tid, både å lære, og å gjøre riktig. Med god hjelp har det likevel gått bra, og oppgaven ble ferdig til estimert tid, tross et brudd på kragebeinet under en fotballkamp for UMBI to uker før innlevering.

Jeg har holdt på med oppgavearbeidet jevnt og trutt gjennom semesteret, men som de fleste andre masterstudenter har mesteparten av tilgjengelig tid de siste ukene før innlevering blitt brukt på omskriving og forbedringer. Det har vært svært nyttig å jobbe parallelt med Magnus Olsen, Jon Petter Hval og Andreas Køste, ettersom vi har sittet samme sted under arbeidet. Jeg har hatt stor nytte av at vi har hjulpet hverandre med simuleringer, og diskutert resultater mellom oss. Det har også vært hyggelig sosialt sett å sitte sammen ettersom simuleringsarbeidet har tatt mye tid. Jeg vil derfor takke disse for godt samarbeid gjennom denne tiden med masteroppgavearbeid. Jeg vil i tillegg takke Magnus Olsen en ekstra gang, samt Odd-Magnus Eng, for hjelp til å bruke MATLAB-scriptet som jeg har brukt i oppgaven.

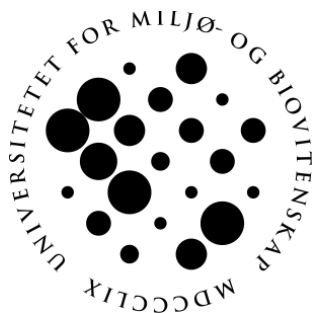
Jeg vil ikke minst takke DHI, ved daglig leder Tomas Eidsmo, for tilgang til MIKE URBAN (dataprogram brukt i oppgaven). Jeg vil også takke Norconsult og ROSIM ved Geir Lindholm, samt Vegard Nilsen, og ikke minst Oddvar Lindholm og Jarle Tommy Bjerkholt for god veiledning og hjelp.

Takk også til Sandnes kommune, Alexandr Andrianov og Signe Kvandal for bruk av modell av ledningsnett og nødvendig hjelp i forbindelse med oppgavearbeidet.

Tilslutt vil jeg takke Berit Helene Handeland som har lest korrektur og gitt meg gode råd om oppgaveskriving, samt Grete Handeland som har hjulpet meg med trykking av oppgaven.

Ås, 12. mai 2011

Ivar Tangerud Haga



Sammendrag

Klimaet på jorden endrer seg, og dette kan påvirke nedbøren som kommer. Man mulig forvente både økt og endret nedbør. Overvannsnettene er laget for å få unna overvannet fra tette eller mettede permeable flater (der det ikke er mulig for nedbøren å infiltreres ned i grunnen) ved større regnhendelser. Ved endringer i nedbøren er det nødvendig å studere hvilke konsekvenser økte regnmengder har for ledningsnettene. Ved å finne eventuelle problemområder, og analysere disse, kan man gjøre nødvendige tiltak for å unngå skader på bygg og infrastruktur ved oversvømmelser, og på denne måten senke kostnadene for samfunnet.

Temaet for denne masteroppgaven er analyse av overvannsnett i caseområdet Bogafjell i Sandnes kommune (Rogaland) ved klimaendringer i form av økte regnmengder og -intensiteter. Oppgaven er skrevet etter initiativ fra *Bioforsk*, som deltar i prosjektet *Exflood - Extreme weather in small catchments; new methods for flood protection*. To andre caseområder undersøkes i prosjektet, og analyseres av andre masterstudenter parallelt med denne oppgaven.

Oppgavearbeidets metode innebærer en god del simuleringer og analyser av regnhendelser, både historiske og konstruerte fremtidige(hypotetiske) regn. Simuleringene gjøres ved hjelp av dataprogrammet ROSIE, med beregningsmodulen MOUSE. Noen av spørsmålene som ønskes besvart er hvilke konsekvenser disse regnhendelsene har på overvannsnett i caseområdet. Tillegg for klimaendringer blir lagt til neregningene for å prøve å estimere konsekvenser av hypotetiske regn.

Simuleringene viser blant annet at det trolig ikke er regnets totale volum som er utslagsgivende for konsekvensene i overvannsnett, men heller utformingen på toppintensiteten; blant annet hvor stor intensiteten er på maksimum, og når denne toppen kommer (tidlig eller sent i regnet). I tillegg ble det funnet ut at økning i regnmengder vil gi flere kummer med oppstuvninger over bakkenivå, altså oversvømmelse. Følsomhetsanalyser viser også at overvannsnett er sensitiv til økninger av andelen tette flater.

Abstract

The climate on earth changes and this may affect future rainfall. In the future there is expected to be both an increased amount and intensity of precipitation. Storm water networks are designed to transport the surface run-off and with an increase in the precipitation levels and intensity, there will be higher demands placed on this network. By finding potential problem areas and analyzing these, it is possible to make the necessary measures to avoid damage to buildings and infrastructure from flooding, thereby ultimately reducing the eventual social costs.

The theme of this thesis is to analyze how increased precipitation and intensity will affect the storm water network in Bogafjell in Sandnes (Rogaland). The thesis is written at the initiative of *Bioforsk*, participating in the project *Exflood – Extreme weather in small catchments, New Methods for flood protection*. Two other case areas are studied and analyzed by other graduate students in parallel with this.

The work method involves simulations and analysis of rain events, both historical and constructed (hypothetical) rain events. The simulations are made using the computer program ROSIE, with the calculation engine MOUSE. Some of the questions that are addressed are what consequences these rain events have on the storm water network in the case area. Factors are added to the different rain events to simulate climate changes.

The simulations show that it is probably not the total rain volume that is decisive for the consequences of heavy rain, but rather the design of peak intensities in the rain, the maximum intensity and when the peak is coming (early or late in the rain). In addition, it was found that increasing rain amounts will result in more manholes overflowing. Sensitivity analysis also shows that the storm water network is sensitive to increase in the proportion of impermeable surfaces.

Innhold

Kapittel 1 - Innledning	1
1.1 Tema, bakgrunn og problemstillinger	2
1.2 Fremgangsmåte og struktur	2
Kapittel 2 – Teori og fakta	3
2.1 Prosjektet Exflood	4
2.2 Bogafjell caseområde	5
2.2.1 Generelt.....	5
2.2.2 Ledningsnettets på Bogafjell.....	6
2.3 Separatsystemer.....	7
2.4 Tiltak mot overvann	9
2.5 Klimaendringer	11
2.5.1 Klimaendringer i verden	12
2.5.2 Klimaendringer i Norge.....	15
2.6 Modeller	17
2.6.1 Hydrologiske modeller	17
2.6.2 Følsomhet i parametere	18
2.6.3 MOUSE.....	19
2.6.4 ROSIE	22
Kapittel 3 – Simulering av regn	25
3.1 Forutsetninger for simuleringene	26
3.1.1 Generelle forutsetninger og forklaringer	26
3.1.2 Tid-areal metoden.....	27
3.1.3 Kumegenskaper.....	27
3.2 Valg av historiske regn.....	28
3.2.1 Regn med varigheter på 10 minutter, med forregn og etterregn.....	28
3.2.2 Regn med varigheter på 30 minutter	29
3.2.3 Regn med varigheter på 60 minutter	30
3.3 Regnhyetogrammer med og uten tillegg for klimaendringer	31
3.3.1 Symmetrisk regnhyetogram med 10-års gjentaksintervall	33
3.3.2 Symmetrisk regnhyetogram med 20-års gjentaksintervall	34
3.3.3 Symmetrisk regnhyetogram med 50-års gjentaksintervall	35

Kapittel 4 - Resultater og diskusjon	37
4.1 Orientering	38
4.2 Simuleringen av historiske regn	40
4.2.1 Resultater for regn med varigheter på 10 minutter, med forregn og etterregn	40
4.2.2 Resultater for regn med varigheter på 30 minutter.....	47
4.2.3 Resultater for regn med varigheter på 60 minutter.....	51
4.2.4 Oppsummering og analyse av de historiske regnene	55
4.3 Simulering av symmetriske hyetogrammer	57
4.3.1 Resultater for regn med 10-års gjentakintervall.....	57
4.3.2 Resultater for regn med 20-års gjentakintervall.....	60
4.3.3 Resultater for regn med 50 års gjentakintervall	62
4.3.4 Oppsummering og analyse av de konstruerte hyetogrammene.....	64
4.4 Nærmere analyse av noen utvalgte kummer	66
4.4.1 Spesielt om kum 419	69
4.4.2 Spesielt om kum 100	69
4.5 Analyse av følsomhet	69
4.5.1 Tette flater.....	69
4.5.2 Konsentrasjonstid for delfelt.....	70
4.6 Avsluttende refleksjoner	71
4.6.1 Problemer underveis	71
4.6.2 Spørsmål jeg sitter igjen med	71
4.6.3 Temaer jeg skulle ønske jeg hadde fått tid til, og anbefalinger til senere arbeid	72
Kildeliste	73
Vedleggsliste.....	74

Kapittelbilder - kilder:

- Kapittel 1: “*EvgeniDinev*”, FreeDigitalPhotos.net
- Kapittel 2: “*dan*”, FreeDigitalPhotos.net
- Kapittel 3: “*Christian Southworth*”, FreeDigitalPhotos.net
- Kapittel 4: “*graurcodrin*”, FreeDigitalPhotos.net

Figurliste

Figur 1 – Bioforsk v/Jannes Stolte forklarer Exflood-modellen (Kilde: Bioforsk).	4
Figur 2 – Kartillustrasjon over caseområdet(generert fra kartskolen.no).....	5
Figur 3 – Oversikt over nedbørsfeltet og ledningsnett på Bogafjell(Kilde: Vike 2010).	6
Figur 4 – Separat avløpssystem(Kilde: Svenskt Vatten 2007).	7
Figur 5 – Kritisk nivå i separatsystem(Kilde: Svenskt Vatten 2004).....	8
Figur 6 – Oversikt over endringer i tette flater for et område i Kristiansand(Oddvar Lindholm 2010). 9	
Figur 7 – Skjematisk framstilling av den globale varmebalansen(Kilde: RegClim 2000).	11
Figur 8 – Klimaprognose for de neste hundre årene ved forskjellige scenarier(Kilde: RegClim 2002). 14	
Figur 9 – Forventet økning i antall dager med mer enn 50mm/døgn (Kilde: RegClim 2002).	16
Figur 10 – Q-maks for overflatemodellen i NIVANETT(Kilde: NIVA 1986).	18
Figur 11 – Forskjellige kurver for avrenning ved bruk av tid/areal-metoden(Kilde: DHI 2009d).....	19
Figur 12 – Figuren "Example of the effect of high or low soil moisture content on the generated discharge hydrograph" fra DHI (Kilde: DHI 2009b).	21
Figur 13 – Skjematisk fremstilling lagringsmagasinene i MOUSE-modellen(Kilde: DHI 2009b).....	22
Figur 14 – Illustrasjon av nedbørsfeltet i ROSIE(Kilde: egen ROSIE-modell).	23
Figur 15 – Fotografi tatt i cirka nordvestlig retning fra toppen av Bogafjell (Fotograf: Ivar T. Haga)... 27	
Figur 16 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 23.5.2003, med forregn og etterregn.....	28
Figur 17 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 23.6.2002, med forregn og etterregn.....	28
Figur 18 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 2.8.1991, med forregn og etterregn.....	28
Figur 19 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 10.6.1980, med forregn og etterregn.....	28
Figur 20 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 23.6.2002.	29
Figur 21 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 26.8.1996.	29
Figur 22 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 27.7.1994.	29
Figur 23 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 16.8.1990.	29
Figur 24 – Grafisk fremstilling av 60-minuttersregnet den 23.6.2002.	30
Figur 25 – Grafisk av fremstilling av 60-minuttersregnet den 26.8.1996.	30
Figur 26 – Grafisk fremstilling 60-minuttersregnet den 27.7.1994.....	30
Figur 27 – Grafisk fremstilling av 60-minuttersregnet den 16.8.1990.	30
Figur 28 – IVF-kurve for Rovik målestasjon i Sandnes (Generert fra eklima.no).	32
Figur 29 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentakintervall 10 år.	33
Figur 30 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentakintervall 20 år.	34
Figur 31 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentakintervall 50 år.	35
Figur 32 – Tegnforklaring til figurer som viser oppstuvningsnivå i kummer.....	38
Figur 33 – Tegnforklaring til figurer som viser fyllingsgrad i delstrek.	38
Figur 34 – Forklaring på oppstuvningsnivå eller "OTIR" (Laget av Ivar Tangerud Haga).....	38
Figur 35 – Oversiktsillustrasjon over utvalgt område.	39
Figur 36 – Antall oppstuvninger for de fire største regnene med varighet på 10 minutter.	40
Figur 37 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 2003.....	41
Figur 38 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 2003.	41
Figur 39 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 2002.....	42
Figur 40 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 2002.	42
Figur 41 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 1991.....	44
Figur 42 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 1991.	44

Figur 43 – Maksimal oppstuvningsnivå i kummene ved 10-minuttersregnet i 1980.....	45
Figur 44 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 1980.	45
Figur 45 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 2002.....	47
Figur 46 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 2002.	47
Figur 47 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1996.....	48
Figur 48 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1996.	48
Figur 49 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1994.....	49
Figur 50 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1994.	49
Figur 51 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1990.....	50
Figur 52 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1990.	50
Figur 53 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 2002.....	51
Figur 54 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 2002.	51
Figur 55 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1996.....	52
Figur 56 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1996.	52
Figur 57 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1994.....	53
Figur 58 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1994.	53
Figur 59 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1990.....	54
Figur 60 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1990.	54
Figur 61 – Antall oppstuvninger for de konstruerte hyetogrammene, inkl. klimaendringer.....	57
Figur 62 – 10 års gjentakintervall uten tillegg for klimaendringer.	59
Figur 63 – 10 års gjentakintervall med 10 % tillegg for klimaendringer.	59
Figur 64 – 10 års gjentakintervall med 20 % tillegg for klimaendringer.	59
Figur 65 – 10 års gjentakintervall med 30 % tillegg for klimaendringer.	59
Figur 66 – 10 års gjentakintervall med 40 % tillegg for klimaendringer.	59
Figur 67 – 10 års gjentakintervall med 50 % tillegg for klimaendringer.	59
Figur 68 – Gjentakintervall på 20 år uten tillegg for klimaendringer.	61
Figur 69 – Gjentakintervall på 20 år med 10 % tillegg for klimaendringer.	61
Figur 70 – Gjentakintervall på 20 år med 20 % tillegg for klimaendringer.	61
Figur 71 – Gjentakintervall på 20 år med 30 % tillegg for klimaendringer.	61
Figur 72 – Gjentakintervall på 20 år med 40 % tillegg for klimaendringer.	61
Figur 73 – Gjentakintervall på 20 år med 50 % tillegg for	61
Figur 74 – Gjentakintervall på 50 år uten tillegg for klimaendringer.	63
Figur 75 – Gjentakintervall på 50 år med 10 % tillegg for klimaendringer.	63
Figur 76 – Gjentakintervall på 50 år med 20 % tillegg for klimaendringer.	63
Figur 77 – Gjentakintervall på 50 år med 30 % tillegg for klimaendringer.	63
Figur 78 – Gjentakintervall på 50 år med 40 % tillegg for klimaendringer.	63
Figur 79 – Gjentakintervall på 50 år med 50 % tillegg for klimaendringer.	63
Figur 80 – Oversikt over de fem mest kritiske kummene.	66
Figur 81 – Profil av ledningstrekket mellom kum 420 og kum 64.....	67
Figur 82 – Profil av ledningstrekket mellom kum 103 og 420.....	68
Figur 83 – Konsekvenser i antall oppstuvninger ved endring i andel av tette flater, for alle delfelt. ...	70
Figur 84 – Konsekvenser i antall oppstuvninger ved endring i konsentrasjonstid for alle delfelt.	70

Tabelliste

Tabell 1 – Typer avløpssystem(Kilde: Svenskt Vatten 2004).	8
Tabell 2 – Estimert økning i temperatur og nedbør for ett bestemt scenario(Kilde: RegClim 2000). ..	16
Tabell 3 – De fire største regnene med varighet på 10 minutter inkl. forregn og etterregn.	28
Tabell 4 – De fire største regnene med varighet på 30 minutter.....	29
Tabell 5 – De fire største regnene med varighet på 60 minutter.....	30
Tabell 6 – Intensiteter fra IVF-kurvene fra Rovik målestasjon, for forskjellige gjentaksintervall.	31
Tabell 7 – Intensitetsverdiene(l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 10 år.	33
Tabell 8 – Intensitetsverdiene(l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 20 år.	34
Tabell 9 – Intensitetsverdiene (l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 50 år.	35
Tabell 10 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 2003.	41
Tabell 11 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 2002.	43
Tabell 12 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 1991.	45
Tabell 13 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 1980.	46
Tabell 14 – Oversikt over antall oppstuvninger for de historiske regnene.	55
Tabell 15 – Oversikt over antall delstrek ved de forskjellige fyllingsgradene.	56
Tabell 16 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 10-års regnhyetogram.	58
Tabell 17 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 10-årsregnet, etter kuminstillinger.	58
Tabell 18 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 20-års regnhyetogram.....	60
Tabell 19 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 20-årsregnet, etter kuminstillinger.	60
Tabell 20 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 50-års regnhyetogram.....	62
Tabell 21 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 50-årsregnet, etter kuminstillinger.	64
Tabell 22 – Sammenligning: antall oppstuvninger over bakkenivå, konstruerte vs. historiske regn....	64
Tabell 23 – Sammenlikning: antall oppstuvninger over bakkenivå, regnene i 1980 og 2003.....	65

Kapittel 1 - Innledning



1.1 Tema, bakgrunn og problemstillinger

Temaet for denne masteroppgaven er **flomanalyse for fremtidige estimerte regn**. Klimaendringer vil trolig øke både hyppigheten og størrelsen på flommer i Norge, noe som vil ha vesentlig betydning for ledningsnett i avløpssystemer. Det er hva som skjer i disse nettene ved økt nedbørshyppighet og økte nedbørsmengder som er utgangspunktet for denne oppgavens analyser.

Analysen vil ta for seg et bestemt geografisk område; Bogafjell i Sandnes kommune i Rogaland. Interessen for en slik analyse lå opprinnelig hos *Bioforsk*, som ønsket at masterstudenter skulle se nærmere på hva klimaendringer vil bety for ledningsnett i flere caseområder i Norge. De andre områdene er i Fredrikstad og i Trondheim. Analysene som skal gjøres i de forskjellige områdene er de samme, men arbeidet gjøres av ulike studenter.

Grunnen til at det er viktig å se på hvilken påvirkning økte regnmengder har på overvannsnett, er for å finne aktuelle problemområder som vil oppnå oversvømmelse ved store regnmengder. Ved bruk av dataprogrammer kan man simulere slike regn og gjøre slike analyser av både historiske og hypotetiske/konstruerte regn. Konklusjonene vil vise hvilke områder som vil få problemer, slik at de ansvarlige kan gjøre nødvendige tiltak. Riktig dimensjonering av overvannsnett kan redusere de samfunnsøkonomiske kostnadene, for eksempel ved færre oversvømmelser og dermed mindre skade på bygninger og infrastruktur.

Hovedproblemstillingen i denne oppgaven er **hvordan ledningsnett i det aktuelle nedbørsfeltet tåler økte nedbørsintensiteter og nedbørsmengder**. Mer detaljert blir dette **hvordan overvannssystemet takler økte intensiteter av regn**. Dette vil være på grunn av klimaendringer, og derfor blir et underspørsmål **hvilke konsekvenser klimaendringer får for lokale ledningsnett**.

Jeg vil simulere og studere historiske regnhendelser i caseområdet, for å se på hvilke kapasitetsproblemer som kan oppstå hvis lignende regn skjer i fremtiden. Jeg vil også konstruere fiktive regn for å se på konsekvensene av store regnhendelser for hele ledningsnett. Jeg vil også gjøre en følsomhetsanalyse.

1.2 Fremgangsmåte og struktur

Jeg vil starte oppgavearbeidet med å sette meg inn i noe nødvendig teori rundt både klimaendringer, caseområdet, og dataverktøyene (ROSIE og MOUSE) som jeg må bruke for analysen. På denne måten lager jeg meg en basis for det videre arbeidet. Geir Lindholm vil stå for opplæring i ROSIE, som er programmet jeg kommer til å bruke til å simulere forskjellige regnhendelser. Det er tre andre studenter som vil ha samme tema og samme problemstilling som meg, men for andre caseområder. Vi vil sitte en del sammen for å hjelpe hverandre med simuleringer, og diskutere resultater.

Ettersom mengden av simuleringer ville blitt overveldende dersom jeg skulle gjort simuleringer på de største regnene hvert år frem 1974 til 2008, vil jeg velge ut kun de fire største innen hver kategori (10-minuttersregn, 30-minuttersregn og 60-minuttersregn). Jeg planlegger også å konstruere fiktive regn i form av symmetriske regnhyetogram, med gjentakintervall på 10, 20 og 50 år.

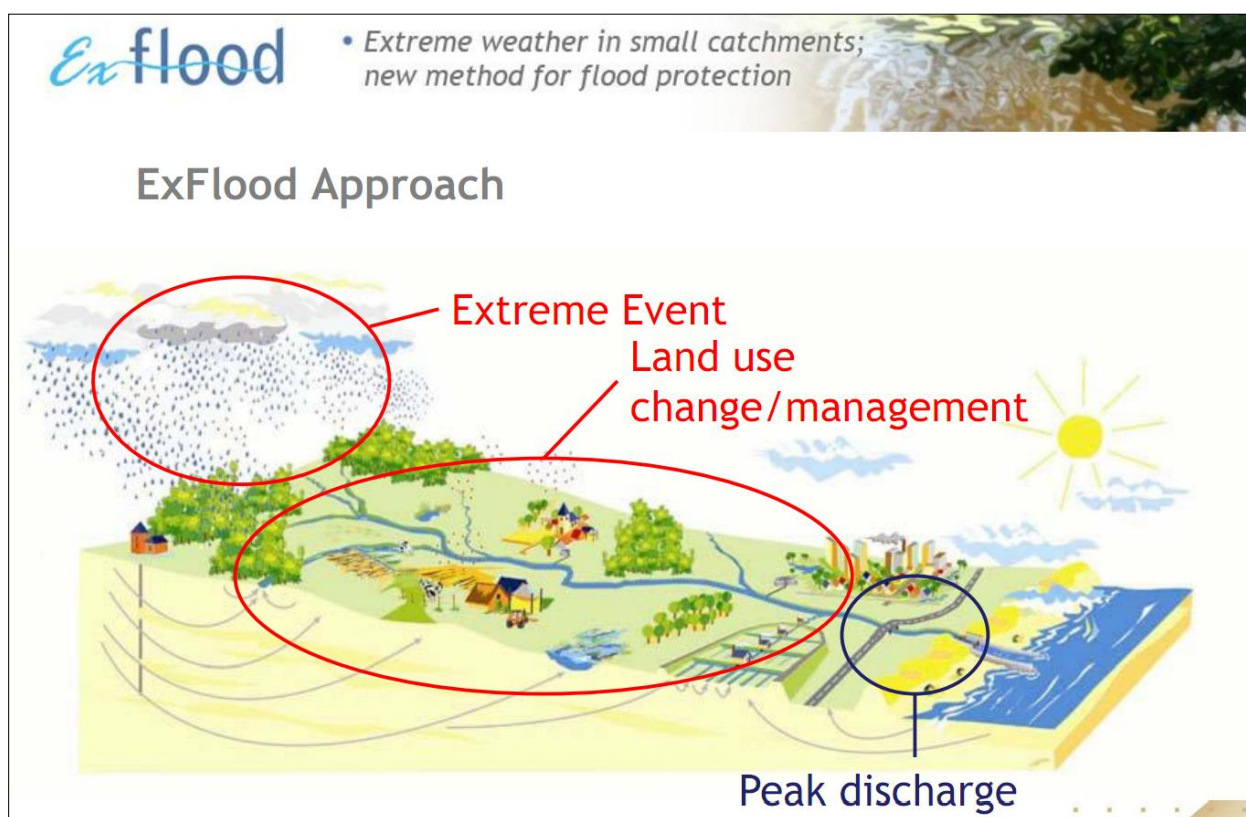
Opgavens struktur vil likne fremgangsmåten. Jeg vil starte med teori om klimaendringer og avløpssystemer, generelt om caseområdet og de nødvendige dataprogrammer jeg må bruke, i kapittel to. I kapittel tre vil jeg først greie ut om hvilke forutsetninger jeg gjør i simuleringene, hvilke utvalg jeg gjør, og hvorfor. Jeg vil også gjøre rede for metoder jeg vil bruke, og eventuelle andre elementer som er nødvendig å ha klart før jeg starter simuleringene. Til slutt vil jeg, i kapittel fire, presentere mine resultater, både gjennom tabeller, grafer og tekst, og deretter diskutere disse.

Kapittel 2 – Teori og fakta



2.1 Prosjektet Exflood

Exflood er en forkortelse for prosjektet “*Extreme weather in small catchments; new methods for flood protection*” (Bioforsk.no 2010a). Hovedmålet med dette prosjektet er å definere og analysere mål for å bekjempe ulike negative konsekvenser ekstremvær har på infrastruktur i små nedbørsfelt i Norge. Man ønsker å studere sammenhengen mellom avrenning fra flere typer nedbørsfelt, for eksempel forskjeller i nedbørsfelt av typer jordbruk, skog og byområder (Bioforsk.no 2010a). I tillegg ønskes det å kunne koble denne informasjonen med landskapsplanleggingsverktøy (slikt som GIS). Illustrasjonen under forestiller et ruralt område, med skog og landbruk, som bidrar med avrenning ned mot en by som ligger nede mot vann. Nedbør høyere oppe i skogområdene kan for eksempel føre til store vannføringer i elven som renner ned mot byen. Ved nok vannføring vil det oppstå flom, som kan gjøre store skader på infrastruktur, og ikke minst være til fare for liv.



Figur 1 – Bioforsk v/Jannes Stolte forklarer Exflood-modellen (Kilde: Bioforsk).

Exflood-prosjektet er ledet av *Bioforsk*, og er et samarbeid mellom *Universitetet for Miljø- og Biovitenskap, Norges vassdrags- og energidirektorat, Statens Vegvesen, Kungliga Tekniska Högskolan (KTH), University of Minnesota, Sandnes kommune, Trondheim kommune, Fredrikstad kommune og Finansnæringens Hovedorganisasjon* (Bioforsk.no 2010b). Prosjektet tar for seg tre studieområder; Veumfeltet i Fredrikstad, Ranheim i Trondheim og Bogafjell i Sandnes. I tillegg har man *Skuterudfeltet*, som ligger i Ås kommune, og som blir brukt som pilotområde for Exflood. Dette er et felt som *Bioforsk Jord & Miljø* har jobbet med tidligere, og som det er blitt opparbeidet en del hydrologisk data over allerede. Dette betyr at det er tilgjengelig lange serier med data om avrenningsforhold både for de rurale og de semiurbane utløpene (Bioforsk.no 2010c).

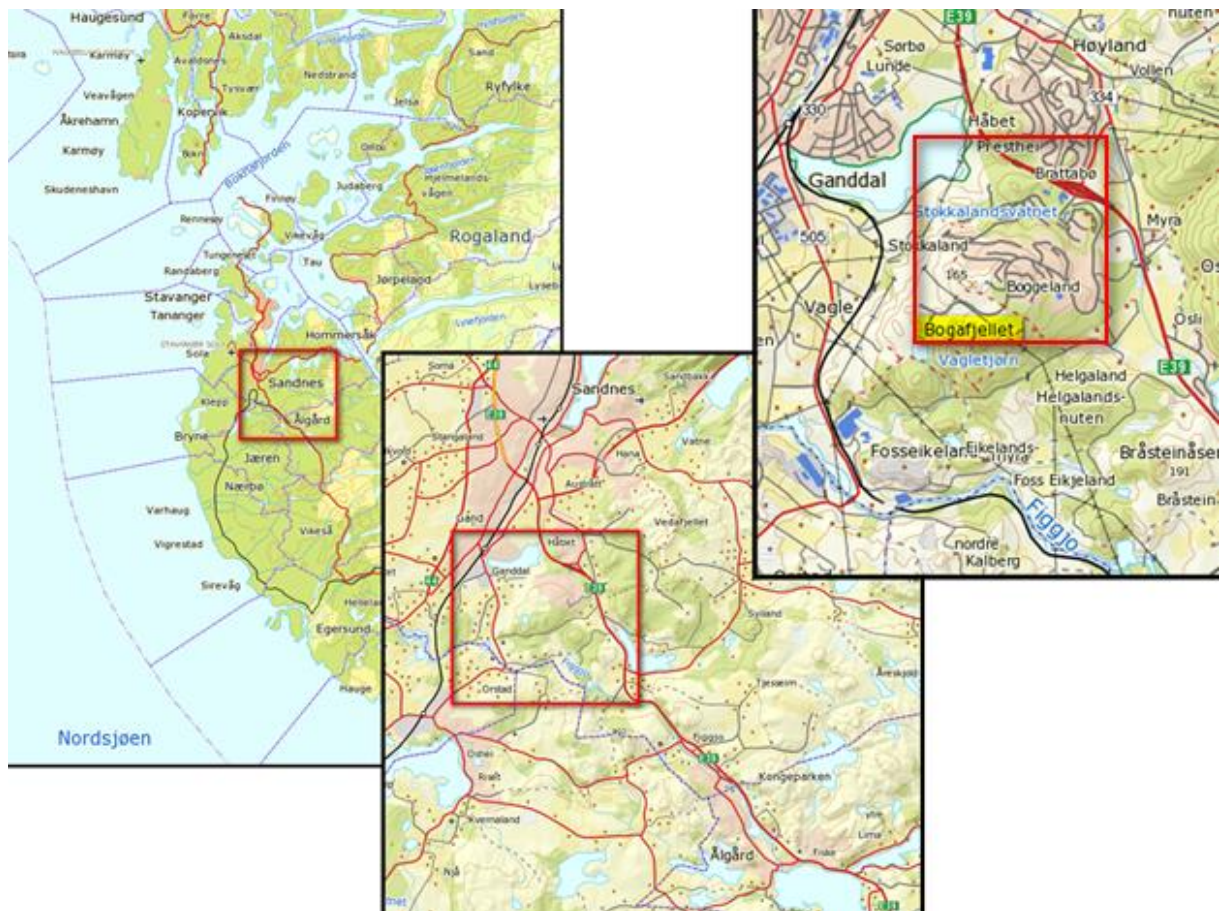
2.2 Bogfjell caseområde

2.2.1 Generelt

Feltet jeg skal ta for meg i denne oppgaven er Bogfjellfeltet i Sandnes kommune. Bogfjell ligger på en høyde sør for Sandnes sentrum, like ved Stokkalandsvatnet. Det høyeste punktet i feltet er cirka 160 meter over havnivå, og det laveste punktet er der utløpene til overvannsnettets ligger, som er cirka 30 meter over havnivå. Sandnes kommune er den niende største kommunen i Norge, med over 66 000 innbyggere. Kommunen har en gjennomsnittlig vekst på over 2 % per år, og er dermed Norges hurtigst voksende storby (Sandnes.kommune.no 2010).

Sandnes kommunes hurtige befolkningsvekst betyr utbygging av flere boliger og økning i størrelse på samlet areal brukt til boliger. Dette vil igjen bety større belastning på avløpsnettets, og det er av denne grunn viktig å undersøke og studere nettets kapasitet. Blant annet vil det bli flere tette flater, som veier, tak og lignende, noe som gir hurtigere avrenning og setter større krav til det eksisterende avløpsnettets.

Sandnes kommune har ingen oversikt over tidligere flomhendelser eller skader for feltet på Bogfjell. Kommunen har heller ingen overvannsrammeplan, flomplan eller hovedrammeplan for avløp. Kommunen har frem til nå ikke hatt store problemer med oversvømmelser, men har merket en økning i korte intense regn og kalde vintre med mer snø (Sandnes Kommune v/Odd Arne Vagle 2010).

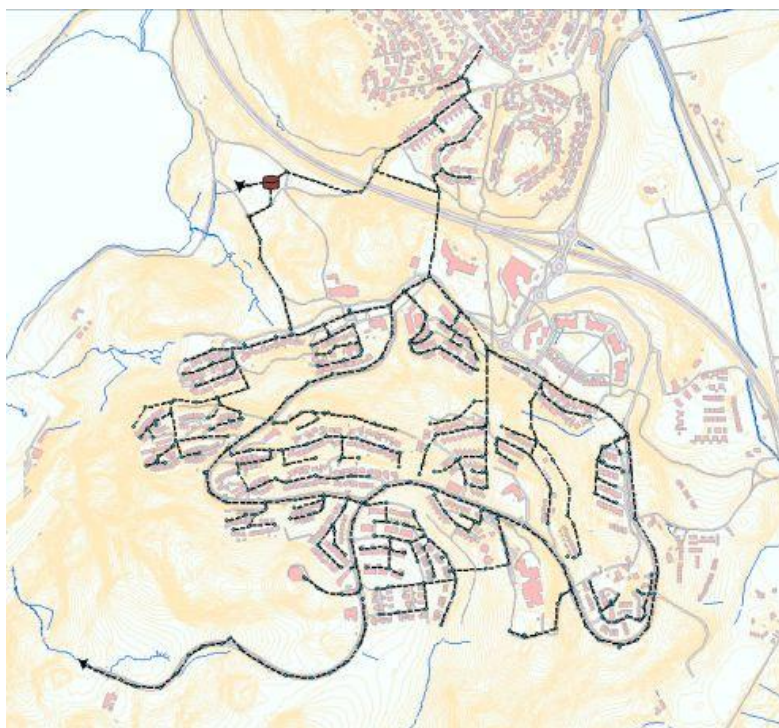


Figur 2 – Kartillustrasjon over caseområdet (generert fra kartiskolen.no)

2.2.2 Ledningsnett på Bogafjell

Overvannsnett på Bogafjell består av 425 ledninger av betong, 420 kummer, tre utløp og et fordrøyningsmagasin. Dette fordrøyningsmagasinet er en steinfylling som kommunen vurderer å fjerne da de tror det har mistet sin funksjon og ikke lenger fungerer som fordrøyningsmagasin. Som et alternativ har kommunen vurdert å utforme bekken ned til Stokkalandsvannet på en bedre måte hydraulisk. Ved å gjøre slike tiltak i bekken vil erosjon til en viss grad reduseres. Ettersom hele nettet er et *separatsystem*¹ som bare tar i mot overvann, er det ingen overløp i nettet. Vannet renner fra utløpene og deretter ned til Stokkalandsvannet via to bekker. Størrelsen på feltet er på cirka 115 hektar, som er fordelt på 420 delfelt. DHI² har gjort en kapasitetsanalyse av nettet i Sandnes. For denne analysen blir det regnet med at de tette flatene på Bogafjellfeltet er på 19 hektar, som vil si cirka 17 % av feltets totale areal (Vike 2010).

Ut i fra oversiktskartet av ledningsnett er mulig å se potensielle flaskehals i systemet. Det er bare to ledninger som fører vannet fra feltet og ned til fordrøyningsbassenget. For å unngå kapasitetsproblemer som gir trykk i rørene, er det viktig at disse ledningene er riktig dimensjonert. Ettersom det på Bogafjell brukes et separatsystem, vil det ikke være noen direkte kobling mellom overvannsnett og sluk i kjellere, og derfor er det redusert fare for kjelleroversvømmelser. Separatsystemet er altså ikke koblet til boliger, noe som betyr at jeg ikke vil legge vekt på å finne antall boliger tilknyttet rør med trykknivå på over 0,9 meter over toppør³. Det kritiske nivået for overvannsnett i separatsystemet vil derfor være bakkenivå, altså når vann renner fra kummen og ut på overflaten. *Svenskt Vatten* anbefaler minst ti års gjentaksintervall for trykklinj over marknivå for overvannsnett. For fyllingsgrad av ledninger er anbefalt gjentaksintervall for fylt ledning fem til ti år (Svenskt Vatten 2004). Under vises et illustrasjonskart over nedbørsfeltet og ledningsnett på Bogafjell. De sorte strekene illustrerer ledningsnett.



Figur 3 – Oversikt over nedbørsfeltet og ledningsnett på Bogafjell (Kilde: Vike 2010).

¹ Se mer neste avsnitt

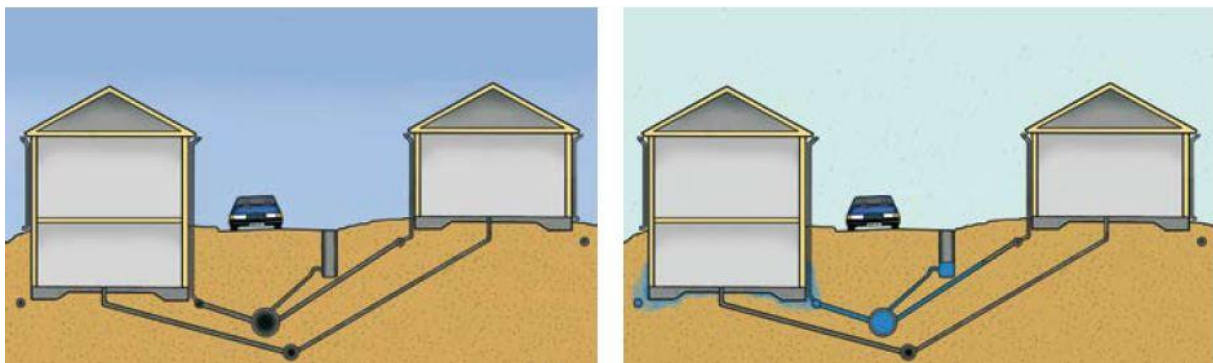
² Danske Hydrologiske Institutt

³ Dette trykknivået blir ofte brukt for å finne ut hvilke hus som ligger i faresonen for kjelleroversvømmelser.

2.3 Separatsystemer

Som nevnt brukes det i caseområdet et *separatsystem*. Separatsystemer har den fordel at man skiller spillvannet og overvannet i to forskjellige ledningsnett. Spillvannet består av svartvann og gråvann, og dette må renses for avfallsstoffer før det kan slippes ut i en resipient. Overvannet består av vann som renner av tette flater på overflaten, som for eksempel veier eller tak. Fordelen med separatsystemet vil da være at overvannet kan føres direkte til en resipient uten å gå gjennom et rensetrinn. Dette vil igjen gjøre belastningen på renseanleggene mindre, da det bare er spillvannet som kommer hit. Selv om overvannet som oftest ikke må renses, er dette i noen tilfeller nødvendig. Overvann fra veier med mye trafikk kan inneholde tungmetaller og organiske miljøgifter, som ikke er ønskelig å slippe direkte ut i en resipient (Lindholm et al. 2008).

Fordelen med å ha et separat overvannsnett er at det ikke er noe kobling mellom overvannsnettet og sluk i kjellere. På grunn av store vannmengder i ledningsnettet under regnvær, er det dette som er den største årsaken til kjelleroversvømmelser (Oddvar Lindholm 2011). Ved å benytte et separatsystem vil man senke risikoen for kjelleroversvømmelser. På tross av at det ikke er noen kobling mellom separatsystem og sluk i boliger, kan det i visse tilfeller oppstå problemer med kjelleroversvømmelser og fuktskader i hus. Dreneringsystemene rundt boliger ofte koblet til separatsystemet, og hvis det oppstår en oppstuvning i ledningsnettet vil overvannet legge seg rundt grunnmuren. Støpemetodene for grunnmur gir sjeldent en vanntett sammenføyning mellom vegger og gulv. For at slike skader skal kunne oppstå må vannet stå rundt grunnmuren en viss tid. Dette betyr at selv om det ikke benyttes et fellessystem er det en viss risiko for vannskader i kjellere hvis ikke ledningsnettet er riktig dimensjonert. Flere kommuner bruker også en blanding av separat- og fellessystem. Dette gjør at systemet ikke utnyttes fullt ut (Lindholm et al. 2008). Ved å benytte et separatsystem muliggjør man risikoen for å feilkoble ledninger, som å koble separatsystemet til spillvannsnett.

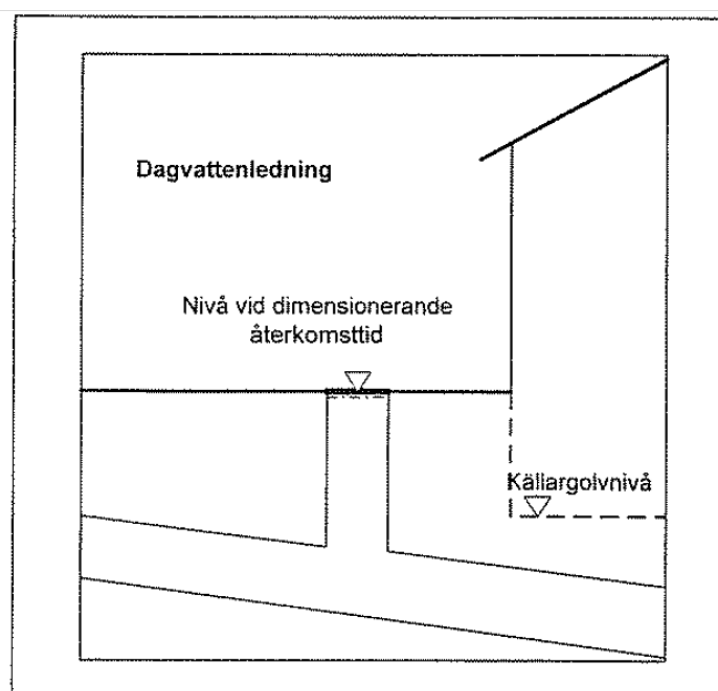


Figur 4 – Separat avløpssystem (Kilde: Svenskt Vatten 2007).

Figuren over til venstre viser et typisk separatsystem i tørrvær, mens figuren over til høyre viser systemet i løpet av et regn. Figuren viser at overvannet legger seg rundt grunnmuren til det venstre huset (Svenskt Vatten 2007).

Med økende regnmengder på grunn av klimaendringer blir utbygging av separatsystemet mer aktuelt. Men utbyggingen av separatsystemet kan være mer kostbart på grunn av det økende behovet for grøfting (som står for 90 % av kostnadene) og behovet for flere ledninger (Oddvar Lindholm 2011). Andre løsninger som kommunene ofte bruker, for å forsikre seg mot økte nedbørsintensiteter, er en øking av rørdiameteren eller økning i gjentaksintervall ved dimensjonering. Kostnadene øker med cirka 5 % ved å øke gjentaksintervallet fra to til fem år, og en

dobling i rørdiameter seksdobler kapasiteten(Lindholm et al. 2008). Det er viktig for kommuner å dimensjonere ledningsnett riktig, da de kan stå ansvarlig hvis kjellere oversvømmes.



Figur 5 – Kritisk nivå i separatsystem(Kilde: Svenskt Vatten 2004).

Figuren over viser at det kritiske nivået for oppstuvning i kum for overvannsnettet i et separatsystem er bakkenivå. *Svenskt Vatten* opererer med bakkenivå som kritisk nivå for separatsystemet, i motsetning til fellessystemet hvor kjellernivå er kritisk. Hvis det benyttes et fellessystem hvor avløp og overvann føres i samme ledningsnett må ledningsnettet dimensjoneres for større vannføringer, og det er i tillegg nødvendig å ha overløp.

Tabell 1 – Typer avløpssystem(Kilde: Svenskt Vatten 2004).

Systemtyp	Spillvatten-avledning	Dagvatten- avledning	Dränvatten-avledning	Kommentarer
Kombinerat system	Spillvattenavleds i samme ledning som dag- ochdränvatten.	Dagvattenavleds i samme ledning som spill ochdränvatten.	Dränvattenavleds i samme ledning som spill- ochdagvatten.	Totalt inneholder systemet en ledning. Brøddavloppår en nødvendig system-funksjon i komb. system
Separerte system	Duplikat-system	Spillvattenavleds i en egen ledning ev. tillsammans med dränvatten.	Sagvattenavleds i en egen ledning ev. tillsammans med dränvatten.	Dränvattenavleds i första hand tillsammans med dagvatten. I speciella fall kan dränvatten avledas tillsammans med spillvatten.
	Separat-system	Spillvattenavleds i en egen ledning, ev. tillsammans med dränvatten	Dagvattenavleds i dike eller LOD-system, ev. tillsammans med dränvatten	Dränvattenavleds antingen tillsammans med spillvatten eller tillsammans med dagvatten i dike eller egen ledning.
				Totalt inneholder systemet minst tvåledningar. Dränvatten kan avledas på olikasättäven inom ett ochsamma område. Totalt inneholder systemet en ledning samt ett dikes-system ev. inkl. LOD. Dränvatten kan avledas på olikasättäven inom ett ochsamma område.

2.4 Tiltak mot overvann

Lokal overvannsdistribusjon (LOD) går ut på å utnytte overvannet som en ressurs i stedet for å lede det rett til avløpssystemene. LOD-tiltak som ofte brukes innebærer å lede vannet fra tette flater over til områder som er tilrettelagt for infiltrering og fordrøying. Dette hjelper både på problemene med belastning på avløpssystemene, og kan bidra til å lage positive landskapselementer i urbane områder og rekreasjonsområder. Et eksempel kan være åpne vannspeil i rekreasjonsparker.

Økt urbanisering vil føre til at andelen med tette flater vil øke slik at større arealer vil bestå av veier og tak. De tette flatene har dårligere evne til å fordrøye eller forsinke vannet, derfor vil vannet renne hurtigere på overflaten ned i kummer, sluk, og ledningsnett. Dette gir en stor flomtopp, og nettet må være i stand til å håndtere mye vann på kort tid. Figuren under er et eksempel på endring i tette flater ved urbanisering og fortetting.

Tette flater i Kristiansand Lund 1962 (rød hhv fiolett) og 1998 (blå)



Figur 6 – Oversikt over endringer i tette flater for et område i Kristiansand (Oddvar Lindholm 2010).

Det er viktig å se på mulige tiltak oppstrøms, der vannføringene er små og hastighetene er lave. Det er på disse stedene det er lettest å gjøre tiltak. Vanligvis har det blitt fokusert på tiltak ved selve utløpet, der hvor vannføring er høyest og har størst hastighet. Dette kan gjøre det vanskeligere å gjøre tiltak som virker effektivt.

Det er ikke bare kommunen som trenger å stå for utbygging av lokale tiltak for overvannsdistribusjon. Mange av tiltakene kan, og bør, også gjennomføres på privat grunn. Her følger en rekke eksempler på slike tiltak nevnt i rapporten *Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering* (Lindholm et al. 2008):

- **Gresskleddede flater** kan brukes til å infiltrere vann som kommer fra takrenner. Takrenner blir ofte ført rett til avløpssystemet, og det er et enkelt tiltak å koble disse fra. Ettersom takflatene er tette og er utformet slik at vann skal renne raskt av, vil dette vannet bidra til en rask flomtopp i avløpsnett(Lindholm et al. 2008).
- **Porøse flater** kan benyttes som erstatning for asfalt. Fra bebygde områder kommer store deler av overflateavrenningen fra tette flater. Dette kan for eksempel være parkeringsplasser med asfalt. Som erstatning for asfalt kan man altså benytte et porøst dekke som slipper deler av overvannet gjennom og infiltrerer det ned i grunnen. Det har derimot vært noen problemer med at partikler tetter igjen porene, og flatene blir i praksis tette(Lindholm et al. 2008).
- **Gresskleddede forsenkninger** kan brukes ved siden av veier og lignende i boligområder for å ta unna vannet som renner på overflaten. En slik forsenkning vil infiltrere og lede bort overvannet.
- **Fordrøyningsdammer** med en permanent vannoverflate kan bidra til økt trivsel i nærmiljøet og økt biologisk mangfold, i tillegg til å bremse overflateavrenningen. Ved bygging av slike dammer er det viktig å være oppmerksom på at det kan oppstå problemer med ukontrollert algeoppblomstring. Det vil si at slike anlegg setter krav til vedlikehold og oppfølging, og det kan være nødvendig med ordninger så dammen kan tømmes for vann. Algeoppblomstring skjer når næringsrikt vann blir tilført dammen, så det kan være nødvendig å innføre et trinn med biologisk filtrering før vannet blir tilført dammen(Lindholm et al. 2008). Det er også nødvendig å utforme kantene på en slik måte at dammen ikke utgjør noe fare for de som bruker området i nærheten. Dette kan være å utforme slake kanter slik at det ikke er lett å ramle oppi dammen og det er lett å komme seg ut av den.
- **Grønne tak** kan også benyttes for å holde tilbake vann, men har begrensninger med tanke på kapasitet. De vil kunne holde tilbake mindre regn, men så fort infiltrasjonskapasiteten er nådd vil taket fungere som en tilnærmet tett flate(Lindholm et al. 2008). Grønne tak er mye brukt i Sverige og Tyskland, men har foreløpig liten utbredelse i Norge. Sedumplanter, som er den mest vanlige vegetasjonen på grønne tak, kan klare seg i lange perioder uten vann, og krever bare et dekke på cirka 3-4 centimeter(Lindholm et al. 2008).
- **Fyllingsmagasiner under bakken** brukes for å samle opp overvann. Det kan brukes steinmasse eller plastkassetter, alt etter hvilket porevolum som er ønskelig. Plastkassetter gir ofte et større porevolum enn steinmagasiner. Det er viktig at fyllingsmagasinene er plassert over grunnvannspeilet, så det ikke grunnvannet siger inn i magasinet. (Lindholm et al. 2008)

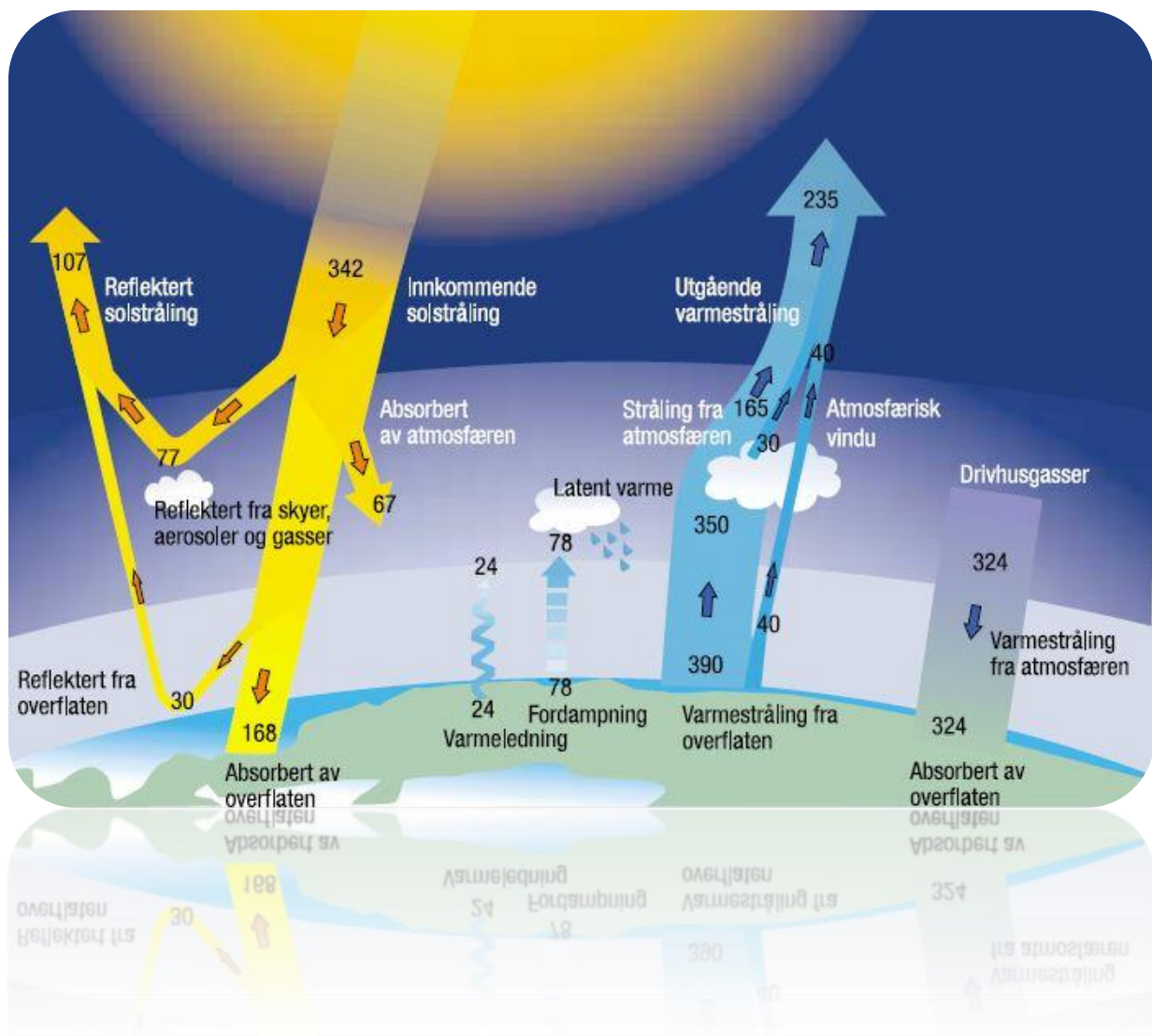
Hovedvisjonene for overvannshåndtering oppsummeres i tre punkter(Lindholm et al. 2008):

- Forebygge skader
- Utnytte overvann som en ressurs
- Styrke biologisk mangfold i bymiljøet

2.5 Klimaendringer

Klimaet på kloden har alltid variert, men de siste hundre årene har det blitt observert endringer som ikke følger de naturlige syklusene. Naturlige klimaendringer kan komme av endringer i forholdene på solen, som for eksempel solstormer, endringer i jordens bane, eller vulkanutbrudd. Selv om det er naturlige variasjoner i det globale klimaet, har endringene de siste hundre årene vært betydelige hvis de blir sett i et tusenårsperspektiv (Cicero.no 2008b). Dette kan tyde på at menneskenes levemåte har en påvirkning på det globale klimaet.

Klimaet på jorden blir drevet av drivhuseffekten, der klimagasser som vanndamp, karbondioksid, metan og lystgass, populært forklart fungerer som en "genser" for jorden. I grove trekk slipper gassene i atmosfæren den inngående strålingen fra solen igjennom og den utgående varmestråling fra jorden blir da fanget i atmosfæren. Ettersom atmosfæren absorberer varmen får man på denne måten en oppvarming. Dette er en naturlig prosess, men med påvirkning fra mennesker endres sammensetningen av gasser i atmosfæren, noe som kan forsterke effekten. Klimasystemet er komplisert og følsomt, og små endringer kan få store konsekvenser (Cicero.no 2008a).



Figur 7 – Skjematisk framstilling av den globale varmebalansen (Kilde: RegClim 2000).

2.5.1 Klimaendringer i verden

Endringer som har skjedd

I 1988 opprettet FNs miljøprogram (UNEP) sammen med *Verdens meteorologiorganisasjon* (WMO) et klimapanel kalt IPCC - International Panel on Climate Change (KLIF.no). Formålet med dette klimapanelet var å forske på tidligere og fremtidige klimaendringer. Det har de siste 100 årene blitt registrert en økning i jordas globale middeltemperatur på 0,74 grader celsius. (Johannessen, K. 2008). IPCC har kommet frem til at de observerte globale temperaturøkningene de siste 50 årene mest sannsynlig er forårsaket av utslipp fra mennesker.

Bjerkenessenteret for klimaforskning (BCCR) har laget et sammendrag fra IPCCs fjerde hovedrapport (fra 2007). Jeg synes denne oversikten er god, og vil derfor sitere den her:

- *“Den globale gjennomsnittstemperaturen fortsetter å øke. 11 av de 12 siste årene (1995 – 2006) er blant de 12 varmeste årene siden målingene startet i 1850.*
- *Temperaturen i Arktis økte nesten dobbelt så raskt som det globale gjennomsnittet de siste 100 årene.*
- *Det er meget sannsynlig⁴ at gjennomsnittstemperaturen på den nordlige halvkule i perioden 1950 – 2000 var høyere enn i noen annen femtiårsperiode de siste 500 år. Det er sannsynlig at denne perioden var den varmeste de siste 1300 årene.*
- *Hyppigheten av kraftig nedbør har økt over de fleste landområder. Hyppigheten har økt i takt med oppvarmingen og observert økning av vanndamp i atmosfæren.*
- *Gjennomsnittlig globalt havnivå steg gjennomsnittlig med 1,8 mm per år fra 1961 til 2003. Stigningen var raskere fra 1993 til 2003, ca 3,1 mm per år. Om den økte stigningen fra 1993 til 2003 reflekterer variasjoner mellom tiår eller en økning i en langsiktig trend er uklart. Den totale havnivåstigningen i det 20. århundre er estimert til 17 cm.*
- *Tap av isdekke på Grønland og i Antarktis har bidratt til havstigning fra 1993 til 2003. Økt transporthastighet i breamer på Grønland og i Antarktis bidrar til reduksjon av ismassene i det indre av isbreene og at nettovolumet av disse isbreene minker.*
- *Satellittdata siden 1978 viser at sjøisen i Arktis har minket med 2,7 % per tiår. Reduksjonen er større om sommeren med 7,4 % per tiår.”*

(Bjerknessenteret 2007)

IPCCs rapport viser også at man antar at menneskelig påvirkning de siste 50 årene har skyld i de observerte klimaendringene:

- *“Det er meget sannsynlig at menneskets utslipp av klimagasser har forårsaket mesteparten av den observerte globale temperaturøkningen siden midten av 1900-tallet.*
- *Som et resultat av menneskelig aktivitet har konsentrasjonene av karbondioksid, metan og lystgass i atmosfæren økt betydelig siden 1750. Verdiene av disse klimagassene er nå langt høyere enn førindustrielle verdier fastslått gjennom undersøkelser av kjerner av is. Den globale økningen i konsentrasjonen av karbondioksid skyldes først og fremst fossile brensler og endring i arealbruk, mens økte konsentrasjoner av metan og nitrogenoksid i første rekke skyldes landbruk.*

⁴IPCC bruker følgende definisjoner av usikkerheter: Nærmest sikkert (> 99 % sannsynlig), Svært sannsynlig (> 95 % sannsynlig), Meget sannsynlig (>90 % sannsynlig), Sannsynlig (> 66 % sannsynlig), Mer enn 50 % sannsynlig, Meget usannsynlig (< 10 % sannsynlig), Svært usannsynlig (< 5 % sannsynlig)

- *Det er sannsynlig at menneskelige årsaker har medvirkning til endringer i sirkulasjonsmønstrer i atmosfæren, med innvirkning på stormer, vind og temperatur, inkludert ekstreme temperaturer. De observerte endringene på denne nordlige halvkule er større enn det modellene viser.”*

(Bjerknessenteret 2007)

SRES

IPCC har utviklet en rekke fremtidssenarioer for hvordan temperaturutviklingen i verden vil være frem til år 2100. Disse scenarioene kommer fram i rapporten *Special Report on Emission Scenarios* (SRES). IPCC deler de forskjellige scenarioene inn i fire forskjellige hovedgrupper; A1, A2, B1 og B2. Disse fire hovedgruppene er igjen delt inn i underscenarioer. For hvert underscenario bruker man forskjellige data for forventet global populasjon, netto verdensproduksjon, teknologisk utvikling og utslipp av klimagasser. Man har da mulighet til å lage flere forskjellige scenarioer, og innen år 2000 hadde det blitt lagd 40 forskjellige scenarioer som alle er like troverdige (IPCC 2000).

De forskjellige hovedgruppene av scenarioer representerer ulik utvikling innen sosialøkonomi, teknologi, miljø og demografi, som kan bli sett på som noe positivt for noen, og negativt for andre. For eksempel tar underscenarioene av gruppe A1 for seg utviklingen av alternative energikilder (IPCC 2000). Cicero har utarbeidet en forklaring på hovedgruppene ut i fra IPCC sin *Special Report on Emission Scenarios* (SRES):

A1 er en “rik verden”, der man har rask økonomisk vekst, lav befolkningsvekst, samt hurtig introduksjon av ny teknologi, som også er mer effektiv. De underliggende faktorene er økonomisk og kulturell konvergens, og “*kapasitetsbygging med en vesentlig reduksjon i de regionale forskjeller i inntekter per innbygger* (Kolshus 2000:7)”. A1 er delt inn i tre underscenarioer, som antar forskjellig teknologisk utvikling av energikilder (IPCC 2000):

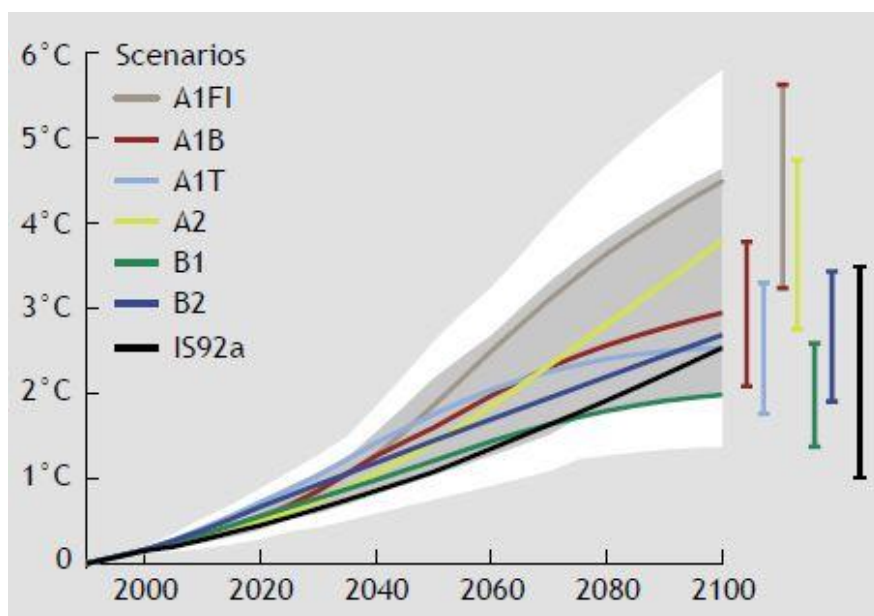
- A1F1 (overveiende bruk av fossilt brensel)
- A1B (balansert)
- A1T (overveiende bruk av ikke-fossilt brensel)

A2 er en “delt verden”, der man har høy befolkningsvekst og bekymringen for rask økonomisk utvikling er mindre. Ny teknologi vil ikke spre seg like raskt på grunn av mindre mobile mennesker, ideer og kapital. Industrien tilpasser seg den lokale ressurstilgangen, kultur og utdanningsnivå, noe som gjør at de teknologiske endringene vil skje i forskjellig fart i forskjellige regioner. Ressursintensive økonomier vil oppstå i regioner som har god tilgang på energi og mineralressurser, mens andre regioner heller “*prioriterer å redusere importavhengigheten gjennom teknologisk innovasjon og ressurseffektivisering*” (Kolshus 2000:9).

B1 er en “bærekraftig verden”. Den “*konvergerer med raske endringer i økonomiske strukturer, og introduksjon av rene teknologier*” (Kolshus 2000:9). Man legger vekt på miljømessige og sosialt bærekraftige globale løsninger. I tillegg til rask teknologiutvikling og mindre materialistisk økonomi, satser man på utjevning av ulikheter. Man ønsker å forbedre ressurseffektiviseringen, og man venter en større reduksjon økonomiens energiintensitet. Man vil ikke få hastige overganger til nye og alternative energisystemer, men bruke gass, både konvensjonell og ukonvensjonell, som en mykere overgang til mer ren teknologi (Kolshus 2000:9).

B2 er en “teknologisk skjev” verden. For økonomisk, sosial og miljømessig bærekraftighet, legger man stor vekt på lokale løsninger. Verdenen er heterogen med langsommere teknologiske endringer.

Dødeligheten og fødselsraten reduseres på grunn av utdannings- og velferdsprogrammer. Også internasjonale forskjeller og lokale ulikheter reduseres ved at det finnes et sterkt samfunnsnettverk. Mer heterogene er også innovasjoner, og den internasjonale spredningen av teknologi er svakere.



Figur 8 – Klimaprognose for de neste hundre årene ved forskjellige scenarier (Kilde: RegClim 2002).

Figuren over viser klimaprognosen for de neste hundre årene, ved forskjellige scenarier fra IPCC (Det grå feltet viser simuleringen av syv komplette scenarier). Som figuren viser gir A1-scenariene størst utslag i temperaturendringer, mens B1 og B2 er "snillere". Ut i fra beskrivelsen av scenariene er A1F1 som forventet verst, da det er antatt mye bruk av fossilt brensel.

Endringer man forventer kommer til å skje

IPCC bruker sine forskjellige scenarier for å prøve å estimere klimaet i fremtiden. En oppsummering av IPCC sine fremtidsprognoser er gitt av Bjerknessenteret for klimaforskning, og er gjengitt under:

- "Den gjennomsnittlige globale temperaturøkningen i det 21. århundre vil i henhold til ulike scenarier ligge mellom 1,1 og 6,4 °C avhengig av framtidig utslippsutvikling.
- Økningen i havnivå i det 21. århundre vil i henhold til ulike utslippsscenarioer være mellom 19 og 58 centimeter. Mesteparten av denne stigningen kommer som resultat av at havet oppvarmes og dermed utvides.
- Det er svært sannsynlig at den termohaline sirkulasjon (dypvannsdelen av Golfstrømmen) vil svekkes i løpet av dette århundret. Gjennomsnittet av modellene tilsier en reduksjon på 25 prosent ved slutten av dette århundret. Det er svært lite sannsynlig at Golfstrøm-systemet vil oppleve en plutselig endring i løpet av det 21. århundret.
- Snø- og isdekket vil reduseres ytterligere i følge alle scenarier. Arktis vil være isfri om sommeren ved slutten av det 21. århundre i følge av noen av scenariene.
- Det er svært sannsynlig at intense nedbørepisoder vil forekomme oftere, og det er meget sannsynlig at det blir mindre nedbør i Nord-Europa og sannsynligvis mindre i Sør-Europa.
- Stormbanene vil trolig fortsette å forflytte seg mot polene, noe som innebærer endringer i vind, nedbør og temperaturmønster i ikke tropiske strøk."

(Bjerknessenteret 2007)

2.5.2 Klimaendringer i Norge

For å få en bedre oversikt over effekten eventuelle klimaendringer har på forskjellige landsdeler i Norge, ble det satt i gang et forskningsprosjekt som fikk navnet RegClim, under koordinasjon av Meteorologisk institutt. Målet var å se på *”utvikling av scenarier for klimautviklingen i Norden, omliggende havområder og deler av Arktis ved global oppvarming”* (RegClim.met.no). Det var seks institutter som deltok i forskningsprosjektet RegClim:

- Metrologisk institutt
- Havforskningsinstituttet
- Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo
- Geofysisk institutt, Universitetet i Bergen
- Nansen Senteret for Miljø og Fjernmåling
- Norsk institutt for luftforskning

Fordi de globale klimamodellene fra IPCC bare gir et godt bilde over gjennomsnittlig temperatur- og nedbørsendring for *store områder*, er man nødt til å gjøre en nedskalering av de globale klimamodellene ved bruk på *mindre områder* (Johannessen, J. 2008). Fordelen ved å gjøre en nedskalering er at det gjør det mulig å ha en mer detaljert beskrivelse av hvordan fjell og kystlinjer er utformet, noe de globale klimamodellene ikke tar tilstrekkelig hensyn til. En nedskalering vil altså gi et mer riktigere bilde på klimautviklingen for de forskjellige landsdelene i Norge.

RegClim brukte to forskjellige metoder for nedskalering; *empirisk nedskalering* og *dynamisk nedskalering*. Den empiriske nedskaleringen går ut på å utvikle statistiske sammenhenger mellom forskjellige observerte klimaparametere og observerte atmosfæriske forhold. Med den dynamiske nedskaleringen anvender man en klimamodell, men man ser bare på et begrenset geografisk område omkring Norge (RegClim 2000). Selv om nedskaleringen av klimamodellene gir en bedre oversikt over forventede klimaendringer for de forskjellige landsdelene i Norge, er de fortsatt for grove for å si noe om lokale forhold.

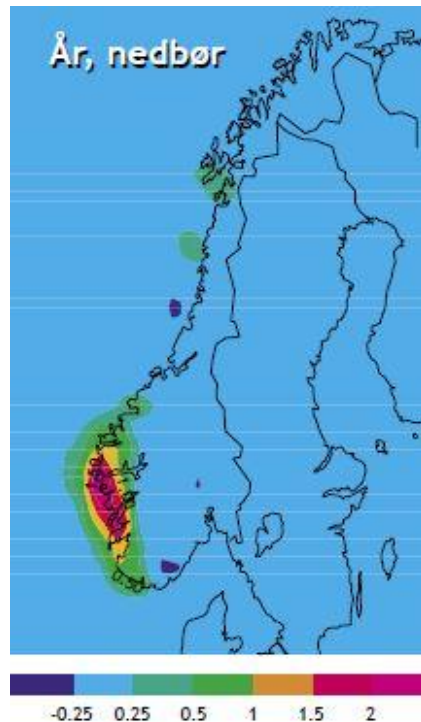
Observerte klimaendringer

I Norge ble det startet med nedbørsmålinger på slutten av 1800-tallet, i takt med utbygningen av vannkraftverkene. Siden 1900 har det blitt observert en økning i årsnedbøren på 20 % på Vestlandet. Hvis man ser på temperaturendringer fra samme periode, har det blitt registrert en økning i årsmiddeltemperaturen på 0,8 °C. Det viktig å få frem at det ikke har vært en jevn økning i årsmiddeltemperaturen, i løpet av århundret har den både steget og falt. Det samme gjelder for årsnedbøren, den økte fram til 1950-tallet, deretter avtok den fram til tidlig på 1990-tallet. Etter dette har årsnedbøren igjen økt (Hanssen-Bauer et al. 2009).

Forventede klimaendringer

RegClims simuleringer for perioden 2000 – 2050 viser at man kan forvente at nedbørsmengdene på Vestlandet, kysten av Troms, samt Finnmark vil øke med cirka 20 %, og økningen vil være størst på høsten. Man forventer at total nedbørsmengde vil øke mer enn antall nedbørsdager. Dette må bety at det er intensiteten på nedbøren som øker. Det er blant annet beregnet at det vil være en økning i hyppighet av nedbørsdager med mer enn 50 millimeter per døgn, på Vestlandet, på to dager per år (RegClim 2002). På deler av Vestlandet er det antatt at nedbøren i løpet av vinteren kan øke med opp til 40 % (Hanssen-Bauer et al. 2009).

I ulike deler av Norge kan man forvente en økning i årsmiddeltemperaturen på 0,2 – 0,5 °C. Som tabell 2 viser, vil økningen være størst på vinteren, og det er forventet at man vil oppleve en større temperaturøkning i innlandet enn ved kysten(RegClim 2000).



Figur 9 – Forventet økning i antall dager med mer enn 50mm/døgn (Kilde: RegClim 2002).

Tabell 2 – Estimert økning i temperatur og nedbør for ett bestemt scenario(Kilde: RegClim 2000).

Gjennomsnittlig temperaturendring fra perioden (1980 - 2000) til (2030 - 2050)

Område	sesong	økning (°C)
Norge	hele året	1.2
	vår (mar - mai)	1.1
	sommer (jun - aug)	0.9
	høst (sep - nov)	1.4
	vinter (des - feb)	1.6
Nord-Norge	hele året	1.6
	vår	1.4
	sommer	1.2
	høst	1.7
	vinter	2.0
Vestlandet	hele året	1.0
	vår	0.9
	sommer	0.7
	høst	1.1
	vinter	1.2
Østlandet	hele året	1.1
	vår	1.0
	sommer	0.6
	høst	1.3
	vinter	1.3

Gjennomsnittlig nedbørendring fra perioden (1980 - 2000) til (2030 - 2050)

Område	sesong	økning (mm/døgn)	økning (prosent)
Norge	hele året	0.4	9.6
	vår (mar - mai)	0.0	0.1
	sommer (jun - aug)	0.4	9.5
	høst (sep - nov)	0.9	17.1
	vinter (des - feb)	0.4	9.4
Nord-Norge	hele året	0.3	7.8
	vår	0.2	5.0
	sommer	0.1	1.5
	høst	0.8	18.2
	vinter	0.2	5.2
Vestlandet	hele året	0.8	13.5
	vår	0.1	1.2
	sommer	1.0	18.2
	høst	1.5	23.5
	vinter	0.6	9.3
Østlandet	hele året	0.2	4.3
	vår	-0.1	-4.1
	sommer	0.1	1.7
	høst	0.3	6.9
	vinter	0.4	13.1

Usikkerhet

Det er forbundet en del usikkerhet til de globale klimamodellene. Det er mange variable og det er vanskelig å forutsi hva som vil skje i fremtiden. De eneste mulige antakelser vil være økt befolkning og hvor stor mengde ppm⁵ CO₂ det vil være i atmosfæren. Dette er bare to av en mengde variabler som spiller inn på klimaet, og dette gjør det ekstremt komplisert og usikkert å komme med spådommer om hvordan klimaet på jorden vil være om 50 eller 100 år. Som kilder til usikkerheter i de globale klimamodellene nevner IPCC følgende:

- *”Forskjellen mellom økt lufttemperatur beregnet på bakken og økt temperatur beregnet opp til 8 km over bakken er mindre enn det målingene for de siste 30 årene viser.*
- *Tilfeldige naturlige klimavariasjoner er usikkert reprodusert.*
- *Beregnete klimaendringer på grunn av strålingspådriv fra partikler i atmosfæren (aerosoler) er svært usikre.*
- *Realismen i beregnet transport av varme ned til store havdyp er svært usikker.*
- *Klimaendringer beregnet som følge av gitte strålingspådriv varierer betydelig.”*

(IPCC, her referert til av RegClim 2002)

IPCC nevner også at det er usikkert om en global oppvarming blir dempet eller forsterket av skyer. Skyene både reflekterer sollys og gir en økt drivhuseffekt. Andre problemer med IPCC sine modeller er at de fungerer dårlig nord for 60°N, muligens fordi sjøisen, som reflekterer mye sollys, reagerer raskt på endringer. Dette fører til at man får sprikende resultater(RegClim 2002).

Det er også usikkerhet knyttet til nedskaleringen av klimamodellene. RegClim ser på klimaendringer over større landsdeler, og modellene blir derfor for grove for å spå noe detaljerte endringer i regn i slike små felt som Bogafjell.

2.6 Modeller

2.6.1 Hydrologiske modeller

For å kunne beskrive det hydrologiske systemet er man nødt til å bruke modeller. Det finnes to ytterpunkter for hydrologiske modeller(Sælthun 2001):

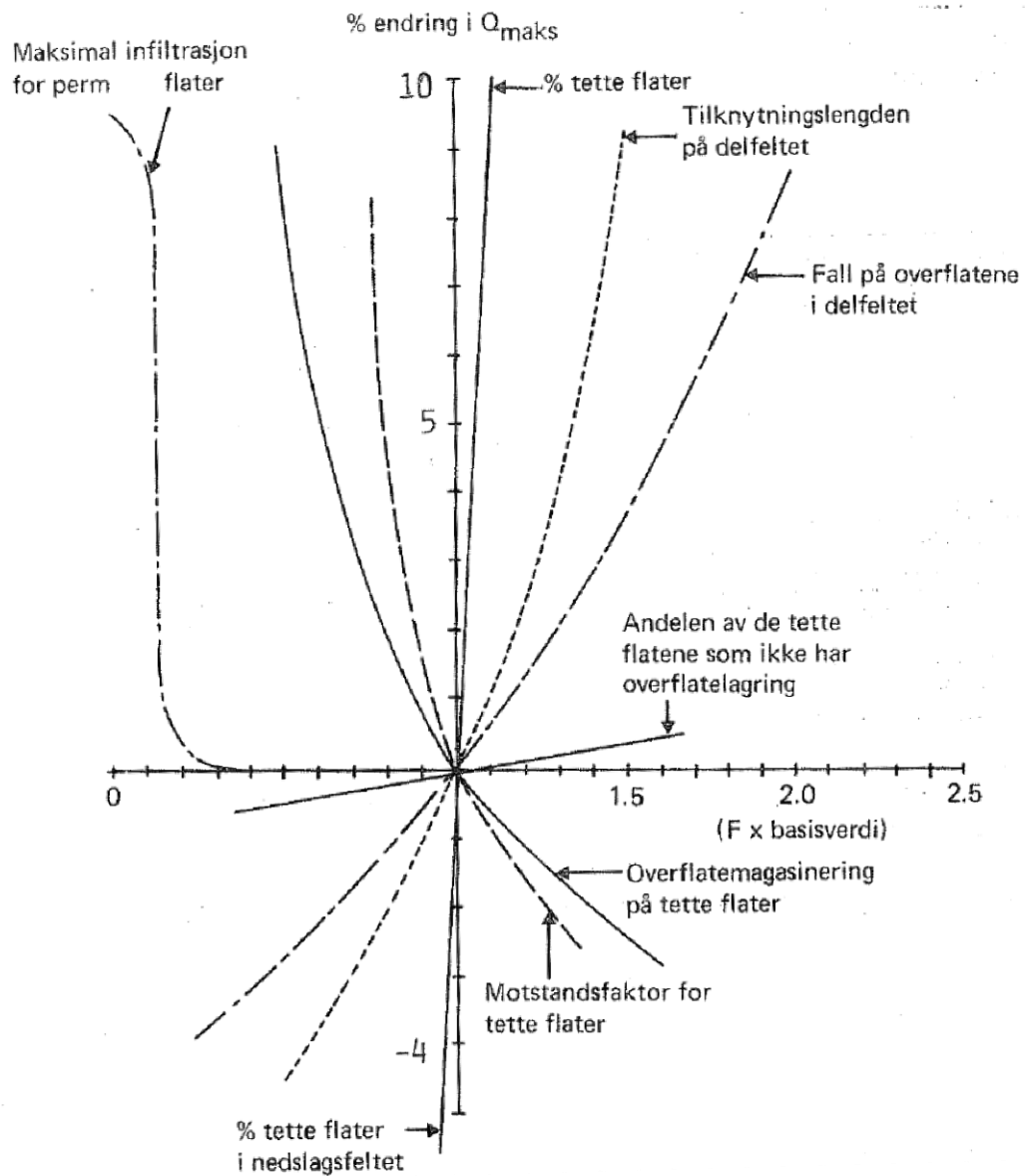
1. De **fysikalske modellene** baserer seg på kunnskap om de prosessene som inngår i det systemet man ønsker å beskrive. Disse modellene består for det meste av partielle differensialligninger som beskriver sammenhenger i masse- og energi transport.
2. **Systemanalytiske modeller** baserer seg på å etablere sammenhenger mellom inn- og utdata i det hydrologiske systemet. Disse modellene kalles ofte for **”black box”-modeller**, da det ikke blir gjort noe forsøk på å beskrive det som skjer ”inne” i modellen, bare basering på empiriske sammenhenger.

De to modellene som er nevnt over er altså to ytterpunkter, så de fleste hydrologiske modeller befinner seg på en glidende skala mellom disse ytterpunktene, blant annet MOUSE-modellen, som benytter seg av kunnskap om systemet, og inn- og utdata blir brukt for å kalibrere og forbedre modellen. Det er viktig å ikke glemme at en modell av virkeligheten aldri vil være helt riktig(Sælthun 2001).

⁵ Parts per million

2.6.2 Følsomhet i parametere

For å få en oversikt over hvordan modellen reagerer på endring i forskjellige parametere er det nødvendig å gjøre en følsomhetsanalyse. Ved å endre på forskjellige parametere og sjekke hvordan resultatene endrer seg kan man danne seg et bilde om hvor sensitiv modellen er til endringer. Figur 10 er et eksempel som viser følsomheten i Q_{maks} ved endring av forskjellige parametere for en modell i NIVANETT⁶. Noe liknende vil jeg forsøke å gjøre i denne oppgaven.



Figur 10 – Q_{maks} for overflatemodellen i NIVANETT (Kilde: NIVA 1986).

⁶ Norsk modell for simulering av avrenning fra korttidsnedbør, strømning i avløpsnett og overløpsutslipp. Modellen benytter seg av kinematisk bølge, som gir visse begrensninger (KLIF.no 1995).

2.6.3 MOUSE

MOUSE er en beregningsmotor i dataprogrammet MIKE URBAN. Dette verktøyet er én av de to verktøyene jeg vil bruke i mine simuleringer. MOUSE er forkortelse for *Modeling of Urban Sewers*, og er et dataprogram laget for Windows. Programmet blir brukt for å simulere ledningsnett, avrenning, kanalstrømning og vannkvalitet i urbane miljøer. MOUSE ble utviklet av *DHI Water, Environment and Wealth* i 1986. Programmet inneholder flere forskjellige moduler(DHI 2009c):

- Mouse Runoff - Modell for avrenning på overflaten for urbane nedbørsfelt
- Mouse Pipe Flow (HD) - modell for hydrodynamisk nettverk
- Mouse RDI - modell for kontinuerlig simulering
- Mouse RTC - modell for "Real time controls"
- Mouse LTS - Simulering av tidsserier
- Mouse TRAP - undermoduler av TRAP
 - Mouse SRQ - akkumulering av forurensning og transport på overflaten av nedslagsfelt
 - Mouse AD - forurensning adveksjon-dispersjon i dreneringsnettverk
 - Mouse WQ - vannkvalitet i dreneringsnettverk
 - Mouse ST – Transport av sedimenter i dreneringsnettverk

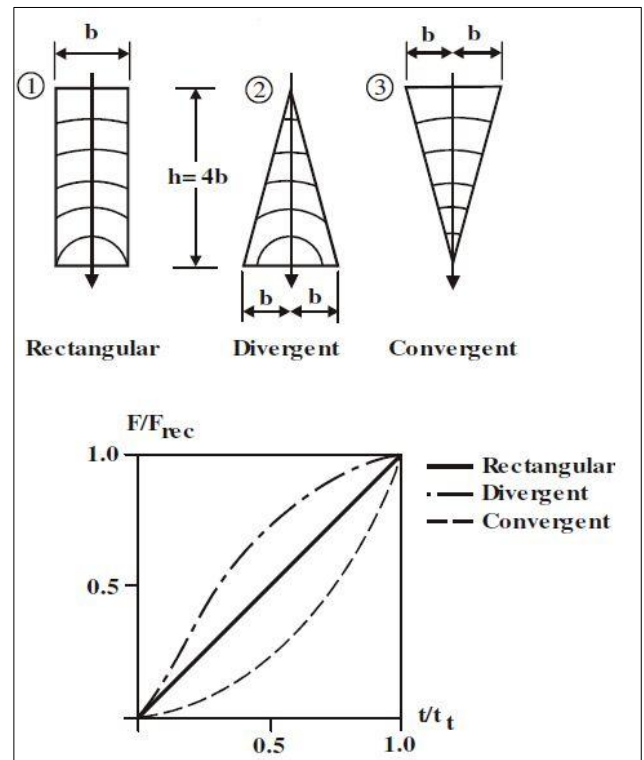
Mouse Runoff

Runoff-modulen i MOUSE beregner avrenningen på overflaten. Resultatene fra Runoff-modulen blir brukt som input i Pipe Flow (HD)-modulen. MOUSE har tre forskjellige måter for å beregne denne avrenningen som brukeren kan velge mellom. Disse er:

1. Tid/areal
2. Ikke-lineært reservoar
3. Lineært reservoar

Tid/areal-metoden er den metoden som er mest brukt i Norge, og den antar at et regn faller jevnt over et område. Det er tre standardkurver for tid/areal-metoden som ligger i MOUSE; *lineær*, *divergent* og *konvergent*. Hvilke av disse som bør bli brukt avhenger av responsen i nedbørsfeltet(DHI 2009d).

Da DHI lagde kapasitetsanalyse av overvannsnett i Bogafjellfeltet, var det tid/areal-metoden som ble brukt. Konsentrasjonstiden ble satt til en konstant verdi (syv minutter), som vil si at et lineært kar ble brukt(Vike 2010). Ettersom jeg vil bruke den samme modellen vil disse verdiene også gjelde for mine simuleringer og analyser.



Figur 11 – Forskjellige kurver for avrenning ved bruk av tid/areal-metoden(Kilde: DHI 2009d).

Mouse Pipe Flow (HD)

Pipeflow-modulen i MOUSE kan løse hele *Saint Venants* ligning, som tar for seg dynamisk strømning. Denne gir mulighet for modellering av oppstuvninger i kummer, tilbakestrømningseffekter, reversert strømning, utjevningssjø, strømninger med fri overflate eller under trykk og tidevannseffekter. Med de avanserte formlene som er brukt til beregning i PipeFlow-modulen er det mulig å beregne hvor mye vann som går i overløp. Følgende er *Saint Venants ligning*⁷, som brukes for beregning av dynamisk bølge(DHI 2009a):

$$Q = A \times R^{0,5} \left(\frac{8g}{f} \right)^{0,5} \times \left(I_b - \frac{\partial y}{\partial x} - \frac{u}{g} \frac{\partial u}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial u}{\partial t} \right)^{0,5}$$

Det er også mulig å velge rørsimulering med kinematisk og diffusiv bølge i modulen. Da vil bare deler av *Saint Venants* ligning bli brukt, og man vil ikke få riktige beregninger av oppstuvningsnivå. Fordelen ved å bruke kinematisk bølge er kortere simuleringstid(DHI 2009a).

Pipe Flow-modulen kan beregne strømning i flere forskjellige utforminger av rør, som for eksempel *eggformede, danske eggformede, rektangulære, naturlige kanaler og sirkulære rør*. I mine simuleringer vil bare sirkulære rør benyttes.

Mouse RDII

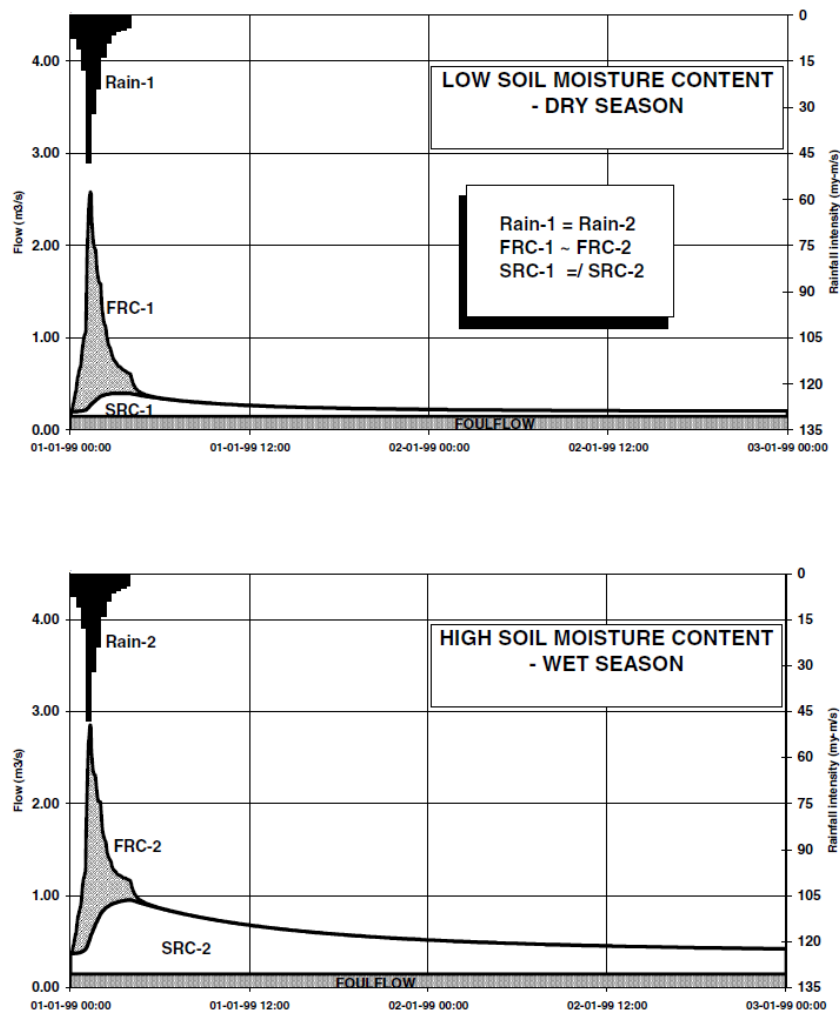
Hvis man ser på de virkelige strømningsforholdene i avløpssystemene, overstiger flomtoppene det som kan forklares som avrenning fra tette flater i nedbørsfeltet. Grunnen til dette er at tilstanden i det hydrologiske systemet har stor innvirkning på avrenningsforholdene. Dette kommer av noe som kalles *Rainfall Induced Infiltration* (RDI), som vil si at infiltrasjonen er avhengig av de hydrologiske forholdene i feltet. Slike forhold kan for eksempel være grunnvann, frost og annet vann som allerede befinner seg i systemet(DHI 2009b).

MOUSE behandler deler av infiltrasjon på samme måte som tilsig til nettet. Det er derfor nødvendig å lage en klassifisering for å skille mellom rask og treg respons. Denne oppførselen beskrives ved:

- FRC – Fast Response Component
- SRC – Slow Response Component

Det som kjennetegner FRC-komponenten er at den ikke blir påvirket av den tidligere hydrologiske situasjonen som høy eller lav fuktighet i bakken. SRC er i motsetning til FRC avhengig av tidligere hydrologiske forhold, og reagerer derfor tregere ved nedbør(DHI 2009b).

⁷ Q er vannføring (m³/s), A er strømningstverrsnitt (m²), Y er vanndybden (m), g er tyngdens akselerasjon (m/s²), x er avstanden langs ledningen (m), I_b er bunnhellingen (m/m), t er tid (s)
R er hydraulisk radius (m), U er vannhastigheten (m/s), f er friksjonskoeffisienten.

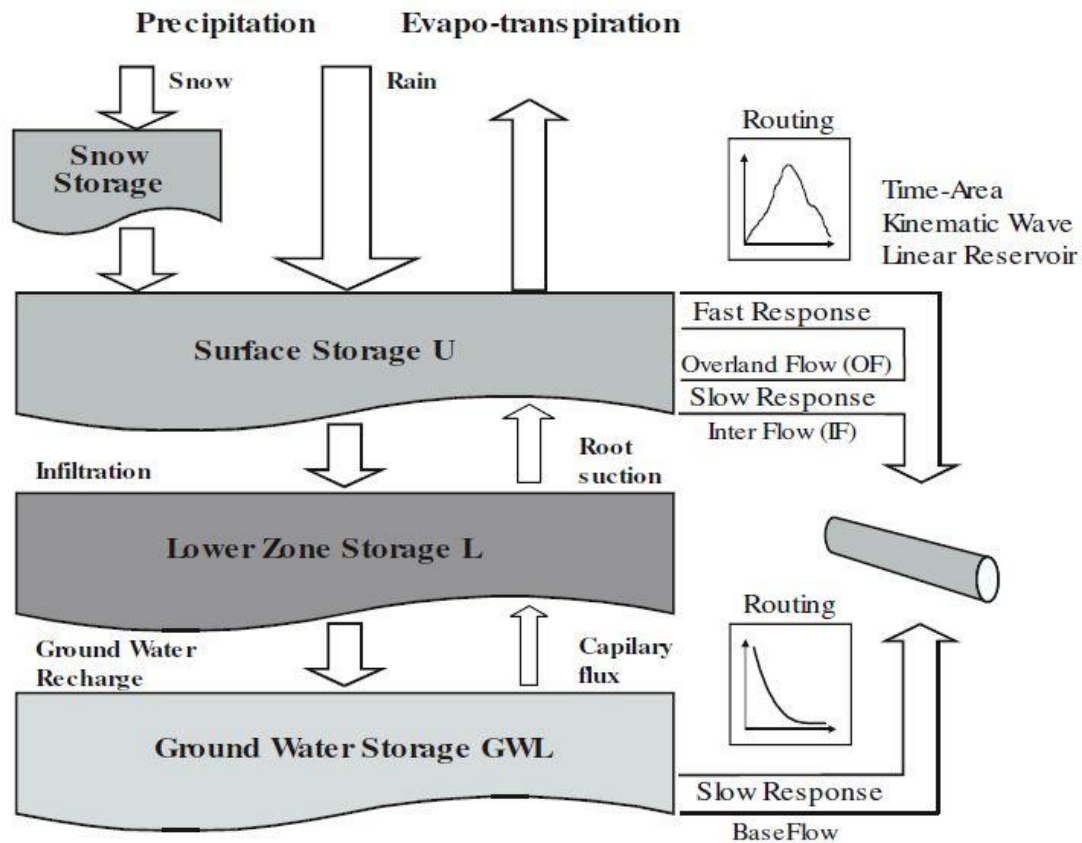


Figur 12 – Figuren "Example of the effect of high or low soil moisture content on the generated discharge hydrograph" fra DHI (Kilde: DHI 2009b).

Grafene i ovenfor viser hvordan SRC-komponenten fungerer. Den nederste grafen viser at med høyt fuktighetsnivå i jorden vil avrenningen øke. Dette er fordi de permeable flatene vil fungere som delvis tette flater når de mettes. Når man sammenligner de to grafene ser man også at flomtoppen blir større, selv om den raske avrenningen (FRC) og regnet er det samme. Dette viser hvilken betydning SRC-komponenten har for volumet som går gjennom modellen.

RDII-modulen består av en blanding av fysiske og empiriske ligninger. Strukturen av modellen er en forenklet beskrivelse av det hydrologiske kretsløp på land, og vises i figuren under. Modellen tar for seg fire forskjellige magasin(DHI 2009b):

1. Snølagring
2. Overflate
3. Rotsone
4. Grunnvannsone



Figur 13 – Skjematisert fremstilling lagringsmagasinene i MOUSE-modellen (Kilde: DHI 2009b).

Mouse LTS

Mouse LTS⁸-modulen brukes ved beregning av lange kontinuerlige tidsserier. Perioder med regn blir automatisk valgt for simulering av strømninger i ledningsnett, som fører til en signifikant reduksjon i simuleringstid. Denne funksjonen vil jeg ikke bruke i mine undersøkelser fordi jeg ikke vil kjøre noen tidsserier, bare enkelthendelser (10-, 30- og 60-minutters regn).

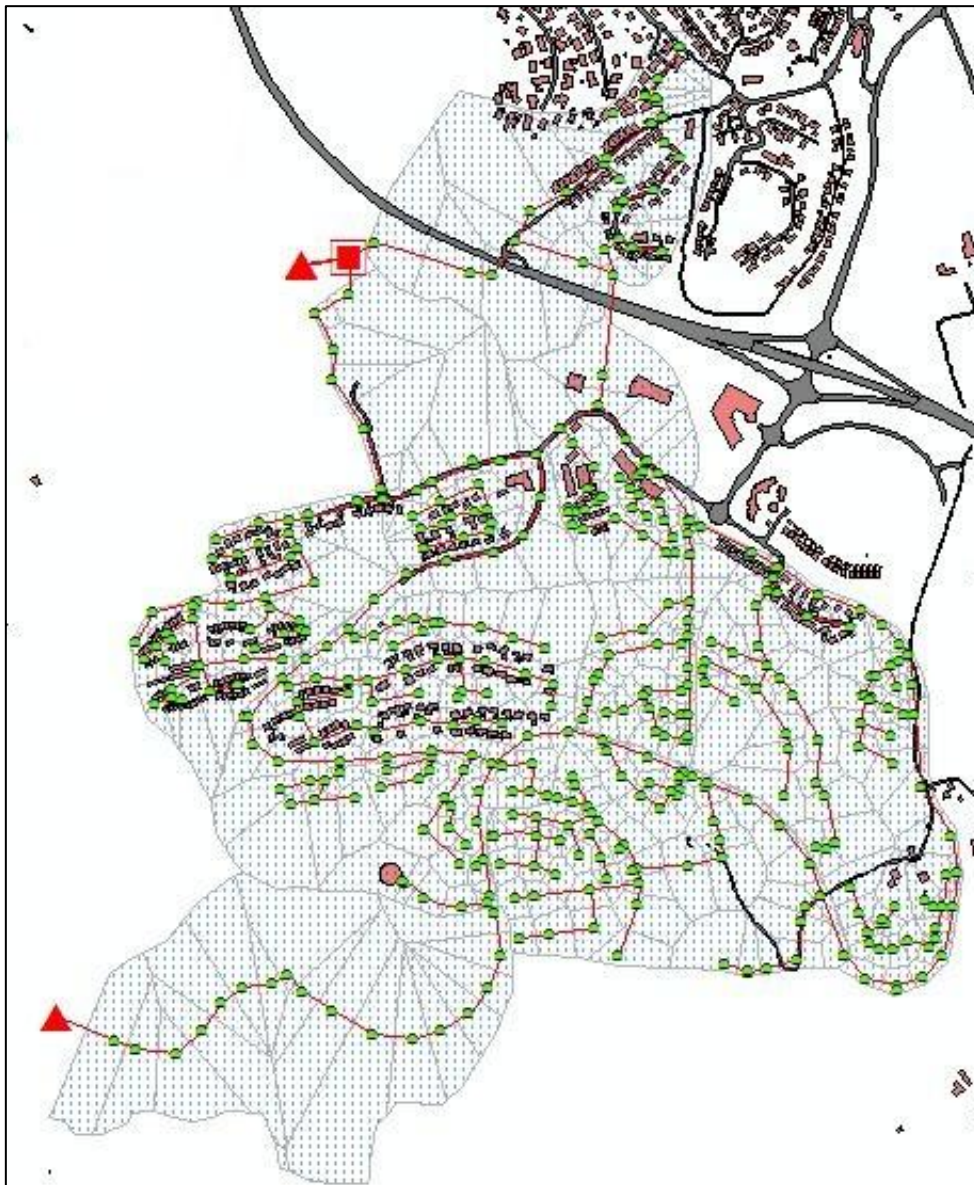
2.6.4 ROSIE

ROSIE er den andre av de to dataverktøyene jeg vil bruke for å simulere regn i denne oppgaven. ROSIE utviklet i Norge av ROSIM AS som integrerer MOUSE-modellene inn i et GIS-miljø. Siden modellen blir kombinert med GIS vil det kunne lastes inn datalag for blant annet bygningsmasser og veier. Det er derfor lettere å gjøre endringer i typer av tette flater. For eksempel kan takflatene enkelt endres hvis tiltak som å koble takrenner fra overvannsnett skal simuleres. Det er også mulig å laste inn data for vannlinjer, terrenglinjer med mer. Andre funksjoner som også er implementert i ROSIE, er muligheter for å se lengdeprofiler av ledningsnett, oppstuvning i kummer og fyllingsgrad i rør.

⁸ Long Term Statistics

Modellen som har blitt laget av DHI er ukalibrert. Dette betyr at modellen ikke er tilpasset virkeligheten. Når en modell blir kalibrert, blir simulert data tilpasset verdier som er målt i virkeligheten. Som nevnt har ikke Sandnes kommune noen data for avløpsmengder, så det vil ikke være mulig å sammenligne simulert avrenning med virkelig avrenning.

Under er en oversiktsillustrasjon over nedbørsfeltet i ROSIE. De mørkegrå områdene viser veiarealer, og lyserødt bygningsmasser. De røde trekantene illustrerer utløp, og den røde firkanten er fordrøyningsbassenget. Det grå skraverte området er mindre delfelt som nedbørsfeltet er delt inn i. Av illustrasjonen kan man altså se at store deler av nedbørsfeltet mangler data for bygningsmasse og veier.



Figur 14 – Illustrasjon av nedbørsfeltet i ROSIE(Kilde: egen ROSIE-modell).

Kapittel 3 – Simulering av regn



3.1 Forutsetninger for simuleringene

3.1.1 Generelle forutsetninger og forklaringer

Heldigvis hadde jeg bestemt meg for å kjøre noen testsimuleringer før jeg startet det egentlige arbeidet, for jeg oppdaget blant annet at “shape”-filene jeg fikk fra Sandnes kommune var ikke oppdatert med de nyeste bygningsmassene eller veier som er bygget i den siste tiden. Derfor ble andelen tette flater for cirka halvparten av delfeltet feil. Hele 233 delfelt hadde en prosentandel med permeable flater på 100 %. Dette ga for snille resultater ettersom for få tette flater bidro til avrenning. For å få modellen riktigst mulig uten å endre alle delfeltene manuelt, må jeg derfor sette alle tette flater til “veiearealer”. Dette gjør at en av de store fordelene med ROSIE (å kunne skille typer av tette flater, og dermed også se forskjellene i avrenning fra forskjellige typer tette flater – noe som vil gi riktigere utgangspunkt for vurdering av tiltak) ikke blir unyttet.

For simulering av historiske regn brukte jeg regndata for målestasjonen Rovik i Sandnes. Denne stasjonen har målinger med minuttsopløsning fra 1974 og frem til 2008. Det har derimot ikke vært målinger kontinuerlig i denne perioden, det mangler data for årene 1978, 1979, 1982, 1983, 1988, 2004, 2005, 2006 og 2007. Dette betyr at det er hele ni år i tidsperioden det ikke finnes data for. Det er en tidkrevende prosess å gå gjennom regndataene for å finne de største regnene, og jeg vil derfor bruke et MATLAB-script for å velge ut de største regnene for hvert år, etter forskjellige valgte kriterier. Jeg kjørte scriptet tre ganger (etter kriteriene 60 minutters, 30 minutters og 10 minutters regn), og får da valgt ut de største regnene med slike varigheter for hvert av årene. For å begrense mengden av simuleringer, vil jeg etter dette manuelt plukke ut de fire største regnene for hver av varighetene. Da sitter jeg altså igjen med til sammen tolv regn. For regnene med varighet på ti minutter legger jeg til et forregn på opptil 60 minutter og et etterregn på 50 minutter, dersom disse eksisterer i regndataene.

Konsentrasjonstiden for hele feltet er grovt beregnet til å være på 38 minutter. Den lengste veien vannet renner, er cirka 2800 meter. Hastigheten i rørene blir estimert til 1,5 meter per sekund. Dette gir grunnlaget for beregning for konsentrasjonstid:

$$\text{Konsentrasjonstid} = \frac{\frac{2800m}{1,5m/s}}{60} \approx 38 \text{ minutter}$$

Konsentrasjonstiden ned til de fleste flaskehalsene i systemet ligger på mellom 10 og 15 minutter. Dette er grunnen til at historiske regn med varighet på 10, 30 og 60 minutter har blitt valgt ut til simulering.

Andre innstillinger som jeg setter i programmet før simulering er blant annet *reduksjonsfaktoren*. Jeg velger denne til å være 0,9. Dette vil si at jeg antar at 90 % av de tette flatene er koblet direkte til ledningsnett. En studie fra Bergen kommune viser også at opp til 15 % av tette flater som kommunen trodde var tilknyttet ledningsnett, egentlig ikke var tilknyttet i det heletatt (Flatin, A. 1986 (Feltdokumentasjon, dataanalyse, modellanvendelse og vannføringsmålinger, NTH), her referert til av *Oddvar Lindholm* 2011). *Konsentrasjonstiden* som DHI har satt for hvert delfelt er syv minutter. Jeg antar videre et initialtap på 0,6 millimeter på grunn av “fukting” av tette flater. DHI bruker dette i sine simuleringer av Bogafjellfeltet (Vike 2010).

De utvalgte 10-minuttersregene og alle de konstruerte hyetogrammene vil jeg gange med prosentsatsene 10, 20, 30, 40 og 50 slik at de kan gjenspeile estimerte fremtidige klimaendringer. Ettersom det er stor usikkerhet knyttet til forventet økning i regnintensitet, har ikke norske

myndigheter kommet med noe anbefaling for hvor stor slik økning man bør ta høyde for. Svenske myndigheter anbefaler å dimensjonere for en økning i regnintensiteter på 50 % (Miljødepartementet 2007). Ettersom jeg kommer til å kjøre modellen med fem forskjellige tillegg for klimaendringer vil jeg kunne få oversikt over hvor sensitiv overvannsmodellen vil være til økte regnmengder.

3.1.2 Tid-areal metoden

I denne oppgaven har jeg bare brukt tid/areal-metoden. Grunnen til dette er at modellen som ble tilsendt meg fra DHI ikke har noe RDI-data. Dette vil si at bare arealer med tette flater bidrar med overflateavrenning, og det blir ikke tatt hensyn til eventuell metning av permeable flater eller til grunnvannstanden. På grunn av de manglende RDI-dataene vil jeg ikke kjøre tidsserier for langtidssimulering, og det er heller ikke mulig for meg å lage en "hotstartfil" som blir riktig.

Tid/areal-metoden kan bruke forskjellige kurver for å beskrive hvordan avrenningen er for forskjellige delfelt. Avrenningen i denne oppgaven antar jeg som *lineær* (ettersom dette er hva DHI har brukt i sine simuleringer), som vil si at feltet blir antatt som et *rektangulært* felt. Også i følge Geir Lindholm hos *Rosim AS* er delfeltene i modellen så små at det er rimelig å anta at de er tilnærmet lik rektangulære (Geir Lindholm 2011). Det vil også kreve mye arbeid å klassifisere og endre innstillingene for hvert av de 420 delfeltene.

3.1.3 Kumegenskaper

Det er flere innstillinger for hvordan kummene skal oppføre seg under simulering av regn. Som standard er kummene i modellen satt til "*normal*". Dette vil si at om det oppstår oppstuvninger høyere enn *topp kum*⁹ vil vannet legge seg i et magasin som har et areal som gradvis blir 1000 ganger større enn arealet til de gjeldene kummen (DHI 2009a). Vannet vil da renne tilbake i kummen når vannivået i overvannsnettet synker. Betydningen av dette er at alt vann blir holdt i modellen og ingenting forsvinner ut.

De andre innstillingene for kummer er "*spilling*" og "*sealed*". Når kummene er satt til "*sealed*" vil det si at det ikke renner noe vann ut av kummene, og det vil bygge seg opp et trykk i systemet. Kummer som derimot er satt til "*spilling*" slipper ut alt vannet som går over *topp kum*. Dette vannet forsvinner ut av systemet og kommer ikke tilbake. I denne oppgaven vil jeg mest bruke innstillingen "*normal*" på kummene. For de konstruerte regnene vil jeg gjøre en sammenligning mellom "*spilling*" og "*normal*" i innstillingene for kummene.



Figur 15 – Fotografi tatt i cirka nordvestlig retning fra toppen av Bogafjell (Fotograf: Ivar T. Haga).

⁹ Uttrykkene "*topp kum*", "*toppen av kummen*" og "*bakkenivå*" vil jeg bruke synonymt i denne oppgaven.

3.2 Valg av historiske regn

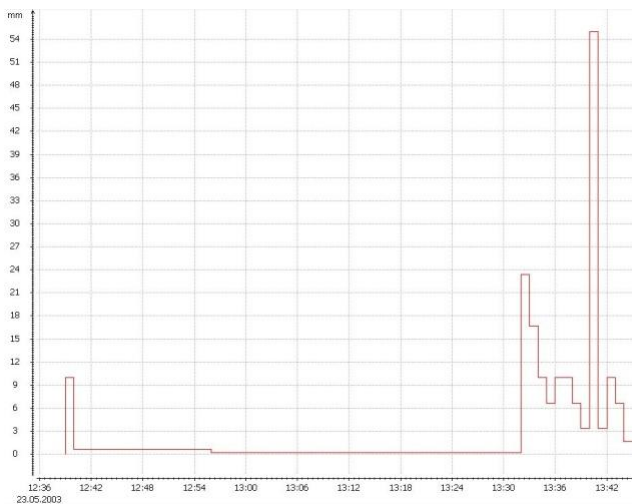
Oversiktene under (kapitlene 3.2.1 til 3.2.3) viser hvilke fire regnhendelser jeg har valgt for hver regnvarighet. Det er altså disse jeg vil legge til grunn i mine simuleringer. De grafiske sammenlikningene kan ses i større detalj i vedleggene A til C, i tillegg til de grove skissene under.

3.2.1 Regn med varigheter på 10 minutter, med forregn og etterregn

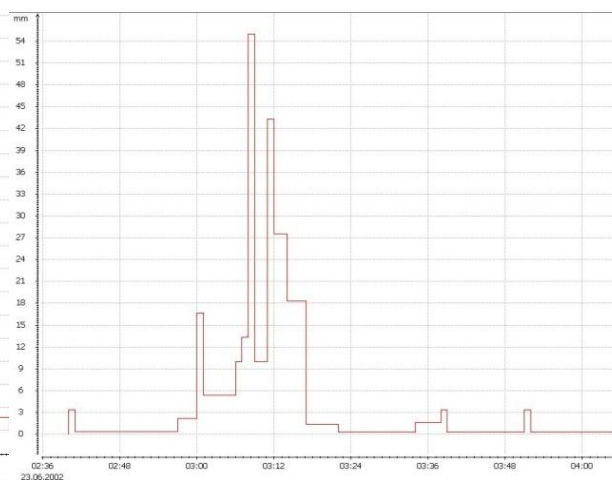
Tabellen under viser de fire største regnene med varighet på 10 minutter. Jeg har lagt til et forregn på inntil 60 minutter og et etterregn på inntil 50 minutter. Figurene under viser regnforløpet for de forskjellige regnene. Y-akse viser $\mu\text{-m/s}$ (mikrometer per sekund) og x-akse viser tidspunkt for regnet.

Tabell 3 – De fire største regnene med varighet på 10 minutter inkl. forregn og etterregn.

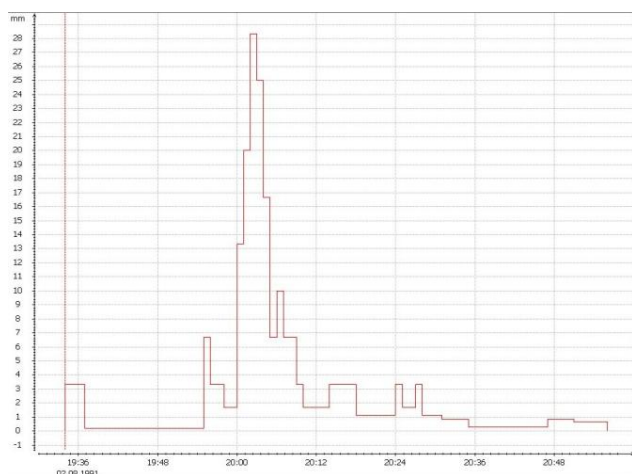
År	Måned	mm	Toppintensitet (l/s * ha)	Gjentaksintervall
2003	5	9,3	550	5 – 10 år
2002	6	15,1	550	100 år
1991	8	8,4	283	2 – 5 år
1980	6	11,3	400	10 – 20 år



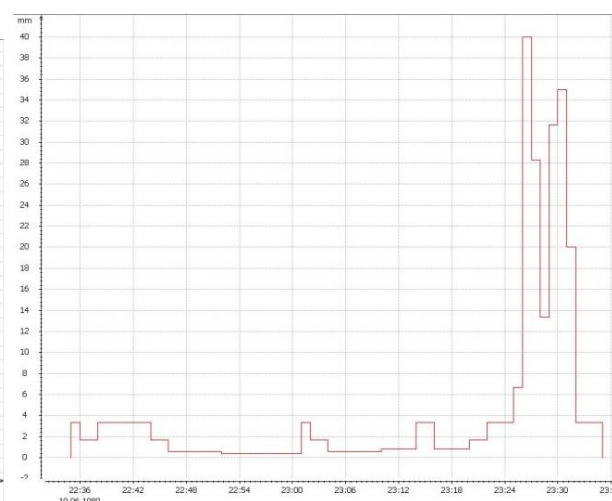
Figur 16 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 23.5.2003, med forregn og etterregn.



Figur 17 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 23.6.2002, med forregn og etterregn.



Figur 18 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 2.8.1991, med forregn og etterregn.



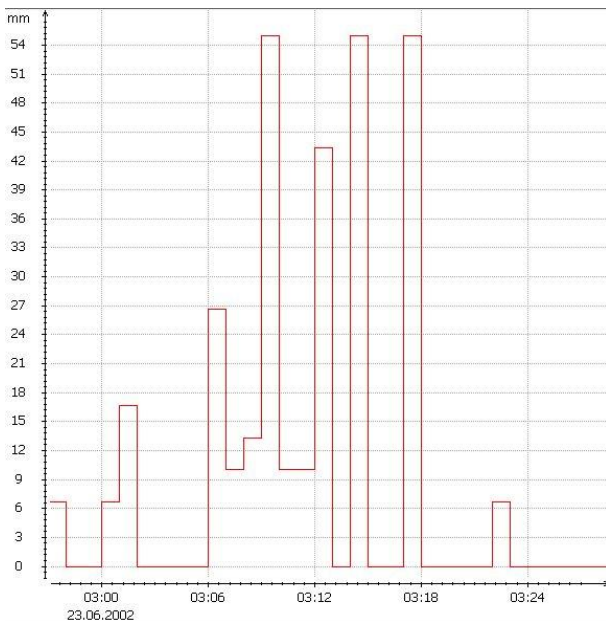
Figur 19 – Grafisk fremstilling av 10-minuttersregnet den 10.6.1980, med forregn og etterregn.

3.2.2 Regn med varigheter på 30 minutter

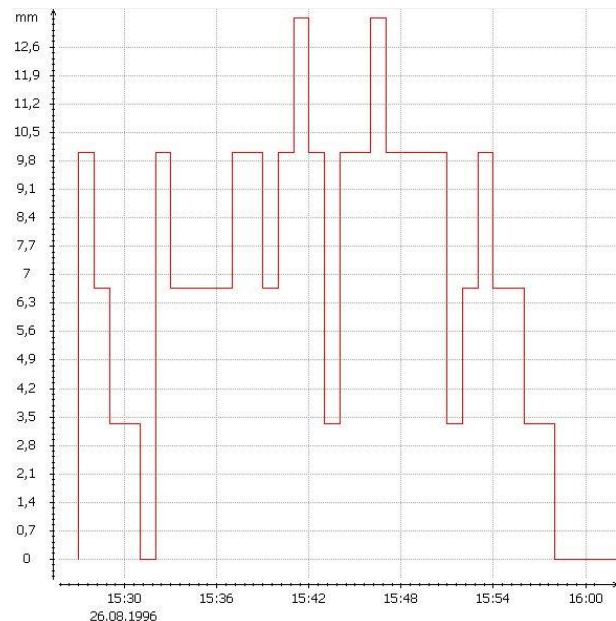
Tabellen under viser de fire største regnene med varighet på 30 minutter, og som man ser skiller regnet i 2002 seg ut. Figurene under viser regnforløpet for de forskjellige regnene. Y-akse viser mm/s og x-akse viser tidspunkt.

Tabell 4 – De fire største regnene med varighet på 30 minutter.

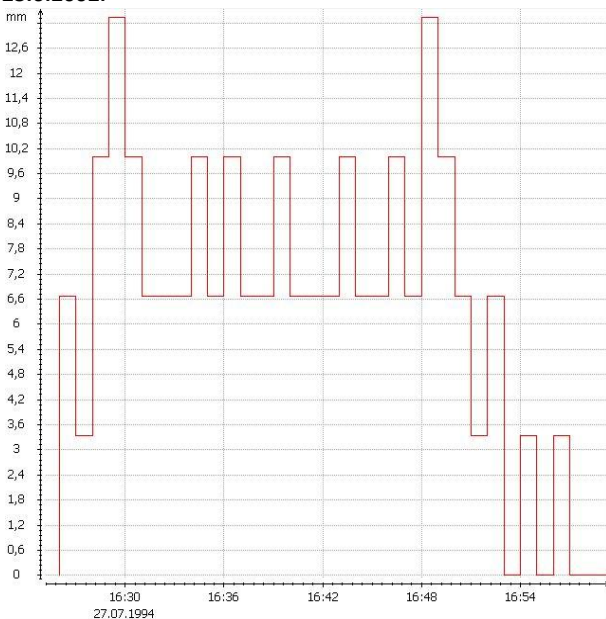
År	Måned	mm	Toppintensitet (l/s * ha)	Gjentaksintervall
2002	6	18,9	550	50 – 100 år
1996	8	14,2	133	5 – 10 år
1994	7	13,2	133	5 – 10 år
1990	8	13,7	250	5 – 10 år



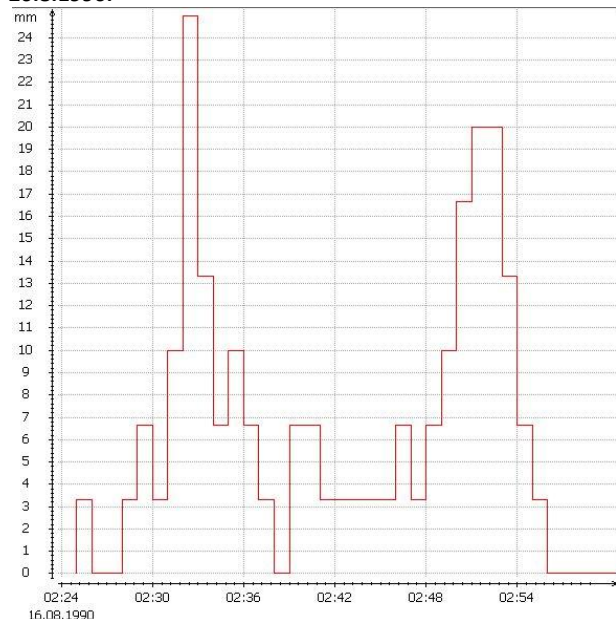
Figur 20 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 23.6.2002.



Figur 21 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 26.8.1996.



Figur 22 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 27.7.1994.



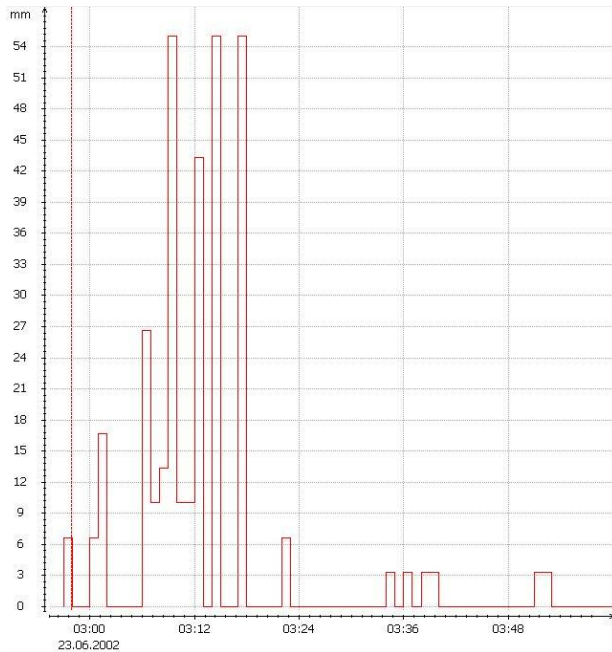
Figur 23 – Grafisk fremstilling av 30-minuttersregnet den 16.8.1990.

3.2.3 Regn med varigheter på 60 minutter

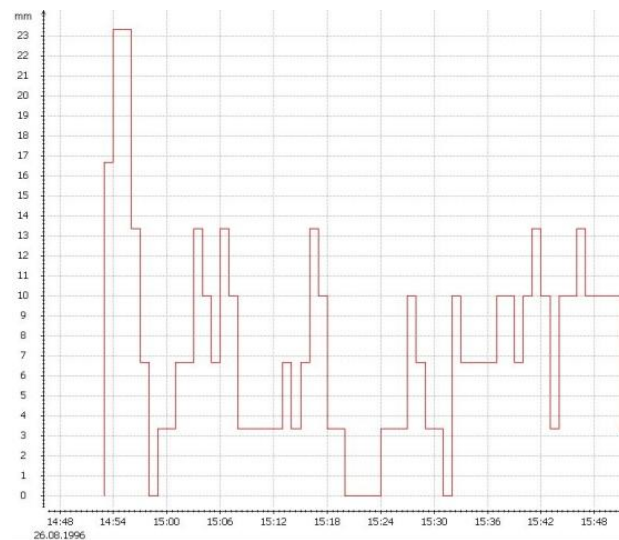
Tabellen under viser de fire største regnene med varighet på 60 minutter. Figurene under viser regnforløpet til regnene. Y-akse viser mm og x-akse viser tidspunktet.

Tabell 5 – De fire største regnene med varighet på 60 minutter.

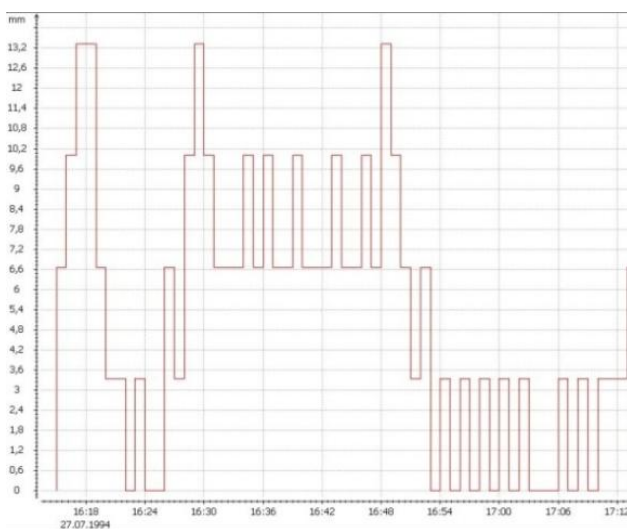
År	Måned	mm	Toppintensitet (l/s * ha)	Gjentaksintervall
2002	6	20,10	550	10 – 20 år
1996	8	26,80	233	50 – 100 år
1994	7	19,00	133	5 – 10 år
1990	8	17,30	250	5 – 10 år



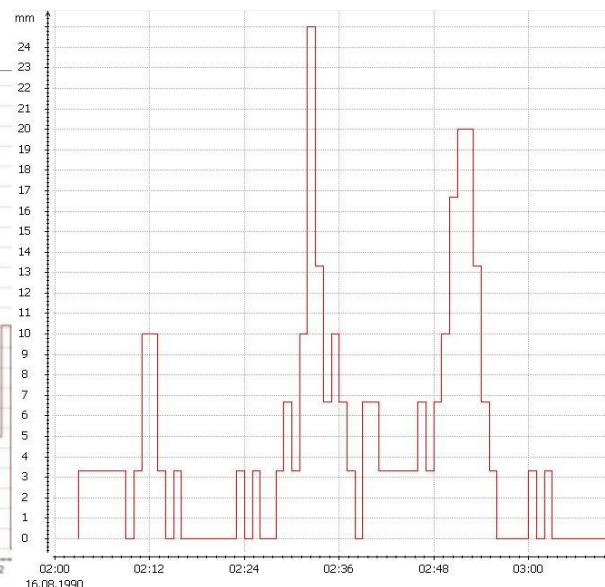
Figur 24 – Grafisk fremstilling av 60-minuttersregnet den 23.6.2002



Figur 25 – Grafisk fremstilling av 60-minuttersregnet den 26.8.1996.



Figur 26 – Grafisk fremstilling 60-minuttersregnet den 27.7.1994.



Figur 27 – Grafisk fremstilling av 60-minuttersregnet den 16.8.1990.

3.3 Regnhyetogrammer med og uten tillegg for klimaendringer

For å simulere hva som skjer ved store regnhendelser er det lettere å konstruere et regn i stedet for å bruke en tidsserie. For å konstruere et regn bruker jeg IVF-kurver¹⁰ fra Rovik målestasjon i Sandnes. Etersom jeg vil konstruere regn som ikke skal være “kasseregn” med en konstant intensitet med en gang, må jeg inkludere et forregn og etterregn for å få mer realistisk utforming på regnene. En måte å gjøre dette på er å konstruere et symmetrisk regnhyetogram. Konstruksjonsprinsippet går ut på at regnvolumet innenfor de X mest intensive minuttene (X/2 minutter på hver side av midtlinjen) i hyetogrammet skal tilsvare regnvolumet i et kasseregn som har en varighet på X minutter (Lindholm 2008).

Fordelene ved å bruke et symmetrisk regnhyetogram kan oppsummeres i tre punkter i følge Lindholm(2008): For det første blir regnforløp og avrenningsforhold mer realistisk dersom man benytter seg av “kasseregn”. For det andre kan det samme regnhyetogrammet brukes i alle ledningsnettstørrelser dersom de alle ligger i samme region som har like metrologiske forhold i hele feltet, uavhengig av konsentrasjonstiden. Til sist er det slik at man i én og samme beregning får dimensjonerende vannføringer i alle deler av avløpsnett (ettersom “regnhyetogrammet i sin mest intense del inneholder virkningen av korte regn som er dimensjonerende for de øvre deler av ledningsnett som har korte konsentrasjonstider, mens hele hyetogrammet vil virke dimensjonerende for de nedre deler av nettet som har lengre konsentrasjonstider” (Lindholm 2008)).

Tabellen under viser intensiteter for konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram med gjentaksintervall på 10, 20 og 50 år.

Tabell 6 – Intensiteter fra IVF-kurvene fra Rovik målestasjon, for forskjellige gjentaksintervall.

Varighet (min)	10 år	20 år	50 år
10	174,8	198,4	229,0
20	107,5	119,7	135,5
30	80,4	89,1	100,4
40	69,4	75	85,9
50	61,4	66	75,8
60	54,6	61,4	70,1

Jeg vil i de neste underkapitlene (3.3.1 til 3.3.3) fremlegge oversikter over de symmetriske regnhyetogrammene med forskjellig gjentaksintervall.

På neste side vises beregningsmetoden for å lage et symmetrisk regnhyetogram. Regnet som har blitt brukt er et tjueårsregn tatt fra IVF-kurven til Rovik målestasjon i Sandnes. Beregningsstegene er satt til fem minutter. Intensiteten måles i l/s ha (liter per sekund, per hektar).

¹⁰ Intensitets-, varighets- og frekvenskurver

Beregninger til konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram med gjentakintervall på 10 år:

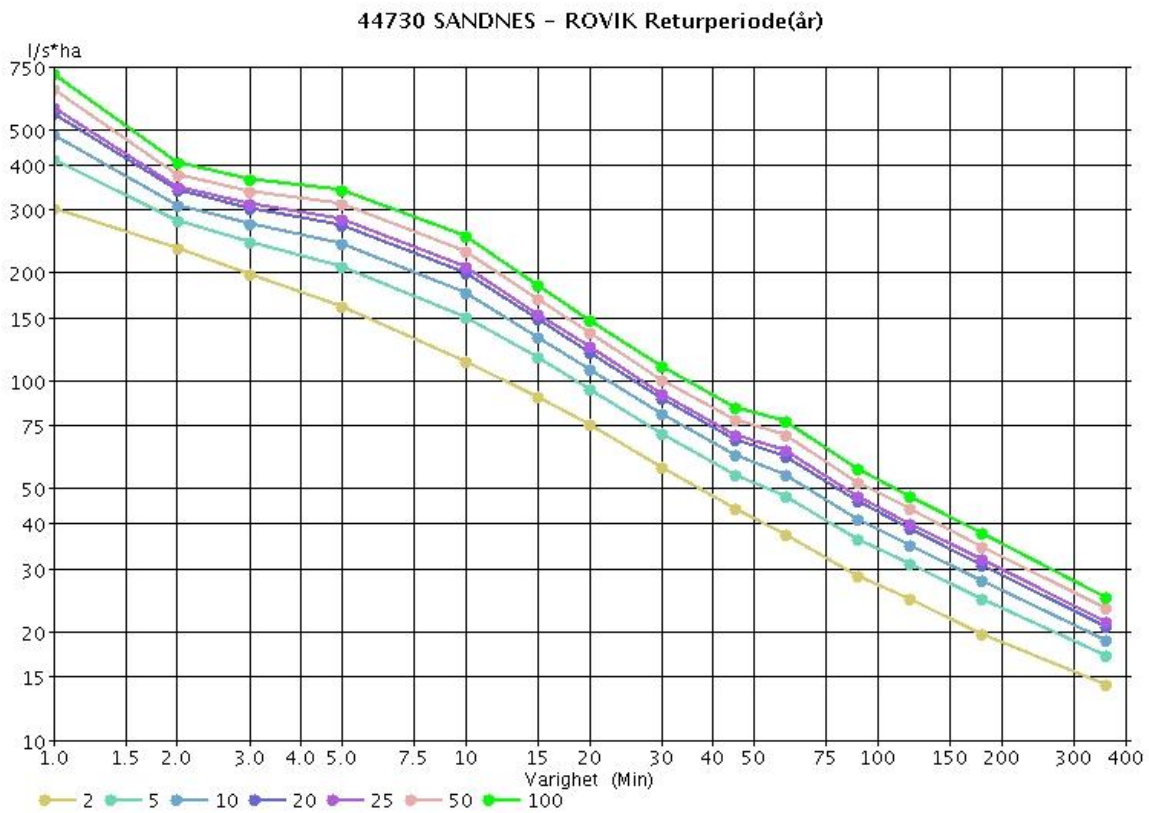
$$\begin{aligned}
 I_{10} &= 174,8 \text{ l/s ha} \\
 I_{20} - I_{10} &= (107,5 * 20 - 174,8 * 10) / 10 = 40,2 \text{ l/s ha} \\
 I_{30} - I_{20} &= (80,4 * 30 - 107,5 * 20) / 10 = 26,2 \text{ l/s ha} \\
 I_{40} - I_{30} &= (69,4 * 40 - 80,4 * 30) / 10 = 36,4 \text{ l/s ha} \\
 I_{50} - I_{40} &= (61,4 * 50 - 69,4 * 40) / 10 = 29,3 \text{ l/s ha} \\
 I_{60} - I_{50} &= (54,6 * 60 - 61,4 * 50) / 10 = 20,7 \text{ l/s ha}
 \end{aligned}$$

Beregninger til konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram med gjentakintervall på 20 år:

$$\begin{aligned}
 I_{10} &= 198,4 \text{ l/s ha} \\
 I_{20} - I_{10} &= (119,7 * 20 - 198,4 * 10) / 10 = 41 \text{ l/s ha} \\
 I_{30} - I_{20} &= (89,1 * 30 - 119,7 * 20) / 10 = 27,9 \text{ l/s ha} \\
 I_{40} - I_{30} &= (75,0 * 40 - 89,1 * 30) / 10 = 33,5 \text{ l/s ha} \\
 I_{50} - I_{40} &= (66,0 * 50 - 75,0 * 40) / 10 = 31 \text{ l/s ha} \\
 I_{60} - I_{50} &= (61,4 * 60 - 66,0 * 50) / 10 = 36,5 \text{ l/s ha}
 \end{aligned}$$

Beregninger til konstruksjon av symmetrisk regnhyetogram med gjentakintervall på 50 år:

$$\begin{aligned}
 I_{10} &= 229 \text{ l/s ha} \\
 I_{20} - I_{10} &= (135,5 * 20 - 229 * 10) / 10 = 42 \text{ l/s ha} \\
 I_{30} - I_{20} &= (100,4 * 30 - 135,5 * 20) / 10 = 30,2 \text{ l/s ha} \\
 I_{40} - I_{30} &= (85,9 * 40 - 100,4 * 30) / 10 = 42,5 \text{ l/s ha} \\
 I_{50} - I_{40} &= (75,8 * 50 - 85,9 * 40) / 10 = 35,5 \text{ l/s ha} \\
 I_{60} - I_{50} &= (70,1 * 60 - 75,8 * 50) / 10 = 41,5 \text{ l/s ha}
 \end{aligned}$$



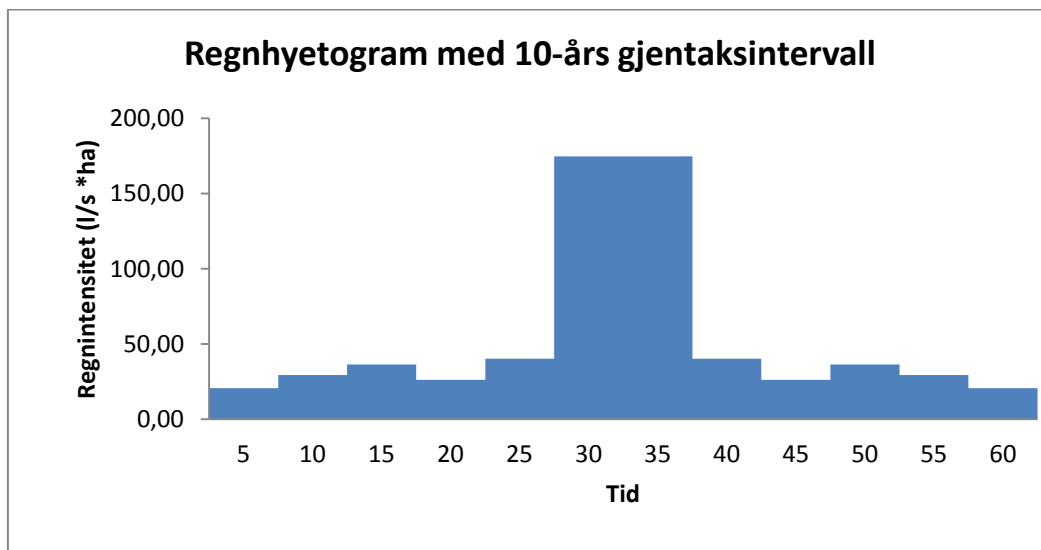
Figur 28 – IVF-kurve for Rovik målestasjon i Sandnes (Generert fra klima.no).

Figuren ovenfor viser IVF-kurven for Rovik målestasjon i Sandnes. Kurvene viser intensitet ved forskjellige varigheter og gjentakintervall.

3.3.1 Symmetrisk regnhyetogram med 10-års gjentaksintervall

Tabell 7 – Intensitetsverdiene(l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 10 år.

Tid(minutter)	Klimat tillegg					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
5	20.69	2.28	2.48	2.69	2.90	3.10
10	29.32	3.23	3.52	3.81	4.10	4.40
15	36.39	4.00	4.37	4.73	5.09	5.46
20	26.20	2.88	3.14	3.41	3.67	3.93
25	40.20	4.42	4.82	5.23	5.63	6.03
30	174.80	19.23	20.98	22.72	24.47	26.22
35	174.80	19.23	20.98	22.72	24.47	26.22
40	40.20	4.42	4.82	5.23	5.63	6.03
45	26.20	2.88	3.14	3.41	3.67	3.93
50	36.39	4.00	4.37	4.73	5.09	5.46
55	29.32	3.23	3.52	3.81	4.10	4.40
60	20.69	2.28	2.48	2.69	2.90	3.10

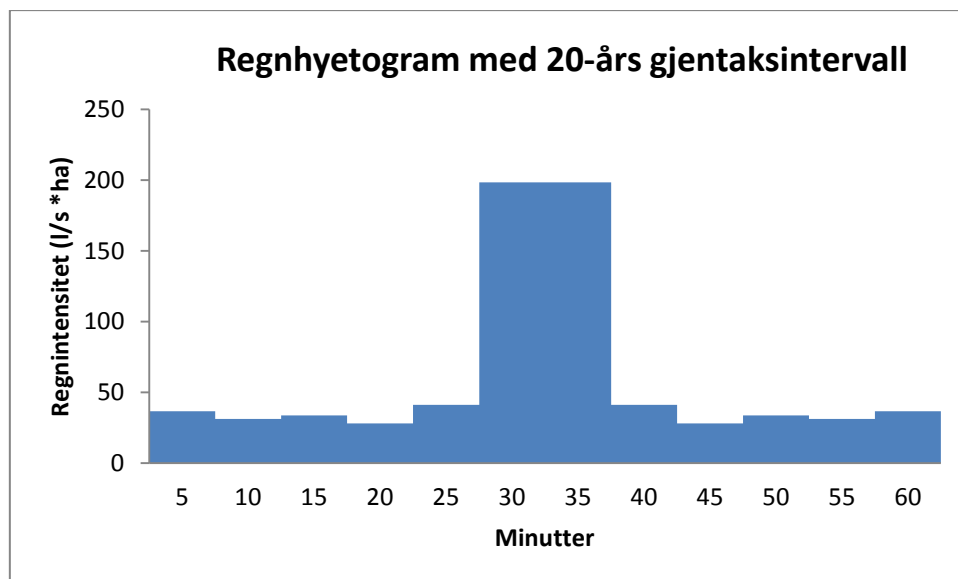


Figur 29 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentaksintervall 10 år.

3.3.2 Symmetrisk regnhyetogram med 20-års gjentaksintervall

Tabell 8 – Intensitetsverdiene(l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 20 år.

Tid(minutter)	Klimatillegg					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
5	36.53	40.18	43.84	47.49	51.14	54.80
10	31.04	34.14	37.24	40.35	43.45	46.55
15	33.53	36.89	40.24	43.59	46.95	50.30
20	27.90	30.69	33.48	36.27	39.06	41.85
25	41.00	45.10	49.20	53.30	57.40	61.50
30	198.40	218.24	238.08	257.92	277.76	297.60
35	198.40	218.24	238.08	257.92	277.76	297.60
40	41.00	45.10	49.20	53.30	57.40	61.50
45	27.90	30.69	33.48	36.27	39.06	41.85
50	33.53	36.89	40.24	43.59	46.95	50.30
55	31.04	34.14	37.24	40.35	43.45	46.55
60	36.53	40.18	43.84	47.49	51.14	54.80

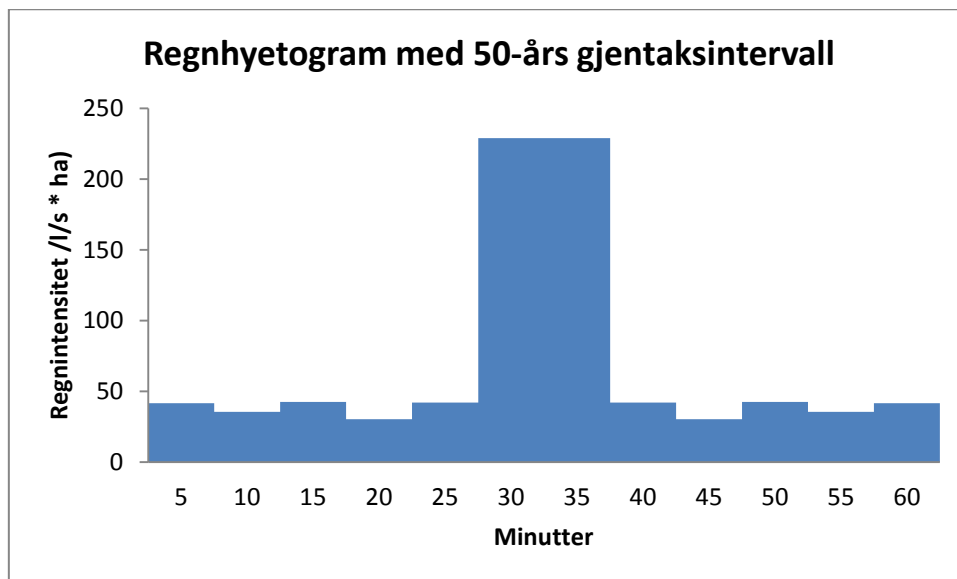


Figur 30 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentaksintervall 20 år.

3.3.3 Symmetrisk regnhyetogram med 50-års gjentaksintervall

Tabell 9 – Intensitetsverdiene (l/s ha) i et symmetrisk regnhyetogram, gjentaksintervall på 50 år.

Tid(minutter)	Klimatillegg					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
5	41.48	45.63	49.78	53.92	58.07	62.22
10	35.45	39.00	42.55	46.09	49.64	53.18
15	42.47	46.71	50.96	55.21	59.45	63.70
20	30.20	33.22	36.24	39.26	42.28	45.30
25	42.00	46.20	50.40	54.60	58.80	63.00
30	229.00	251.90	274.80	297.70	320.60	343.50
35	229.00	251.90	274.80	297.70	320.60	343.50
40	42.00	46.20	50.40	54.60	58.80	63.00
45	30.20	33.22	36.24	39.26	42.28	45.30
50	42.47	46.71	50.96	55.21	59.45	63.70
55	35.45	39.00	42.55	46.09	49.64	53.18
60	41.48	45.63	49.78	53.92	58.07	62.22



Figur 31 – Symmetrisk regnhyetogram, intensiteter med gjentaksintervall 50 år.

Kapittel 4 - Resultater og diskusjon



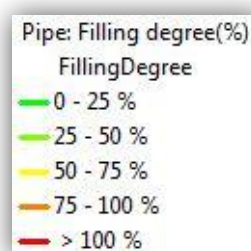
4.1 Orientering

I dette kapitelet vil jeg legge frem en del utsnitt av Bogafjellfeltet ved forskjellige simuleringer, samt utsnitt fra et spesielt problemområde. Dette området har hatt problemer for de fleste simuleringene jeg har gjort. Jeg bruker to typer utsnitt, ett som viser oppstuvningsnivået i kummene, og ett som viser fyllingsgraden i overvannsnettet. Fyllingsgraden kan være forskjellig i samme ledningsstrek, derfor kan ett og samme ledningsstrek bestå av flere deler med forskjellig fyllingsgrad. Mens modellen har 425 ledningsstrekk, består den av totalt 881 *delstrekk*.

Tegnforklaring til de forskjellige utsnittene er gitt i figurene under. Figuren under til venstre viser tegnforklaring for *oppstuvningsnivå over topp innkommende rør til kum*, altså hvor høyt over toppen av røret (som kommer inn til kummen) vannet står. Tegnforklaringen til høyre forklarer hvor mange prosent av røret som er fylt. Jeg vil bruke følgende skriftlige forklaringer på fargene(fra øverst til nederst): For *Manhole Overflow level*: Grønn, lys grønn, svak grønn, oransje, lys rød og rød, og for *Pipe filling degree*: Grønn, lys grønn, gul, oransje og rød.

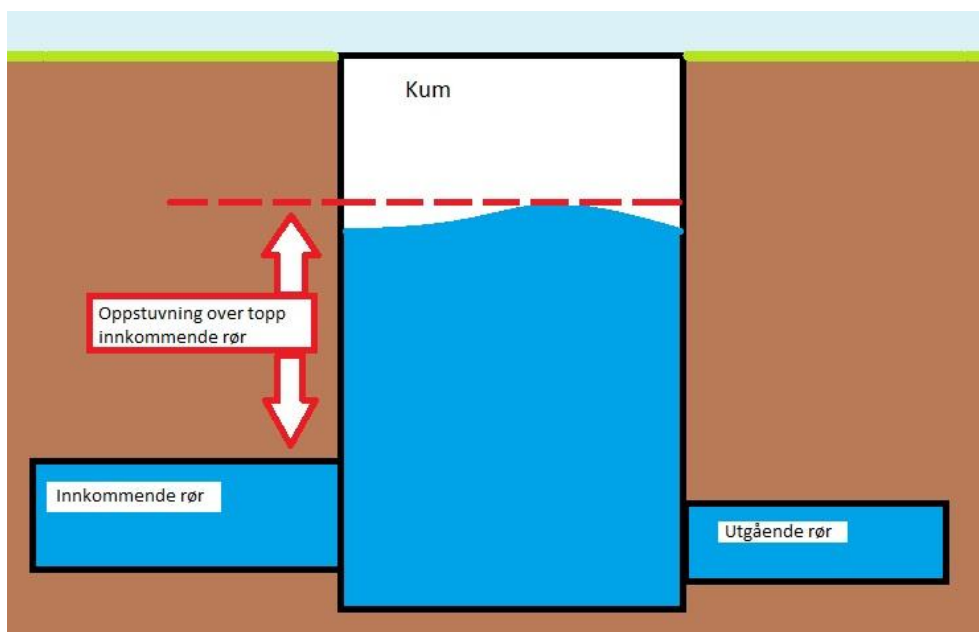


Figur 32 – Tegnforklaring til figurer som viser oppstuvningsnivå i kummer.



Figur 33 – Tegnforklaring til figurer som viser fyllingsgrad i delstrekk.

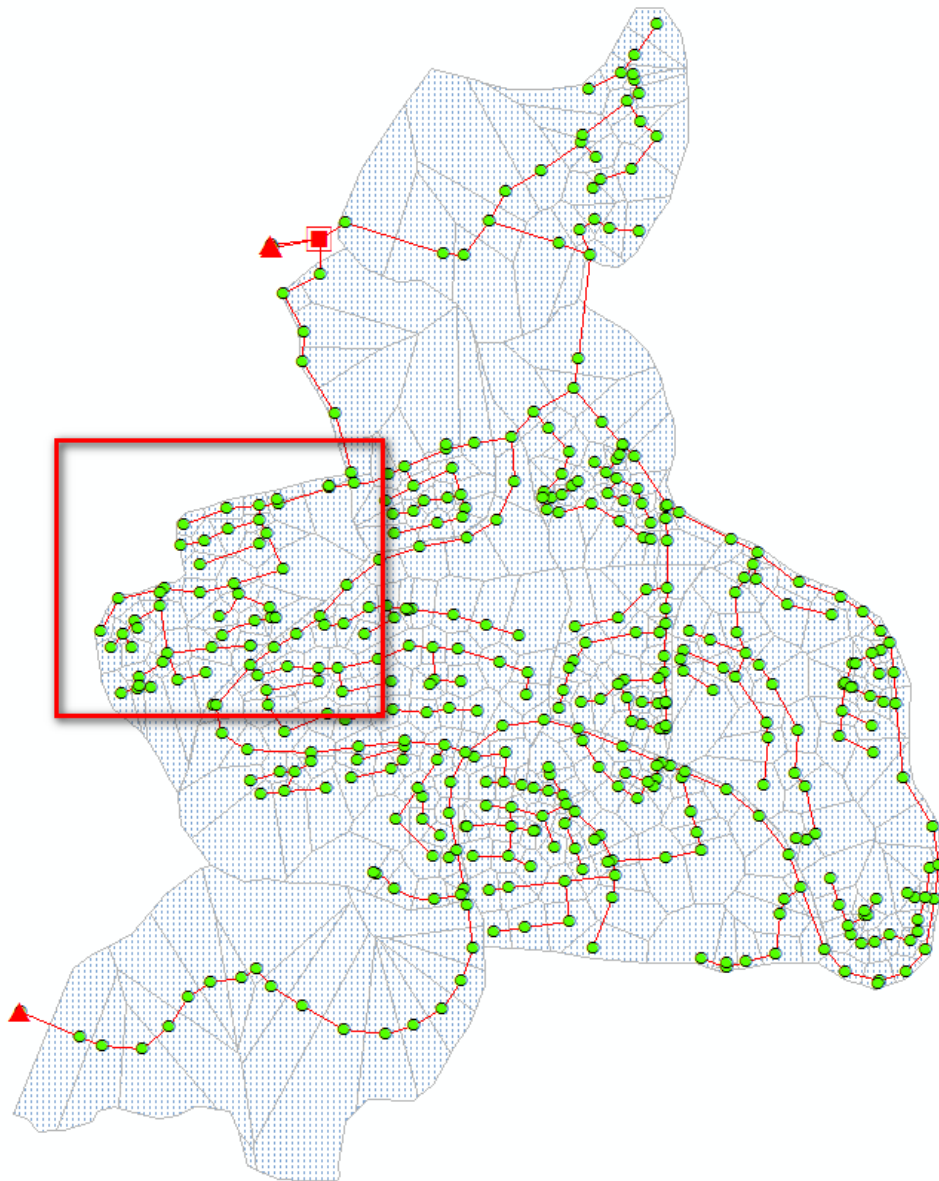
Oppstuvningsnivået i kummene blir altså målt som vannstandshøyde over toppen av innkommende rør(se forklarende figur under). Jeg vil videre i oppgaven ofte bruke forkortelsen “OTIR” (*over topp innkommende rør*)for dette nivået. Dersom vannivå i kummen er lavere enn toppen av innkommende rør, vil OTIR være negativ.



Figur 34 – Forklaring på oppstuvningsnivå eller “OTIR” (Laget av Ivar Tangerud Haga).

De utvalgte 10-minuttersregnene, og alle hyetogrammene, har jeg gitt tillegg på 10, 20, 30, 40 og 50 % for å gjenspeile klimaendringer. Ettersom det er stor usikkerhet knyttet til forventet økning i regnintensitet, har ikke norske myndigheter kommet med noen anbefaling for hvor stor økning det bør tas høyde for. Svenske myndigheter anbefaler, som sakt, å dimensjonere for en økning i regnintensiteter på 50 % (Miljödepartementet 2007).

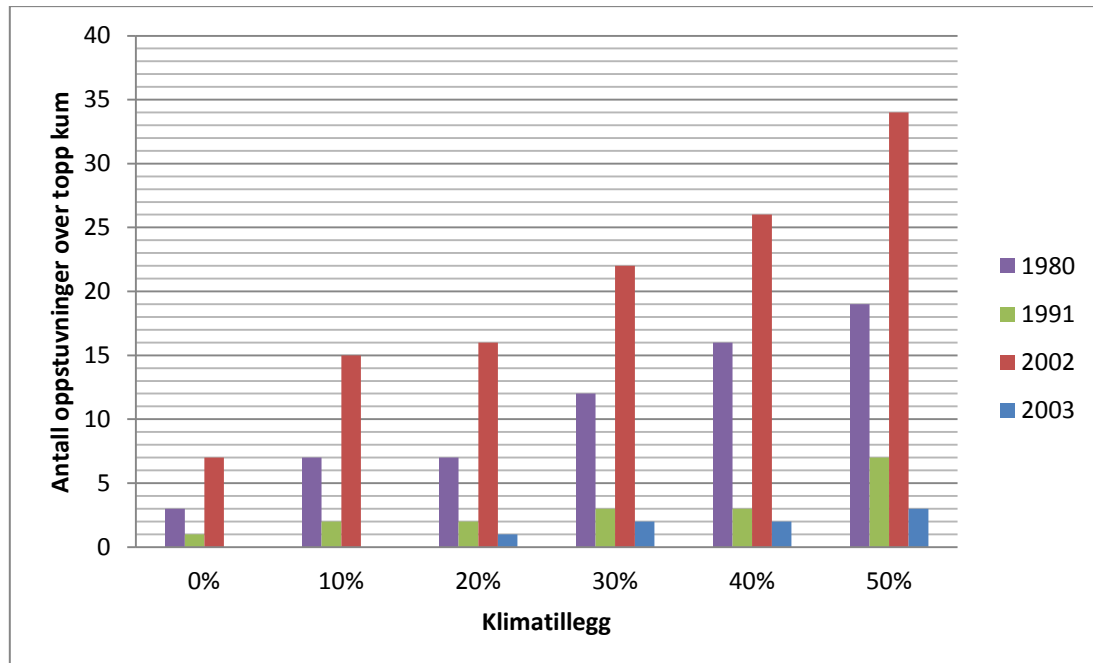
I analysen av simuleringen av de konstruerte hyetogrammene har jeg valgt å bare vise et utsnitt av feltet. Dette fordi det er lettere å se endringene i et mindre utsnitt med færre kummer og rør, samt at det er i akkurat dette valgte feltet at flest oppstuvninger oppstår. Det aktuelle området er markert med en rød firkant i figuren under.



Figur 35 – Oversiktsillustrasjon over utvalgt område.

4.2 Simuleringen av historiske regn

Figuren under viser antall oppstuvninger over bakkenivå for de fire største regnene med varighet på ti minutter, inkludert tillegg for klimaendringer. Man kan se at antall oppstuvninger øker når det blir lagt til prosenter på regnene.



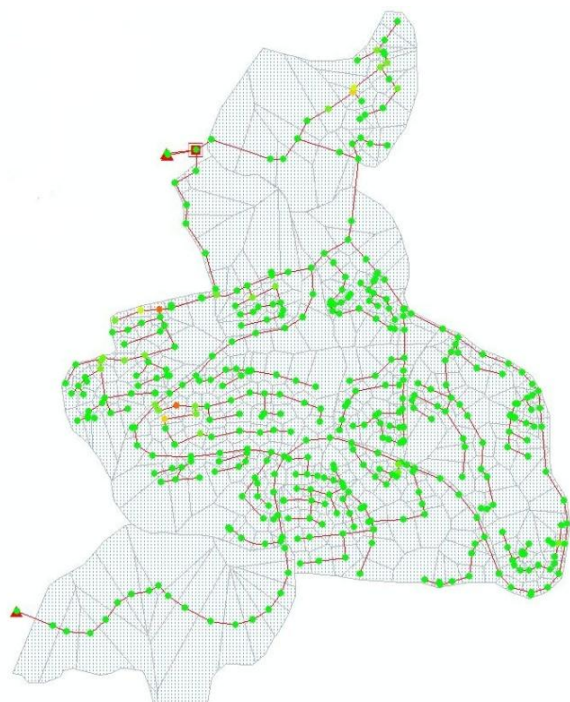
Figur 36 – Antall oppstuvninger for de fire største regnene med varighet på 10 minutter.

Jeg vil under hver underoverskrift for regnene oppsummere antall oppstuvninger OTIR for de forskjellige nivåene, samt antall delstrek med de forskjellige fyllingsgradene. En oppsummering av alle disse resultatene vil jeg gjøre i to tabeller til slutt (i kapittel 4.2.4).

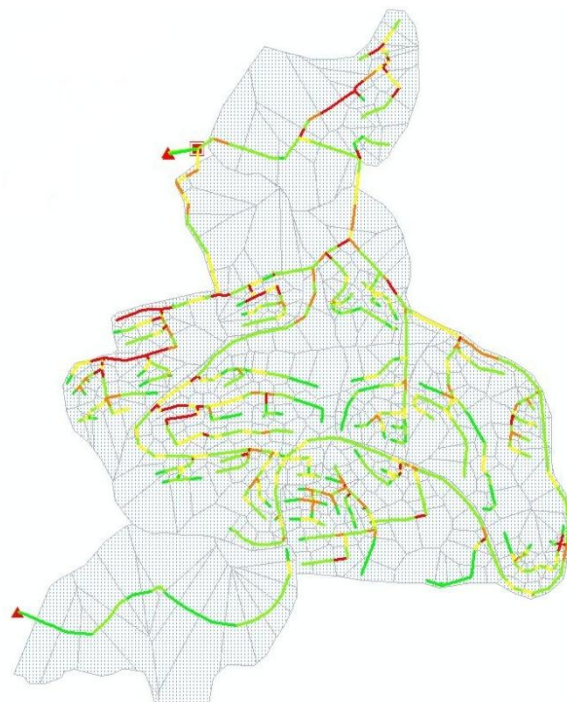
4.2.1 Resultater for regn med varigheter på 10 minutter, med forregn og etterregn

Regnet 23. mai 2003

Det oppstår få problemer med regnet som var 23. mai 2003. Selv om regnet hadde et gjentakintervall på mellom fem og ti år, opplevde ingen kummer oppstuvninger over bakkenivå. Når det gjelder oppstuvninger 0,9 meter OTIR, er det tre kummer hvor dette skjer. 89 delstrek har en fyllingsgrad på mer enn 100 %. Disse strekkene kan utgjøre en risiko, da det ikke er noe restkapasitet igjen. Varigheten på regnet inkludert forregn og etterregn er på én time og syv minutter.



Figur 37 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 2003.



Figur 38 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 2003.

Figuren over til venstre viser oppstuvningsnivå i kummene. Man ser at det er ingen kummer med oppstuvning over bakkenivå (rød), men det er to kummer som har oppstuvning høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød). Det er to kummer som har oppstuvning mellom 75 til 100 centimeter OTIR (oransje), og to kummer som har oppstuvning 50 til 75 centimeter OTIR (svak grønn). Når gjelder det laveste oppstuvningsnivået på 0 til 50 centimeter OTIR (lys grønn), er det 22 kummer med dette nivået. De resterende 392 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser fyllingsgraden i ledningsnettets deler. 89 delstrekke har en fyllingsgrad på mer enn 100 % (rød). 83 delstrekke har fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 148 har fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 398 stykker mellom 25 og 50 % (lys grønn), samt 163 med fyllingsgrad 25 % og mindre (grønn).

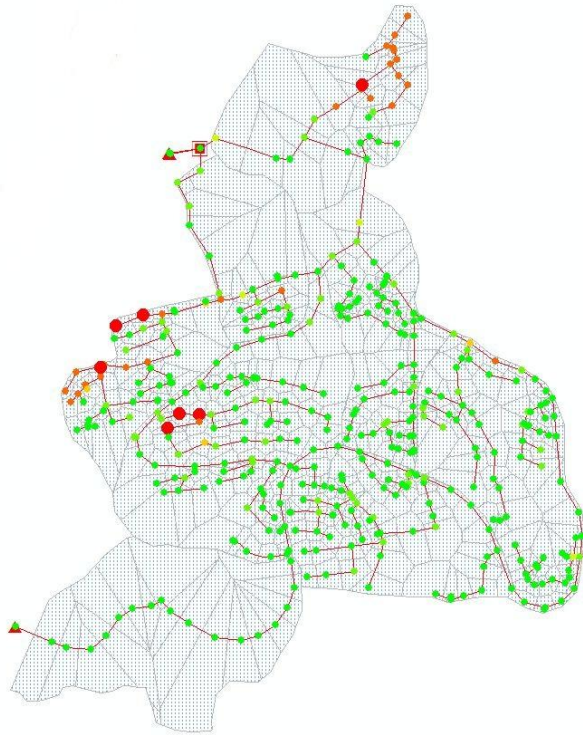
Tabellen under viser hvilke kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for regnet i 2003. X betyr oppstuvning over toppen av kummen (bakkenivå). Prosentene viser prosenttillegg for estimerte klimaendringer. De gule feltene viser kummer hvor det oppstår oppstuvninger over bakkenivå med klimatillegg, og det grønne feltet viser kummen som har oppstuvning over bakkenivå ved et klimatillegg på 50 %. Det er ikke nødvendig å kommentere tabellen ytterligere, da det ikke er noen stor økning i antall oppstuvninger over bakkenivå for dette regnet.

Tabell 10 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 2003.

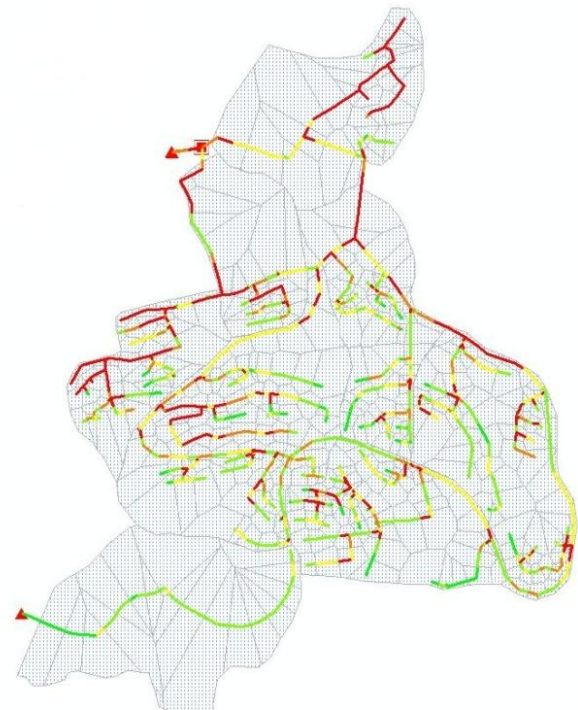
Kum ID	Tillegg for klimaendringer					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
419			x	x	x	x
100				x	x	x
15579						x

Regnet 26. juni 2002

Her har et sommerregn fra juni 2002 blitt simulert. Dette er som tabell 3 viser, et regn med gjentakintervall på 100 år. Det er altså rimelig å forvente at overvannsnettets vil få problemer med å håndtere regnet. Resultatene fra simuleringen viser at det oppstår problemer med oppstuvning over bakkenivå, altså flom. Dette gjelder for syv av kummene. Problemområdene er som vist i figur 39, i midten mot venstre i området og oppe til høyre i området. Det er 35 kummer med oppstuvningsnivå 0,9 meter OTIR. Med forregn og etterregn blir den totale varigheten på regnet som blir simulert én time og tjuefem minutter.



Figur 39 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 2002.



Figur 40 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 2002.

Figuren over til venstre viser oppstuvningsnivå i kummene. De store røde prikkene viser hvor det er oppstuvninger over bakkenivå. Dette gjelder for syv kummer. 27 kummer har oppstuvning over 100 centimeter OTIR (lys rød), 4 kummer har oppstuvning 75 til 100 centimeter OTIR (oransje), 4 kummer har oppstuvning 50 til 75 centimeter OTIR (svak grønn), 64 kummer har oppstuvningsnivå 0 til 50 centimeter OTIR (lys grønn) og 314 kummer har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser fyllingsgraden til ledningsnettet. 249 delstrek har en fyllingsgrad på mer enn 100 % (rød). 97 delstrek har fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 176 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), og 283 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn), samt 76 med fyllingsgrad 25 % og mindre (grønn).

Tabellen på neste side viser hvilke kummer som får problemer med oppstuvninger over bakkenivå. X markerer oppstuvning over bakkenivå, prosentene tilsvarer prosenttillegg for estimerte klimaendringer. Et regn med 10 % tillegg fører til en økning i antall kummer med oppstuvning over bakkenivå på 114 %, 20 % tillegg tilsvarer en økning på 129 %, 30 % tillegg en økning på 214 %, 40 %

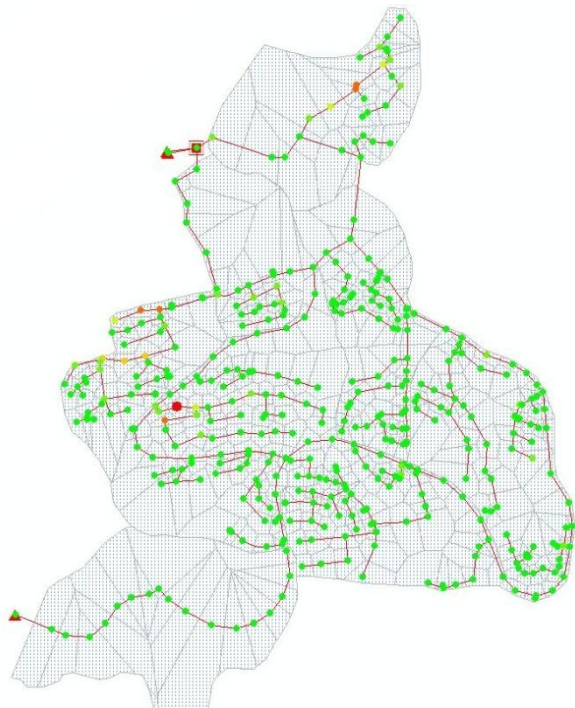
en økning på 271 % og 50 % en økning på 386 %. Det er tydelig at de største endringene i dette regntilfellet skjer et sted mellom 0 og 10 %, mellom 20 og 30 % samt 40 og 50 % tillegg for klimaendringer.

Tabell 11 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 2002.

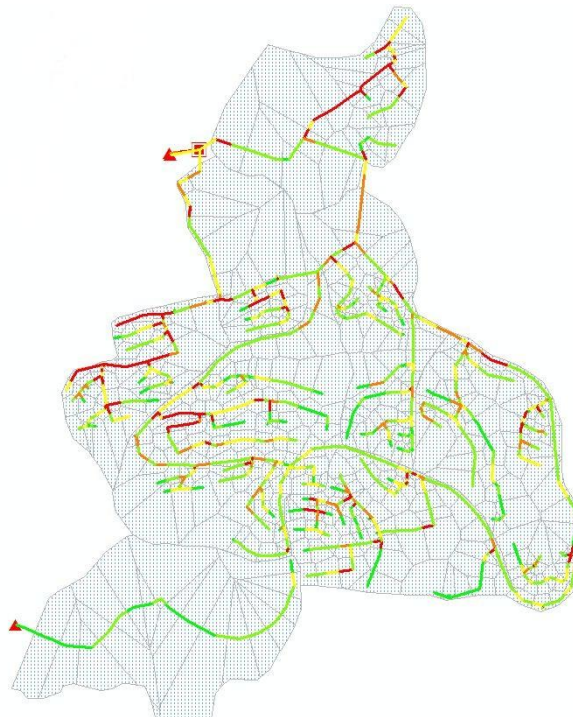
Kum ID	Tillegg for økte regnmengder					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
100	X	x	x	x	x	x
419	X	x	x	x	x	x
420	X	x	x	x	x	x
2330	X	x	x	x	x	x
3189	X	x	x	x	x	x
5097	X	x	x	x	x	x
15579	X	x	x	x	x	x
4500		x	x	x	x	x
4503		x	x	x	x	x
8400		x	x	x	x	x
9599		x	x	x	x	x
15577		x	x	x	x	x
15585		x	x	x	x	x
15616		x	x	x	x	x
1_41		x	x	x	x	x
5321			x	x	x	x
416				x	x	x
2328				x	x	x
5323				x	x	x
9599				x	x	x
15587				x	x	x
15621				x	x	x
5095					x	x
9202					x	x
13220					x	x
13223					x	x
106						x
14638						x
15573						x
15620						x
15622						x
18803						x
5089						x
64						x

Regnet 2. august 1991

I dette regnet er det åtte kummer med oppstuvningsnivå høyere enn 0,9 meter OTIR, og én kum med oppstuvning over bakkenivå. Ut i fra hvilket gjentakintervall dette regnet har (to til fem år), hadde jeg ikke forventet mange problemer. Lengden på regnet inkludert forregn og etterregn var på én time og tjueto minutter.



Figur 41 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 10-minuttersregnet i 1991.



Figur 42 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 1991.

Figuren over til venstre viser oppstuvningsnivået i kummene ved det utvalgte 10-minuttersregnet i 1991. Det er bare i én kum at det oppstår oppstuvning OTIR (rød). Når det gjelder de andre nivåene, som er mindre kritiske, er det fem kummer med oppstuvningsnivå høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), tre kummer med oppstuvningsnivå mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje), 4 kummer med oppstuvningsnivå mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn), samt 26 kummer med oppstuvningsnivå mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 381 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn) i det hele tatt.

Figuren over til høyre viser det maksimale fyllingsnivået i de forskjellige rørdelene. Det er 123 delstrek med en fyllingsgrad på over 100 % (rød), 86 delstrek med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 160 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 371 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn) og 141 delstrek med fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

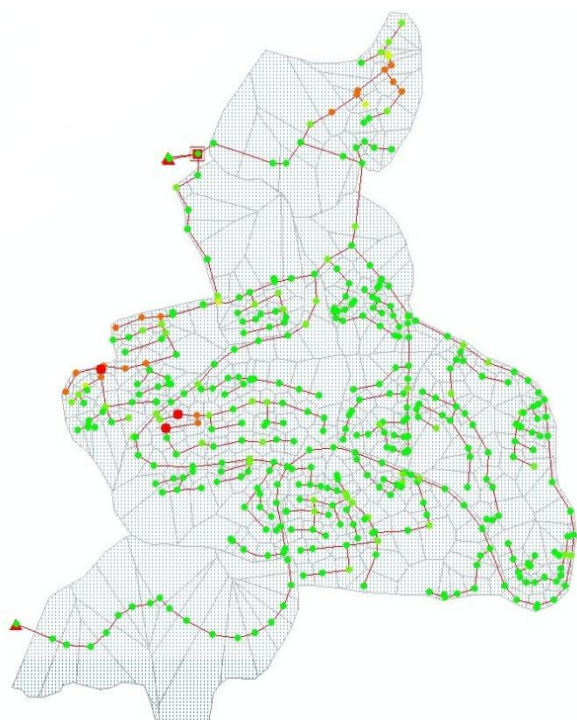
Tabellen på neste side viser hvilke kummer som oppnår oppstuvninger over topp kum. X betyr oppstuvning over bakkenivå og prosentene tilsvarer prosenttillegg for estimerte klimaendringer. For dette regnet er det ingen dramatiske endringer i antall oppstuvninger over bakkenivå før ved et klimatillegg på mellom 40 og 50 %. Det er da en økning på 600 % i antall oppstuvninger over bakkenivå i forhold til utgangspunktet uten noe klimatillegg.

Tabell 12 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 1991.

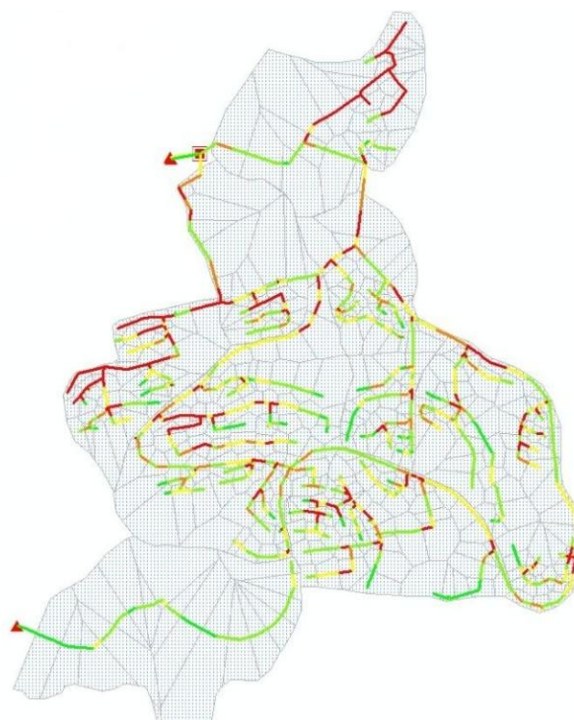
Kum ID	Tillegg for klimaendringer					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
419	x	x	x	x	X	x
100		x	x	x	X	x
15579				x	X	x
5097						x
3189						x
2330						x
420						x

Regnet 10. juni 1980

Regnet i 1980 gir tre kummer med oppstuvninger over bakkenivå, og 21 kummer med oppstuvningsnivå høyere enn 0,9 meter OTIR. Regnet har et gjentaksintervall på mellom 10 og 20 år, og jeg hadde derfor forventet at overvannsnettet ville få noen problemer med å håndtere overvannsmengdene, slik det gjorde. Regnet hadde en total varighet på én time.



Figur 43 – Maksimal oppstuvningsnivå i kummene ved 10-minuttersregnet i 1980.



Figur 44 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 10-minuttersregnet i 1980.

Figuren over til venstre viser det maksimale oppstuvningsnivået for kummene i løpet av 10-minuttersregnet i 1980. Tre kummer har som nevnt oppstuvninger over bakkenivå (rød) og det er 18 kummer som har oppstuvningsnivå høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), 5 kummer med oppstuvningsnivå mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn) og 58 kummer med oppstuvninger mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 336 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn). I dette tilfellet er det ingen kummer som har oppstuvningsnivå mellom 75 til 100 centimeter OTIR (oransje).

Figuren til høyre på forrige side viser det maksimale fyllingsnivået i overvannsnettets i løpet av 10-minuttersregnet i 1980. Det er 207 delstrek hvor den maksimale fyllingsgraden er over 100 % (rød), 87 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 184 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 313 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn), og 90 med fyllingsgrad på mellom 0 og 25 % (grønn).

Tabellen under viser hvilke kummer som oppnår oppstuvninger over topp kum. X betyr oppstuvning over topp kum, og prosentene tilsvarer prosenttillegg for estimerte klimaendringer. De største endringene i antall oppstuvninger over bakkenivå for dette regntilfellet er mellom 0 og 10 % samt mellom 20 og 30 %. Fra 10 til 20 % er det derimot ingen endring i antall oppstuvninger over bakkenivå.

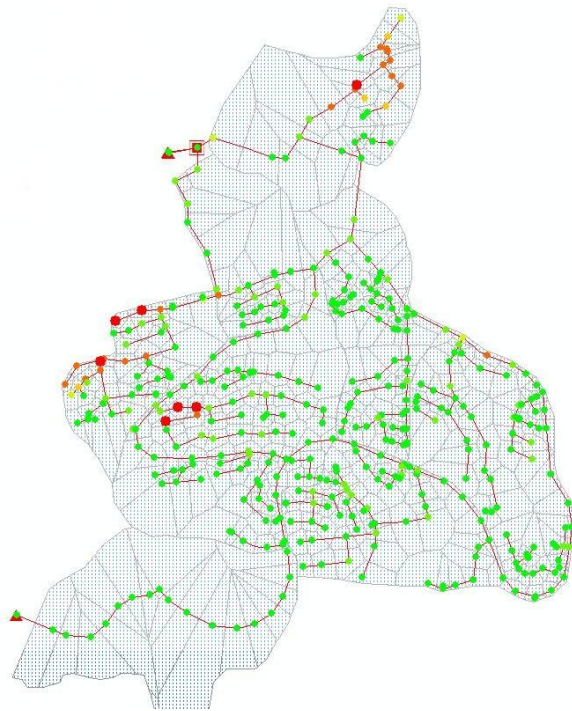
Tabell 13 – Kummer som oppnår oppstuvninger over bakkenivå for 10-minuttersregnet i 1980.

Kum ID	Tillegg for økte regnmengder					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
100	x	x	x	x	x	x
419	x	x	x	x	x	x
15579	x	x	x	x	x	x
420		x	x	x	x	x
2330		x	x	x	x	x
3189		x	x	x	x	x
5097		x	x	x	x	x
4503				x	x	x
8400				x	x	x
9599				x	x	x
15577				x	x	x
15585				x	x	x
4500					x	x
5321					x	x
15616					x	x
1_41					x	x
416						x
5323						x
15587						x

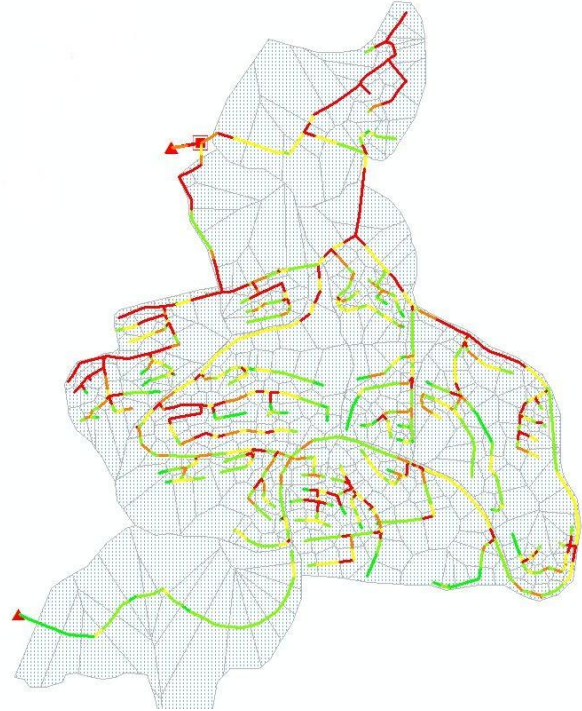
4.2.2 Resultater for regn med varigheter på 30 minutter

Regnet 23. juni 2002

Simulering av 30-minuttersregnet i 2002 gav syv kummer med oppstuvning over bakkenivå, og 30 kummer med oppstuvning på over 0,9 meter over topp innkommende rør. 232 delstrekk har fyllingsgrad på over 100 %, og 45 ledninger har et trykknivå på over 0,9 meter over topp rør. Dette regnet skaper problemer for ledningsnett, noe som ikke er så rart når man ser på gjentakintervallet på regnet, som er på mellom 50 og 100 år.



Figur 45 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 2002.



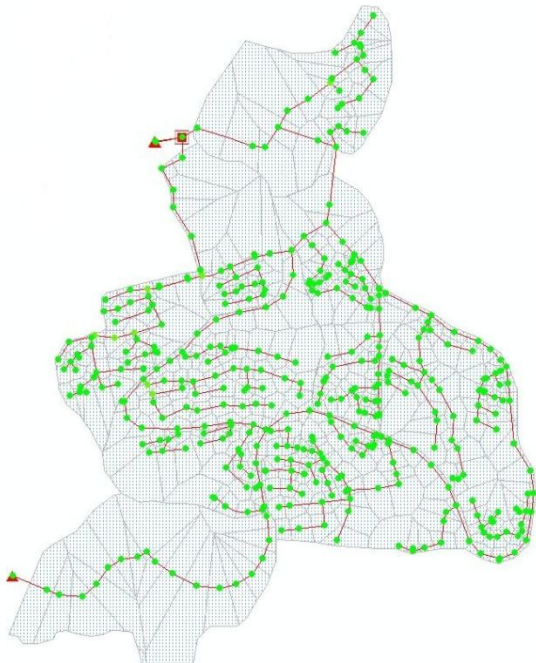
Figur 46 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 2002.

Figuren over til venstre viser det maksimale oppstuvningsnivået i kummene i løpet av 30-minuttersregnet i 2002. Det er syv kummer med oppstuvningsnivå over bakkenivå (rød), 20 kummer med oppstuvningsnivå høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), 4 kummer med oppstuvningsnivå mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje), 5 kummer med oppstuvningsnivå mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn) og 62 kummer med oppstuvningsnivå mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 322 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

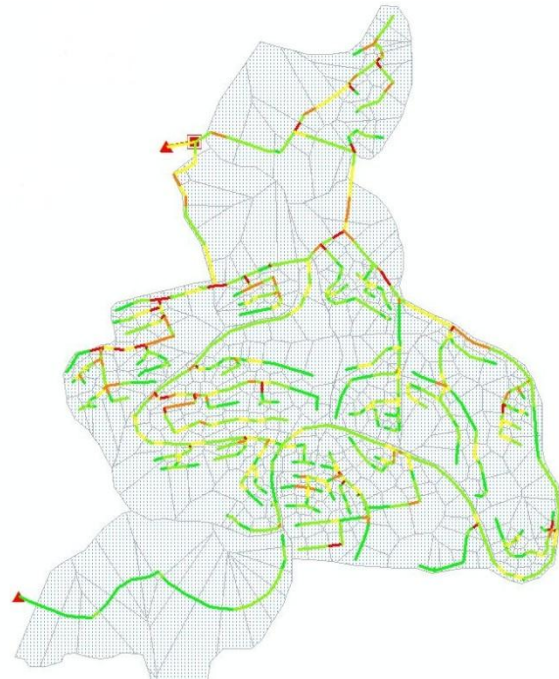
Når det gjelder den maksimale fyllingsgraden for de forskjellige ledningsstrekene, er dette vist i figuren over til høyre. Det er 232 delstrekk med fyllingsgrad over 100 % (rød), 94 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 177 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 297 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn) og 81 delstrekk med fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 26. august 1996

For dette utvalgte regnet er den høyeste oppstuvning i kum 0,34 meter OTIR. Det er 52 delstrekk med fyllingsgrad på over 100 %, og ingen ledninger som har trykknivå på over 0,9 meter over topp rør. Ut i fra dette vil jeg påstå at overvannsnettets har få eller ingen problemer med å håndtere dette regnet. Gjentakintervallet for dette regnet er mellom 5- 10 år.



Figur 47 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1996.



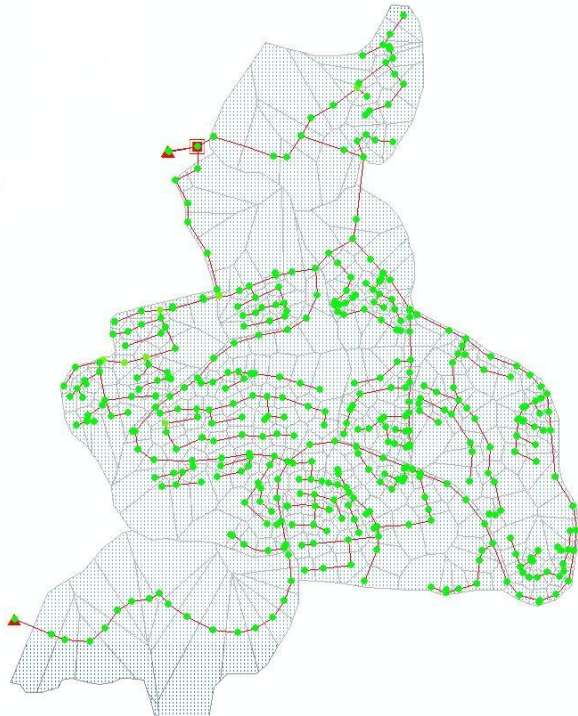
Figur 48 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1996.

Figuren over til venstre viser at det er få problemer med oppstuvninger for 30-minuttersregnet i 1996. Det er ingen oppstuvninger over bakkenivå (rød), høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje) eller mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn). Når det gjelder oppstuvninger mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn), er det 8 kummer som oppnår dette. De resterende 412 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

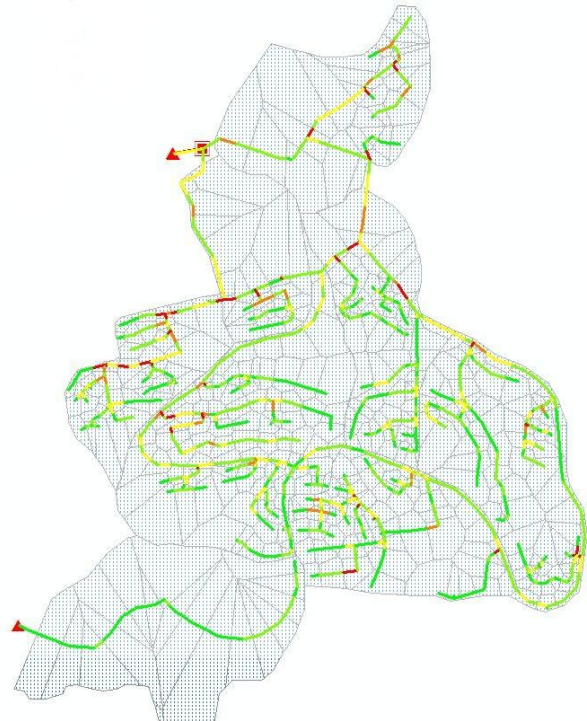
Figuren over til høyre viser fyllingsgraden i overvannsnettets. Det er 52 delstrekk med fyllingsgrad på over 100 % (rød), 69 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 126 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 381 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn), samt 253 med fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 27. juli 1994

Den høyeste oppstuvningen i kum for dette regnet er på 0,152 meter over topp rør. 46 delstrekk har en fyllingsgrad på over 100 %. Det er ingen ledninger som har trykknivå over 0,9 meter over topp rør. Regnet har et gjentaksintervall på fem til ti år.



Figur 49 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1994.



Figur 50 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1994.

Figuren over til venstre viser at heller ikke for 30-minuttersregnet i 1994 oppstår noen problemer med oppstuvning i kummene. Det er heller ikke her noen kummer med oppstuvningsnivå over bakkenivå (rød), høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje) eller mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn). Det er syv kummer med maksimalt oppstuvningsnivå mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 413 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser maksimal fyllingsgrad for overvannsnettets under 30-minuttersregnet i 1994. Det er 46 delstrekk som har en fyllingsgrad på over 100 % (rød), 41 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 129 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 353 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn) og 312 med fyllingsgrad på mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 16. september 1990

For 30-minuttersregnet i 1990 er den høyeste oppstuvningen i kum 0,814 meter over topp rør. Regnet har et gjentaksintervall på mellom fem og ti år. Det 86 delstrek med fyllingsgrad på over 100 % i dette regnet, men det er bare i én ledning at det oppstår oppstuvning over 90 centimeter over topp rør.



Figur 51 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 30-minuttersregnet i 1990.



Figur 52 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 30-minuttersregnet i 1990.

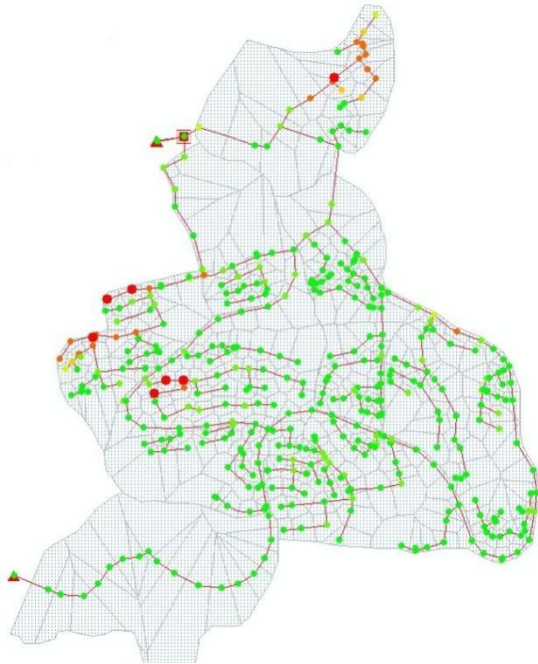
Heller ikke for 30-minuttersregnet i 1990 har overvannsnettets problemer med å håndtere vannmengdene. Figuren over til venstre viser at det ikke oppstår ingen problemer med oppstuvninger over bakkenivå (rød) eller oppstuvninger høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød). Det er én kum som har oppstuvning mellom 75 og 100 centimeter OTIK (oransje), én kum med oppstuvning mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn), 23 kummer med oppstuvning mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 395 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser maksimal fyllingsgrad i overvannsnettets i løpet av 30-minuttersregnet i 1990. 86 delstrek har en maksimal fyllingsgrad på over 100 % (rød), 74 har fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 142 har fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 396 har fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn) og de resterende 183 har fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

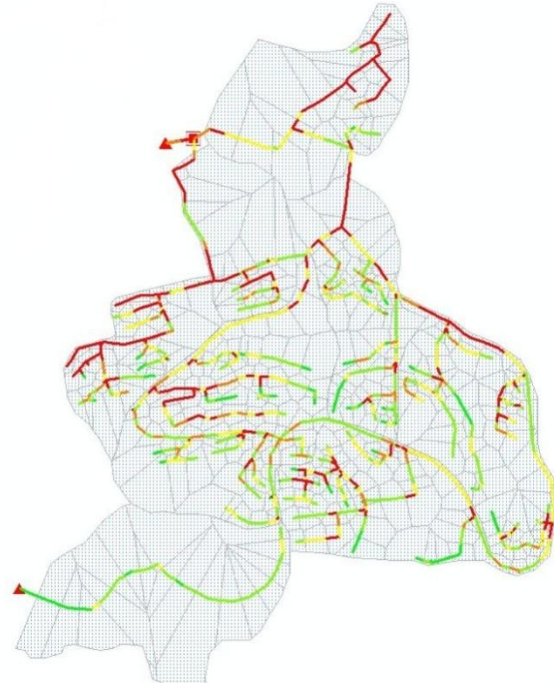
4.2.3 Resultater for regn med varigheter på 60 minutter

Regnet 23. juni 2002

Som med regnet på 30 minutter i 2002 er det ved dette regnet syv kummer med oppstuvning over bakkenivå. Det samme gjelder for fyllingsgraden og trykknivået i rørene. Det er 232 delstrek med fyllingsgrad over 100 % og 45 ledninger med trykknivå over 0,9 meter OTIR. Gjentakintervallet er forskjellig fra regnet på 30 minutter, i dette tilfellet er gjentakintervallet mellom ti og 20 år.



Figur 53 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 2002.



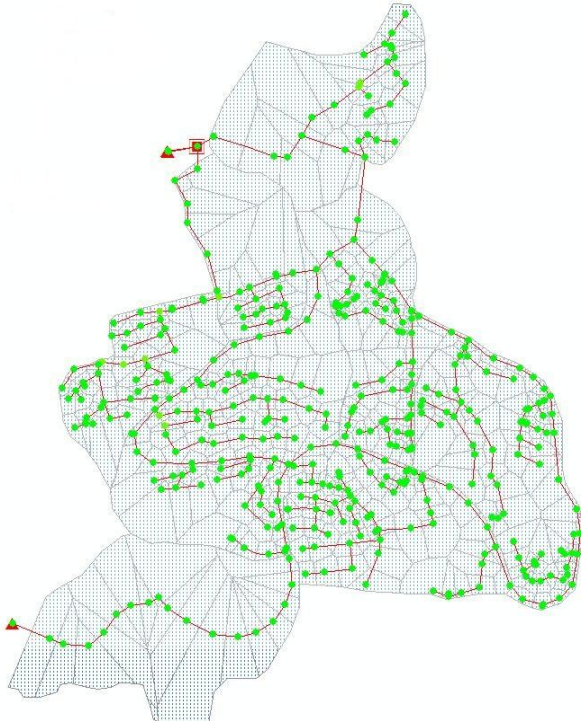
Figur 54 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 2002.

Figuren til venstre viser oppstuvningsnivået i kummene i løpet av det utvalgte 60-minuttersregnet i 2002. Det maksimale oppstuvningsnivået for syv av kummene er over bakkenivå (rød). 20 kummer har et oppstuvningsnivå på over 100 centimeter OTIR (lys rød), 4 kummer har oppstuvningsnivå mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje), 5 kummer mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn) og 62 kummer mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 322 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser maksimalt fyllingsnivå i overvannsnett. 232 delstrek har fyllingsgrad over 100 % (rød), 94 har fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 177 har fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 297 mellom 25 og 50 % (lys grønn), og 81 mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 26. august 1996

For dette regnet er det ingen kummer som har oppstuvning over topp kum eller 0,9 meter OTIR. Når det gjelder fyllingsgraden til ledningene, er det 54 delstrek med over 100 % fyllingsgrad. Det er ingen ledningsstrek som har trykknivå 0,9 meter over topp rør eller mer. Gjentakintervalllet på dette regnet er mellom 50 og 100 år.



Figur 55 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1996.



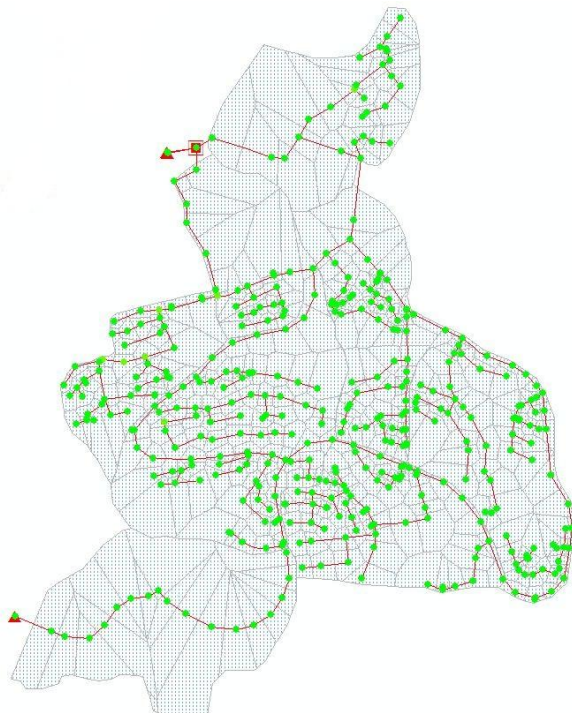
Figur 56 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1996.

Figuren til venstre viser oppstuvningsnivå i kummene i løpet av 60-minuttersregnet i 1996. Det er ingen kummer med oppstuvning over bakkenivå (rød), ingen med oppstuvningsnivå høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), ingen mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje) eller mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn). Det er ni kummer med oppstuvningsnivå mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 411 kummene har ingen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser den maksimale fyllingsgraden i overvannsnettet i løpet av 60-minuttersregnet i 1996. Det er 54 delstrek med fyllingsgrad på over 100 % (rød), 76 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 126 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 388 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn), samt 237 med fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 27. juli 1994

I dette regnet var det syv kummer med oppstuvning OTIR, men den høyeste oppstuvningen var på 0,15 meter, som ikke utgjør noen fare for kjellere i nærheten. Fyllingsgraden overstiger 100 % i 46 delstrek, men det er ingen ledninger med trykknivå over 0,9 meter. Gjentakintervallet i på dette regnet er fem til ti år.



Figur 57 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1994.



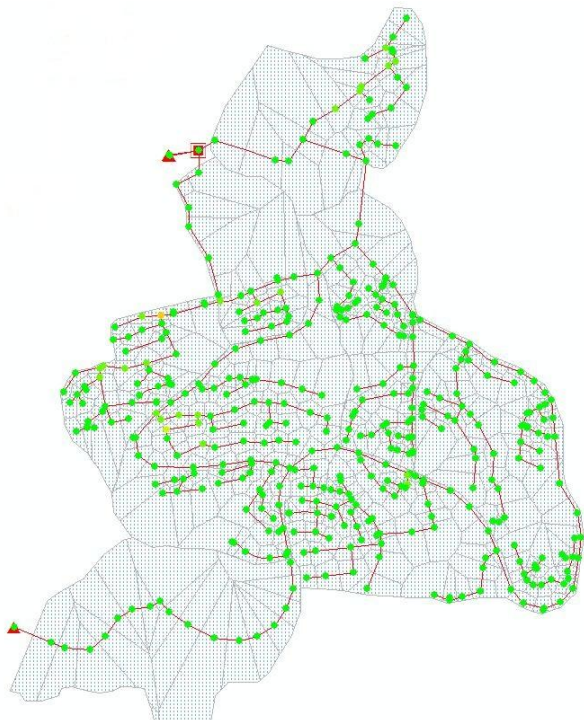
Figur 58 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1994.

Figuren til venstre viser maksimalt oppstuvningsnivå i kummene i løpet av 60-minuttersregnet i 1994. Det er få problemer med oppstuvninger, det er blant annet ingen kummer med oppstuvninger over bakkenivå (rød), ingen med oppstuvningsnivå høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød), ingen mellom 75 og 100 centimeter OTIR (oransje), og heller ingen med oppstuvningsnivå mellom 50 og 75 centimeter OTIR (svak grønn). For syv kummer er det oppstuvning mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn). De resterende 413 kummene har ingen problemer med oppstuvninger OTIR (grønn).

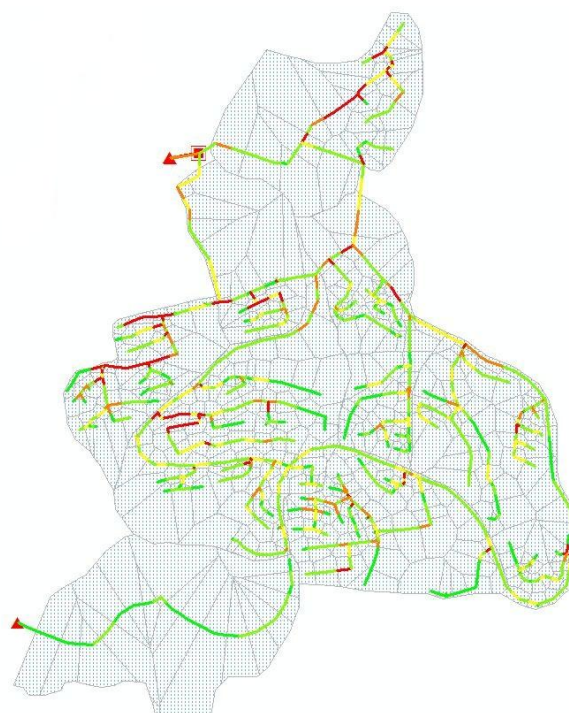
Figuren til høyre viser den maksimale fyllingsgraden i overvannsnettet i løpet av 60-minuttersregnet i 1994. Det er 46 delstrek med fyllingsgrad over 100 % (rød), 43 med fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 127 med fyllingsgrad mellom 50 og 75 % (gul), 353 med fyllingsgrad mellom 25 og 50 % (lys grønn), samt 312 med fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

Regnet 16. august 1990

Dette regnet gav 25 kummer med oppstuvning OTIR, men ingen overstiger 0,9 meter OTIR. Dette vil si at overvannsnettet har få problemer med å håndtere regnet. Jeg hadde forventet at et regn med gjentaksintervall på mellom fem og ti år skulle skape flere problemer. 86 delstekk har fyllingsgrad på over 100 %, og ett rør har trykknivå på 0,9 meter over topp rør.



Figur 59 – Maksimalt oppstuvningsnivå i kummene for 60-minuttersregnet i 1990.



Figur 60 – De forskjellige ledningsstrekks fyllingsgrad ved 60-minuttersregnet i 1990.

Figuren til venstre viser det maksimale oppstuvningsnivået i kummene i løpet av 60-minuttersregnet i 1990. Det er ingen problemer med oppstuvning over bakkenivå (rød) eller høyere enn 100 centimeter OTIR (lys rød). Én kum har oppstuvningsnivå mellom 75 og 100 centimeter OTIK (oransje), én kum har oppstuvningsnivå mellom 50 og 75 centimeter (svak grønn) OTIR, 23 kummer har oppstuvningsnivå mellom 0 og 50 centimeter OTIR (lys grønn), mens de resterende 396 kummene ikke har noen oppstuvning OTIR (grønn).

Figuren til høyre viser den maksimale fyllingsgraden i overvannsnettet i løpet av det utvalgte 60-minuttersregnet i 1990. 86 delstrek har fyllingsgrad på over 100 % (rød), 77 har fyllingsgrad mellom 75 og 100 % (oransje), 139 mellom 50 og 75 % (gul), 396 mellom 25 og 50 % (lys grønn), og 83 delstrek har fyllingsgrad mellom 0 og 25 % (grønn).

4.2.4 Oppsummering og analyse av de historiske regnene

For de utvalgte 10-minuttersregene er det ganske klart at regnet i 2002 gir dårligst resultater, med syv kummer som flommer over, selv uten tillegg for klimaendringer. Dette regnet deler den høyeste toppintensiteten sammen med regnet i 2003 på 550 l/s hektar. Regnet i 2003 gir langt fra så ille resultater som regnet i 2002, med kummer som først flommer over ved 20 % tillegg til regnet.

Det nest største 10-minuttersregnet er regnet i 1980. Dette regnet gir ikke fullt så dårlige resultater som regnet i 2002, men det er fortsatt tre kummer som flommer over. Hvis man ser på utformingen av regnet, kan man se at det er en større intensitetstopp mot slutten av regnet. Dette kan bidra til at nettet får problemer med å håndtere vannmengdene, ettersom det har bygget seg opp et visst nivå i systemet allerede før toppen kommer.

Regnet i 1991 har et gjentaksintervall på to til fem år, og burde derfor ikke skape store problemer overvannsnett. Dette er også tilfellet, da bare én kum flommer over. Det er viktig å legge merke til at selv om dette regnet har lavere gjentaksintervall enn regnet i 2003, gir det flere steder med kapasitetsproblemer og høyere oppstuvningsnivå.

De utvalgte regnene med varighet på 30 og 60 minutter skapte ingen problemer for overvannsnett, med unntak av regnet i 2002. Både for 30- og 60-minuttersregnet i 2002 er det syv kummer som flommer over. Selv om 60-minuttersregnet i 1996 har et gjentaksintervall på mellom 50 og 100 år har overvannsnett ingen problemer med å håndtere vannmengdene. Regnet har ingen høye intensiteter, men har et stort totalt volum. Dette vil si at det regner med jevn intensitet. Det kan også ha noe å si at regnet starter med toppintensiteten på 233 l/s hektar og intensitetene er forholdsvis konstante og lave etter dette.

Jeg har for ordens skyld har jeg laget en tabelloversikt over antall oppstuvninger, og en tabelloversikt over de forskjellige fyllingsnivåene for de forskjellige historiske regnene, slik jeg nevnte i starten av kapittelet:

Tabell 14 – Oversikt over antall oppstuvninger for de historiske regnene.

År		Antall kummer med oppstuvning OTIR				
		Over bakkenivå	>100 cm	100 – 75 cm	75 – 50 cm	50 – 0 cm
10 min	2003	0	2	2	2	22
	2002	7	27	4	4	64
	1991	1	5	3	4	26
	1990	3	18	0	5	58
30 min	2002	7	20	4	5	62
	1996	0	0	0	0	8
	1994	0	0	0	0	7
	1990	0	0	1	1	23
60 min	2002	7	20	4	5	62
	1996	0	0	0	0	9
	1994	0	0	0	0	7
	1990	0	0	1	1	23

Tabell 15 – Oversikt over antall delstrekk ved de forskjellige fyllingsgradene.

År		Fyllingsgrad i rør				
		>100 %	100 – 75 %	75 – 50 %	50 – 25 %	25 – 0 %
10 min	2003	89	83	148	398	163
	2002	249	97	176	283	76
	1991	123	86	160	371	141
	1990	207	87	184	313	90
30 min	2002	232	94	177	297	81
	1996	52	69	126	381	253
	1994	46	41	129	353	312
	1990	86	74	142	396	183
60 min	2002	232	94	177	297	81
	1996	54	76	126	388	237
	1994	46	43	127	353	312
	1990	86	77	139	393	183

For alle regnene med varighet på 30 og 60 minutter, uten om regnet i 2002, oppstår det ingen problemer med oversvømmelser. Selv om regnet i 1996, med en varighet på 60 minutter, har mye høyere gjentakintervall enn regnet i 2002 – og dermed også større totalvolum - har overvannsnettets likevel ingen problemer med å håndtere overvannsmengdene. Det tyder derfor på at det er de høyeste intensitetene som er utslagsgivende.

De regnene som har toppintensiteten *i starten*, har ofte få problemer med å håndtere regnmengdene. De regnene som har toppintensitet *i slutten* av regnet har derimot problemer med å håndtere overvannsmengden, da det allerede er vann i rørene når toppintensiteten inntreffer. Toppintensitetene setter altså flaskehalsen i nettet. Jeg ser også en tendens til at de regnene med forregn har mindre kapasitet til å ta i mot “hoveddelen” av regnet.

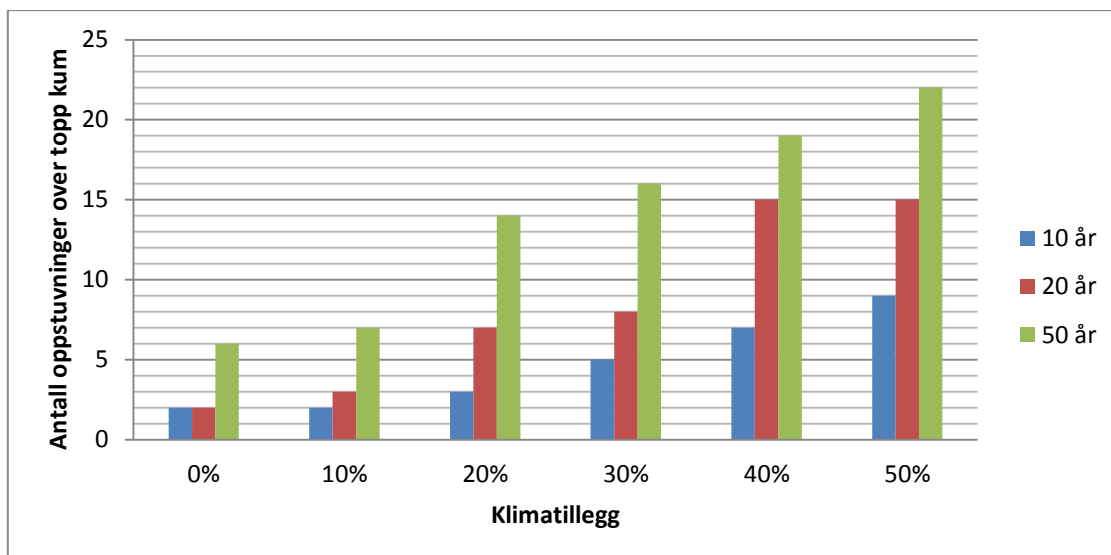
Disse resultatene kan tyde på at *utformingen* av regnet har mye å si for oversvømmelser av kummene. Altså vil toppintensitetens *størrelse*, og *når* den kommer (om den kommer i starten eller slutten av regnet), påvirke hvor store problemer overvannsnettets har med å håndtere vannmengdene. *Utformingen* på regnet har altså trolig mer å si enn det *totale volumet*. Så selv om et regn har høyt totalvolum er ikke dette entydig med at det skaper mest problemer blant regnene.

Resultatene fra de historiske regnene viser at overvannsnettets tåler regn med lav intensitet over lengre tid, men med én gang høyere intensiteter inntreffer oppstår det flere problemer. Det vil da være *toppintensitetene* som virker dimensjonerende på et felt av denne størrelsen. Toppintensitetene setter i hvert fall flaskehalsen i nettet, og det kan være nødvendig å gjøre tiltak slik at nettet kan håndtere høyere intensiteter.

Jeg vil minne om at det er ingen oversikt over hvilke skader tidligere regnhendelser har forårsaket for dette feltet. Det er derfor vanskelig å knytte resultatene fra simuleringene opp mot virkeligheten. Modellen er heller ikke kalibrert.

4.3 Simulering av symmetriske hyetogrammer

Figuren under viser antall oppstuvninger over topp rør for de forskjellige konstruerte hyetogrammene, med tillegg for klimaendringer. Figuren viser at antall oppstuvninger over bakkenivå øker med i takt med klimatilleggene. Dette er som forventet.



Figur 61 – Antall oppstuvninger for de konstruerte hyetogrammene, inkl. klimaendringer.

For hvert av gjentaksintervallene vil jeg, som nevnt tidligere, legge frem bildeserier som viser utviklingen ved tillegg for klimaendringer. Det utvalgte problemområdet er merket med gult.

4.3.1 Resultater for regn med 10-års gjentaksintervall

Det konstruerte hyetogrammet som skal tilsvare et regn med gjentaksintervall på 10 år, skaper noen problemer for overvannsnett. Tabellen under viser hvilke kummer som får problemer med oppstuvninger over bakkenivå. X betyr oppstuvning over bakkenivå, og prosentene tilsvarer prosenttillegg for estimerte klimaendringer. Det røde feltet viser de to kummene som får oppstuvninger uten tillegg for klimaendringer. De fem kummene som er markert med gult får oppstuvninger over bakkenivå når 20 % eller mer blir lagt til regnet. Kummene som er markert med grønt får bare oppstuvninger når det blir lagt til 50 % til regnet. Det er jevn økning i antall oppstuvninger over bakkenivå ved klimatillegg, med unntak fra 0 til 10 % der det ikke er noen forskjell i antall kummer med oppstuvning over bakkenivå.

Tabell 16 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 10-års regnhyetogram.

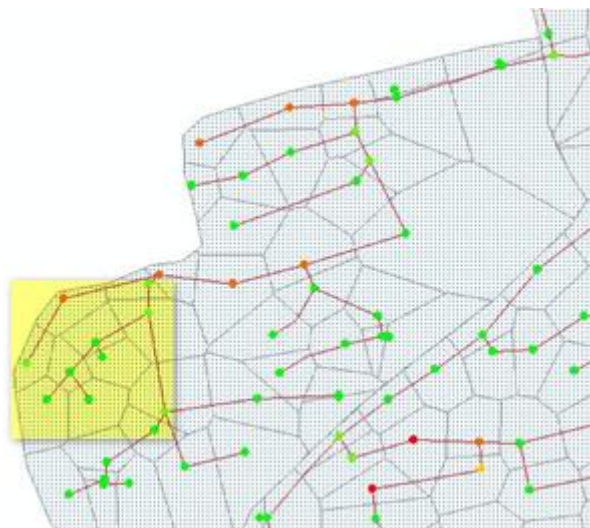
Kum ID	Tillegg for klimaendringer					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
100	x	x	x	x	x	x
419	x	x	x	x	x	x
15579			x	x	x	x
3189				x	x	x
2330				x	x	x
5097					x	x
420					x	x
15577						x
8400						x

Tabellen under viser antallet oppstuvninger over bakkenivå ved “normal”- og “spilling”-innstilling på kummene. Det er ikke noe endring før 40 og 50 % blir lagt til det konstruerte regnet. Det er litt uventet for meg at det ikke er større utslag. Dette kan komme av at regnet er så “lite” at de forskjellige innstillingene på kummene har minimal påvirkning på antall oppstuvninger over bakkenivå.

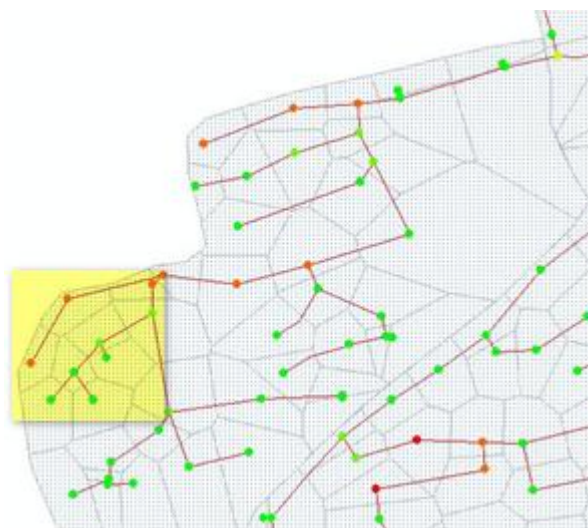
Tabell 17 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 10-årsregnet, etter kuminnstillinger.

Klimatillegg	Normal	Spilling	Endring
0 %	2	2	0,00 %
10 %	2	2	0,00 %
20 %	3	3	0,00 %
30 %	5	5	0,00 %
40 %	7	6	-14,29 %
50 %	9	7	-22,22 %

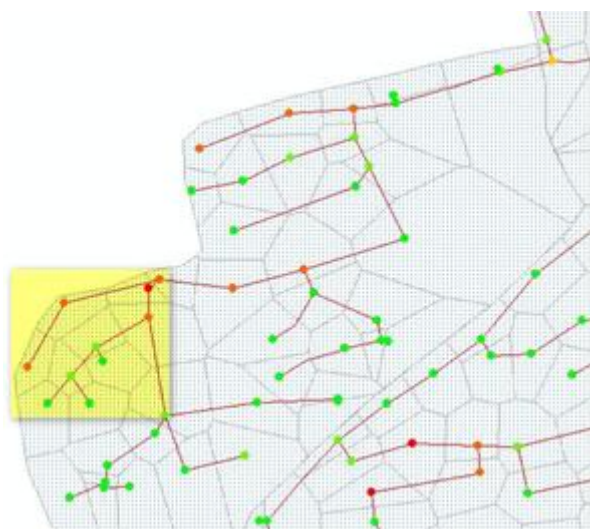
Figurene på neste side viser oppstuvningsnivået med og uten tillegg for klimaendringer. I takt med de forskjellige klimatilleggene øker oppstuvningsnivået i kummene (markert med de forskjellige fargene). Ved kritiske knutepunkt bygger oppstuvningene seg oppstrøms etter økning i regnmengder. De gule markeringene på figurene viser et eksempel på slikt “knotepunktproblem”.



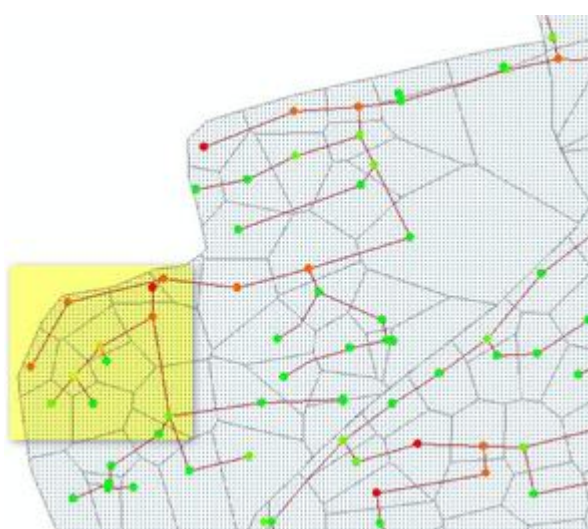
Figur 62 – 10 års gjentakintervall uten tillegg for klimaendringer.



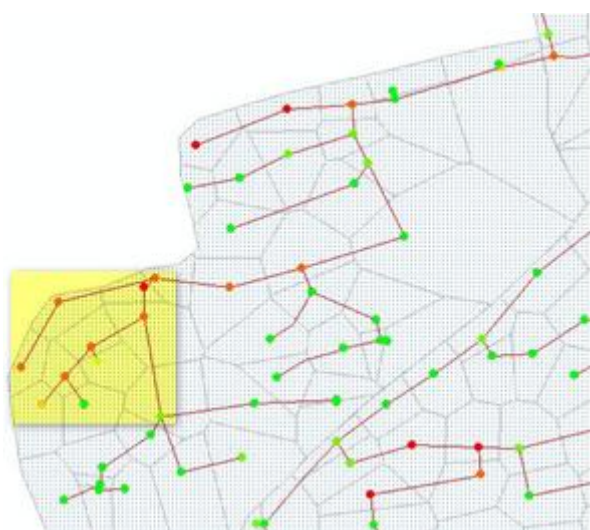
Figur 63 – 10 års gjentakintervall med 10 % tillegg for klimaendringer.



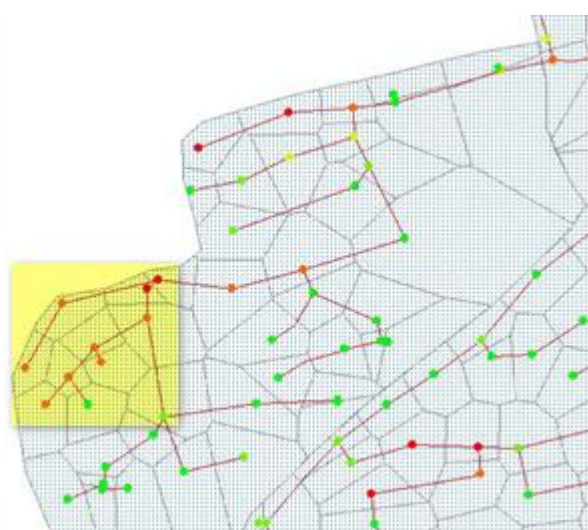
Figur 64 – 10 års gjentakintervall med 20 % tillegg for klimaendringer.



Figur 65 – 10 års gjentakintervall med 30 % tillegg for klimaendringer.



Figur 66 – 10 års gjentakintervall med 40 % tillegg for klimaendringer.



Figur 67 – 10 års gjentakintervall med 50 % tillegg for klimaendringer.

4.3.2 Resultater for regn med 20-års gjentaksintervall

Tabellen under viser hvilke kummer som oppnår oppstuvninger over topp kum, ved forskjellige tillegg for klimaendringer, og med gjentaksintervall på 20 år. X betyr oppstuvning over topp kum. Det røde feltet viser hvilke kummer som har problemer med oppstuvninger selv uten tillegg for klimaendringer. De kummene som får oppstuvning over bakkenivå når 10 % eller mer legges til regnet, er markert med gult. Man kan se at det er en markant økning i antall oppstuvninger over bakkenivå når klimatillegget øker fra 30 til 40 %.

Tabell 18 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 20-års regnhyetogram.

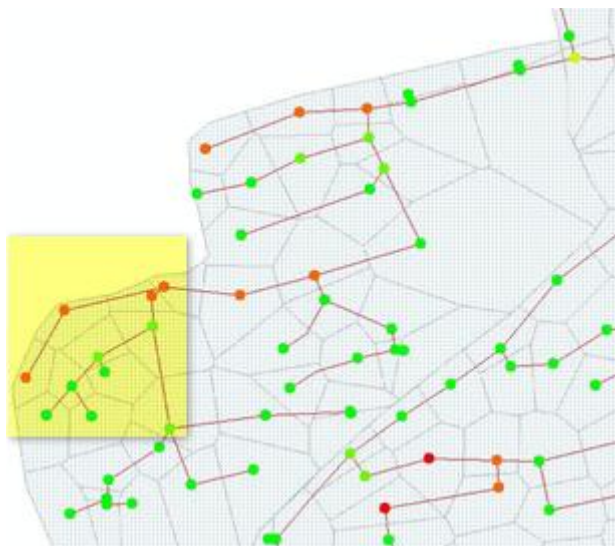
Kum ID	Tillegg for klimaendringer					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
100	x	x	x	x	x	x
419	x	x	x	x	x	x
15579		x	x	x	x	x
5097			x	x	x	x
3189			x	x	x	x
2330			x	x	x	x
420			x	x	x	x
8400				x	x	x
15585					x	x
15577					x	x
15616					x	x
9599					x	x
4500					x	x
4503					x	x
1_41					x	x

Under viser tabell 19 antall oppstuvninger ved forskjellige kum-innstillinger for det konstruerte 20-årsregnet. Når alle kummene er satt til "normal" blir det som forventet et større antall med oppstuvninger over bakkenivå. Det er ikke før 20 % blir lagt til regnet før innstillingen på kummen har noe påvirkning på antall oppstuvninger.

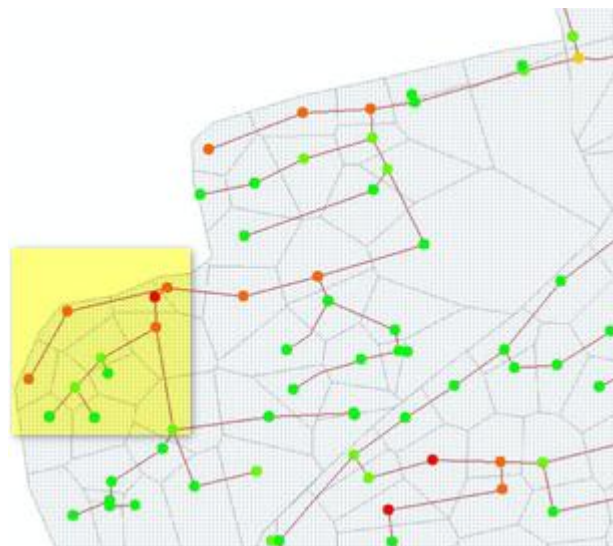
Tabell 19 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 20-årsregnet, etter kuminnstillinger.

Klimatillegg	Normal	Spilling	Endring
0 %	2	2	0,00 %
10 %	3	3	0,00 %
20 %	7	6	-14,29 %
30 %	8	6	-25,00 %
40 %	15	12	-20,00 %
50 %	16	14	-12,50 %

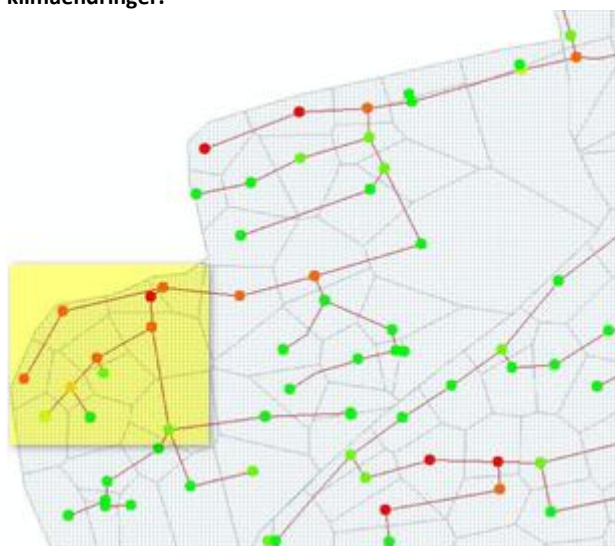
Figurene på neste side viser oppstuvningsnivå i kummer for det utvalgte området. Som for 10-årshyetogrammet ser man at oppstuvningene øker oppstrøms fra kritiske knutepunkter i takt med klimatilleggene.



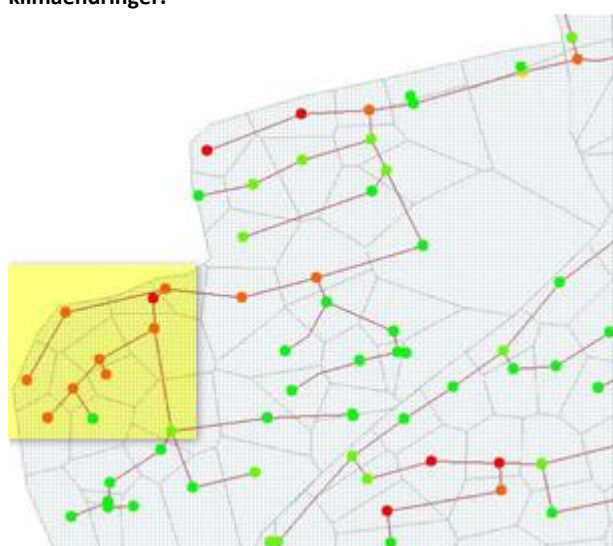
Figur 68 – Gjentakintervall på 20 år uten tillegg for klimaendringer.



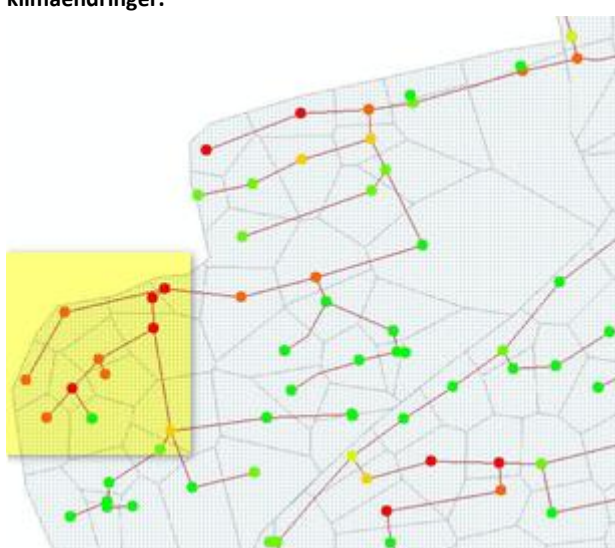
Figur 69 – Gjentakintervall på 20 år med 10 % tillegg for klimaendringer.



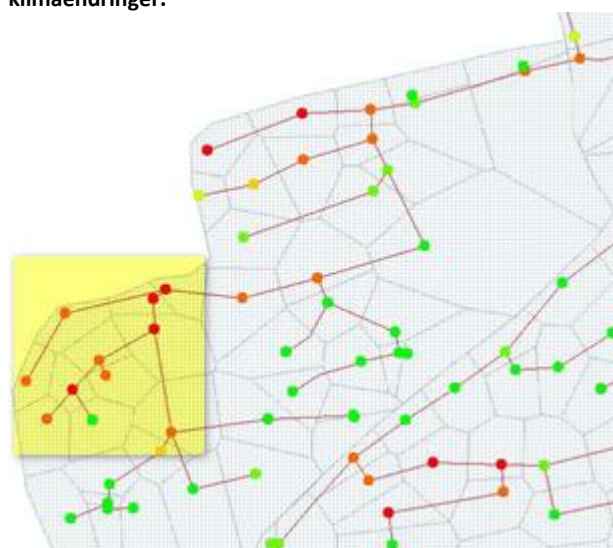
Figur 70 – Gjentakintervall på 20 år med 20 % tillegg for klimaendringer.



Figur 71 – Gjentakintervall på 20 år med 30 % tillegg for klimaendringer.



Figur 72 – Gjentakintervall på 20 år med 40 % tillegg for klimaendringer.



Figur 73 – Gjentakintervall på 20 år med 50 % tillegg for klimaendringer.

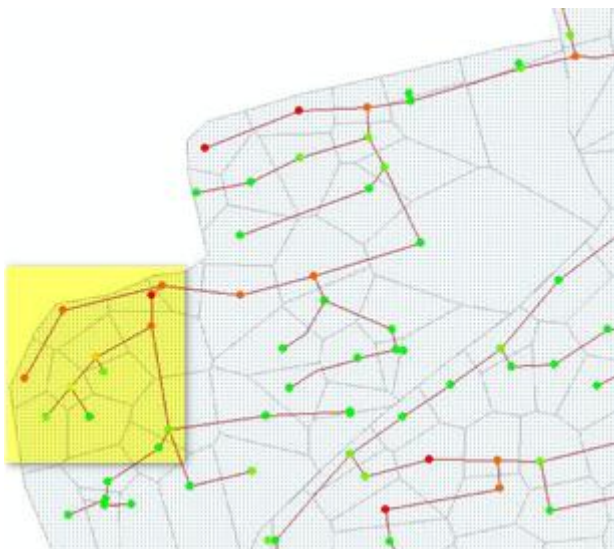
4.3.3 Resultater for regn med 50 års gjentaksintervall

Tabellen under viser hvilke kummer som har oppstuvninger over bakkenivå for hyetogrammet med 50-års gjentaksintervall, ved forskjellige klimatillegg. Det røde feltet viser kummer hvor det oppstår oppstuvninger over bakkenivå selv uten tillegg for klimaendringer. Kummene i det gule feltet har oppstuvninger over bakkenivå når 10 % eller mer blir lagt til regnet. Det grønne feltet viser hvilke kummer som bare får oppstuvninger ved 50 % tillegg til regnet. Som forventet gir det konstruerte regnet med gjentaksintervall på 50 år dårligst resultater. Uten prosenttillegg for klimaendringer er det seks kummer som flommer over, mens ved 50 % tillegg er det hele 22 kummer som har oppstuvning over bakkenivå. Størst økning i antall kummer som flommer over er fra 10 til 20 % tillegg for klimaendringer, da antall kummer med oppstuvninger over bakkenivå øker med syv, fra syv til 14.

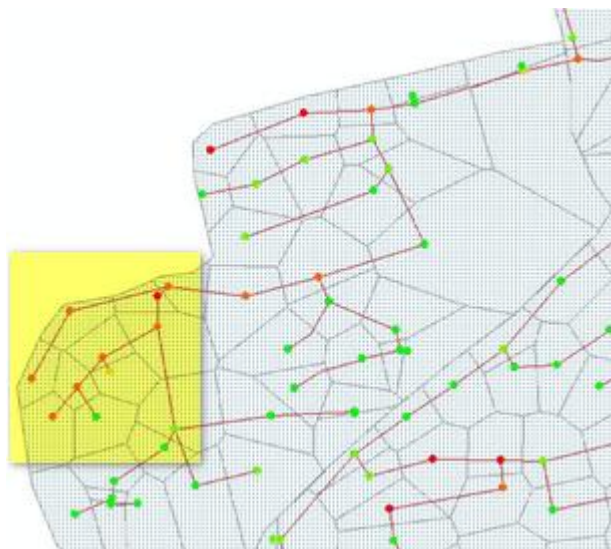
Tabell 20 – Kummer med oppstuvninger over bakkenivå for 50-års regnhyetogram.

Kum ID	Tillegg for klimaendringer					
	0 %	10 %	20 %	30 %	40 %	50 %
15579	x	x	x	x	x	x
5097	x	x	x	x	x	x
100	x	x	x	x	x	x
3189	x	x	x	x	x	x
2330	x	x	x	x	x	x
419	x	x	x	x	x	x
420		x	x	x	x	x
15585			x	x	x	x
15577			x	x	x	x
15616			x	x	x	x
9599			x	x	x	x
8400			x	x	x	x
4503			x	x	x	x
1_41			x	x	x	x
5321				x	x	x
4500				x	x	x
15587					x	x
15621					x	x
9597					x	x
5323						x
2328						x
416						x

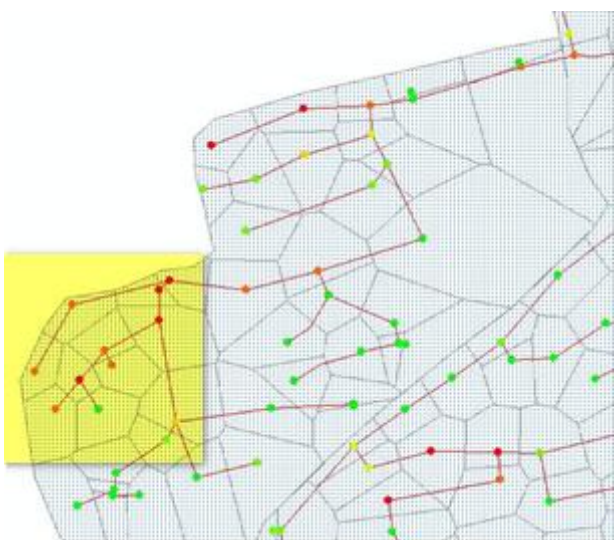
De seks figurene på neste side viser den samme utviklingen i oppstuvninger som figurene for 10- og 20-årshyetogrammene. Den eneste forskjellen er at 50-årsregnet har seks kummer som oversvømmes før klimatillegg lagt til.



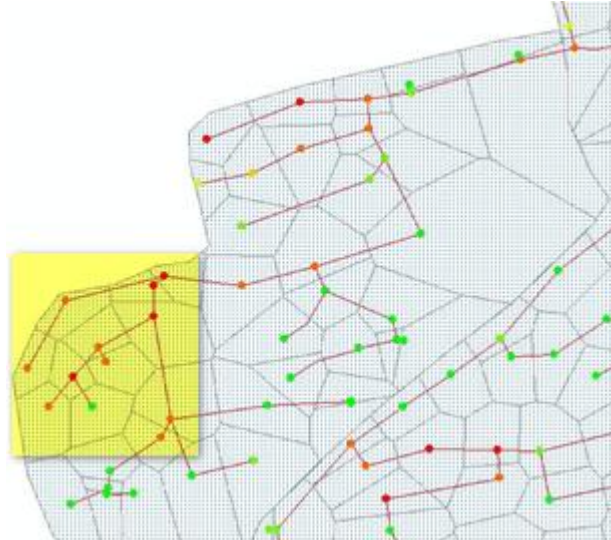
Figur 74 – Gjentakintervall på 50 år uten tillegg for klimaendringer.



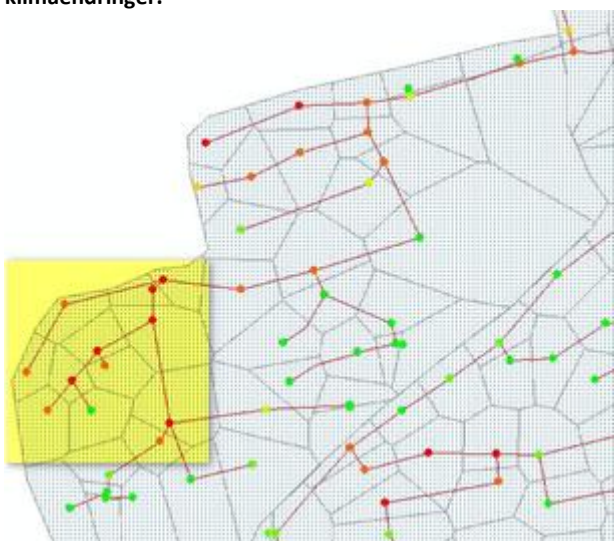
Figur 75 – Gjentakintervall på 50 år med 10 % tillegg for klimaendringer.



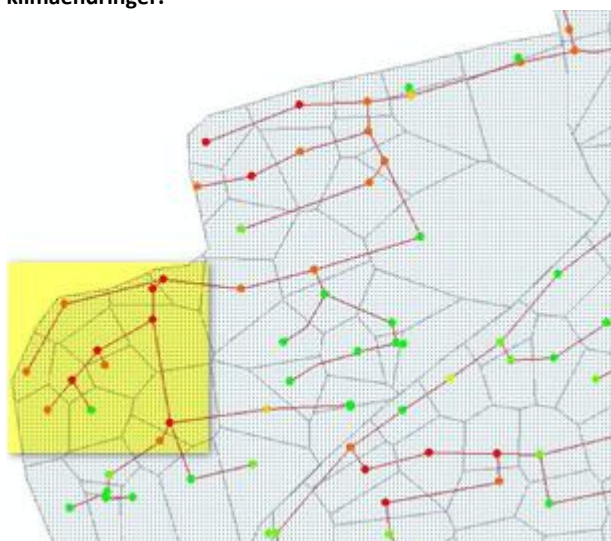
Figur 76 – Gjentakintervall på 50 år med 20 % tillegg for klimaendringer.



Figur 77 – Gjentakintervall på 50 år med 30 % tillegg for klimaendringer.



Figur 78 – Gjentakintervall på 50 år med 40 % tillegg for klimaendringer.



Figur 79 – Gjentakintervall på 50 år med 50 % tillegg for klimaendringer.

Tabellen under viser antall oppstuvninger over bakkenivå med “normal”- og “spilling”- innstilling på kummene ved dette regnet. Som forventet minker antall oppstuvninger når kummene har “spilling” egenskaper. I motsetning til 10- og 20-årsregnet er det endring i antall oppstuvninger over bakkenivå i alle tilfellene for det konstruerte 50-årsregnet.

Tabell 21 – Antall oppstuvninger for det konstruerte 50-årsregnet, etter kuminnstillinger.

Klimatillegg	Normal	Spilling	Endring
0 %	6	5	-16,67 %
10 %	7	6	-14,29 %
20 %	14	10	-28,57 %
30 %	16	14	-12,50 %
40 %	19	16	-15,79 %
50 %	22	20	-9,09 %

4.3.4 Oppsummering og analyse av de konstruerte hyetogrammene

Alle de konstruerte regnene gir oppstuvninger over bakkenivå uten tillegg for klimaendringer, og det er to kummer som oppnår oppstuvning over bakkenivå ved simulering av alle regnhyetogram. Dette er kum 100 og 419. For regnene med 10- og 20-årgjentaksintervall var det også bare disse to kummene som flommet over. *Svenskt Vatten* bruker gjentaksintervall på ti år for dagvannsledninger med trykklinj over marknivå (Svenskt Vatten 2004). Jeg vil derfor regne det som akseptabelt at det er to kummer med oppstuvninger over bakkenivå for begge disse konstruerte regnene. Det er ingen endring i antall oppstuvninger når jeg legger til 10 % til regnintensitetene i det konstruerte 10-årsregnet.

Det er vanskelig å sammenligne de historiske og de konstruerte regnene. Under simuleringsperioden hadde jeg et inntrykk av at de konstruerte regnene var strengere med overvannsnettet enn det de historiske regnene var. Dette er ikke alltid tilfellet. Ettersom de konstruerte regnene har varighet på 60 minutter, er det naturlig å sammenligne de konstruerte regnene med de fire største historiske regnene med varighet på 60 minutter. Tabellen på side 30 viser de forskjellige gjentaksintervallene for de fire regnene på 60 minutter. Jeg har brukt disse tallene i tabellen under for å vise antall oppstuvninger for de konstruerte regnene mot antall oppstuvninger for de målte regnene med varighet på 60 minutter. Det eneste historiske regnet som gir dårligere resultat enn de konstruerte er regnet i 2002. Resten av de utvalgte historiske regnene gir mildere resultater enn de konstruerte. Grønn farge merker laveste verdi for hvert gjentaksintervall, mens rød farge tilsvarer høyeste verdi.

Tabell 22 – Sammenligning: antall oppstuvninger over bakkenivå, konstruerte vs. historiske regn.

Gjentaksintervall	Konstruert	Historiske regn med varighet på 60 minutter			
		2002	1996	1994	1990
10 år	2			0	0
20 år	2	7			
50 år	6		0		

Ettersom to av 10-minuttersregene har en total tid på rundt 60 minutter, inkludert forregn og etterregn, vil jeg i tillegg sammenligne de konstruerte regnene med disse. Regnene i 2003 og 1980 har en total simuleringstid på henholdsvis 67 og 60 minutter. Tabell 23 viser en sammenligning av antall oppstuvninger for de to nevnte regnene og de tre konstruerte regnene. For disse historiske regnene gir regnet i 1980 flere oppstuvninger over bakkenivå, i forhold til det konstruerte regnet med samme gjentaksintervall. Regnet i 2003 gir ingen oppstuvninger over bakkenivå, mot to oppstuvninger over bakkenivå for det konstruerte regnet.

Tabell 23 – Sammenlikning: antall oppstuvninger over bakkenivå, regnene i 1980 og 2003.

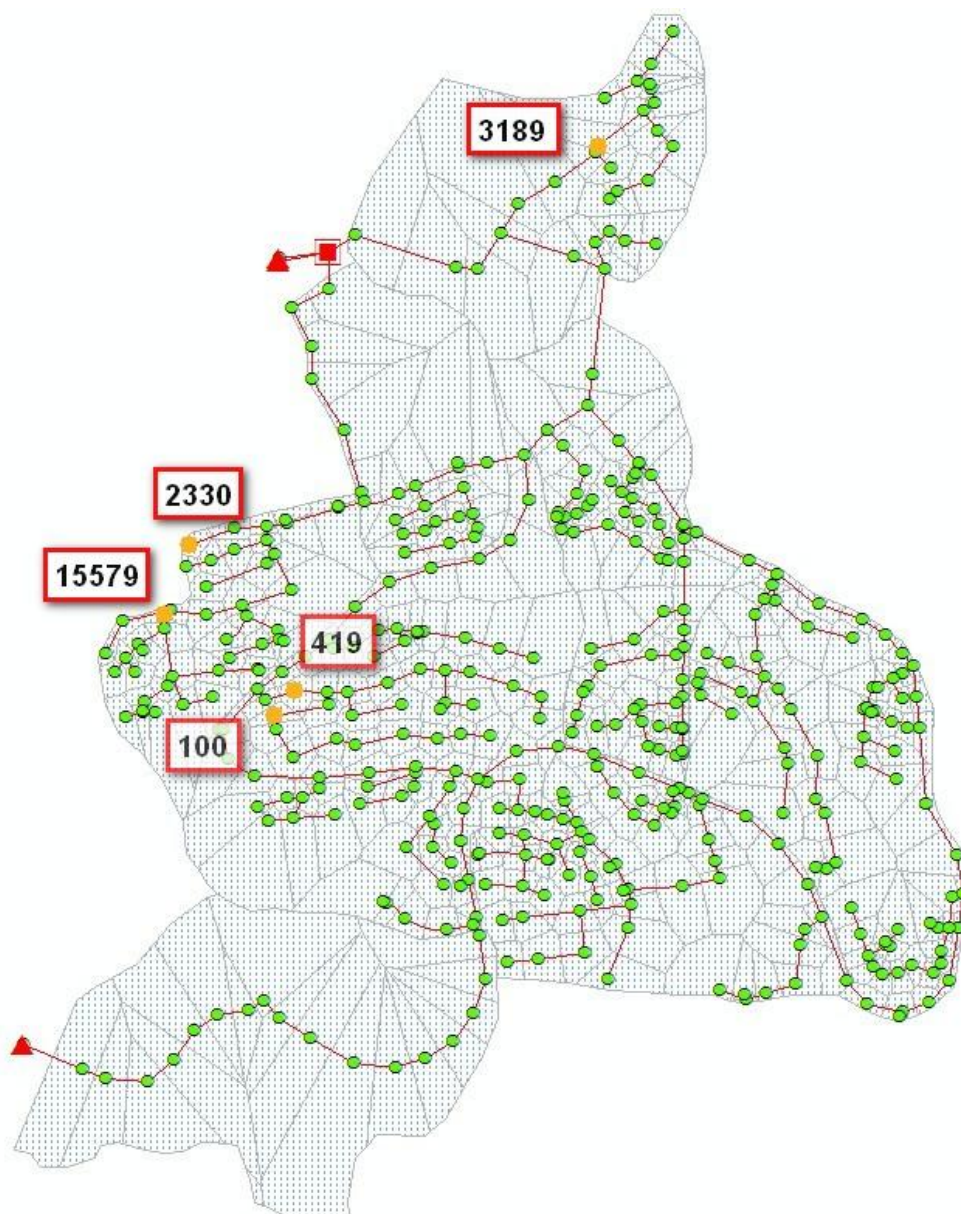
Gjentaksintervall	Konstruert	Historisk regn	
		2003	1980
10 år	2	0	
20 år	2		3
50 år	6		

Som de to tabellene viser, er det ikke lett å gi noen konklusjon for om de konstruerte regnene er strengere med systemet enn de utvalgte historiske regnene. Det jeg tror har mest å si, som nevnt tidligere, er *utformingen* på regnet.

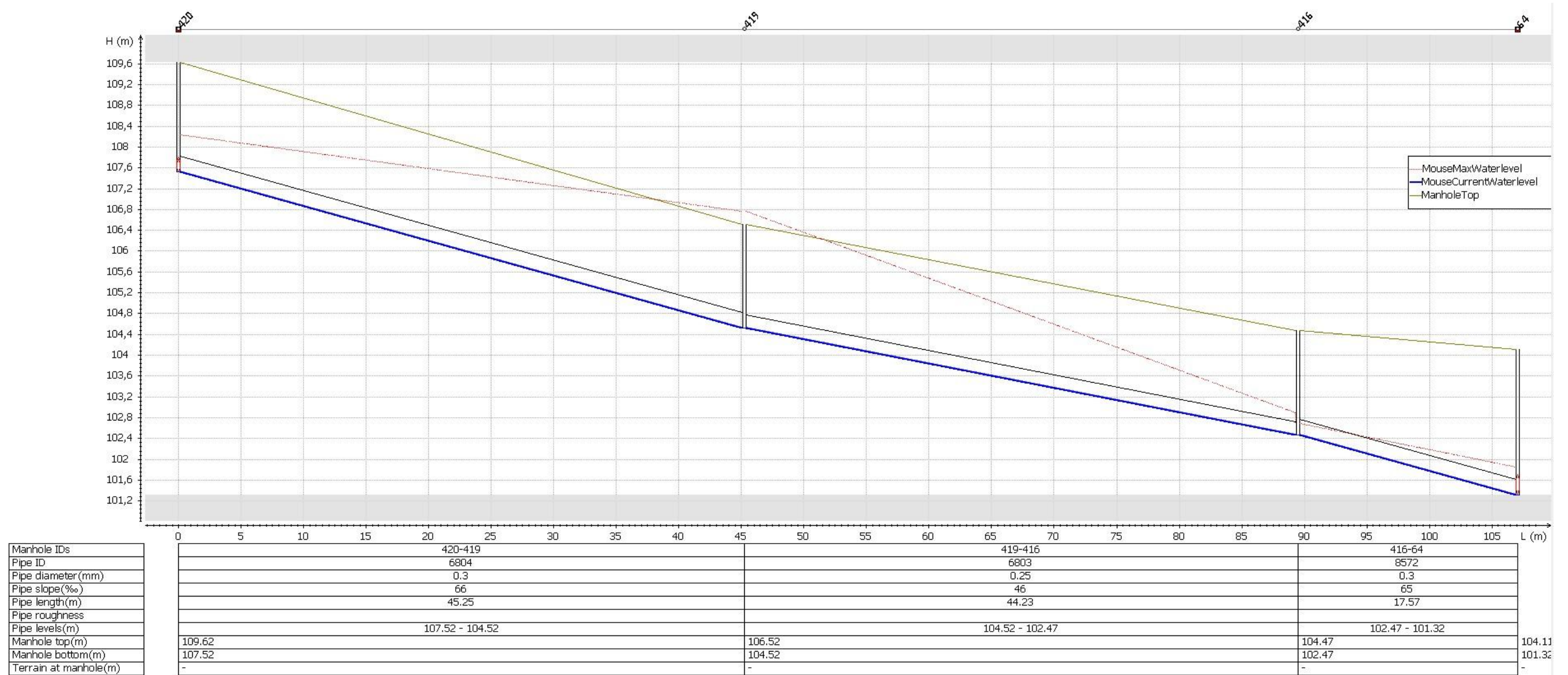
Det er tydelig at de *forskjellige innstillingene på kummene* har betydning for resultatene. Når jeg sammenligner endringen i antall oppstuvninger over bakkenivå for de forskjellige regnene, ser jeg at 10-årsregnet (som er det minste regnet) blir minst påvirket av de forskjellige kuminnstillingene. Det kan virke som at mer vann i systemet, betyr at kummenes innstillinger får større betydning. For 10-årsregnet er det bare når jeg legger til henholdsvis 40 og 50 % til regnet at kummenes innstillinger har noe påvirkning på antall oppstuvninger over bakkenivå. For 20-årsregnet måtte jeg også legge til klimatillegg for at for å få noe endring i antall oppstuvninger. For 50-årsregnet er det forskjell i antall oppstuvninger for “normal” og “spilling”, selv uten tillegg for klimaendringer. Dette styrker min teori i at innstillingene på kummene har en større påvirkning på antall oppstuvninger over bakkenivå jo mer vann det er i systemet.

4.4 Nærmere analyse av noen utvalgte kummer

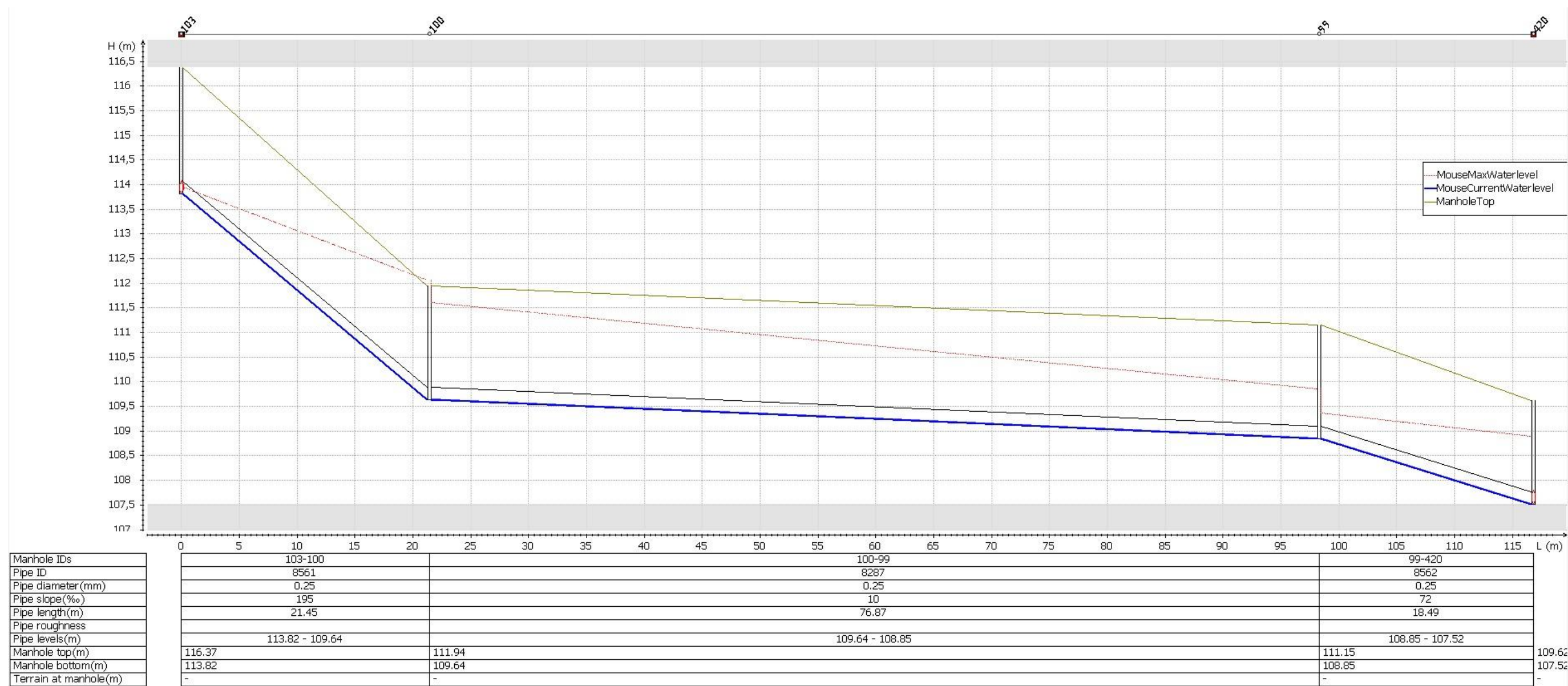
Jeg vil nå se kort på de fem kummene jeg har funnet ut er de mest kritiske for Bogafjellfeltet. Figuren under viser disse kummene markert med et oransje punkt og kum-ID. De fem kummene er alltid de første som får problemer med oppstuvninger over bakkenivå, for både de historiske og de konstruerte regnene. Problemområdet som ble brukt som utsnittsområde for de konstruerte regnene inneholder fire av kummene. Etersom disse fem kummene skaper mest problemer kan det være nyttig å vurdere nærmere mulige tiltak som kan gjøres i områdene rundt disse. Jeg vil nevne litt om kummene 100 og 419, fordi det er to kummer som flommer over ved simulering av alle de konstruerte regnene.



Figur 80 – Oversikt over de fem mest kritiske kummene.



Figur 81 – Profil av ledningstrekket mellom kum 420 og kum 64.



Figur 82 – Profil av ledningstrekket mellom kum 103 og 420.

4.4.1 Spesielt om kum 419

Figur 81 viser utsnitt av ledningsstrekking mellom kum 420, 419, 416 og 64. Den tynne røde streken viser den maksimale trykklinjen i løpet av det konstruerte 10-årsregnet. Denne trykklinjen går over bakkenivå ved kum 419.

Grunnen til at kum 419 har så store problemer med oppstuvning over bakkenivå er trolig at rørdimensjonen er for liten. Som figuren viser, renner overvannet fra kum 420 ned til kum 419. Disse kummene er koblet sammen med rør 6804, som har diameter på 300 millimeter. Overvannet renner så videre fra kum 419 til kum 416 med rør 6803 som har 250 millimeter i diameter. Det er her problemet oppstår ettersom man har gått ned en rørdimensjon. Dette kan komme av at kommunen har gjort en feil ved legging av rør, eller det kan være at feil informasjon er lagt inn i MIKE URBAN-modellen da denne ble laget.

Videre renner overvannet fra kum 416 til kum 64. Denne strekningen har en rørdimensjon på 300 millimeter. Det er derfor rart at rør 6803 skal mindre diameter enn det foregående røret og røret etter. Et forslag til tiltak som kan redusere problemet ved kum 419 vil være å gå opp på rørdimensjonen til rør 6803, som er det utgående røret fra kum 419.

4.4.2 Spesielt om kum 100

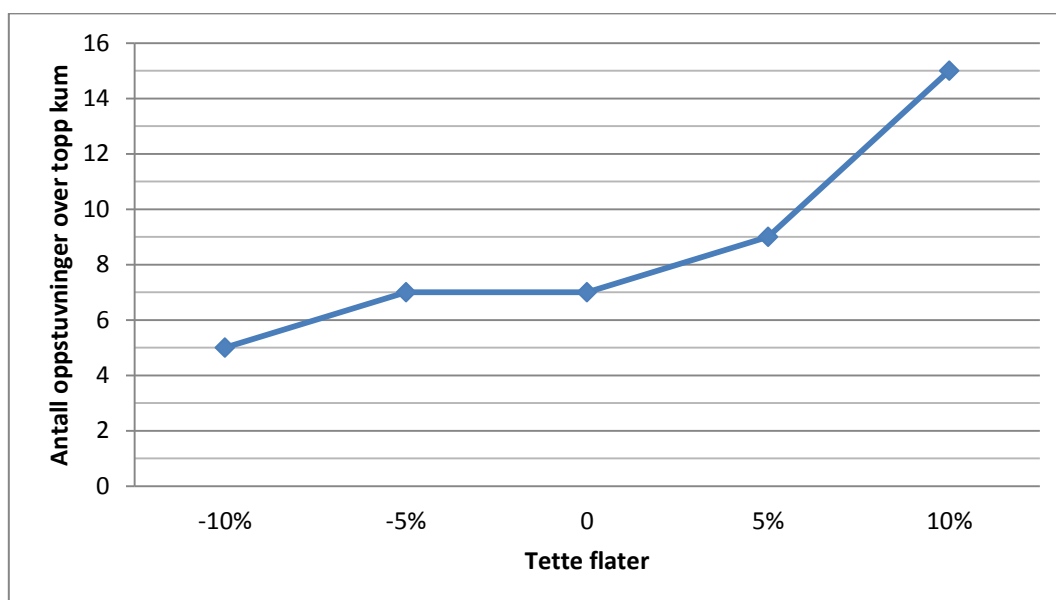
Figur 82 viser utsnitt av ledningsstrekking mellom kum 103, 100, 99 og 420. Den tynne røde streken viser det maksimale trykknivået i løpet av det konstruerte 10-årsregnet, uten klimatillegg.

Problemene som oppstår for kum 100 kan komme av helningen på rør 8287, som er mellom kum 100 og 99. Helningen i dette rørstrekking er mindre enn røret som går fra kum 103 til kum 100. Helningen på det innkommende røret (nr. 8561) til kum 100 er 195 %, og helningen fra det utgående røret fra kum 100 er 10 %. Kum 100 vil derfor fungere som en flaskehals, og vil lett få oppstuvning over bakkenivå. Rørdimensjonen er på 250 millimeter for de to ledningene. Et mulig tiltak for dette problemområdet kan være å innføre fordrøynings tiltak.

4.5 Analyse av følsomhet

4.5.1 Tette flater

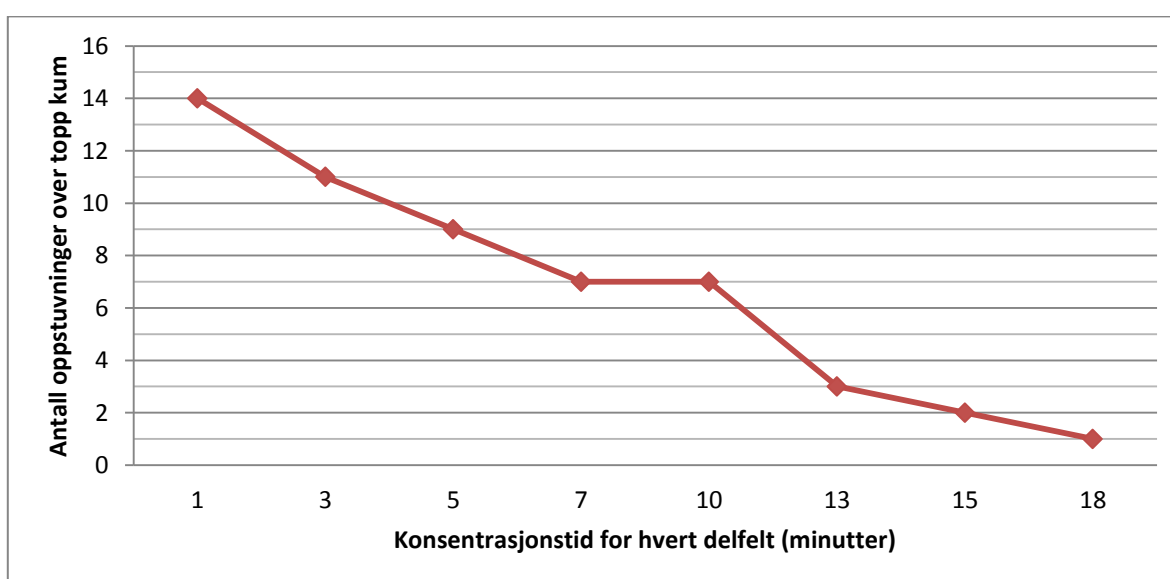
Figuren under viser systemets følsomhet ved forskjellige grader av tette flater i forhold til virkelig andel tette flater (null på x-akse). Som forventet øker antall oversvømmelser i takt med økningen av andelen tette flater. I dette tilfellet blir det målte regnet med varighet på 10 minutter fra 2002 brukt. Alle delfelt fikk den samme økningen eller reduksjonen av tette flater. Når andelen tette flater øker med 10 %, øker antall oppstuvninger over bakkenivå med 114 %. En tilsvarende reduksjon i tette flater reduserer antall oppstuvninger over bakkenivå med 29 %. Dette betyr at modellen er svært sensitiv til en økning i andelen tette flater, med antall oppstuvninger over bakkenivå som måleenhet. For en reduksjon i tette flater er ikke modellen like sensitiv, og det er bare en liten nedgang i antallet oppstuvninger over bakkenivå.



Figur 83 – Konsekvenser i antall oppstuvninger ved endring i andel av tette flater, for alle delfelt.

4.5.2 Konsentrasjonstid for delfelt

Figuren under viser antall oppstuvninger over bakkenivå i takt med endring av konsentrasjonstiden til delfeltene. Det er forventet en økning i antall oppstuvninger ved kortere konsentrasjonstid, og færre oppstuvninger ved lang konsentrasjonstid. Konsentrasjonstiden forteller hvor lang tid vannet bruker fra det ytterste punktet i feltet og frem til kummen. Dette betyr at lengre konsentrasjonstid forsinket vannet. Som nevnt tidligere er konsentrasjonstiden satt til syv minutter som standard. Når konsentrasjonstiden settes til ett minutt øker antall oppstuvninger over bakkenivå med 100 % i forhold til en konsentrasjonstid på syv minutter. I tilfellet der konsentrasjonstiden ble satt til 18 minutter, blir det en reduksjon på 86 % i antall oppstuvninger i forhold til en konsentrasjonstid på syv minutter. Jeg vil påstå at forholdet mellom konsentrasjonstiden til delfeltene og antall oppstuvninger over bakkenivå er tilnærmet lineær.



Figur 84 – Konsekvenser i antall oppstuvninger ved endring i konsentrasjonstid for alle delfelt.

4.6 Avsluttende refleksjoner

4.6.1 Problemer underveis

Det oppstod ulike problemer ved overføring av MIKE URBAN-modellen til ROSIE. De fleste problemene var knyttet til de permeable og tette flatene i delfeltene. Først manglet halvparten av delfeltene verdier for tette flater. Programmet tolket derfor alt som permeable flater, og ettersom bare de tette flatene gir avrenning ved tid/areal-metoden, ble det alt for lite vann i systemet. Da jeg rettet dette opp, oppstod det et annet problem grunnet i at volumet fra "Runoff" var alt for stort. Ettersom Sandnes' "shapefil" ikke var oppdatert med de nyeste bygningsmassene, måtte jeg, som nevnt tidligere, sette alle de tette flatene som veier. I løpet av denne konverteringen skjedde det en feil, og modellen fikk en dobling i andelen tette flater for alle delfelt.

Jeg tror mange av problemene jeg hadde med modellen kunne vært unngått hvis denne hadde vært tilgjengelig tidligere, slik at Geir Lindholm hos ROSIM hadde hatt bedre tid til konverteringsprosessen. DHI var ferdig med modellen i januar, noe som betød at jeg ikke fikk startet på mitt arbeid før i slutten av mars.

Et annet uventet problem var hvor tungvint det var å hente ut regndata fra eklima.no. I starten måtte jeg hente ut for ett år av gangen. Tilslutt endret Metrologisk Institutt dette, slik at det nå er mulig å hente ut data for 20 år av gangen. Dette gjorde arbeidet med å lage en tekstfil som jeg kunne bruke i MATLAB lettere.

Mot slutten av oppgaveskrivingen, da jeg satt og leste korrektur, kom jeg over rapporten *Utrekning overvann*¹¹ av Asplan Viak, laget for Sandnes tomteselskap KF. Det overrasket meg at de ikke har opplyst meg om denne. Jeg har derfor ikke brukt noe av informasjonen fra denne rapporten i oppgaven.

4.6.2 Spørsmål jeg sitter igjen med

Avrenning fra rurale områder

Jeg sitter igjen med et spørsmål om stor effekt overflateavrenning fra rurale områder har på de urbane områdene. Dette fordi avrenningen fra de rurale områdene vil være såpass forsinket at jeg vil påstå at det ikke vil ha noe påvirkning på den raske overflateavrenningen som skjer i de urbane områdene.

Det vil være en rask respons i de urbane områdene på grunn av tette flater som veier og tak, i motsetning til de rurale feltene hvor mye vil bli holdt tilbake i porøse flater og vegetasjon. Men ved frost, eller mye regn som fører til mettede flater, er det mulig at overflateavrenning til et urbant område nedstrøms vil skje.

Simuleringene i denne oppgaven er korte regnhendelser på under to timer. Det vil derfor være svært usannsynlig at avrenning fra rurale områder har mye å si for resultatene mine. For lengre regnhendelser kan avrenning fra rurale områder påvirke urbane områder. For eksempel kan en elv som renner gjennom et urbant område, få økt vannføring på grunn av avrenning fra rurale områder. Flom i en slik elv kan da føre til at vannet renner ned i nærliggende kummer. For å inkludere

¹¹ Utvalg for byutvikling 11.05.11 sak 45/11 vedlegg 13, tilgjengelig fra: http://www.sandnes.kommune.no/Fillager/Internett/politikk/utvalg/2011/Byutvikling/110511/sak45_vedlegg13.pdf

avrenning fra rurale områder vil ikke bare MIKE URBAN modellen være nok, man vil muligens trenge for eksempel en *MIKE SHE-modell*, noe dette oppgavearbeidet ikke gir tilstrekkelig tid til å lære, eller bruke.

Valg av regn

Ettersom resultatene tyder på at det er de største intensitetene i regnet, og ikke det totale volumet, som er utslagsgivende for oppstuvninger, er jeg ikke sikker på om det var riktig av meg å plukke ut de fire største regnene med tanke på *volum* for 30- og 60-minuttersregnene. For eksempel oppstår det ingen problemer for noen av de utvalgte regnene (for 30 og 60 minutter), utenom regnet i 2002, som har mye lavere gjentaksintervall og dermed også lavere totalt volum enn de andre.

Beregningssteg

Ved valg av *beregningssteg* tror jeg at jeg burde ha valgt beregningssteg mindre enn fem minutter. Hadde jeg valgt slikt mindre beregningssteg, ville hyetogrammene hatt større toppintensitet, ettersom oppstuvning over bakkenivå er dimensjonerende for overvannsnettet i separatsystemet. Dette ville passet bedre til dette overvannsnettet, ettersom det virker som at det for små felt vil være *toppintensiteten* til regnet som er dimensjonerende.

4.6.3 Temaer jeg skulle ønske jeg hadde fått tid til, og anbefalinger til senere arbeid

DHI sin modell inneholder to nedbørsfelt. Det ene feltet er ferdig utbygget og består av hus og veier. Det andre feltet er ikke utbygget ennå, og består bare av en vei og en barnehage. Det er planer for videre utbygging av dette feltet, noe som altså vil bety økning i andel tette flater. Hadde jeg hatt tid ville jeg kjørt simuleringer av disse feltene ferdig utbygget, for å få riktig fremtidig andel tette flater, og dermed riktigere grunnlag for å vurdere fremtidige konsekvenser av større regnhendelser.

Som anbefalinger til andre vil jeg nevne å simulere hendelsene med forskjellige tiltak i feltet, for se hvordan tiltakene kan påvirke antall oppstuvninger. Som nevnt i oppgaven er kum 100 og 419 to kummer med problemer som bør være aktuelt å studere nærmere.

Det hadde også vært interessant å se hvordan overvannssystemet reagerer ved kjøring av tidsserier. Man vil da kunne se hvordan feltet reagerer ved lengre regnhendelser. For at dette skal være mulig må man ha RDI-data for hvert delfelt. Jeg regner med at Sandnes kommune eller DHI vil skaffe data for dette og sette det inn i modellen etter hvert. Tidsserier vil sannsynligvis gi flere oppstuvninger over bakkenivå, ettersom de permeable flatene vil bidra til avrenning etter hvert som de blir mettet. Men i forhold til enkeltregnene tar det betydelig lengre tid å simulere tidsserier, så det er klart at jeg ville hatt for lite tid til å gjøre dette nå.

Det er også økonomisk teori knyttet til dette temaet. Jeg har ikke fått tid til å fordype meg i dette, ettersom dette er en ren teknisk oppgave. Kommunene må blant annet ta en avveining av hvilke tiltak som er samfunnsøkonomisk fornuftig å gjennomføre. Den metoden som ofte blir brukt til dette er netto nåverdi, og jeg setter spørsmål ved om denne metoden er riktig å bruke, fordi det ikke er noe fasit på, og derfor for stor usikkerhet rundt, hvilken rentesats man skal sette. I tillegg er det slik at vann- og avløpsavgiften i Norge blir bestemt etter selvkostprinsippet. Økonomisk teori sier at dette prinsippet ikke oppfordrer til optimal drift og utnyttelse av resurser (Bergland 2010). På denne måten kan kommunene sette disse avgiftene lavt for å oppnå tilflytting til kommunen, noe som fører til at avgiftene totalt ikke er nok for å vedlikeholde og utvikle nettet for den økende befolkningen.

Kildeliste

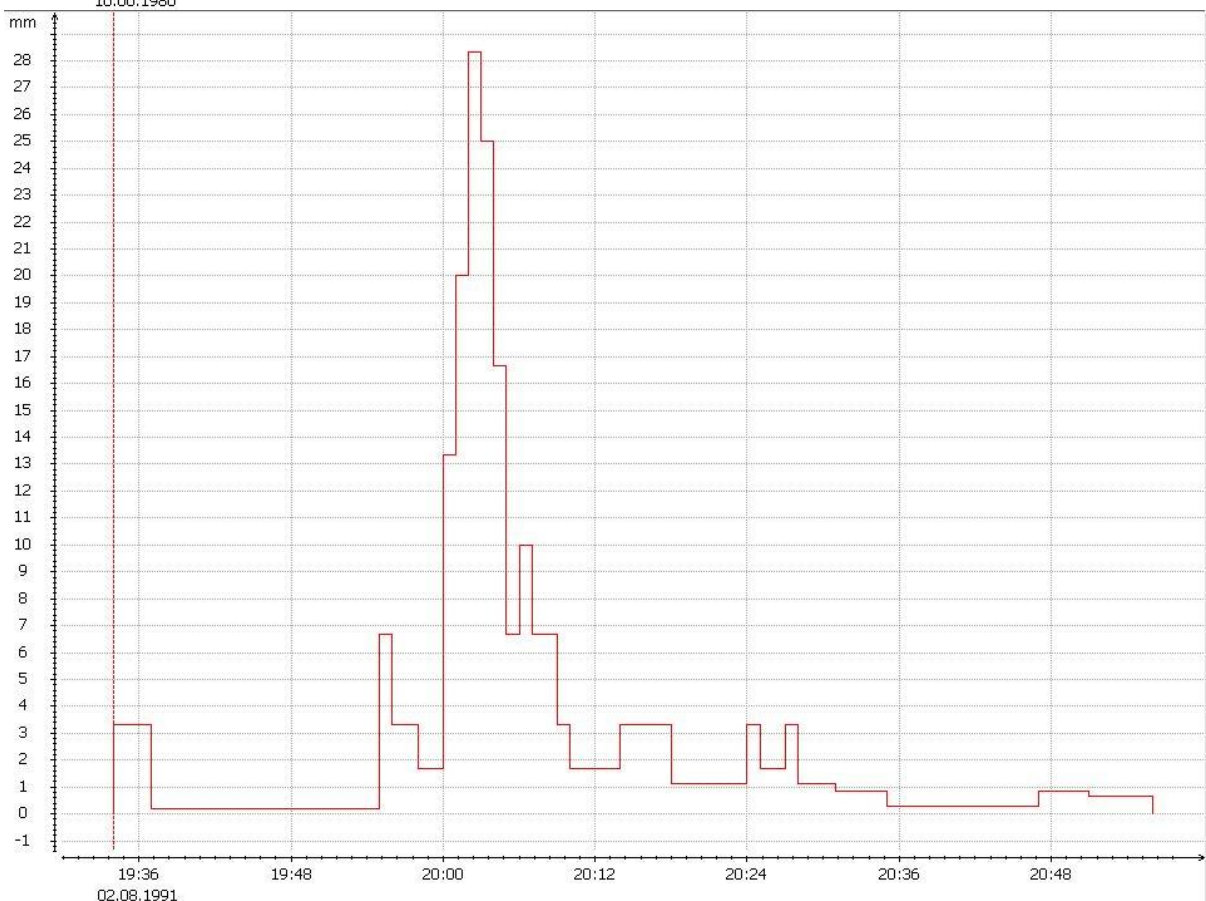
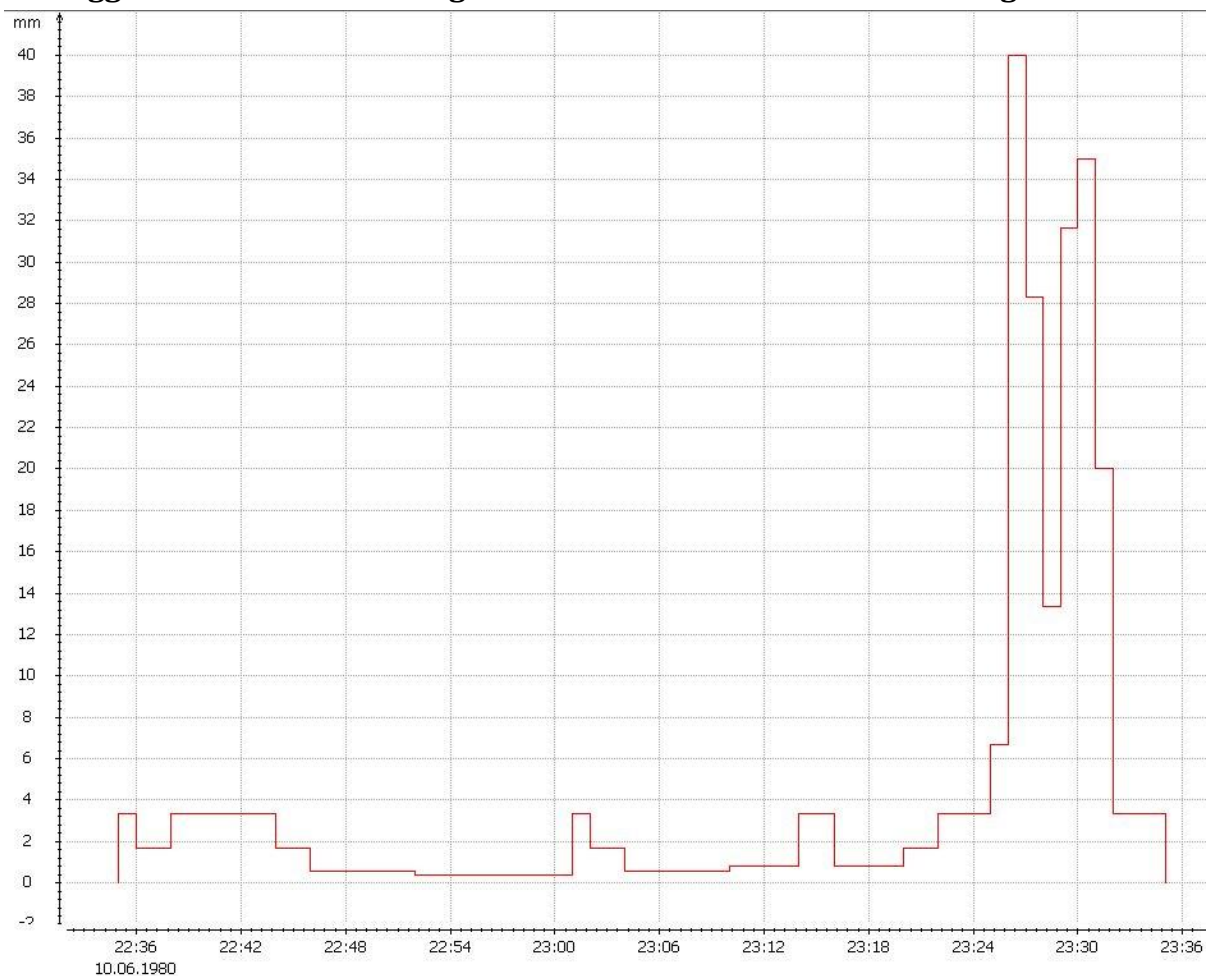
- Bergland, O. (2010). *Personlig meddelelse, forelesninger i kurset ECN380*.
- Bioforsk. Extreme weather in small catchments new method for flood protection. Tilgjengelig fra:
https://www.tekna.no/ikbViewer/Content/812806/06_Stolte,%20Jannes.pdf.
- Bioforsk.no. (2010a). *About Exflood*. Tilgjengelig fra:
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/hovedtema?p_dimension_id=22783&p_menu_id=22793&p_sub_id=22784&p_dim2=22785 (lest 11.01.2010).
- Bioforsk.no. (2010b). *Partners*. Tilgjengelig fra:
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22783&p_menu_id=22793&p_sub_id=22784&p_dim2=22804 (lest 11.01.2010).
- Bioforsk.no. (2010c). *Study Areas*. Tilgjengelig fra:
http://www.bioforsk.no/ikbViewer/page/prosjekt/tema?p_dimension_id=22783&p_menu_id=22793&p_sub_id=22784&p_dim2=22789 (lest 11.01.2010).
- Bjerknessenteret. (2007). Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fourth Assessment Report 2007 - FN's klimapanels fjerde hovedrapport, del 1. Klimaforståelse - Hovedfunn delrapport 1.: 2. Tilgjengelig fra: <http://www.bjerknes.uib.no/filer/553.pdf> (lest 15.2.2011).
- Cicero.no. (2008a). *Drivhuseffekten*. Tilgjengelig fra:
<http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=10994> (lest 08.08.2011).
- Cicero.no. (2008b). *Klimaendringer*. Tilgjengelig fra:
<http://www.cicero.uio.no/webnews/index.aspx?id=10995> (lest 08.02.2011).
- DHI. (2009a). MOUSE Pipe Flow. Tilgjengelig fra:
http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_ReferenceManual_Pipe_Flow.pdf (lest 25.02.2011).
- DHI. (2009b). MOUSE RDII Reference Manual. Tilgjengelig fra:
http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_RDII_ReferenceManual.pdf (lest 25.02.2011).
- DHI. (2009c). MOUSE Short introduction and tutorial. Tilgjengelig fra:
http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_Intro_Tutor.pdf (lest 24.02.2011).
- DHI. (2009d). MOUSE Surface Runoff Models. Tilgjengelig fra:
http://www.hydroasia.org/jahia/webdav/site/hydroasia/shared/Document_public/Project/Manuals/US/MOUSE_ReferenceManual_Runoff.pdf (lest 25.02.2011).
- Geir Lindholm*. (2011). Personlig meddelelse.
- Hanssen-Bauer, I., Drange, H., Førland, E. J., Roald, L. A., Børsheim, K. Y., Hisdal, H., Lawrence, D., Nesje, A., Sandven, S., Sorteberg, A., et al. (2009). Klima i Norge 2100. Tilgjengelig fra:
http://www.regjeringen.no/upload/MD/Kampanje/klimatilpassing/Bilder/NOU/klimatilpassing_endelig_lavoppl.pdf (lest 15.2.2011).
- IPCC. (2000). IPCC Special Report - Emissions Scenarios - Summary for Policymakers. I: change, I. p. o. c. (red.), 92-9169-113-5.
- Johannessen, J. (2008). *Tredobling av ekstreme regntilfeller på Vestlandet i framtiden*. Tilgjengelig fra:
<http://www.bjerknes.uib.no/pages.asp?id=1629&kat=2&lang=1> (lest 25.01).
- Johannessen, K. (2008). *Bakgrunn: Klimaet er i endring*. Tilgjengelig fra:
<http://www.bjerknes.uib.no/pages.asp?id=1462&kat=124&lang=1> (lest 15.02).

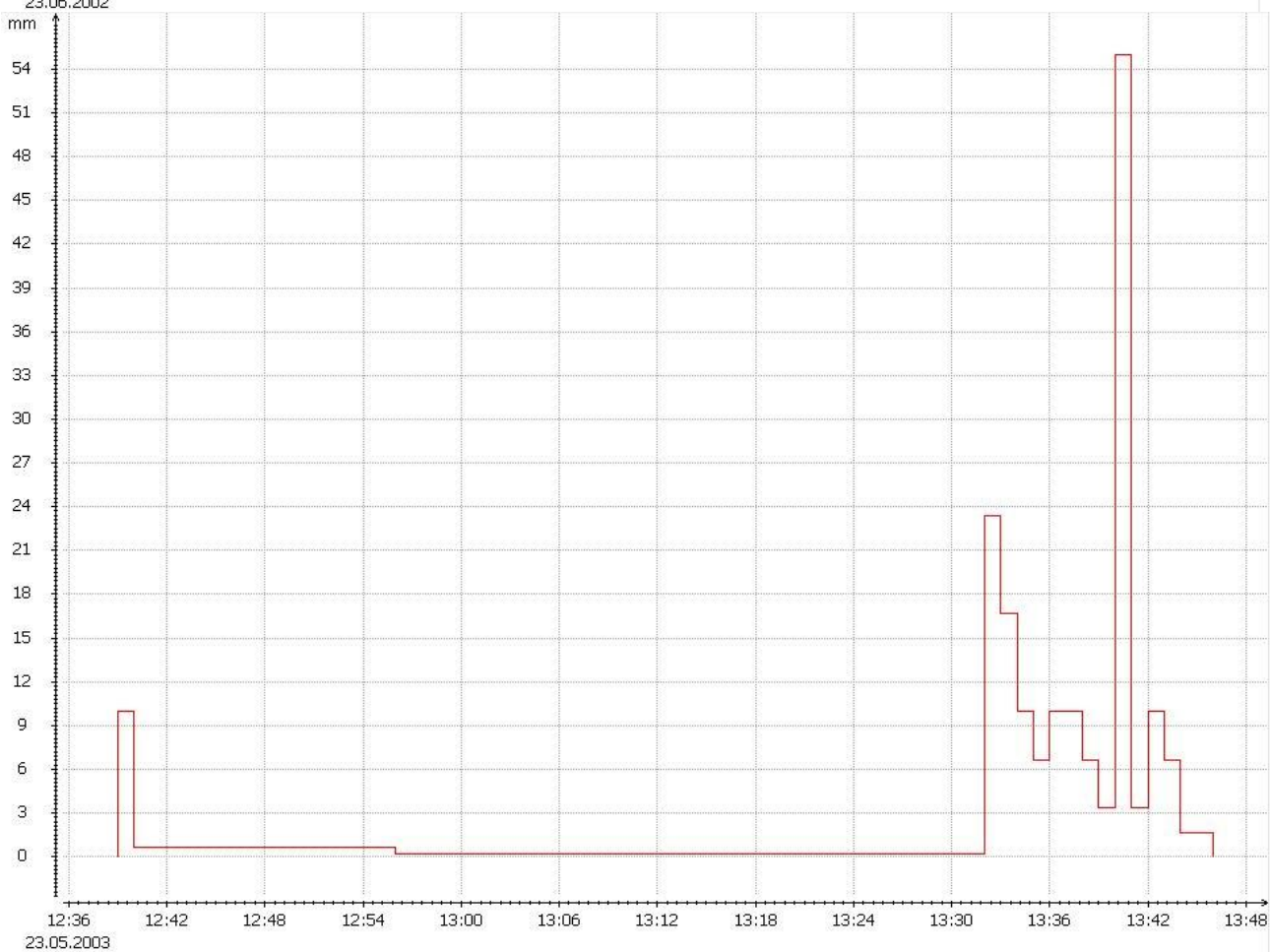
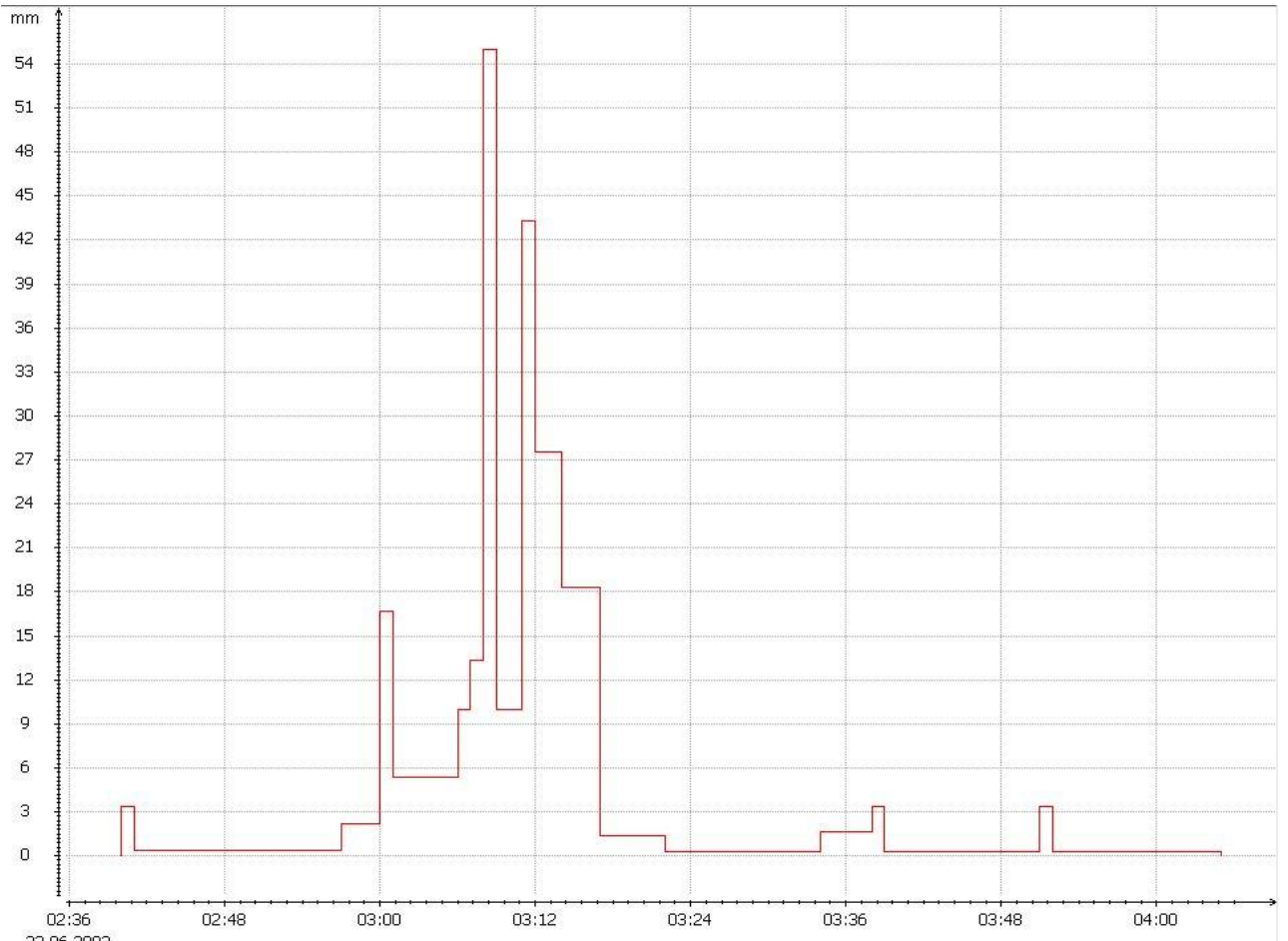
- KLIF.no. *Hva er FNs klimapanel?* Tilgjengelig fra: <http://www.klif.no/Tema/Klima-og-ozon/FNs-klimapanel-IPCC/MENY/Aktuelt/Hva-er-FNs-klimapanel/> (lest 15.02).
- KLIF.no. (1995). *Kommunale avløpsanlegg*. Tilgjengelig fra: <http://www.klif.no/publikasjoner/vann/1248/TA1248.html>.
- Kolshus, H. H. (2000). SRES utslippsscenarioer - En gjennomgang av bakgrunn, drivkrefter og resultater, CICERO Policy Note 2000:2. Oslo: CICERO Senter for klimaforskning. 26 s.
- Lindholm, O. (2008). Omdanning av I-V-F kurven til modellregn som f.eks symmetrisk hyetogram.
- Lindholm, O., Endresen, S., Thorolfsson, S., Sægrov, S., Jakobsen, G. & Aaby, L. (2008). Veiledning i klimatilpasset overvannshåndtering. 15 - 16 s.
- Miljødepartementet. (2007). *SOU 2007:60:Sverige inför klimatförändringarna - hot och möjligheter*: Miljødepartementet i Sverige, Klimat- och sårbarhetsutredningen.
- NIVA. (1986). VA Rapport 11-1986. Følsomhetsanalyse for parametre i avløpsnettberegninger Fase 1.
- Oddvar Lindholm*. (2010). Personlig meddelelse, forelesninger i kurset THT300.
- Oddvar Lindholm*. (2011). Personlig meddelelse.
- RegClim. (2000). Klimaet i Norge om 50 år. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/presse/download/regclim_brosjyre.pdf (lest 15.2.2011).
- RegClim. (2002). Mer variabelt vær om 50 år. Tilgjengelig fra: <http://regclim.met.no/presse/presse2002/RegClim8.pdf> (lest 15.2.2011).
- RegClim.met.no. *Fakta om RegClim Fase III (2003-2006)*. Tilgjengelig fra: http://regclim.met.no/norsk/prosjekt_beskr/Fakta_om_RegClim.html (lest 1. mai 2011).
- Sandnes Kommune v/Odd Arne Vagle*. (2010). Personlig meddelelse.
- Sandnes.kommune.no. (2010). *Kort om Sandnes*. Tilgjengelig fra: <http://www.sandnes.kommune.no/index.asp?startID=&topExpand=1000097&subExpand=&menuid=1000519&strUrl=1004313i&context=34> (lest 1. mai 2011).
- Svenskt Vatten. (2004). Dimensionering av allmänna avloppsledning P90.
- Svenskt Vatten. (2007). Klimatförändringarnas inverkan på allmänna avloppssystem.
- Sælthun, N. R. (2001). *THT300 - Hydroteknikk Hydrologiske modeller*.
- Vike, K. (2010). Etablering av en hydraulisk modell over overvannsnett i Bogafjell.

Vedleggsliste

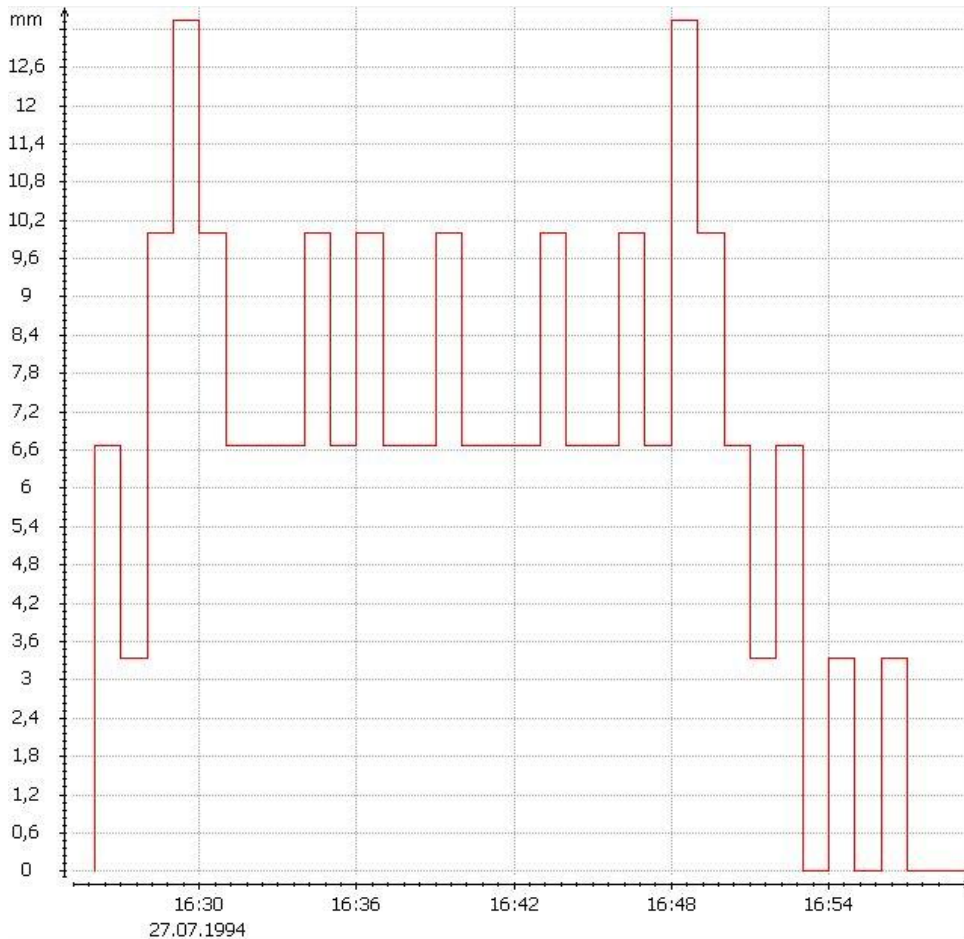
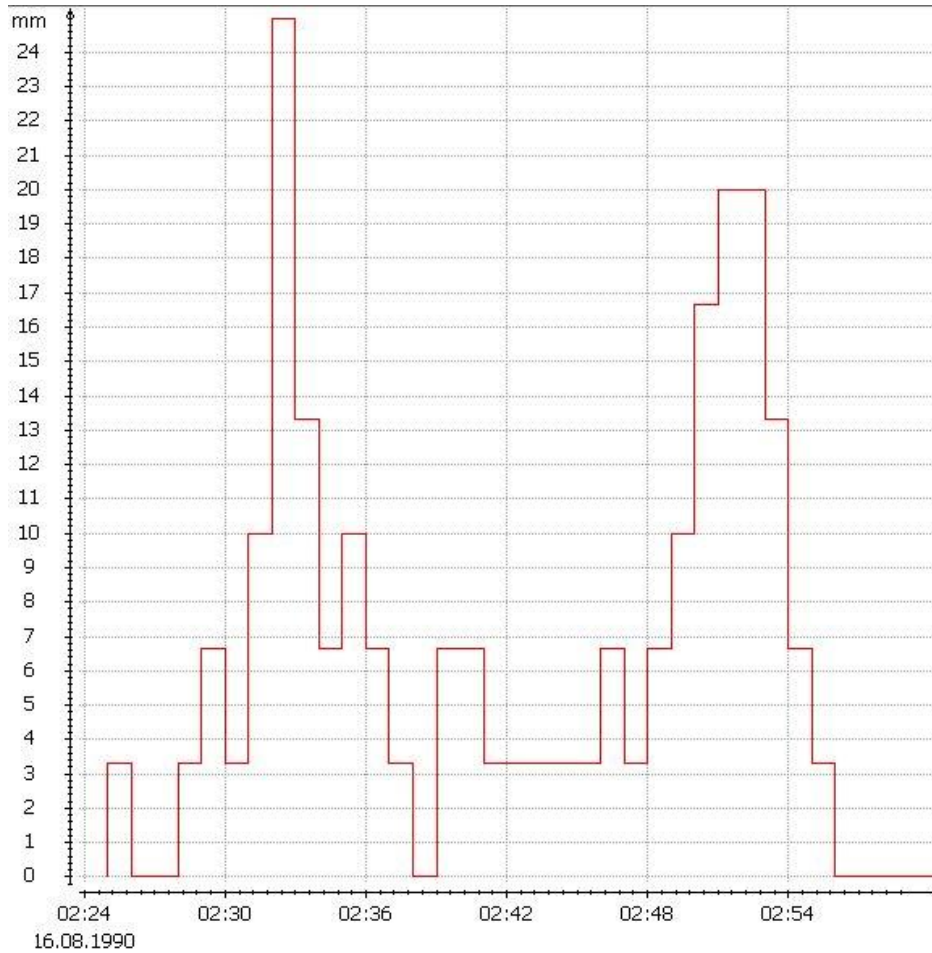
- Vedlegg A – Grafisk fremstilling av de fire historiske 10-minuttersregnene. I
- Vedlegg B – Grafisk fremstilling av de fire historiske 30-minuttersregnene. III
- Vedlegg C - Grafisk fremstilling av de fire historiske 60-minuttersregnene V

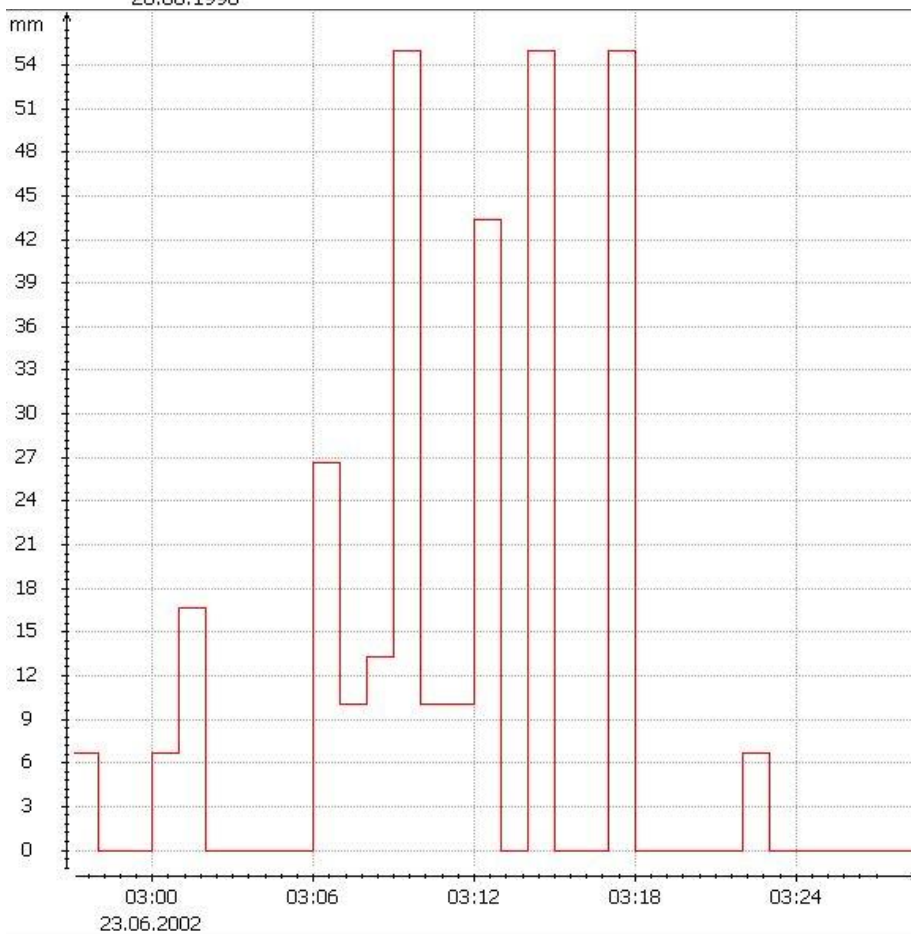
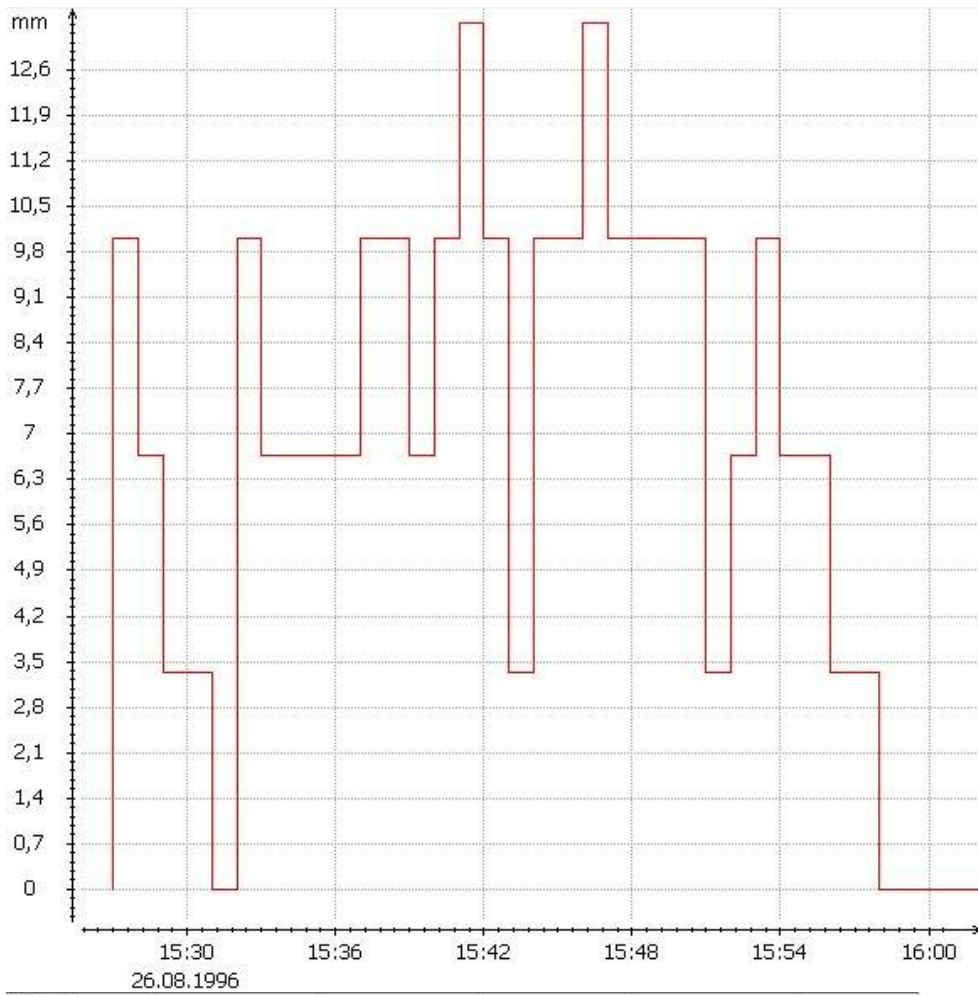
Vedlegg A – Grafisk fremstilling av de fire historiske 10-minuttersregnene.





Vedlegg B - Grafisk fremstilling av de fire historiske 30-minuttersregnene.





Vedlegg C - Grafisk fremstilling av de fire historiske 60-minuttersregnene

